

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département du Génie Industriel
General Electric Power Services



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Industriel
Option : Management Industriel

Amélioration de la gestion des projets de maintenance par la digitalisation de
l'exécution opérationnelle des contrats
Application : General Electric Power Services

Réalisé par : Samir Bouaziz

Présenté et soutenu publiquement le (27/06/2022)

Composition du Jury

Président	M. Hakim FOURAR-LAIDI	Enseignant	ENP
Examineur	M. Ali BOUKABOUS	Enseignant	ENP
Promoteur	Mme Nadjwa NOUAL	Enseignante	ENP
Invité	M. Anis NAILI	Invité	GEPS

ENP 2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département du Génie Industriel
General Electric Power Services



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Industriel
Option : Management Industriel

Amélioration de la gestion des projets de maintenance par la digitalisation de
l'exécution opérationnelle des contrats
Application : General Electric Power Services

Réalisé par : Samir Bouaziz

Présenté et soutenu publiquement le (27/06/2022)

Composition du Jury

Président	M. Hakim FOURAR-LAIDI	Enseignant	ENP
Examineur	M. Ali BOUKABOUS	Enseignant	ENP
Promoteur	Mme Nadjwa NOUAL	Enseignante	ENP
Invité	M. Anis NAILI	Invité	GEPS

ENP 2022

ملخص

جنرال إلكتروك لخدمات الطاقة هي فرع من مجموعة جنرال إلكتروك متعددة الجنسيات والتي تنشط في العديد من القطاعات. الشركة متخصصة في قطاع خدمات الصيانة لمعدات توليد الكهرباء.

يندرج هذا العمل ضمن إدارة مشاريع الصيانة للشركة التابعة، حيث يهدف لتحسين إدارة مشاريع الصيانة في السياق العام لنشاطها.

النموذج التنظيمي المعتمد من قبل الشركة هو صيغة المشاريع، وبالتالي يتكوّن نشاطها من عدة مشاريع مستقلة ومتماثلة شكلا. في هذا العمل، تمّ تحديد مشروع تجريبي، يتم من خلاله إجراء التشخيص وتصميم الحل، بهدف تعميمه على المشاريع المختلفة لجنرال إلكتروك لخدمات الطاقة.

يتمثل الحل المقترح في رقمنة الإدارة التشغيلية لتنفيذ العقود من خلال تطوير منصة مركزية معلوماتية مدعومة بقاعدة بيانات علائقية ولوحات قيادة، تهدف لمساعدة مديري المشاريع من الناحية التشغيلية في تنفيذ ورصد الالتزامات التعاقدية لشركة جنرال إلكتروك.

الكلمات الرئيسية: الرقمنة، لوحة القيادة، الصيانة، التحسين

Summary

General Electric Power Services (GEPS) is a branch of the multinational conglomerate General Electric which is active in many sectors. The company is specialized in the maintenance service for electricity generation equipment.

This work is part of the management of maintenance projects, which is contract management, within this subsidiary. Its objective is to improve the management of maintenance projects in the overall context of GEPS' activity.

The organizational model adopted by GEPS is the project mode, the activity of the company thus consists of a partition of independent and formally similar projects. In this work, a pilot project is designated, within which a diagnosis is carried out and a solution is deployed, with an ambition to its generalization through the various GEPS projects.

The proposed solution consists in digitizing the operational management of the execution of contracts by developing a centralized IT platform supported by a relational database and dashboards, which operationally assists project managers in carrying out and monitoring contractual obligations of GEPS.

Résumé

General Electric Power Services (GEPS) est une branche du conglomerat multinational General Electric actif dans nombreux secteurs. L'entreprise est spécialisée dans le secteur du service de maintenance des équipements de production d'électricité.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la gestion des projets de maintenance au sein de cette filiale. Il a pour objectif d'améliorer la gestion des projets de maintenance dans le contexte global de l'activité de GEPS.

Le modèle d'organisation adopté par GEPS est le mode projet, l'activité de l'entreprise consiste ainsi en une partition de projets indépendants et formellement similaires. Dans le présent travail, un projet pilote est désigné, au sein duquel un diagnostic est effectué et une solution est déployée, dans une vision de sa généralisation à travers les différents projets de GEPS.

La solution proposée consiste à digitaliser la gestion opérationnelle de l'exécution des contrats par le développement d'une plateforme informatique centralisée soutenue par une base de données relationnelle et des tableaux de bords, qui assiste opérationnellement les chefs de projets dans la réalisation et le suivi des obligations contractuelles de GEPS.

Mots clés : digitalisation, tableau de bord, maintenance, optimisation.

Dédicaces

A ma tendre maman, qui a tant sacrifié pour moi et mes frères aînés, que tu retrouves ici ma reconnaissance éternelle et le couronnement de tous tes efforts. Cette réussite est, avant tout, la tienne.

A Mon défunt papa parti trop tôt, ma source de motivation inépuisable, j'espère que de ton ciel tu es fier de l'homme que je deviens. Que tu reposes fièrement en paix.

Mon unique ambition est de vous rendre fiers.

A mes frères Amine et Adel, qui ont toujours su m'épauler et que je remercie pour leurs assistance et soutien infailibles. Ensemble, nous sommes plus forts.

Aux membres de ma famille qui ont été là depuis le début.

A mes amis qui me sont chers et qui se reconnaîtront.

A tous mes camarades, pour tout ce que nous avons traversé ensemble depuis le début de notre cursus à l'ENP.

Aux INDUS, pour tous les moments que nous avons partagés ces trois dernières années, ce fut un plaisir !

A toute personne qui a contribué de près ou de loin à cet accomplissement.

A toute personne avec qui j'ai partagé un bout de chemin ou qui me marquera à jamais.

A moi-même.

Remerciements

Louanges à dieu autant qu'il nous a bénit

J'adresse mes sincères remerciements et ma franche reconnaissance à mon encadrante, Madame Nadjwa Noual, pour sa patience, ses conseils avisés, son encadrement, son assistance et son soutien pendant toute la période du stage mais également tout au long de mon cursus au sein du département.

Je tiens également à remercier mes encadrants en entreprise, Mr Anis Naili et Mr Mourad Bourennane, pour leurs disponibilité, encouragements et bienveillance.

J'exprime ma profonde gratitude à mes enseignants du département Génie Industriel et des classes préparatoires, pour les connaissances qu'ils m'ont inculquées et leur accompagnement tout au long de ma formation, plus particulièrement Mme Noual, M. Boukabous, M. Zouaghi, Mme Nibouche, Mme Ait Meziane, M. Mahdi et Mme Fenineche.

Je ne saurais oublier l'apport de mes enseignants préuniversitaires et leur faveur, particulièrement M. Ammar et M. Oukrine, à qui j'adresse mes sincères remerciements.

Je remercie par avance les membres du Jury, qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail.

Pour finir, Merci Polytech ! Cette école qui m'a vu grandir et qui a été pendant de longues années une maison accueillante.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Liste des annexes	
Introduction Générale.....	13
Chapitre 1 : Etat des lieux	15
1 Introduction	16
2 Présentation des acteurs principaux de l'étude	16
2.1 General Electric	16
2.2 GE Power	16
2.3 General Electric en Algérie	17
2.3.1 GE Power Services en Algérie	18
2.4 Clients de General Electric.....	20
2.4.1 Sonelgaz	20
2.4.2 Sonatrach.....	20
2.4.3 Kahrama	21
3 Présentation du contexte d'intervention de General Electric	21
3.1 Evolution du secteur de l'électricité en Algérie	21
3.2 Structure de la chaîne de valeur dans le secteur de l'Énergie.....	22
3.3 Nature de l'activité de General Electric Power	23
3.4 Contrat MMP de Kahrama	23
3.5 Présentation du contrat	25
3.5.1 Sur le plan référentiel :	25
3.5.2 Dysfonctionnement sur le plan opérationnel :.....	28
3.5.3 Analyse et synthèse :	30
4 Formulation de la problématique :	30
5 Conclusion.....	31
Chapitre 2 : Etat de l'art	32
1. Introduction	33
2. Maintenance	33
2.1 Introduction à la maintenance	33
2.2 Définition de la maintenance.....	33
2.3 Historique	33

2.4 Types de maintenance	33
2.4.1 La maintenance corrective	33
2.4.2 La maintenance préventive.....	34
2.4.3 La maintenance améliorative	34
2.5 Management de la maintenance	34
2.6 Avantages de la bonne gestion de la maintenance	34
2.7 Externalisation de la maintenance (contrats de maintenance)	34
2.8 Documentation de la maintenance	35
1.9 Fonctionnement et maintenance des turbines à gaz	36
2.9.1 Fonctionnement	37
2.9.2 Maintenance des turbines à gaz.....	38
3 Digitalisation	39
3.1 Définition	39
3.2 Historique et impact de la digitalisation sur les organisations	39
3.3 Systèmes d'information.....	40
3.3.1 Définition	40
3.3.2 Structure d'un Système d'Information	40
3.4 Développement de logiciel.....	41
3.4.1 Cycle de vie d'un logiciel.....	41
3.4.2 Logiciel - Définition.....	42
3.4.3 Unified Modeling Language	42
3.5 Base de données relationnelles.....	43
3.5.1 Définition et avantages.....	43
3.5.2 Méthode MERISE	43
3.5.3 Automatisation avec VBA	45
4 Business Intelligence.....	45
4.1 Définitions	45
4.2 Principaux besoins des entreprises	46
4.3 Architecture de la BI	46
4.4 Processus ETL.....	47
4.4.1 Extract	47
4.4.2 Transform	47
4.4.3 Load.....	47
4.5 Power BI.....	47
4.5.1 Définition	47

4.5.2 DAX	47
4.5.3 Visualisations	48
5 La programmation mathématique	48
5.1 La programmation linéaire	48
5.2 La programmation linéaires en nombres entiers	48
5.3 La programmation non linéaire	48
5.4 La programmation dynamique	48
5.5 Résolution des problèmes mathématique	48
6 Conclusion.....	48
Chapitre 3 : Digitalisation de la gestion opérationnelle des projets	49
1 Introduction	50
2 Structure de la solution.....	50
3 Méthodologie de développement et de mise en place de la solution	51
3.1 Etude des besoins	52
3.1.1 Identification du besoin :	53
3.2 Conception	54
3.2.1 Méthode Merise.....	54
3.2.2 Diagrammes UML.....	56
3.3 Développement.....	58
3.3.1 Développement des tableaux de bord – Processus ETL.....	59
3.3.2 Développement de la plateforme.....	62
3.4 Livrables.....	64
3.4.1 Plateforme e-contract	64
3.4.2 Tableaux de bord	67
3.4 Généralisation de la solution	70
3.5 Evaluation.....	70
3.5.1 Evaluation de e-contract.....	70
3.5.2 Evaluation des Tableaux de bord	71
3.5.3 Evaluation de la base de données	72
3.6 Déploiement	72
3.6.1 Préparation au déploiement de la solution	73
3.6.2 Déploiement de la solution.....	73
4 Valeur ajoutée	74
5 Estimation financière de la mise en place de la solution.....	74
6 Optimisation de la gestion de la pièce de rechange.....	75

6.1 Introduction	75
6.2 Contexte	75
6.3 Hypothèses et estimations	75
6.4 Modélisation du programme non linéaire d'optimisation	76
6.4.1 Explication de la fonction objectif à minimiser :	77
6.4.2 Explication des contraintes :	78
6.5 Préalables à l'implémentation du modèle	78
7 Conclusion.....	78
Conclusion Générale	79
Bibliographie.....	81
Annexes	83

Liste des figures

Figure 1 - Evolution de la consommation de l'électricité en Algérie 1990-2019.....	21
Figure 2 - Evolution de la production de l'électricité en Algérie 1990-2019.....	22
Figure 3 - Structure de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de l'énergie électrique en Algérie	23
Figure 4 - Cartographie de niveau 2 agrégée des processus inscrits dans le cadre de l'exécution du contrat.....	25
Figure 5 - Enchaînement de la planification des activités de maintenance.....	26
Figure 6 - Enchaînement des différents services fournis par GEPS dans le cadre du contrat..	28
Figure 7 - Documentation de la maintenance.....	36
Figure 8 - Schéma illustratif des composantes d'une turbine à gaz – Source	37
Figure 9 - Schéma simplifié d'une turbine à gaz simple.....	37
Figure 10 - Détermination des besoins de maintenance d'une turbine à gaz.....	38
Figure 11 - Schéma récapitulatif des diagrammes UML	42
Figure 12 - Graphe des dépendances fonctionnelles	44
Figure 13 - Exemple de Modèle Conceptuel de Données	45
Figure 14 - Architecture de la Business Intelligence - Source	47
Figure 15 Structure de la solution	51
Figure 16 - Méthodologie de conception de la solution.....	51
Figure 17 - Diagramme Pareto de la répartition du montant contractuel par type de prestations	52
Figure 18 - Identification du besoin – Diagramme de la Bête à corne.....	53
Figure 19 - Graphe des dépendances fonctionnelles	55
Figure 20- Modèle Conceptuel de données.....	55
Figure 21 - Modèle Logique de données.....	56
Figure 22 - Diagramme des cas d'utilisation.....	57
Figure 23 - Diagramme d'état-transition.....	57
Figure 24 - Diagramme illustratif de séquences système pour l'ajout d'une commande	58
Figure 25 - Modèle de données	62
Figure 26 - Format de la table contenant les données consolidées	63
Figure 27 - Ecran d'accueil e-contract.....	64
Figure 28 - Exemple - Commandes client reçues	65
Figure 29- Exemple - Délais de livraison pour les consommables requis pour une activité de maintenance.....	65
Figure 30 - Exemple - Prix des consommables requis pour une activité de maintenance	66
Figure 31 - Illustration ajout d'une commande.....	66
Figure 32 - Illustration du KPI – Part des commandes	68
Figure 33 - Illustration du KPI – Prestations restantes.....	68
Figure 34 - Illustration du KPI – Part des fournisseurs.....	68
Figure 35 - Visualisation – Commandes en attente.....	68
Figure 36 - Aperçu du tableau de bord opérationnel.....	69
Figure 37 - Aperçu du tableau de bord analytique	70

Liste des tableaux

Tableau 1 Tableau récapitulatif des turbines à gaz commercialisées par GE Power	17
Tableau 2 - Comparaison entre les types de contrats	19
Tableau 3- Exemple de contrat signés par GEPS en Algérie	20
Tableau 4 - Plan de maintenance planifiée 2019-2023	24
Tableau 5 - Délai d'exécution des inspections de maintenance	27
Tableau 6 - Synthèse des dysfonctionnements dans l'exécution des contrats	30
Tableau 7 - Avantages et inconvénients de l'externalisation de l'activité de maintenance	35
Tableau 8 - Evolution du Web à travers le temps	39
Tableau 9 - Les révolutions industrielles	40
Tableau 10 - Dictionnaire des données	44
Tableau 11 - Tableau récapitulatif de la qualité des données.....	60
Tableau 12 - Structure standard de la table relative à chaque évènement.....	61
Tableau 13 - Grille d'évaluation de la plateforme e-contract	71
Tableau 14 - Grille d'évaluation du tableau de bord	72
Tableau 15 - Préparation au déploiement de la solution	73
Tableau 16 - Déploiement de la solution	74

Liste des abréviations

ACID : Atomicité, Cohérente, Isolement, Durabilité

AGP : Advanced Gas Path

BDD : Base De Données

BI : Business Intelligence

BPMN : Business Process Model and Notation

CI : Combustion Inspection

CPM : Contract Performance Manager

CPT/CFR : Carriage Paid To/ Cost & Freight

CSA : Contractual Services Agreement

CSL : Customer Service Leader

DAX : Data Analysis Expressions

DTE : Dossier Technique des Equipements

ETL : Extract, Transform, Load

GE : General Electric

GEAT : General Electric Algeria Turbines

GEH : General Electric Hitachi Nuclear Energyéro de

GEPS : General Electric Power Services

HGPI : Hot Gas Path Inspection

IWPP : Integrated Water Power Plant

KPI : Key Performance Indicators

MCD : Modèle Conceptuel de Données

MLD : Modèle Logique de Données

MMP : Multi-year Maintenance Program

PDR : Pièces de rechange

SI : Système d'Information

SPE : Société de Production d'Electricité

TX : Transactional Contract

UML : Unified Modeling Language

VBA : Visual Basic for Applications

Liste des annexes

Annexe A- 1 Cartographie du processus de préparation d'un service de maintenance.....	83
Annexe A- 2 Cartographie du processus d'escalade pour non conformité.....	83
Annexe A- 3 Cartographie du processus de fourniture de pièces de rechange	84
Annexe A- 4 Cartographie du processus de rénovation des organes nobles.....	85
Annexe B- 1 Code VBA - Fonction New_order()	86
Annexe B- 2 Code VBA - Fonction Refresh().....	88
Annexe B- 3 Code VBA - Fonction Open_TDB().....	89
Annexe B- 4 Code VBA-Update_filter_pivot()	90
Annexe B- 5 Code VBA - Close_all_only_activesheet().....	91
Annexe B- 6 Code VBA - Fonction Unhide().....	91
Annexe B- 7 Code VBA - Fonction de navigation	93
Annexe C- 1 Unités couvertes par le contrat.....	94
Annexe C- 2 Exemple de PDR pour inspection de combustion	94
Annexe C- 3 Exemple de consommables pour inspection des parties chaudes	95
Annexe C- 4 Exemples de PDR mécanique.....	95
Annexe D - 1 Diagramme de cas d'utilisation.....	96
Annexe D - 2 Diagramme de séquence	96
Annexe D - 3 Diagramme d'état-transition	97

Introduction générale

Dans un monde où les seules constances sont l'évolution et le changement, il est nécessaire pour la survie de toute entreprise de se réinventer en permanence dans le but d'améliorer son positionnement dans le marché. Cette assertion est d'autant plus précise lorsque l'environnement est complexe, doté d'une concurrence hostile dans une industrie stratégique.

Le secteur de l'énergie est un secteur économique d'une importance stratégique. Selon Forbes, il s'agit du secteur d'activité générant le plus de revenus en 2019 avec une somme s'élevant à 4780 Milliards (Forbes, 2022) de dollars. La croissance du marché de l'électricité a été de 5% pour l'année 2021, une grandeur destinée à augmenter (iea, 2022).

Depuis son invention, l'électricité devient un bien essentiel pour les ménages comme pour les autres secteurs d'activité. En Algérie, comme ailleurs, le besoin en cette ressource s'accroît de plus en plus. Ainsi, le pays a enregistré depuis l'an 2000 une hausse de 221% dans sa production d'électricité pour atteindre une production de 76.63 TWh en 2021 (Our world in data, 2022).

Pour la maîtrise de cette forte croissance, Sonelgaz, le responsable de l'alimentation du réseau national en énergie électrique, noue des contrats avec des partenaires auprès desquels elle sous-traite des services de construction, de maintenance ou d'entretien des centrales responsables de la production. Parmi ces prestataires, on retrouve General Electric par sa filiale GE Power Services (GEPS), le prestataire de maintenance qui détient la plus grande part du marché de maintenance des centrales électriques en Algérie.

Sous la couverture de contrats de maintenance, GEPS offre à ses clients des services de maintenance de turbines à gaz, de construction de centrales électriques et de fourniture de pièces de rechange. Le présent travail s'inscrit dans une vision d'amélioration du service maintenance fourni au client par GEPS. En effet l'exécution de ce service au sein de cette dernière suit une organisation par projet, de sorte que chaque projet représente un contrat signé avec un client. Le projet est par la suite affecté à un chef de projet désigné par GEPS et qui est responsable de l'exécution des clauses contractuelles.

La portée visée par GEPS atteint la globalité de ses opérations en Algérie. Toutefois, le présent travail consistera en une application sur un projet pilote dans une optique de généralisation de la solution proposée sur les autres projets de GEPS.

Pour ce faire, un diagnostic de l'état des lieux a été piloté au sein de l'entreprise pour détecter des manquements dans l'exécution de ses tâches, et formuler en conséquence une problématique qui sera par la suite abordée à l'aide d'une démarche scientifique dans le but de la résoudre.

C'est ainsi que la compréhension de la nature de l'activité de GEPS nous a permis dans un premier temps de traduire ce besoin explicite d'amélioration en une thématique métier à savoir : "L'optimisation de la gestion des projets de maintenance".

Le diagnostic effectué par la suite nous a permis de cerner une problématique précise et directe qui s'énonce comme suit :

« Comment assister opérationnellement les chefs de projets dans la réalisation et le suivi des obligations contractuelles de GE afin d'optimiser la gestion du service maintenance ? »

Cette question se révèle d'autant plus importante au vu de la surcharge des chefs de projet et du volume important d'informations traitées qu'implique la diversité et le nombre de prestations.

Pour répondre à cette problématique, nous proposons une solution permettant la digitalisation de l'exécution opérationnelle des projets de maintenance.

Cette solution sera mise en place à l'aide d'outils informatiques appropriés et adaptés au contexte de l'entreprise selon une démarche hybride regroupant multiples méthodologies de conception et de résolution.

Le présent document présente le raisonnement adopté qui se compose de trois grands volets à savoir :

1. La partie état des lieux : elle a pour objectif d'analyser le contexte de l'étude, de le présenter, d'effectuer un diagnostic et, finalement, de formuler la problématique. Cette partie est constituée de trois chapitres :
 - Présentation des acteurs principaux de l'étude ;
 - Présentation du contexte d'intervention de General Electric ;
 - Formulation de la problématique.

2. Partie état de l'art : dans cette partie nous présentons les fondements théoriques et conceptuels du travail. Elle contient trois chapitres :
 - La maintenance ;
 - La digitalisation ;
 - La Business Intelligence.

3. Partie contribution : Dans cette partie nous déroulons l'approche adoptée pour la conception et la mise en place de la solution. Elle se compose de trois chapitres :
 - Architecture de la solution ;
 - Méthodologie de développement et de mise en place ;
 - Valeur ajoutée.

Nous clôturons notre travail par une conclusion générale qui reprend et synthétise le travail effectué et les résultats obtenus. Nous proposons également quelques perspectives de projets qui viseront à accomplir et enrichir la solution.

Chapitre 1 : Etat des lieux

1 Introduction

Dans le but d'explorer l'environnement dans lequel s'insère le présent travail, un diagnostic a été effectué et a permis de dresser un bilan de l'état des lieux. Dans le présent chapitre, le résultat de ce diagnostic est manifesté. D'abord, en présentant les organismes intervenants dans le contexte de l'étude, ensuite, en explicitant la nature des opérations dans le secteur concerné, et finalement, en décelant des dysfonctionnements qui permettront de formuler la problématique objet de la résolution.

2 Présentation des acteurs principaux de l'étude

Le présent travail s'insère dans une vision d'amélioration continue du service rendu par GE à ses clients. Ainsi, l'étendue de l'étude inclut ces deux acteurs clés que nous essayons de présenter avec soin dans ce qui suit.

2.1 General Electric

GE est un conglomérat américain né en 1892 de la fusion de l'Edison General Electric Company et Thomson-Houstons Electric Company. Le conglomérat englobait des entreprises opérant dans différents secteurs à savoir : GE Additive, GE Aviation, GE Capital, GE Digital, GE Healthcare, GE Power, GE Renewable Energy et GE Research.

En 2021, GE a décidé de concentrer son activité dans l'aviation, l'électricité, les énergies renouvelables et l'industrie numérique dans l'optique de se diviser en trois sociétés indépendantes qui seront respectivement axées sur l'aviation, l'énergie et le Healthcare.

GE est implanté dans 130 pays, employant 225,000 employés et réalise un chiffre d'affaires de 74.2 milliards de dollars en 2021. (General Electric, 2022)

2.2 GE Power

GE Power (anciennement connu sous le nom de GE Energy) est une entreprise américaine de technologie énergétique, détenue par GE. En 2018, les unités produites par GE ont été responsables de la production d'un tiers de l'électricité mondiale. (Reuters, 2018)

A son tour, GE Power comporte plusieurs divisions à savoir :

- **GE Gas Power** : Cette division fournit des turbines à gaz, assure la fourniture de leurs pièces de rechange ainsi que leurs maintenances. Il s'agit de la seule division de GE Power présente en Algérie. Le catalogue de turbines à gaz qu'elle commercialise et qu'elle maintient est le suivant. :

Turbines 50 Hz	Puissance fournie (MW)	Turbines 60 Hz	Puissance fournie (MW)
9HA	448 – 571	7HA	290 – 430
9F	265 – 314	7F	201 – 239
GT13E2	195 – 210	LMS100	107.5 – 115.8
9 ^E	132 – 147	7 ^E	90
LMS100	106.5 – 113	6F	57 – 88
6F	57 – 88	LM6000	44.7 – 56
LM6000	44.7 – 56	6B	45
6B	45	LM2500	34.1 – 37.1
LM2500	33 – 36.3	TM2500	37
TM2500	34.6		

Tableau 1 Tableau récapitulatif des turbines à gaz commercialisées par GE Power

- **GE Steam Power** : Cette division fournit des turbines à vapeur. GE Steam Power couvre le tiers des capacités installées des turbines à vapeur et la moitié des turbines à vapeur nucléaires à travers le monde.
- **GE Power Conversion** : La division GE Power Conversion contribue à la transformation électrique de l'infrastructure énergétique mondiale. Elle sert des secteurs spécialisés tels que l'énergie et la marine.
- **GE Energy Consulting** : Cette division fournit des services de conseil en énergie afin de contribuer à faire évoluer les systèmes d'énergie électrique vers plus d'accessibilité, de fiabilité et d'efficacité grâce à des solutions technico-économiques.
- **GE Hitachi Nuclear Energy** : GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) est un fournisseur de réacteurs avancés et de services nucléaires né d'une alliance entre GE et Hitachi. (General Electric, 2022)

2.3 General Electric en Algérie

En Algérie, GE est présente par ses deux entités : GE Power et GE Healthcare. Pendant sa présence, GE s'est associé avec des partenaires pour la création de :

- **GEAT** :

General Electric Algeria Turbines (GEAT) est un partenariat entre GE (49%) et Sonelgaz (51%) pour la fabrication de turbines à gaz, turbines à vapeur, alternateurs et systèmes de contrôle commande. Le complexe industriel est situé à Ain Yagout (Batna) et s'étend sur une superficie de 20 hectares. (Sonelgaz, s.d.)

- **ALGESCO :**

Algesco est un partenariat entre GE, Sonatrach et Sonelgaz. Il s'agit d'un centre de réparation et de maintenance de turbines doté d'un centre de formation. Les capacités de réparation d'ALGESCO couvrent les turbines à gaz, à vapeur, les compresseurs centrifuges et alternatifs ainsi que les turbo-expanders. Le centre est équipé des dernières technologies en matière de revêtement, de systèmes de réparation laser et de la technologie d'usinage. Le complexe résultant d'un investissement de \$36 millions couvre une surface de 18300 m² à Boufarik. (General Electric, 2022)

En plus de ses opérations dans le domaine de l'énergie, GE Aviation alimente la flotte d'Air Algérie depuis 25 ans et GE Healthcare est le premier fournisseur des technologies de santé avancées à la structure médicale du pays. (euroénergie, 2017) (General Electric, 2022)

2.3.1 GE Power Services en Algérie

GE Power Services est présente en Algérie depuis 40 ans, ses activités sont concentrées dans :

- La construction de turbomachines et stations de production d'électricité ;
- La fourniture et gestion de pièces de rechanges capitales et non-capitales ;
- La maintenance et l'entretien des turbines installées ;
- L'assistance technique et services liés à la maintenance des installations.

GE sert ses clients à travers multiples types de contrats de maintenance en fonction du type du besoin exprimé par le client.

Les contrats de maintenance peuvent prendre différentes formes. Les types de contrats les plus répandues sont citées ci-dessous :

- **Contrat Transactionnel (TX) :** Il s'agit d'une prestation ponctuelle en réponse à un besoin singulier exprimé par un client pour la fourniture de pièces ou une prestation de service. Ce type de contrat se distingue par un engagement de court terme.
- **Multi-year Maintenance Program (MMP) :** Il s'agit d'un engagement à long terme à travers lequel, le prestataire s'engage vis-à-vis du client sur les prix des pièces et des services à fournir ainsi que les délais d'exécution. En contrepartie, le client s'engage sur un volume minimum de commande durant le terme du contrat. Ce type de contrat permet de réduire les efforts administratifs et de simplifier la planification.
- **Contractual Service Agreement (CSA) :** Il s'agit d'un engagement à long terme où le prestataire s'engage à réaliser la fourniture de pièces et la prestation de services dans le cadre de la maintenance planifiée et non planifiée. Le prestataire prend en charge la gestion de la partie opérationnelle et partage le risque commercial du client en l'aidant à atteindre ses objectifs.

Il est utile de mentionner que les contrats de type MMP ou CSA adoptent une même structure standardisée. Le tableau 2 ci-dessous présenté nous informe également des ressemblances

présentes entre les deux types de contrats. Ainsi, les processus d'élaboration et d'exécution des différents contrats comportent des similitudes.

	Contractual Service Agreement (CSA)	Multi-year Maintenance Program (MMP)
Soutien à la maintenance		
Portée de la maintenance planifiée	Inclus	Inclus
Maintenance non planifiée	Inclus	Optionnel
Articles de bulletins de service (TIL)	Inclus	
Point de contact GE dédié	Inclus	Optionnel
Planification des arrêts	Inclus	Optionnel
Couverture des équipements		
Turbine à gaz et générateur	Inclus	Inclus
Turbine à vapeur et générateur	Optionnel	Optionnel
Générateurs de vapeur à récupération de chaleur	Optionnel	Optionnel
Opérations au niveau de la centrale	Optionnel	Optionnel
Maintenance	Inclus	Inclus
Garantie prolongée sur les pièces	Inclus	Inclus
Finance		
Garantie de performance	Inclus	
Cycle de facturation	Trimestrielle	Temps de service

Tableau 2 - Comparaison entre les types de contrats (GE, 2022)

Au cours du présent travail, l'étude sera appliquée à un contrat spécifique de type MMP. Les ressemblances entre les contrats étant données, ce contrat est désigné comme projet pilote qui servira un objectif plus global, celui de l'amélioration de la gestion de tous les projets de maintenance de GE.

Sous la couverture de contrats de différents types, les technologies de GE génèrent 70% de l'électricité distribuée dans le pays par le biais de centrales électriques réparties sur l'ensemble du territoire national selon la configuration suivante (GE, 2022) :

Site	Date de début	Type de turbine	de	Nombre d'unité	Type de contrat
Mostaganem	2017	9FA		6	CSA
Naama	2017	9FA		6	CSA
F'kirina	2019	GT13E		2	CSA
Relizane	2019	GT13E		3	CSA
Kais	2017	9FA		6	CSA
Arzew	2019	9001E		3	MMP
Mostaganem	2021	9FA		1	TX
Marsat	2015	5001P		1	TX
Naama	2017	9FA		1	TX

Tableau 3- Exemple de contrat signés par GEPS en Algérie

2.4 Clients de General Electric

De par la forte diversité de ses opérations dans multiples secteurs d'activité, les clients de GE en Algérie sont nombreux. Toutefois, dans ce qui suit, nous nous étalons sur les principaux partenaires de GE dans le secteur de l'énergie, le secteur dans lequel s'inscrit notre présent travail.

2.4.1 Sonelgaz

La société nationale de l'électricité et du gaz est un groupe industriel algérien. L'activité du groupe est diverse et inclut :

- En amont : l'achat, le transport, la distribution et la commercialisation de gaz naturel.
- En aval : la production, la distribution et la commercialisation de l'électricité.

En 2019, le groupe est classé troisième à l'échelle nationale en réalisant 3,38 milliards de dollars en chiffre d'affaires. (Observatoire, 2019) En 2020, le groupe comptait 10,595,565 clients abonnés en électricité et 6,450,538 clients abonnés en gaz naturel.

2.4.2 Sonatrach

Sonatrach est une compagnie pétrolière et gazière classée premier groupe d'hydrocarbures en Afrique. Le groupe a pour mission de valoriser les réserves en hydrocarbures de l'Algérie.

Les activités du groupe sont diversifiées tout au long de la chaîne de valeur. En amont l'entreprise opère des gisements pétroliers dans le Sahara algérien, elle dispose d'un réseau de canalisation qui s'étend de près de 22 000 km sur le territoire national. En aval, l'entreprise effectue le raffinage, la liquéfaction et la séparation des produits pétroliers.

Actuellement, l'entreprise emploie plus de 200000 personnes à l'échelle du groupe et compte 154 filiales et participations, dont l'entreprise **Algerian Energy Company** qu'elle partage avec le groupe Sonelgaz.

En 2021, l'entreprise est classée première à l'échelle africaine en réalisant 34,5 Milliards de dollars de chiffre d'affaires (Sonatrach, 2022).

2.4.3 Kahrama

Kahrama SPA désigne l'entreprise responsable du projet IWPP (Integrated Water Power Plant), complexe de dessalement de l'eau de mer et de production d'électricité se trouvant à Arzew dans la wilaya d'Oran. L'entreprise est détenue par l'Algerian Energy Company, la joint-venture entre Sonelgaz et Sonatrach.

L'unité Kahrama, inaugurée en septembre 2005, est la première installation combinant les deux activités de dessalement des eaux et de production de l'électricité à l'échelle nationale. Elle alimente en eau potable la ville d'Oran ainsi que les complexes industriels de la ville d'Arzew avec une capacité de 90000 m3 d'eau quotidiennement.

Pour la production d'électricité, la centrale est dotée de trois turbines à gaz de type 9001E/DLN1. (L'expression, 2006)

Depuis sa création, Kahrama a étroitement collaboré avec GE. Ainsi, GE Power a fourni les trois turbines à gaz de capacités nominales de 110 MW chacune, ainsi que leurs alternateurs respectifs. (Power technology , 2022)

3 Présentation du contexte d'intervention de General Electric

Les acteurs précédemment introduits opèrent dans un environnement distingué par un caractère stratégique, particulièrement dans le contexte algérien. Afin de rendre cet environnement tangible, il est nécessaire d'effectuer une analyse externe du secteur de l'énergie et d'en déceler les différents acteurs.

3.1 Evolution du secteur de l'électricité en Algérie

Depuis des décennies, la consommation de l'électricité en Algérie connaît une croissance exponentielle. Ceci est dû à une consommation industrielle et domestique importante et croissante de cette ressource essentielle. La figure 1 montre l'évolution de la consommation de l'électricité dans le pays.

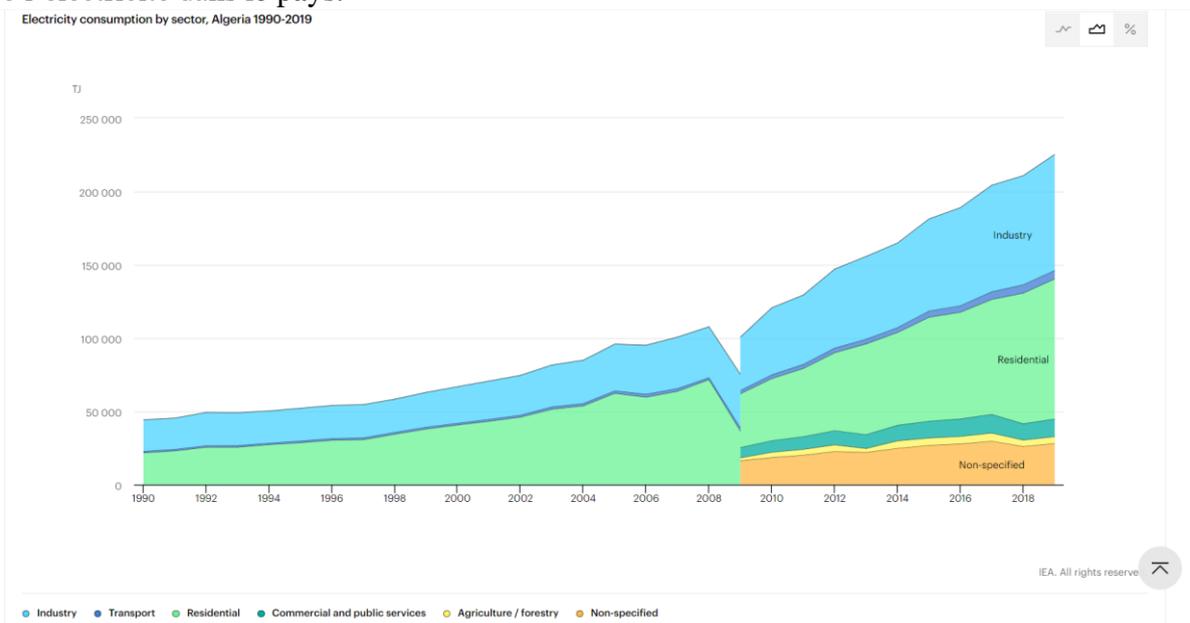


Figure 1 - Evolution de la consommation de l'électricité en Algérie 1990-2019 (iea, 2022)

Cette évolution est destinée à une continuité au vu de l'évolution des besoins conduite par l'évolution démographique, les conditions climatiques et l'encouragement de l'activité industrielle et de l'agriculture.

L'évolution de la demande est naturellement et obligatoirement suivie par une évolution équivalente de la production, au vu du caractère essentiel du produit. Ainsi, nombreux investissements ont été déployés par l'état algérien en vue de satisfaire la demande. Ceci se traduit par une évolution de la production qui a dépassé les 80 000 GWh en 2019. Il est utile de mentionner que l'Algérie se base sur le gaz naturel pour produire son électricité de manière presque exclusive. La figure 2 récapitule l'évolution de la production de l'électricité dans le pays.

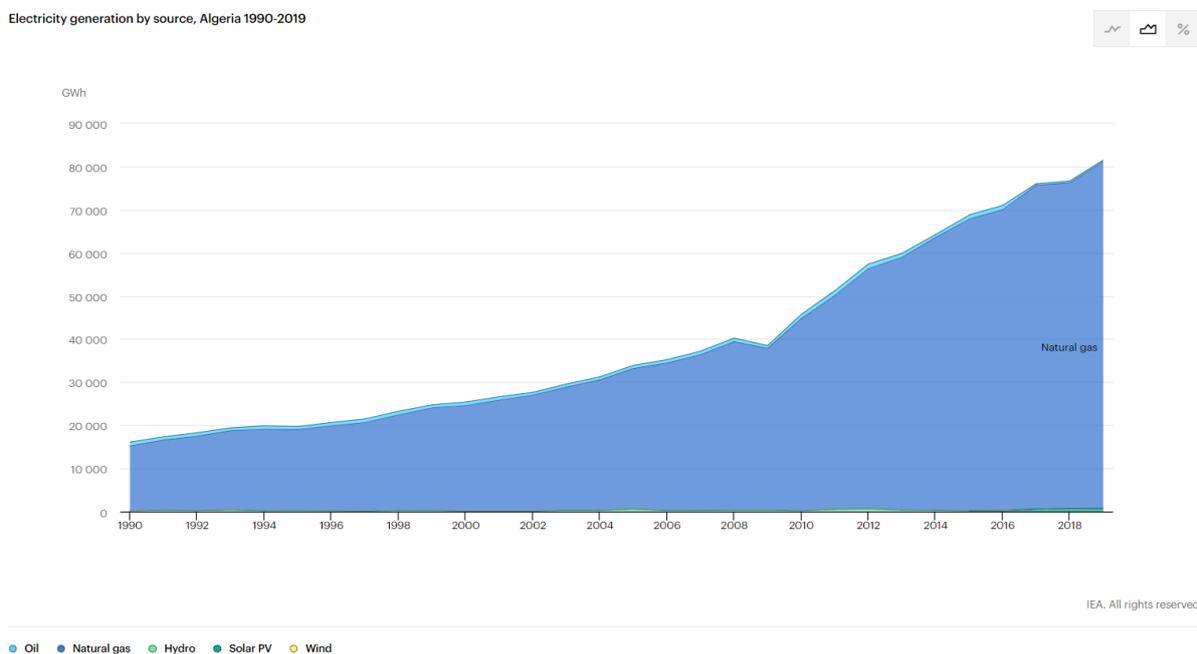


Figure 2 - Evolution de la production de l'électricité en Algérie 1990-2019 (iea, 2022)

3.2 Structure de la chaîne de valeur dans le secteur de l'Énergie

Avec l'avancée des besoins des consommateurs en énergie, le secteur économique de l'énergie devient d'une importance vitale. La chaîne de valeur de ce secteur s'étend de la production de l'énergie à sa commercialisation en passant par son transport, sa transformation et sa distribution. Le schéma suivant (figure 3) illustre la structure de sa chaîne d'approvisionnement en Algérie.

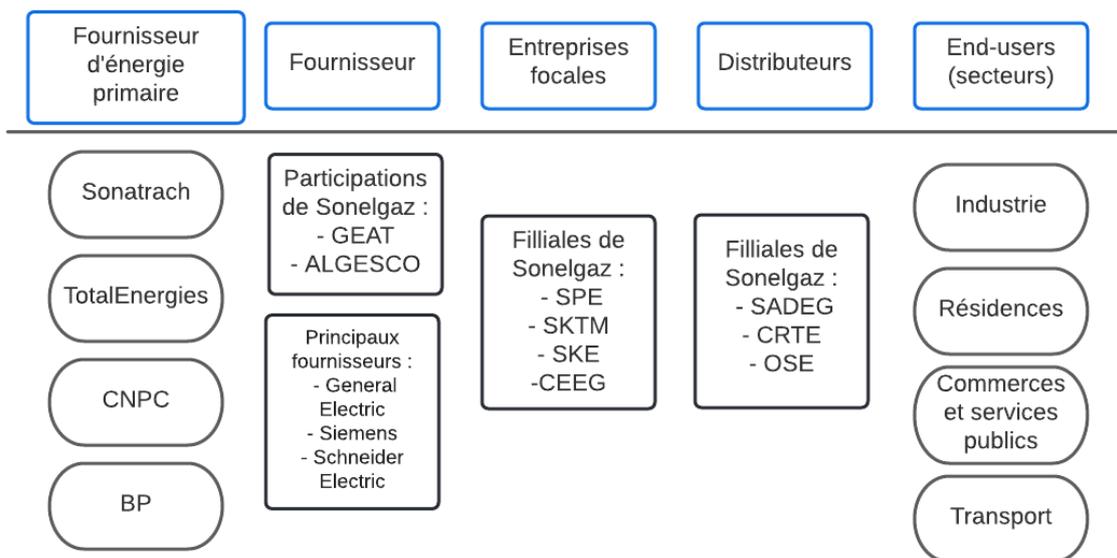


Figure 3 - Structure de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de l'énergie électrique en Algérie

Ainsi, GE fournit ses services en amont aux entreprises productrices d'électricité en leurs proposant des solutions technologiques et managériales, dans le but d'améliorer la performance du parc national de production.

3.3 Nature de l'activité de General Electric Power

Par sa filiale GE Power, GE intervient dans le contexte de la transformation de l'énergie de sa forme brute, telle qu'elle existe dans la nature (éolienne, solaire, gaz et pétrole...), à une forme secondaire plus utile et manipulable comme l'électricité.

La filiale construit des turbomachines permettant la production de l'électricité, assure la fourniture des pièces de rechange et propose des services de maintenance et d'entretien.

3.4 Contrat MMP de Kahrama

Le contrat de maintenance de type MMP signé entre GEPS (Prestataire) et Kahrama (Client) a été choisi comme projet pilote, en plus de sa validité et sa représentativité ce choix est principalement motivé par :

- La criticité du projet dû au caractère strict du client ;
- La durée du projet s'étalant sur 5 années ;
- La portée exhaustive du projet dont le contrat inclut l'ensemble des types de prestations fournis par GE.
- L'importance accordée au projet par GEPS, justifiant l'initiative de lancer une démarche d'amélioration agile.

En couvrant les 3 turbines à gaz que comportent le complexe (voir Annexe C-1), le contrat a pour objectifs de :

- Optimiser la disponibilité, la fiabilité et les performances des unités couvertes (3 turbines à gaz et 3 alternateurs + équipements auxiliaires) ;
- Optimiser la gestion des pièces de rechange ;

- Assurer une formation de qualité au personnel du client.

Ainsi, dans le cadre du contrat, le prestataire s'engage à réaliser :

- La fourniture de consommables et pièces de rechange ;
- L'assistance technique requise lors de la maintenance planifiée et non planifiée ;
- La rénovation des organes nobles ;
- La formation du personnel du client.

Le contrat qui porte la référence KH/DG/09/16 fournit les documents techniques et financiers nécessaires à l'explicitation des opérations planifiées et des procédures à adopter dans le cadre de la réalisation de la fourniture et des prestations en termes de délais d'exécution, incoterms, pénalités de retard, garanties de bonne exécution, modalités de paiement, et autres. De même, le processus de prise en charge des opérations au titre d'une maintenance non planifiée y est explicité.

Le montant du contrat signé entre les deux parties s'élève à 8.96 millions de dollars américains et prend en charge le plan de maintenance suivant :

Année		TG#1	TG#2	TG#3
1 ^{ère} Année	2019		24/09/2019 (Inspection de combustion)	
2 ^{ème} Année	2020		01/10/2020 (Inspection des Parties Chaudes)	
3 ^{ème} Année	2021		20/10/2021 (Inspection de combustion)	
4 ^{ème} Année	2022	25/02/2022 (Inspection des Parties Chaudes Type AGP+32K)	01/11/2022 (Inspection de combustion)	01/09/2022 (Inspection des Parties Chaudes Type AGP+32K)
5 ^{ème} Année	2023		15/11/2023 (Inspection Majeure avec Installation Amélioration AGP+32K)	

Tableau 4 - Plan de maintenance planifiée 2019-2023

Afin de veiller à une exécution adéquate du contrat, ce dernier stipule que les deux parties doivent désigner des représentants, en qualité de chefs de projet, qui seront chargés de :

- Suivre l'exécution du contrat : un point doit être fait trimestriellement et un procès-verbal doit être établi et signé conjointement ;
- Evaluer l'évolution de l'avancement de l'exécution du contrat par des rapports ;
- Approuver la liste des pièces à réparer ;
- Assurer un suivi continu de la réalisation des prestations, en matière de quantité qualité et délais, en respect des clauses du contrat ;
- Prendre les mesures nécessaires à l'effet d'éviter tous les aléas ;

- Reporter au client, les résultats obtenus par un rapport spécifique, à émettre au premier trimestre de chaque année ;
- Effectuer toute la planification, la préparation et la coordination des activités avant les interruptions de services, y compris la planification détaillée, les besoins en engins de manutention, en échafaudage et en outillage ;
- Mettre à jour le plan de maintenance et des pièces associés, sur la base du mécanisme opérationnel du contrat. (Documentation GE, 2019)

3.5 Présentation du contrat

Afin d'étudier la réalité de la gestion de l'exécution du contrat et sa fidélité aux clauses ci-dessus présentées, nous avons réalisé :

- Un suivi des opérations effectuées dans le cadre des processus inscrits dans l'exécution du contrat, par l'assistance du chef de projet dans ses tâches opérationnelles telles que : le suivi financier, le suivi des opérations, la facturation des prestations, le processus d'approvisionnement, le processus de dédouanement.
- Nombreux entretiens avec des parties prenantes issues de différentes fonctions au sein de GE, telles que : des chefs de projets, des managers commerciaux, des acheteurs...

Ceci nous a permis de déceler les différents processus incarnant l'activité de GEPS inscrite dans le cadre de contrat et de détecter les différents dysfonctionnements survenant au cours de l'exécution.

Ci-dessous nous présentons ces processus, d'abord sur un plan référentiel, puis sur un plan opérationnel réel.

3.5.1 Sur le plan référentiel :

L'activité de l'entreprise peut être agrégée en quelques processus clés qu'on a modélisé en utilisant l'approche processus tel qu'illustré dans la figure 4. Au sein de l'entreprise, ces processus sont regroupés en trois groupes, à savoir :

- Le processus « Exécution » : comporte les processus opérationnels.
- Le processus « Planification ».
- Le processus « Suivi ».

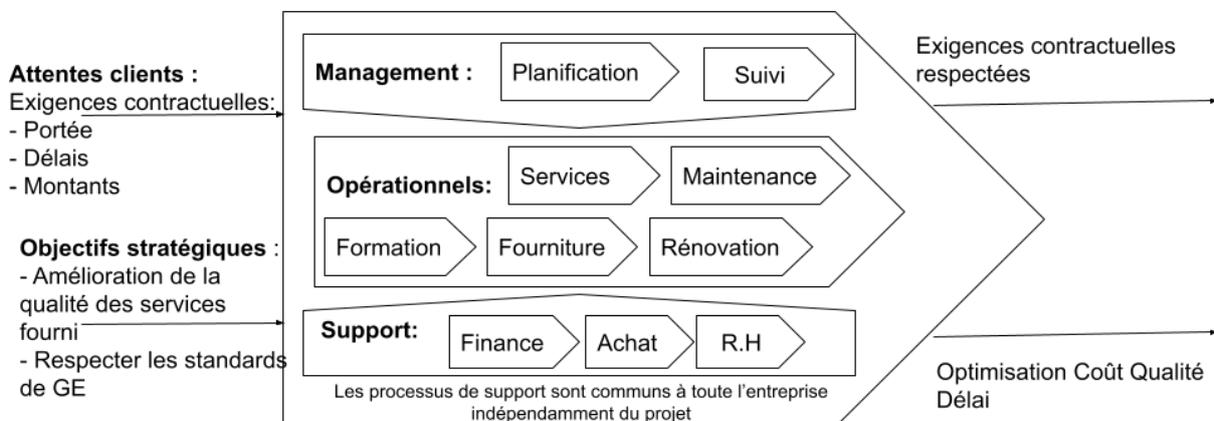


Figure 4 - Cartographie de niveau 2 agrégée des processus inscrits dans le cadre de l'exécution du contrat

Il est important de noter que l'organisation de GE sépare le volet technique du volet managérial. Ainsi, l'aspect technique des prestations est sous la responsabilité de **Fieldcore**, qui est une société indépendante, filiale de GE et spécialisée dans le Field Service. Cette séparation a pour but de fournir, par la spécialisation du travail, un haut niveau d'excellence des services sur le terrain pour les clients de GE.

En Algérie, Fieldcore opère en étroite collaboration avec GE Power Services et se charge des services d'ingénierie mécanique et électrique liés aux turbines à gaz.

3.5.1.1 Planification

Le but de ce processus est d'établir une planification des différents services que GE fournira au client dans le cadre du contrat, que ceux-ci soient des inspections pour maintenance préventive, des réparations d'organes nobles, des services de maintenance ou des formations du personnel du client. Il s'agit d'un enchaînement de tâches à effectuer en tenant compte des délais et des ressources. La figure 5 illustre ce processus qui débute 36 mois avant le début de l'intervention et implique différents acteurs.



Figure 5 - Enchaînement de la planification des activités de maintenance (Documentation GE, 2022)

3.5.1.2 Exécution

Ce processus constitue le cœur du métier de GE, il englobe les activités ayant pour but de mener à bien les services fournis selon les clauses du contrat. Il s'agit d'une prestation effective des services au client. En guise de clarification, les différents services fournis sont les suivants :

- Fourniture de la pièce de rechange :

Le contrat inclut une liste de pièces de rechange que le prestataire s'engage à fournir pour des montants prédéfinis, s'élevant au total à 8,958,991.88 USD. Ainsi, GEPS se charge de fabriquer ou d'acheter des pièces conformes à la demande du client et les livrer dans un délai ne dépassant pas 14 semaines au port d'Oran selon l'incoterm CPT/CFR¹.

¹ CPT/CFR : Le vendeur paie le transport de la marchandise jusqu'au lieu de destination convenu. Toutefois, les marchandises sont considérées comme livrées lorsque les marchandises ont été remises au premier transporteur

- **Rénovation des organes nobles :**

La réparation des organes nobles s'inscrit dans le cadre de la maintenance préventive, il s'agit de la rénovation des pièces capitales des turbines à gaz, à savoir : les injecteurs, les ailettes, les directrices, les tubes à flammes et les pièces de transition. Cette rénovation participe à l'allongement de la durée de vie et à la prévention de dysfonctionnements critiques. Pour ce faire, à une fréquence prédéfinie, les organes nobles sont expédiés à un entrepôt de GE spécialisé dans la rénovation avant d'être retournés sur site dans un délai ne dépassant pas 25 semaines. Ces entrepôts sont au nombre de 18, ils centralisent l'activité de rénovation à travers le monde. Dans le cadre du contrat, Le montant total de la rénovation s'élève à 1,644,366.06 USD.

- **Inspections planifiées (Arrêts) :**

Tel que montré précédemment dans le plan de maintenance, multiples types d'inspections sont prévues dans le contrat. Ces inspections s'accompagnent d'un arrêt de production s'étalant sur une durée qui dépend du type de l'inspection, comme le montre le tableau 5. Le montant total des inspections planifiées s'élève à 547,625.00 USD.

Type de maintenance	Délai d'exécution (jours)
Inspection des parties chaudes (+ AGP ²)	24 (+2)
Inspection majeure (+ AGP)	45 (+2)
Inspection de l'alternateur	5

Tableau 5 - Délai d'exécution des inspections de maintenance

- **Formation du personnel du client :**

Le prestataire s'engage à former le personnel du client et à faire en sorte que ce dernier maîtrise la maintenance des unités couvertes suivant les normes en vigueur. Le montant total de la formation s'élève à 180,881.00 USD

- **Services de maintenance non planifiés :**

Le client se réserve le droit de solliciter le prestataire pour des prestations urgentes. Ce dernier se doit de prendre en charge les sollicitations et proposer son offre technico-commerciale. La maintenance non planifiée pourra constituer une extension de la portée du contrat ou faire l'objet d'un nouveau contrat indépendant de type TX.

La figure 6 présente un enchaînement agrégé de l'exécution des différents types de services. Également, une cartographie détaillée de l'exécution des différents types de prestation a été développée selon la norme BPMN. (Voir Annexe A-1 A-2 A-3 A-4).

ou au transporteur principal, de sorte que le risque est transféré à l'acheteur lors de la remise des marchandises à ce transporteur sur le lieu d'expédition dans le pays d'exportation.

² AGP : Une innovation dénommée Advanced Gas Path, dont l'installation permet d'améliorer la disponibilité des turbines et de rallonger les délais entre deux arrêts pour inspection.

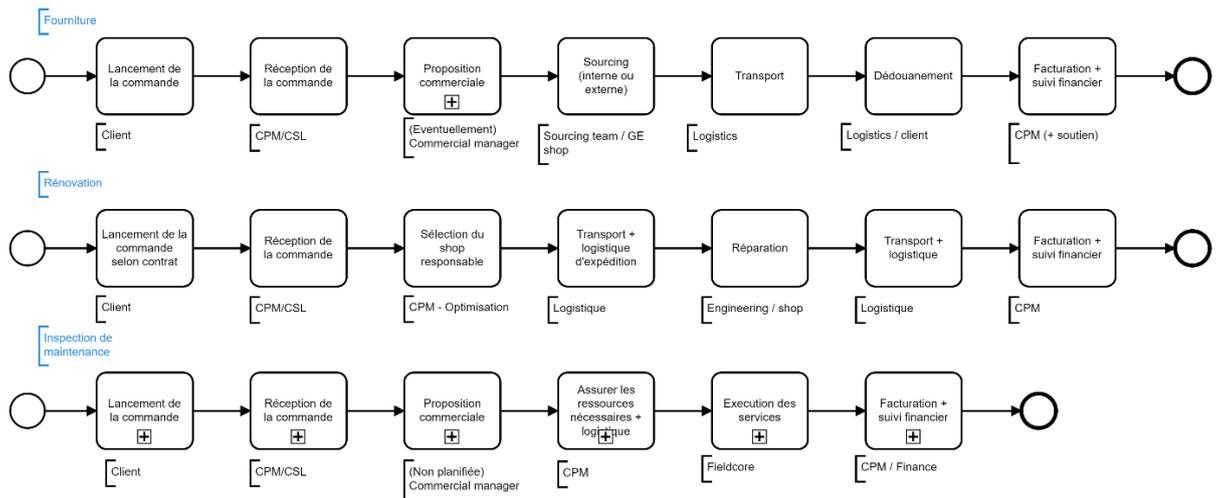


Figure 6 - Enchaînement des différents services fournis par GEPS dans le cadre du contrat

3.5.1.3 Suivi

Ce processus sert à :

- Contrôler les activités effectuées dans le cadre de la planification et de l'exécution ;
- Piloter et optimiser les activités effectuées pour améliorer le service rendu au client ;
- Collaborer avec le client dans le contrôle de l'état d'avancement des opérations ;
- Suivre et évaluer la performance opérationnelle en interne.

Dans les circonstances actuelles, le suivi effectué se résume à un suivi financier des produits et charges relatifs au projet. Certains indicateurs de performance sont également suivis tels que :

- La durée des arrêts pour inspection ;
- Le respect des délais des inspections ;
- Les réserves formulées par le client ;
- Le nombre de non-conformité dans les opérations.

3.5.2 Dysfonctionnement sur le plan opérationnel :

Le diagnostic effectué ayant consisté à confronter la référence de l'exécution prévue par le contrat à la réalité de l'exécution effective nous a permis de détecter des dysfonctionnements dans chaque processus métier de l'entreprise.

3.5.2.1 Exécution

Le chef du projet désigné par GEPS comme responsable du contrat est le premier responsable de l'exécution des prestations prévues. De son point de vue, nombreux dysfonctionnements peuvent être relevés, notamment :

- Contraintes logicielles :

Les contraintes logicielles peuvent désigner un manque d'ergonomie des systèmes utilisés, une incohérence entre le besoin à satisfaire et les fonctionnalités des systèmes, un manque ou une redondance des logiciels utilisés.

Pendant l'exécution, nombreux systèmes sont alimentés afin de garder une traçabilité des opérations. Toutefois, ces logiciels manquent parfois d'ergonomie (ce qui constitue des coûts cachés) et ne servent pas le chef de projet dans son activité opérationnelle. Cette dernière reste assez traditionnelle. (Exemple : La version du contrat utilisée est une version scannée qui contient des incohérences dans sa documentation stratégique tels que montré). Avant de découvrir plus en profondeur les anomalies et incohérences retrouvées dans les données, une illustration de la version utilisée du contrat est consultable dans les annexes C-2, C-3 et C-4.

La traçabilité offerte par ces systèmes sert uniquement un suivi à un niveau stratégique de pilotage ou un suivi pour d'autres fonctions de support (suivi de trésorerie ou de coûts).

- Contraintes logistiques et administratives :

La performance de l'exécution est fortement impactée par des contraintes externes liés à la logistique et au transport. Ces contraintes sont d'autant plus importantes depuis le début de la pandémie, notamment concernant les prix du transport. De plus, Les processus de GEPS ne sont pas en phase avec contraintes administratives exigées par les entités légales, telles que les autorités douanières.

- Contraintes liées à l'approvisionnement et la gestion de la pièce de rechange :

L'approvisionnement est une fonction importante pour la bonne exécution du contrat, notamment pour la fourniture de consommables et des pièces de rechange. Toutefois, cette fonction présente d'importantes anomalies :

- Pour quelques pièces, les informations incluses dans le contrat manquent de structure, d'atomicité et de précision. Multiples allers-retours sont alors indispensables entre le fournisseur et le client. (Exemples : Quelques pièces ne sont pas identifiables depuis les informations renseignées ; une même référence peut avoir des prix différents)

- La gestion de la PDR est effectuée d'une façon unilatérale de la part du client sans concertation avec le prestataire.

- Le prix d'approvisionnement auprès de fournisseurs est parfois supérieur au prix proposé au client dans le contrat, certaines opérations sont effectuées à perte.

3.5.2.2 Suivi

Dans les circonstances actuelles, le suivi effectué se résume à un suivi financier des produits et charges relatifs au projet. Les indicateurs de performance suivis, définis ci-dessus, ne servent point les besoins opérationnels de l'exécution.

Ainsi, Le suivi financier de l'exécution du contrat est un outil insuffisant pour rendre compte de l'état réel des prestations et exigences contractuelles. Opérationnellement, le chef de projet n'est pas soutenu par des outils informatiques pour générer de rapports à partager avec le client comme exigé dans le contrat.

3.4.2.3 Planification

La planification est un processus complexe nécessitant l'intervention de multiples parties prenantes (Client, Fieldcore, Toutes les fonctions au sein de GE), il s'agit du processus le plus important dans l'activité. Le responsable du contrat assume le rôle de coordinateur entre les différentes fonctions. La complexité du processus résulte parfois en des dysfonctionnements

qui apparaissent pendant les arrêts, à cause d'une mauvaise organisation en amont (Exemple : Un retard dans la livraison d'une pièce de rechange peut empêcher l'avancement des travaux sur terrain, une fois l'inspection est en cours. Cet empêchement génèrerait nécessairement un manque à gagner très coûteux pour le client. Ainsi que de potentielles répercussions dépassant la rentabilité économique, au vu de la vitalité du produit final distribué par Sonelgaz). Ces dysfonctionnements altèrent le bon déroulement des opérations et infligent des retards.

3.5.3 Analyse et synthèse :

Ces dysfonctionnements mènent à des exigences contractuelles non respectées et des délais dépassés qui résultent en des pénalités de retard, des charges financières et une détérioration de la qualité du service rendu. Le tableau 6 ci-dessous récapitule les manquements détectés.

Ces dysfonctionnements surviennent à un niveau opérationnel de l'exécution et sont principalement causés par son caractère traditionnel. L'absence d'outils informatiques servant directement le chef de projet dans l'exécution opérationnelle des obligations impliquent forcément un manque de consolidation, de cohérence et de traçabilité dans les opérations.

Processus	Dysfonctionnement
Exécution	<ul style="list-style-type: none"> - Les différentes plateformes utilisées manquent de consolidation et ne satisfont point les besoins du chef de projets dans l'exécution opérationnelle des contrats. - L'exécution opérationnelle des contrats manque de traçabilité et de cohérence. - L'optimisation de la gestion de la PDR étant un des objectifs du contrat, cette dernière doit s'effectuer conjointement entre le client et GE.
Suivi	<ul style="list-style-type: none"> - Le suivi du contrat est fait d'une façon peu formalisée et peu consolidée. - Les obligations contractuelles relatives au suivi ne sont pas systématiquement satisfaites. - Le suivi de la performance opérationnelle et son analyse sont inaccessibles aux décideurs. Aucun outil robuste d'aide à la décision n'est disponible à l'échelle des contrats.
Planification	<ul style="list-style-type: none"> - Inefficacité des méthodes utilisées pour la planification et la préparation. Au cours du déroulement du processus, plusieurs dysfonctionnements apparaissent dus à une mauvaise organisation en amont. - Cumul des retards et dépassement des délais contractuels, dû à des contraintes internes ou externes, résultant en de lourdes pénalités financières.

Tableau 6 - Synthèse des dysfonctionnements dans l'exécution des contrats

Dans le cadre du présent travail, nous nous positionnons au niveau du chef de projet (niveau opérationnel) afin de résoudre les dysfonctionnements relatifs aux processus dont il est directement responsable, à savoir le suivi et l'exécution.

4 Formulation de la problématique :

La synthèse des dysfonctionnements détectés nous a permis d'apprécier plus clairement les zones nécessitant une amélioration. L'anomalie constatée s'agit d'un manque d'optimisation de la gestion des projets de maintenance due à :

- Un manque de consolidation et de traçabilité des opérations dans le cadre de l'exécution des contrats qui ne se base sur aucun outil informatique dédié ou consolidé pour assister le chef de projet à un niveau opérationnel.
- Une obsolescence détectée du processus de suivi et de contrôle, ce qui altère le pilotage des projets et la communication de son avancement au client.

La prise en charge de ces anomalies soulève le questionnement suivant :

« Comment assister opérationnellement les chefs de projets dans la réalisation et le suivi des obligations contractuelles de GEPS afin d'optimiser la gestion du service maintenance ? »

Cette question se révèle d'autant plus importante au vu de la surcharge des chefs de projet et du volume important d'informations traitées qu'implique la diversité et le nombre de prestations.

Le besoin de résoudre cette problématique s'accroît davantage en précisant que le contrat concerné constitue un projet pilote. Ainsi, les dysfonctionnements soulevés sur ce contrat se répercutent sur les autres projets de GEPS également. De manière équivalente, la résolution de cette problématique permettrait d'améliorer les performances de l'entreprise à travers multiples sites, contrats ou projets.

Cette amélioration sera le résultat, d'une part, de la digitalisation de la gestion de l'exécution des contrats en prenant en compte les avantages que cela représente en termes de consolidation, de traçabilité, d'ergonomie et de cohérence, et d'autre part, de la satisfaction d'obligations contractuelles relatives à la collaboration avec le client dans le suivi opérationnel.

La finalité du présent travail consiste en l'amélioration de la gestion des projets de maintenance par la digitalisation de l'exécution et du suivi des contrats.

5 Conclusion

L'étude de l'existant, la compréhension du contexte d'activité et le diagnostic effectué nous a permis d'identifier les dysfonctionnements et de formuler clairement la problématique à résoudre. Par la suite, la solution proposée ainsi que la méthodologie adoptée pour sa conception est présentée.

Chapitre 2 : Etat de l'art

1. Introduction

L'objet du présent chapitre est de réunir les fondements et concepts théoriques sur lesquels se base le présent travail. Ces derniers peuvent être segmentés en quatre grandes parties, à savoir : La maintenance, la digitalisation, la Business Intelligence et la programmation mathématique.

2. Maintenance

2.1 Introduction à la maintenance

La maintenance industrielle est la fonction responsable de maintenir un matériel ou un outil de production dans un état lui permettant d'accomplir ses fonctions requises. Il s'agit d'une fonction structurelle, au vu de son intervention sur l'ensemble des niveaux de l'entreprise, opérationnels comme stratégiques. Le moindre obstacle dans l'efficacité ou la pertinence de la maintenance peut avoir des conséquences indirectes extrêmement préjudiciables pour d'autres fonctions de l'entreprise ; on dit alors que "Quand la maintenance tousse, c'est toute l'entreprise qui s'enrhume." (CUIGNET, 2007)

2.2 Définition de la maintenance

Selon la British Standards Institution (BSI, 1984), la maintenance se définit comme suit : "*Une combinaison de toutes les activités techniques et administratives associées nécessaires pour maintenir un équipement, des installations et d'autres biens physiques dans l'état de fonctionnement souhaité ou les restaurer à cet état*". (BSI, 1984)

La maintenance peut être définie par le biais des objectifs qu'elle vise, à savoir, de :

- Assurer la fonction escomptée du système en termes de disponibilité, fiabilité, stabilité et capacité ;
- Maintenir le système en bon état de fonctionnement en réduisant les risques de sa détérioration ;
- Assurer la sécurité des équipements de production et des actifs concernés. (Springer, 2008)

2.3 Historique

La maintenance existe depuis que l'homme existe. De l'affûtage de routine des premiers outils de l'homme aux réparations nécessaires aux technologies modernes. Toutefois, la maintenance a beaucoup évolué depuis le temps. Passant d'une maintenance corrective et réactive qui subit les pannes et agit en conséquence, à une maintenance plus préventive et proactive qui prévoit les pannes et les aborde avant qu'elles surviennent.

Actuellement, la maintenance est reconnue comme un domaine dans lequel les entreprises doivent investir, plutôt que comme un coût à réduire. Ainsi, la maintenance prend une allure de plus en plus organisationnelle et stratégique. (Aptean, 2018)

2.4 Types de maintenance

On compte 3 types de maintenance, à savoir :

2.4.1 La maintenance corrective

Il s'agit d'une maintenance réactive exécutée après détection d'une panne. Elle sert à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Elle peut être curative en s'intéressant à la cause de la panne ; ou palliative en s'intéressant aux symptômes de la panne. Cette maintenance est déclenchée par l'occurrence d'une panne.

2.4.2 La maintenance préventive

Il s'agit d'une maintenance effectuée à des intervalles prédéterminés. Elle est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

2.4.3 La maintenance améliorative

Il s'agit d'une maintenance préventive effectuée dans le but d'améliorer la performance globale et l'état général d'un équipement ou d'un bien, dans le but d'allonger sa durée de vie ou d'améliorer la qualité du service rendu.

2.5 Management de la maintenance

Tel que précédemment énoncé, la maintenance est d'une importance structurelle qui lui permet d'intervenir à une toute échelle de l'organisation.

Le management de la maintenance inclut les activités des instances de direction qui

- Déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance ;
- Les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance ;
- Visent à améliorer les méthodes adoptées par l'entreprise, y compris dans les aspects économiques. (Noual, 2022)

2.6 Avantages de la bonne gestion de la maintenance

Une étude du cabinet de conseil McKinsey, datant de Mai 2020, annonce que des entreprises avancées ont réalisé des gains d'efficacité en matière de productivité du travail et une diminution de 20 à 30 % des coûts de maintenance, uniquement par une meilleure gestion de la fonction maintenance qui est réalisée par :

- L'optimisation la maintenance préventive ;
- La réduction du nombre de déplacements pour la maintenance ;
- La minimisation des temps de trajet et le partage des connaissances.
- L'introduction des nouvelles technologies telles que la surveillance de l'état par capteurs, la planification, l'ordonnancement, le dispatching et le routage automatisés et dynamiques

Selon la même étude, comme les coûts de maintenance représentent de 20 à 60 % des dépenses d'exploitation globales, selon le secteur et le type d'actif, l'opportunité de réduction des coûts tout en améliorant le fonctionnement des actifs est donc très considérable. D'autant plus que le coût des technologies innovantes est en baisse depuis plusieurs années. Le plus grand cabinet de conseil en stratégie au monde préconise d'investir dans l'optimisation de cette fonction. (McKinsey, 2020)

2.7 Externalisation de la maintenance (contrats de maintenance)

En entreprise, l'externalisation de la maintenance signifie la sous-traitance de cette dernière auprès d'une entreprise spécialisée dans la maintenance des équipements. Cette délégation est généralement régie par des contrats, on l'appelle l'externalisation de la maintenance contractuelle.

Il s'agit d'une méthode de plus en plus répandue dans les entreprises pour entretenir les actifs. On dénombre trois approches de la gestion de la maintenance :

- Une internalisation de l'activité de maintenance ;

- Une approche hybride de gestion de la maintenance ;
- Une externalisation complète de l'activité de maintenance.

Le choix entre ces approches dépend de plusieurs facteurs que nous tentons d'énumérer dans le tableau 7 ci-dessous (Manufacturing, 2014):

Avantages de l'externalisation	Inconvénients de l'externalisation
<p>Réduction des coûts : La maîtrise des coûts est un enjeu majeur pour la plupart des secteurs d'activité et l'une des principales motivations en faveur de l'externalisation. Un contractant externalisé absorbe des charges financières importantes liées au personnel.</p>	<p>Perte de contrôle : La collaboration avec des sous-traitants comporte des restrictions, comme l'incapacité de l'entreprise hôte à gérer directement la main-d'œuvre et à lui donner des instructions. En outre, le client et le prestataire peuvent avoir des approches, des styles de gestion et des philosophies différents, ce qui peut entraîner des conflits.</p>
<p>Flexibilité du personnel et des équipements : Un sous-traitant peut offrir une souplesse en fournissant rapidement le niveau adapté de personnel, de compétences et d'équipement. Ceci évite à l'entreprise focale des situations de surallocation ou de manque de ressources</p>	<p>La rotation du personnel : Les employés internes ont tendance à mieux connaître l'entreprise et ses attentes. Le personnel externalisé n'a pas, en règle générale, autant d'allégeance envers l'entreprise. Ainsi, les connaissances intellectuelles qu'ils possèdent ne sont pas directement gérées par l'entreprise et comportent un haut risque de perte.</p>
<p>Qualité du travail : La sous-traitance permet à l'entreprise d'accéder à des services spécialisés de haute qualité sans pour autant investir dans la formation de son personnel. Il s'agit d'un critère important lorsque le service exige des compétences qui ne sont pas nécessaires de manière continue.</p>	<p>Redondance des rôles de gestion : Les rôles peuvent être dupliqués au sein d'une organisation de clients et de sous-traitants, ce qui augmente le coût global. Ce chevauchement peut provoquer des inefficacités au sein de l'organisation de la fonction.</p>

Tableau 7 - Avantages et inconvénients de l'externalisation de l'activité de maintenance

2.8 Documentation de la maintenance

La documentation représente une ressource essentielle à la bonne gestion de la fonction de maintenance. Elle permet d'établir des références, d'assister les utilisateurs pendant l'activité et de garder un historique des opérations qui peut, par la suite, être valorisé et aider la direction dans la prise de décisions. Ci-dessous nous présentons la typologie des documents au sein du service maintenance :

- Documentation générale :

Il s'agit d'une documentation générale et généraliste, accessible au grand public ou à toutes les organisations. Elle peut s'agir de normes nationales ou internationales, de catalogues de fournisseurs, de revues techniques, d'articles de conférences ou autres. (Noual, 2022)

- Documentation stratégique :

Ce type de documentation est plus confidentiel, on le trouve souvent protégé au sein d'une entreprise particulière. Il s'agit d'une documentation très importante sur laquelle une entreprise peut se baser pour acquérir un avantage concurrentiel. Elle se décompose en quatre grandes parties. (Noual, 2022) :

- o Dossier technique des équipements (DTE) :

Le DTE est la première documentation à partir de laquelle tous les autres dossiers techniques seront créés. Elle doit être la plus complète possible. Elle désigne par excellence l'outil de travail des préparateurs de maintenance ainsi que les équipes opérationnelles. Il est souvent utile de l'informatiser complètement pour satisfaire les besoins de gestion.

- Nomenclature des équipements ou inventaire du parc matériel :
Il s'agit d'un inventaire des biens durables de l'entreprise, elle est souvent classée et codifiée afin de constituer une nomenclature unique et référentielle. Cette nomenclature facilite l'établissement des budgets de maintenance, la mise en place de plans de maintenance préventive et des méthodes de maintenance.
- Plan de maintenance :
Il s'agit d'un plan qui décrit les interventions de maintenance correctives et préventives.
- Les fichiers d'historique :
Il s'agit d'un enregistrement des défaillances, pannes et informations relatives à la maintenance d'un bien. L'historique retrace la vie du matériel en indiquant chronologiquement tous les faits marquants de maintenance ainsi que les améliorations qui auront été apportées à l'équipement depuis sa mise en service. L'historique peut également avoir une fonction économique par l'analyse des données qu'il contient.

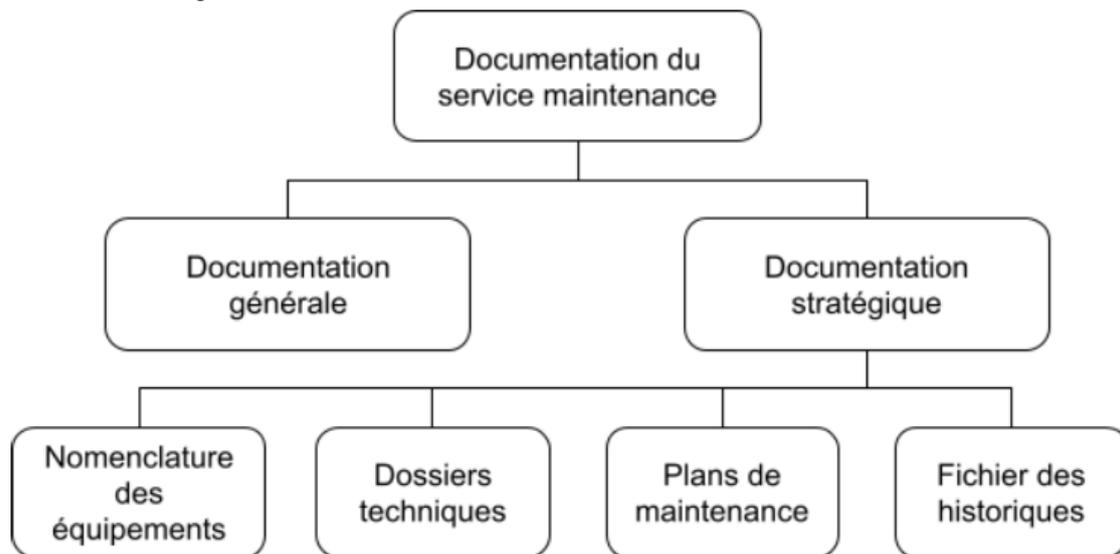


Figure 7 - Documentation de la maintenance (Noual, 2022)

1.9 Fonctionnement et maintenance des turbines à gaz

La turbine à gaz constitue un moteur à combustion interne à flux continu. On notera que le terme de turbine à gaz provient de l'état du fluide de travail, qui reste toujours gazeux, et non du combustible utilisé, qui peut être aussi bien gazeux que liquide (les turbines à gaz utilisent généralement du gaz naturel ou des distillats légers). (Mines Paristech, 2022)

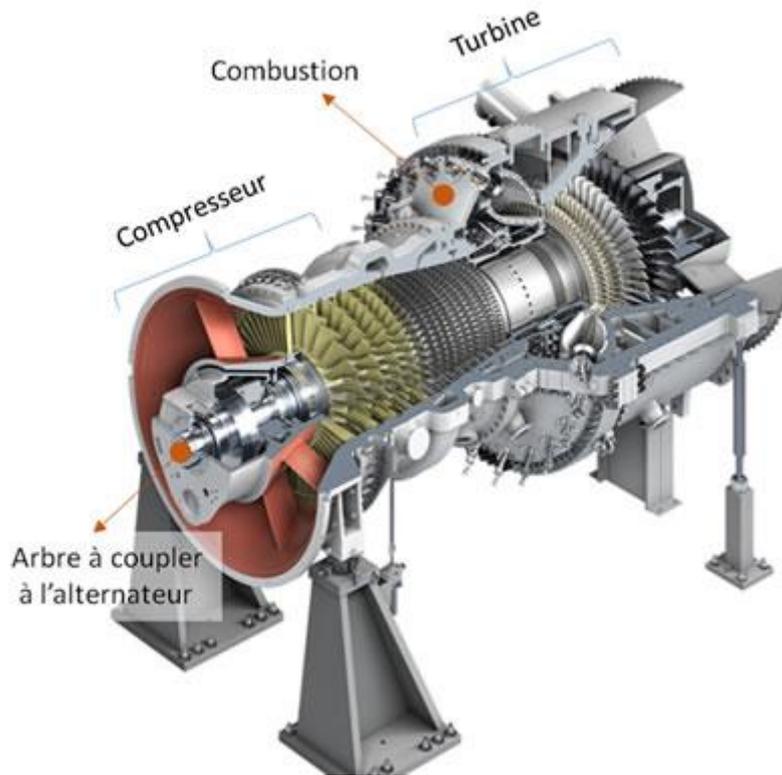


Figure 8 - Schéma illustratif des composantes d'une turbine à gaz – Source (energieplus, 2020)

2.9.1 Fonctionnement

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à gaz (aussi appelée turbine à combustion) est composée de trois éléments :

- **Un compresseur** : il a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ ; (Mines Paristech, 2022)
- **Une chambre de combustion** : Il s'agit d'une chambre dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement ; (Mines Paristech, 2022)
- **Une turbine** : dans cette partie du système, sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion. (Mines Paristech, 2022)

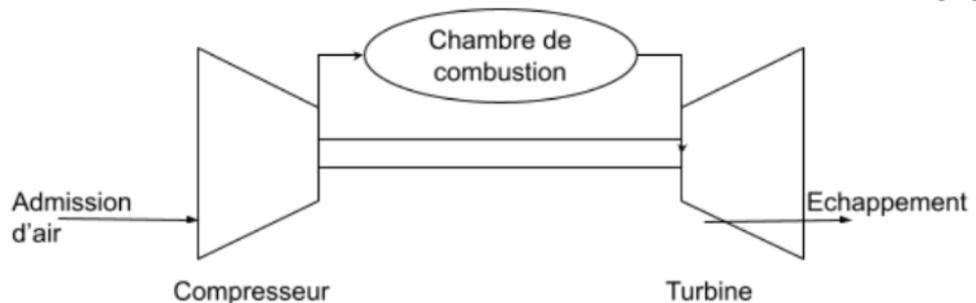


Figure 9 - Schéma simplifié d'une turbine à gaz simple

Les turbines à gaz ont diverses applications, allant des moteurs à réaction aux lasers à gaz sophistiqués et aux souffleries supersoniques. La turbine à gaz peut alors jouer, selon le contexte, le rôle d'un jet, un turboréacteur, un turbo fan ou un turbopropulseur. Par la transformation de l'énergie chimique en énergie cinétique, la turbine peut servir dans la production de l'électricité ou dans la constitution d'un système moteur. (Mines Paristech, 2022)

2.9.2 Maintenance des turbines à gaz

La maintenance des turbines à gaz est soumise aux règles générales de la gestion de la maintenance. Les turbines subissent alors des maintenances préventives et correctives selon des standards différents.

Les turbines à gaz subissent deux types de maintenance :

- Les inspections de maintenance des différentes parties de la turbine : Il s'agit d'inspections qui permettent de vérifier et de rétablir en état, une à une, les différents composants du système (Alternateur, chambre de combustion, turbine, etc.)
- La rénovation des organes nobles : il s'agit de pièces spécifiques qui sont critiques au fonctionnement du système, elles nécessitent alors un traitement particulier. D'autant plus que leur prix est très élevé. La rénovation est une consultation de l'état de ces pièces spécifiques et leur remise en état pour assurer la continuité du fonctionnement du système.

Les inspections de combustion ont lieu à des délais prédéterminés par les constructeurs des turbines. Différentes stratégies de planification peuvent être adoptées, tel que le montre la figure 10 extraite d'une documentation de General Electric Energy (General Electric Company, 2004)

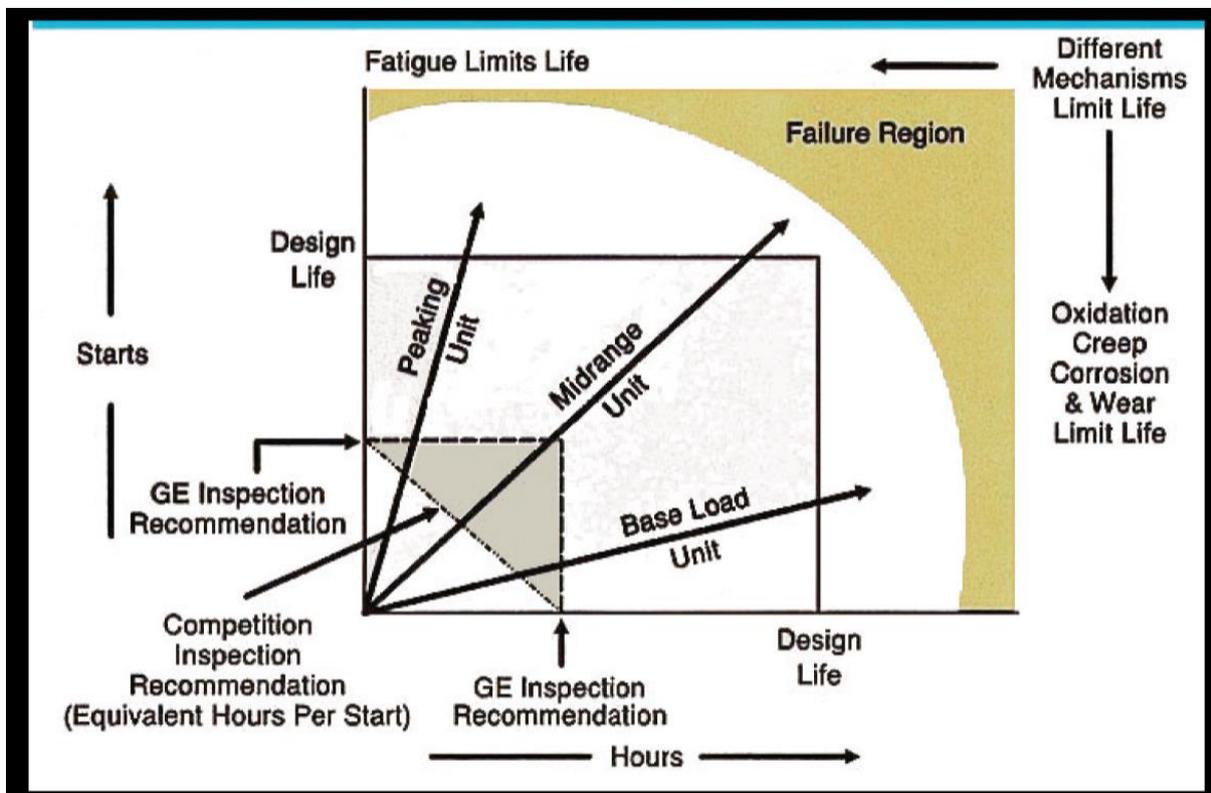


Figure 10 - Détermination des besoins de maintenance d'une turbine à gaz (General Electric Company, 2004)

3 Digitalisation

3.1 Définition

L'introduction d'outils informatiques dans les opérations d'une entreprise consiste à prendre un virage numérique dans la stratégie et l'organisation de l'entreprise. Ce virage implique une meilleure gestion et exploitation des données dont dispose la société, ce qui devient de plus en plus indispensable pour garder ou acquérir un avantage concurrentiel.

La digitalisation est définie comme étant un procédé qui vise à remplacer un outil ou un processus en un système par un code informatique dans le but de le rendre plus performant.

La transformation digitale est un concept plus global qui se définit comme étant "le processus qui consiste à utiliser les technologies numériques pour créer de nouveaux processus commerciaux, une culture et des expériences client afin de répondre aux exigences changeantes des entreprises et du marché." (Salesforce, 2022)

3.2 Historique et impact de la digitalisation sur les organisations

A partir des années 1960, l'informatique s'est développée dans le domaine scientifique pour permettre l'automatisation de certains calculs. Dans son ouvrage paru en 2015, François Cazals identifie, à partir de 1785, des périodes d'innovations majeures ayant touché successivement les industries suivantes (Cazals, 2015) :

- 1785 : Les forces hydrauliques : Industrie du textile et du fer.
- 1845 : La machine à vapeur : industrie de l'acier et les chemins de fer.
- 1900 : l'électricité, le moteur à explosion et la chimie.
- 1950 : La pétrochimie, l'électronique et l'aviation.
- 1990 : L'informatique, l'internet et les télécommunications.

A partir des années 90, le World Wide Web (WWW) apparaît, il s'agit d'un système qui permet la consultation des informations via un réseau informatique.

A partir de 2007, suite à une innovation du Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN), des logiciels permettant le partage et la centralisation des informations ont été mis à la disposition des organisations et des individus.

Suite à cela, les innovations se multiplient d'une manière exponentielle refondant les modes organisationnels de communication et d'information, on constate alors la naissance de versions successives du Web, comme suit :

Version Web	Année	Innovation
Web 1.0	1990	Possibilité de trouver une information sur le web
Web 2.0	2000	Mondialisation et socialisation d'Internet
Web 3.0	2010	Accessibilité d'internet sur le mobile
Web 4.0	2020	Web intelligent et objets connectés

Tableau 8 - Evolution du Web à travers le temps (Cazals, 2015)

L'industrie n'a pas manqué d'évoluer dans le même sens du Web, forçant les processus métiers à basculer vers une productivité maximale. On constate alors l'émergence de différentes versions de l'industrie, tel que le montre le tableau 9 ci-dessous :

Génération	Année	Innovation
Industrie 1.0	1780	Mécanisation, Énergie à vapeur
Industrie 2.0	1870	Production de masse, ligne d'assemblage, électrification
Industrie 3.0	1969	Automatisation, informatique et électronique
Industrie 4.0	2020	Cyber systèmes, Internet des choses, Data

Tableau 9 - Les révolutions industrielles (Energieplus, 2020)

Ainsi, de plus en plus, l'entreprise est inévitablement amenée à se digitaliser pour s'adapter à un environnement en perpétuelle évolution. Il devient impossible d'ignorer l'impact de la digitalisation sur les organisations, mais également sur le rapport des employés au travail.

Ainsi, Il ressort de la revue de la littérature effectué par Martine Brasseur et Fatine Biaz en 2018 que *“la digitalisation intervient de façon ambivalente tant sur le bien-être que sur la satisfaction au travail et peut aussi bien être pourvoyeuse de sens, tout autant qu'en amener la perte.”* (Brasseur, 2018)

3.3 Systèmes d'information

3.3.1 Définition

Le système d'information (SI) est un ensemble organisé de ressources : matériel, logiciel, personnel, données, procédures... permettant d'acquérir, de traiter, de stocker des informations (sous forme de données, textes, images, sons, etc.) dans et entre des organisations (Reix, 2004)

3.3.2 Structure d'un Système d'Information

Un système d'information est constitué de (Zouaghi, 2021):

- Ressources technologiques : ces ressources peuvent être
 - o Matérielles : Il s'agit de ressources physiques telles que des périphériques d'entrée et de sortie de données, des centres de traitement ou des supports de stockage
 - o Logicielles : il s'agit de programmes informatiques qui permettent d'effectuer des tâches et piloter le fonctionnement du système en assurant la satisfaction des contraintes techniques et matérielles.

- Ressources humaines : Deux types de ressources humaines interviennent dans le contexte du système d'information
 - o Les concepteurs : Il s'agit des informaticiens développeurs de l'outil qui agissent en amont pour la conception, la maintenance et l'entretien du système
 - o Les utilisateurs : Il s'agit des utilisateurs finaux du système, ceux pour lesquels ses fonctionnalités doivent bénéficier. Les fonctionnalités rendues accessibles par un système d'informations servent différents niveaux hiérarchiques, allant d'un simple déroulement d'une tâche opérationnelle à l'alignement des SI avec les visions stratégiques de l'entreprise.

- Ressources organisationnelles et managériales : Il s'agit de connaissances et ressources nécessaires à la conception et au déploiement du système d'informations. Tel que les processus métiers de l'entreprise, les normes et procédures de gestion ou l'autorité et le soutien de la direction générale. (Reix, 2004)

3.4 Développement de logiciel

Selon une définition avancée par l'IEEE, le Génie logiciel est "*l'application d'une approche systématique, disciplinée et quantifiable au développement, à l'exploitation et à la maintenance de logiciels*" [IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology] (IEEE, 2022).

Le génie logiciel a pour but de produire des logiciels répondant aux attentes des clients en tenant compte des exigences de taille, de fiabilité et de performance sous contraintes des délais et coûts.

3.4.1 Cycle de vie d'un logiciel

Il s'agit également d'une démarche composée de plusieurs étapes depuis la demande d'un maître d'ouvrage à la mise hors service du produit, incluant ainsi (Tani, 2020) :

- **L'analyse des besoins et l'étude des spécifications :**
Il s'agit d'une collaboration entre l'utilisateur et le développeur qui a pour but d'élaborer un cahier de charge. Le développeur doit comprendre le domaine d'activité et le contexte auquel le logiciel est destiné, afin d'établir les fonctions à inclure dans le logiciel et enfin établir une étude de la faisabilité de la solution.
- **La conceptualisation :**
La conceptualisation permet de déterminer la façon dont le logiciel fournit les différentes fonctionnalités recherchées. Il est nécessaire d'établir une conception générale relatant l'architecture globale du système mais également une conception détaillée des algorithmes qui le régissent. C'est dans cette phase que les formalismes de modélisation (tel que le langage UML) interviennent.
- **Le développement :**
Le développement signifie l'écriture du code dans le langage de programmation choisi en suivant les algorithmes établis dans la phase de conceptualisation.
- **Les tests :**
Les tests représentent une suite de vérifications effectuées par les ingénieurs sur un ensemble de données dans le but de détecter et d'anticiper le maximum de bugs avant la livraison du produit.
- **La livraison :**
Il s'agit de la livraison de la solution au client, une solution qui satisfait le cahier de charge préétabli. Cette phase inclut également le déploiement de la solution et ce qu'elle nécessite en termes d'installation du logiciel, de formation du personnel et d'assistance aux utilisateurs.
- **La maintenance :**
La maintenance sert à maintenir le logiciel livré en état lui permettant de satisfaire ses fonctions. Elle peut avoir un caractère correctif, préventif ou amélioratif. Comme tout type de maintenance, la maintenance des systèmes est généralement régie par des contrats de maintenance.
- **Documentation :**
La documentation est un texte écrit qui accompagne les étapes du cycle de vie du logiciel. Il sert de support à l'utilisateur après la livraison mais également pour des potentielles opérations de maintenance.

3.4.2 Logiciel - Définition

Un logiciel est, selon le vocabulaire officiel de l'informatique, l'«*ensemble des programmes, procédés et règles, et éventuellement de la documentation, relatifs au fonctionnement d'un ensemble de traitement de données*» (Journal Officiel Français du 17 janvier 1982).

3.4.3 Unified Modeling Language

La modélisation sert à établir une abstraction de la réalité, dans le but de faciliter la compréhension d'un système.

Le Unified Model Language (UML) est un langage de spécification et de modélisation qui permet à l'ingénieur de

- Modéliser un système ;
- Faciliter la communication entre les membres de son équipe ;
- Faciliter la communication avec les clients.

Pour ce faire, le langage se base sur différents diagrammes que nous énumérons dans la figure 11 ci-dessous :

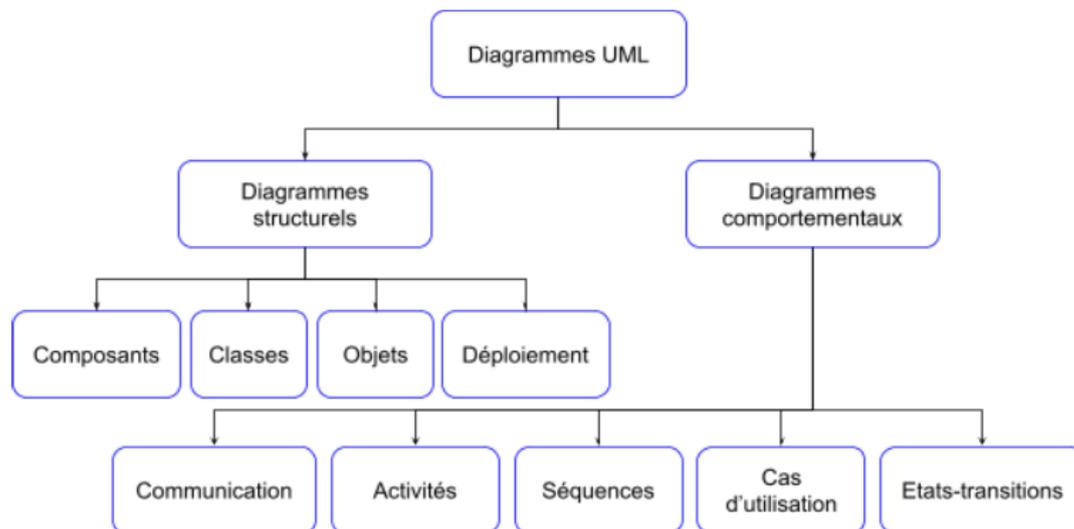


Figure 11 - Schéma récapitulatif des diagrammes UML (Tani, 2020)

On appelle Diagrammes d'interactions, les diagrammes d'états-transitions, de cas d'utilisation et de séquences. (IBM, 2021)

1. Diagramme de cas d'utilisation :

Un cas d'utilisation décrit une fonction qu'un système exécute pour atteindre l'objectif de l'utilisateur. Un cas d'utilisation doit produire un résultat observable qui a de la valeur pour l'utilisateur du système.

Le diagramme de cas d'utilisation sert à énumérer les fonctionnalités que le système doit offrir. Ces fonctionnalités sont présentées sous forme de cas d'utilisation, tel que montré dans l'annexe D-1.

2. Diagramme de séquence :

Une séquence représente une suite de messages entre des objets du système en interactions.

Le diagramme de séquence représente les interactions entre les acteurs et les objets du système, ou entre l'utilisateur et le système. Un exemple de diagramme de séquence est montré dans l'annexe D-2.

3. Diagramme d'état-transitions :

Un diagramme de d'état-transition est utilisé pour représenter une machine à états finis. Ces diagrammes sont utilisés pour modéliser des objets qui ont un nombre fini d'états possibles et dont l'interaction avec le monde extérieur peut être décrite par ses changements d'état en réponse à un nombre fini d'événements. Ce type de diagramme d'états-transitions permet de décrire les états que prend un objet pendant sa durée de vie, ainsi que les transitions entre ces états, tel que montré dans l'annexe D-3.

3.5 Base de données relationnelles

3.5.1 Définition et avantages

Selon Oracle, une base de données se définit comme étant un *ensemble d'informations qui est organisé de manière à être facilement accessible, géré et mis à jour. Elle est utilisée par les organisations comme méthode de stockage, de gestion et de récupération de l'information*” (Oracle, 2020)

Une base de données relationnelle est alors un *“un type de base de données qui stocke et fournit un accès à des points de données liés les uns aux autres. Les bases de données relationnelles sont basées sur le modèle relationnel, un moyen intuitif et simple de représenter des données dans des tables.”* (Oracle, 2020)

Avant l'émergence du modèle relationnel, chaque application stockait des données au sein de sa propre structure unique. Ceci impliquait des difficultés lors du développement des applications pour l'accès aux données et leur modification. Le modèle relationnel est conçu pour standardiser la structuration des données susceptibles d'être utilisées par plusieurs applications.

Les bases de données relationnelles sont dotées de propriétés cruciales désignées par l'acronyme ACID

- Atomicité : Cette propriété définit tous les éléments constituant une transaction de base de données.
- Cohérence : Ceci se fait par la vérification que toutes les “instances” d'une base de données contiennent les mêmes données à tout moment.
- Isolement : La capacité de la BDD à conserver invisible l'effet d'une transaction aux autres utilisateurs jusqu'à ce que son engagement soit effectif, afin d'éviter tout confusion
- Durabilité : La BDD garantit que les modifications de données deviennent permanentes une fois que l'engagement de la transaction est effectif. (Oracle, 2020)
-

3.5.2 Méthode MERISE

Acronyme signifiant Méthode d'Etude et de Réalisation Informatique par les Sous-Ensembles ou pour les Systèmes d'Entreprise, La méthode MERISE est un outil largement utilisé

actuellement pour la création des bases de données et ainsi la conception des systèmes informatiques. Cette méthode se caractérise par :

- Une approche systémique modélisant l'entreprise sous forme de systèmes ;
- Une séparation entre données statiques et traitements ;
- Une approche par niveau (conceptuel, organisationnel, logique et physique) (BAPTISTE, s.d.)

Pour l'application de la méthode MERISE, quelques étapes doivent être déroulées. Nous les énumérons ci-dessous :

1. **Le dictionnaire des données :** Il s'agit d'un document qui permet de recenser, de classer et de trier toutes les données collectées. Ce dictionnaire contient des données sur les données afin d'établir la sémantique et la préserver au cours du traitement, le tableau 10 illustre un dictionnaire de données :

Nom de la donnée	Format	Longueur	Type		Règle de calcul	Règle de gestion	Document
			Élémentaire	Calculé			

Tableau 10 - Dictionnaire des données

2. **Les dépendances fonctionnelles :** L'établissement des dépendances fonctionnelles permet de comprendre les liens existants entre chaque donnée. Il s'agit de la pierre angulaire de toute l'analyse des données.

Une donnée B dépend fonctionnellement (ou est en dépendance fonctionnelle) d'une donnée A lorsque la connaissance de la valeur de la donnée A nous permet la connaissance d'une et au maximum une seule valeur de la donnée B.

Cette étape nous permet d'établir un graphe des dépendances fonctionnelles. Il s'agit d'un graphe dont :

- Les sommets représentent les données {Donnée i ; $i \in C [1,n]$ }
- Les arcs {donnée i, donnée j ; $i, j \in C [1,n]$ } nous informent que {donnée j} dépend fonctionnellement de {donnée i}

La figure 12 montre une illustration d'un graphe des dépendances fonctionnelles. (BAPTISTE, s.d.)

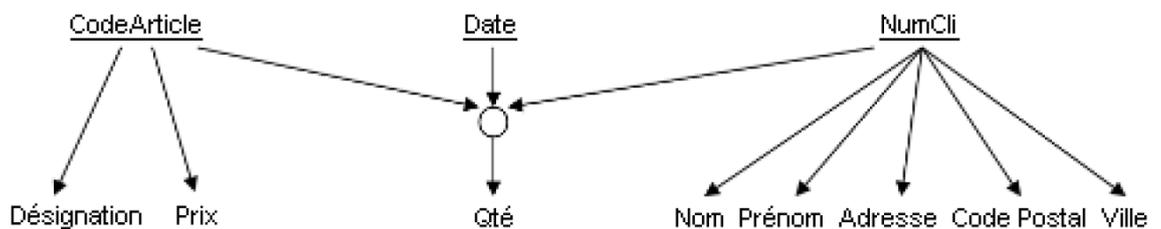


Figure 12 - Graphe des dépendances fonctionnelles

3. Modèle conceptuel des données

Le Modèle Conceptuel des Données (MCD) introduit la notion d'entités, de relations et de propriétés, il se construit à la base du graphe des dépendances fonctionnelles. Le

MCD permet de grouper les données dans des *types entités* reliés par des *relations*, tel qu'illustré dans la figure 13 ci-dessous (BAPTISTE, s.d.) :

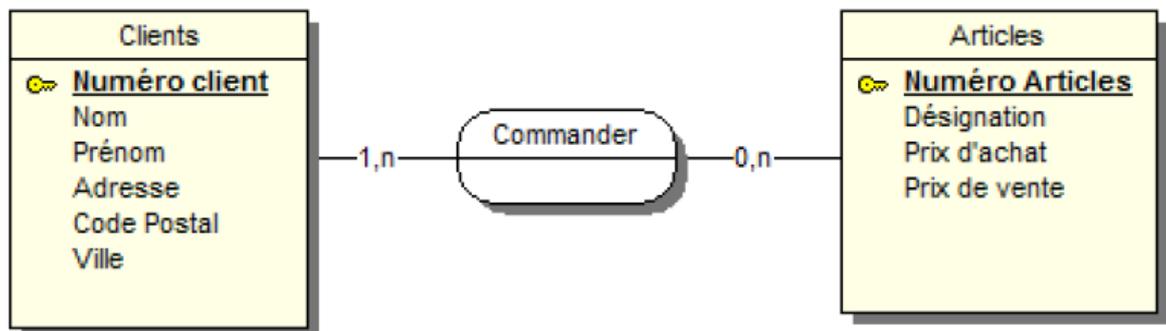


Figure 13 - Exemple de Modèle Conceptuel de Données

4. Modèle Logique de Données

Le Modèle Logique des Données (MLD) est la suite normale du processus Merise. Il sert à interpréter le MCD en un langage plus proche du modèle physique. Il transforme le modèle entités-relations selon certaines règles déterminées pour établir l'architecture des tables du modèle physique

5. Modèle Physique des Données

Construire le Modèle Physique des Données consiste à transformer le Modèle Logique des Données en une suite de relations. Cette étape finalise le processus de traitement des données. L'implémentation des bases de données peut être réalisée de façon optimale. (BAPTISTE, s.d.)

3.5.3 Automatisation avec VBA

Visual Basic for Applications (VBA) est un langage de programmation créé par Microsoft en 1993, il permet d'automatiser et de personnaliser des traitements dans Microsoft Office. Le langage est utilisé pour automatiser de simples opérations dans le tableur comme pour développer d'importants modules permettant des traitements complexes de données. (VBA, 2020)

4 Business Intelligence

Dans un contexte de marché de plus en plus compliqué et difficile à appréhender, les entreprises sont amenées à prendre des décisions intelligentes pour s'orienter et s'adapter aux aléas de leurs environnements.

A un niveau fonctionnel ou stratégique, le nombre de paramètres et d'alternatives à appréhender avant la prise de décision peut être écrasant pour les managers. D'autre part, les données détiennent un potentiel énorme d'informations que les décideurs peuvent utiliser pour une prise de décision factuelle. Ainsi, le besoin d'un outil qui permet l'utilisation des données pour la prise de décision est de plus en plus palpable

4.1 Définitions

Le dictionnaire Webster définit la Business Intelligence comme étant "la capacité à appréhender les interrelations des faits présentés de telle manière à orienter l'action vers un but désiré" (Webster, 2020)

L'exploitation des données est une étape nécessaire et préalable à leur utilisation effective dans la prise de décision.

Le but de la Business Intelligence est de transformer les données brutes en informations pertinentes et utiles. (Oracle, 2020)

4.2 Principaux besoins des entreprises

En termes de stratégies liées aux données, les entreprises rencontrent trois principaux besoins : (Zouaghi, 2021)

- Historisation : Il s'agit d'un besoin primaire en termes de manipulation et exploitation des données. Une structure permettant l'historisation des données tout en assurant le maintien de leur qualité est nécessaire pour l'élaboration d'une stratégie qui valorise les données et les utilise comme outil d'aide à la décision. Différentes solutions peuvent se présenter aux entreprises, tels que des systèmes d'information plus ou moins informatisés.
- Centralisation : La centralisation des données issues de plusieurs systèmes et sources offre une vue globale aux systèmes, et ainsi à leurs utilisateurs. La consolidation est, d'une part, un outil efficace pour la validation des données et informations. Et d'autre part, un enjeu majeur pour les entreprises souhaitant confronter et inclure les différentes fonctions dans la prise de décision.
- Analyse : L'analyse des données est ce qui permet de valoriser les données et permet, par des méthodes statistiques multivariées ou autres, de les élever au rang d'informations utiles aux affaires. L'analyse des données permet de traiter un nombre important de données et d'en dégager des aspects intéressants.

C'est dans cette optique qu'intervient la business intelligence ayant pour but d'optimiser l'utilisation des données et leur utilité pour les affaires.

4.3 Architecture de la BI

Un système de Business Intelligence inclut trois principaux composants :

- Une source de données ;
- Un entrepôt de données et des magasins de données ;
- Des méthodologies d'analyse de données et de Business Intelligence. (Goillkar, 2020)

Ces composants sont structurés comme montré dans la figure 14.

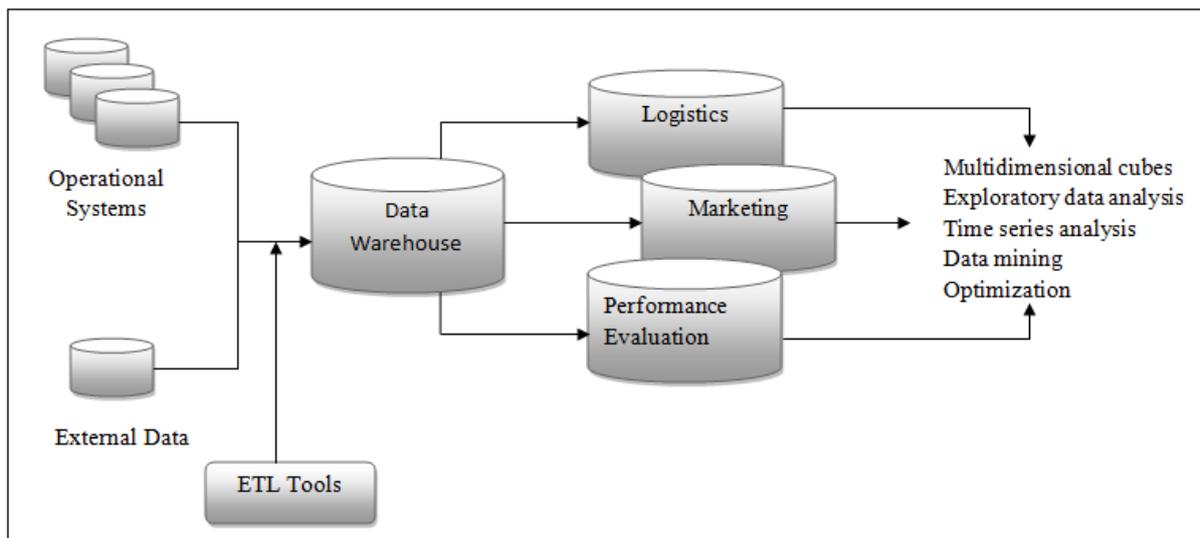


Figure 14 - Architecture de la Business Intelligence - Source (Goillkar, 2020) (Medium)

4.4 Processus ETL

Le processus ETL est le processus responsable de l'extraction de données, leur transformation et leur chargement dans l'entrepôt de données. Il est conseillé que ce processus soit le plus automatisé possible en incluant des fonctionnalités d'actualisation adéquates. (Microsoft, 2022)

4.4.1 Extract

La première étape du processus ETL consiste à extraire les données des différentes sources disponibles, en tenant compte de la spécificité de chacune. Les sources de données peuvent être des bases de données, des systèmes d'information ou autres. L'enjeu est ensuite de les consolider et standardiser leurs formats avant l'utilisation. (Microsoft, 2022)

4.4.2 Transform

Il s'agit de la deuxième étape du processus qui a pour but de compiler, nettoyer, convertir et reformater les données extraites avant leur chargement. En fonction de la qualité des données traitées, cette phase peut prendre une durée plus ou moins importante. (Microsoft, 2022)

4.4.3 Load

Il s'agit de l'étape finale du processus ETL qui consiste à introduire les données dans le data Warehouse, en s'assurant de leur intégrité et du maintien de leur qualité. (Microsoft, 2022)

4.5 Power BI

4.5.1 Définition

Power BI est un logiciel interactif de visualisation de données développé par Microsoft, principalement axé sur la Business Intelligence. Il fait partie de la plateforme Microsoft Power Platform. Le logiciel a été lancé en 2014 afin d'accompagner l'émergence de l'utilisation des données dans le management. (Goillkar, 2020)

4.5.2 DAX

Data Analysis Expressions (DAX) est un langage de programmation utilisé au sein de Power BI. Il est constitué d'un ensemble de fonctions, d'opérateurs et de constantes qui peuvent être utilisés dans une formule, ou expression, pour calculer et renvoyer une ou plusieurs valeurs. Plus simplement, DAX aide à créer de nouvelles informations à partir des données déjà présentes dans un modèle. (Microsoft, 2022)

4.5.3 Visualisations

La visualisation des données consiste à traduire des informations dans un contexte visuel, tel qu'une carte ou un graphique, afin de faciliter la compréhension des données par le cerveau humain et d'en tirer des enseignements. L'objectif principal de la visualisation des données est de faciliter l'identification des modèles, des tendances et des valeurs aberrantes dans les grands ensembles de données. (Brush, 2022)

5 La programmation mathématique

La programmation mathématique est un ensemble de méthodes ou processus mathématiques dont le but est de trouver un optimum local ou global pour un problème décisionnel donné. (Eurodecision, 2022)

La programmation mathématique englobe plusieurs disciplines, à savoir :

5.1 La programmation linéaire

Il s'agit d'une optimisation linéaire qui est utilisée lorsque les relations entre ces les variables de décisions sont linéaires. Sa résolution est plutôt maîtrisée au vu de la simplicité des problèmes traités.

5.2 La programmation linéaires en nombres entiers

Il s'agit d'une programmation linéaire dont les variables sont discrètes et entières. Elle introduit la notion des variables binaires qui ouvrent un champ important de possibilités de modélisation.

5.3 La programmation non linéaire

Elle est utilisée lorsque les relations entre les décisions ne sont pas exprimées de façon linéaire, même avec des hypothèses simplificatrices. Elle est plus générale que la programmation linéaire mais a le défaut de ne pas garantir d'avoir les meilleures décisions au vu de la complexité des problèmes modélisés.

5.4 La programmation dynamique

Cette discipline est adaptée aux cas où le problème décisionnel possède une propriété de sous-optimalité, c'est-à-dire que des décisions bonnes pour le problème global sont aussi bonnes pour des sous-problèmes.

5.5 Résolution des problèmes mathématique

La complexité des algorithmes utilisés pour la résolution des problèmes mathématique dépend du type et de la complexité du problème. Ce domaine de recherche a connu une forte activité ayant conduit à l'apparition de plateformes de calcul puissantes, tel que des langages de programmation ou des solveurs, tous se basant sur une approche scientifique et mathématique.

Beaucoup d'applications industrielles de la Programmation Linéaire existent aujourd'hui dans les domaines pétroliers, de l'énergie, de la gestion de projets ou de maintenance.

6 Conclusion

Ce chapitre a fait ressortir les aspects théoriques et conceptuels concernant la maintenance, la Digitalisation, la Business Intelligence et autres. Ces différents aspects constituent la base théorique sur laquelle se base la démarche adoptée dans le chapitre suivant pour l'élaboration de la solution.

*CHAPITRE 3 : Digitalisation de la
gestion opérationnelle des projets*

1 Introduction

Dans cette partie, nous présentons la résolution de la problématique initialement formulée. La solution proposée permet de digitaliser la gestion de l'exécution du contrat, ceci a pour finalité d'assurer une meilleure traçabilité des opérations, ainsi qu'une meilleure consolidation et cohérence des données traitées.

2 Structure de la solution

La conception de la solution visée consiste en la création d'un outil digitalisé qui centralise l'activité opérationnelle du chef de projet. L'outil est constitué de

- **Une plateforme « e-contract » :**

Il s'agira d'un système d'information qui englobera et contiendra les différentes parties de la solution. La solution sera destinée pour une utilisation de la part des chefs de projet lors de l'exécution opérationnelle du contrat.

Les fonctionnalités visées par la plateforme seront principalement :

- La constitution d'un jumeau numérique du projet ;
- L'admission de mises à jour en continu au fur et à mesure de l'avancement des opérations ;
- L'automatisation des différents traitements de façon à rendre la solution reproductible et facilement adaptable à d'autres projet et contrats ;
- La centralisation de l'ensemble de l'exécution en permettant l'accès aux tableaux de bord et la base de données.

Quelques contraintes sont à prendre en considération dans le développement de la plateforme, tel qu'une potentielle résistance au changement de la part des utilisateurs finaux, ou la possibilité que la plateforme accentue le dysfonctionnement lié à la multitude des systèmes initialement utilisés.

- **Base de données relationnelle (BDD) :**

Il s'agira de la phase cachée qui régit la solution. Ainsi, elle permettrait de structurer, en arrière-plan, les données initiales se trouvant sous un format brut standard des contrats signés par GEPS pour les transformer vers un format précis et fiable qui façonne un Data Warehouse utilisé par un le tableau de bord.

De façon équivalente, l'implémentation de la base de données devrait prendre en compte certaines contraintes liées au nombre déjà élevé de systèmes utilisés et à la résistance au changement.

- **Tableaux de bord :**

Il s'agira d'un outil visuel permettant l'amélioration du suivi de l'exécution des projets de maintenance. Cet outil sera destiné aux chefs de projets pour les assister dans l'exécution

opérationnelle des contrats, mais également à des potentiels décideurs de plus haut niveau pour apprécier l'état d'avancement et effectuer des analyses. Les avantages visés par l'introduction des tableaux de bord dans le processus de suivi sont principalement :

- Le suivi opérationnel et quotidien de l'exécution du contrat ;
- L'amélioration de la communication entre GEPS et le client ;
- Un suivi stratégique pour les projets à long terme ;
- Assistance des décideurs dans la prise de décision.

La structure de la solution est récapitulée dans la figure 15 :



Figure 15 Structure de la solution

3 Méthodologie de développement et de mise en place de la solution

Le développement et la mise en place de la solution s'est fait en suivant une méthodologie de création d'un Logiciel Informatique adaptée au contexte de l'étude, en lui intégrant, en partie, la méthodologie MERISE pour la conception des bases de données relationnelles, le processus ETL pour la mise en place du tableau de bord, ainsi que la modélisation UML pour la conception du logiciel. La figure 16 récapitule la démarche adoptée pour la conception de la solution :

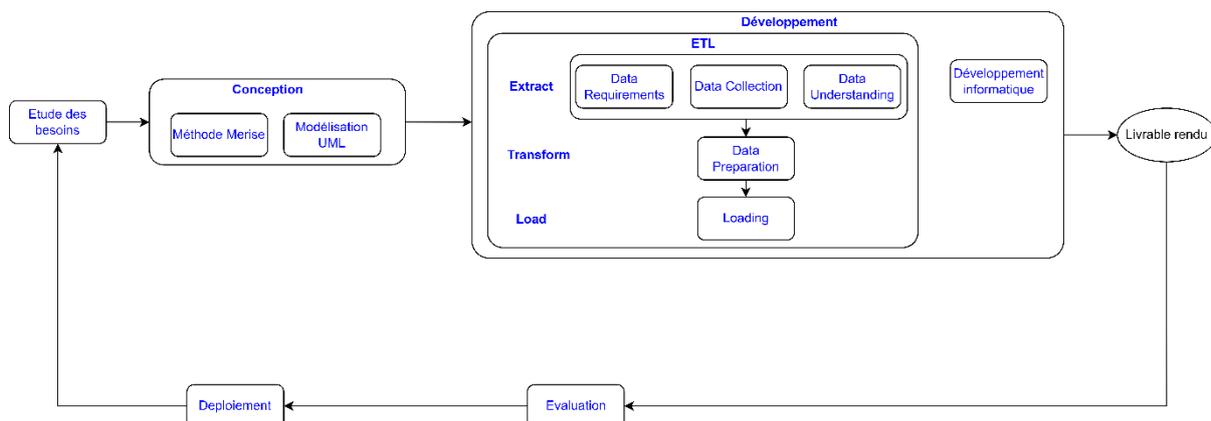


Figure 16 - Méthodologie de conception de la solution

Afin de contourner les contraintes liées à la résistance au changement de la part des utilisateurs finaux de la solution, nous avons décidé en accord avec les responsables de GEPS d'implémenter la plateforme sur Microsoft Excel en utilisant le langage de programmation

VBA, ce choix est motivé par l'universalité de l'outil et son utilisation préalable de la part des employés de GEPS.

La base de données est également contenue sur Excel, en prenant des dispositions pour garantir la qualité des données, dans une vision de centralisation et de consolidation au sein de la gestion des projets. Ce logiciel tableur est choisi au vu de la nature de la solution destinée à une utilisation au sein de projets individuels, le volume des données traitées n'est donc pas trop volumineux.

Afin de construire la solution, nous commençons par étudier les besoins des affaires dans le but de les identifier et de les valider, la conception de la solution sera ensuite effectuée en modélisant le système informatique et la base de données à l'aide du langage UML et de la méthode Merise. Le développement effectif de la solution se fera par la suite par la programmation informatique de la plateforme et le déroulement du processus ETL pour la création du tableau de bord. Une évaluation suivra pour évaluer la solution avant qu'elle ne soit déployée.

3.1 Etude des besoins

Le diagnostic effectué et précédemment présenté dans la partie état des lieux a permis d'analyser la situation de l'entreprise et d'identifier le besoin de la digitalisation de l'exécution opérationnelle du contrat.

Rappelons que l'exécution du contrat comporte 5 types de prestations, à savoir :

- La fourniture de la pièce de rechange ;
- La rénovation des organes nobles ;
- L'assistance technique à la maintenance des turbines ;
- La formation du personnel du client ;
- La maintenance planifiée de l'alternateur.

Le diagramme de Pareto montré dans la figure 17 montre que la fourniture de la PDR représente une majeure partie du montant contractuel. Il est alors judicieux d'allouer une plus grande attention à cette partie de l'exécution dans la suite de l'étude.

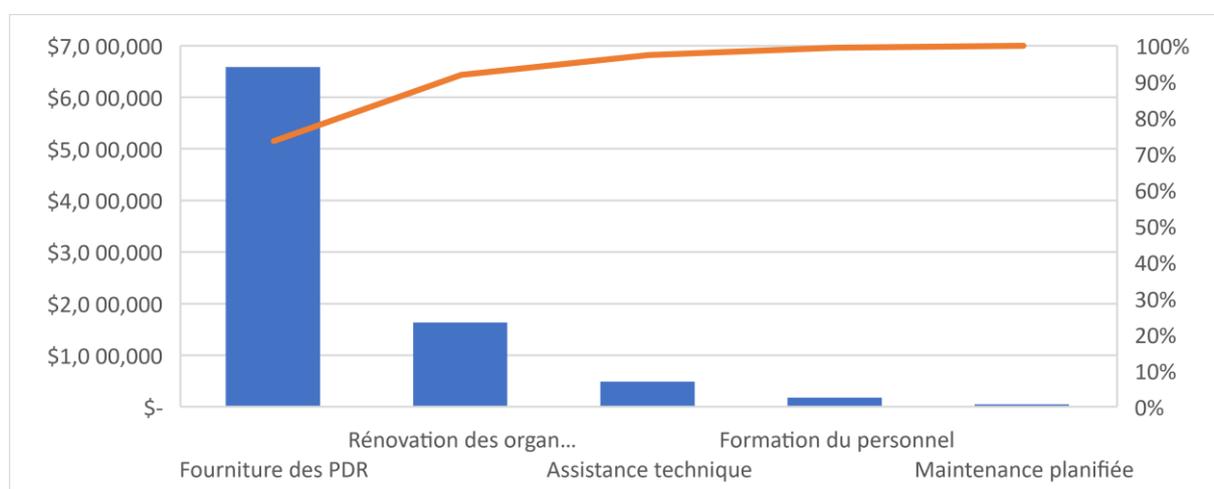


Figure 17 - Diagramme Pareto de la répartition du montant contractuel par type de prestations

Afin de bien définir et valider le besoin, nous procédons à une analyse du besoin en suivant l'approche de l'analyse fonctionnelle.

3.1.1 Identification du besoin :

Afin d'identifier le besoin, on élabore la bête à corne présentée dans la figure 18 ci-dessous en répondant aux questions suivantes :

- A qui le produit rend-il service ?
- Dans quel but ?
- Sur quoi le produit agit-il ?

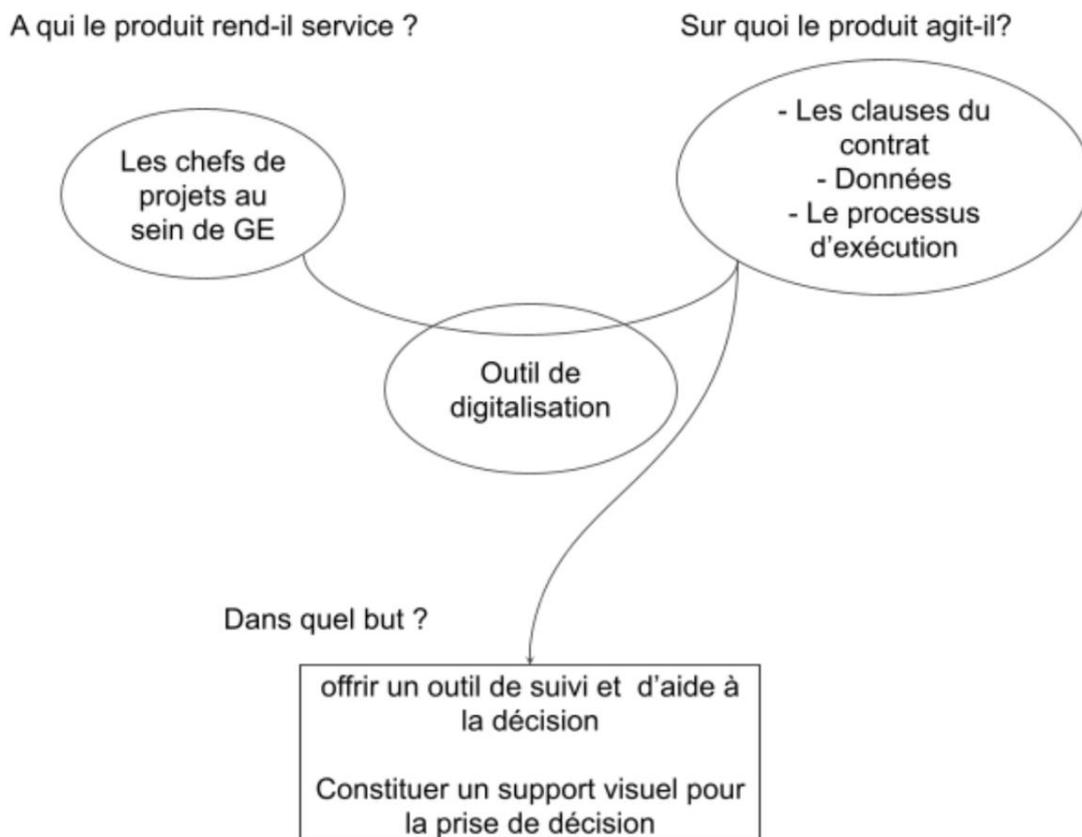


Figure 18 - Identification du besoin – Diagramme de la Bête à corne

3.1.2 Validation du besoin :

Répondons aux questions qui permettent de valider les besoins identifiés :

Pourquoi ce besoin existe-t-il ?

Nécessité d'effectuer un suivi opérationnel des activités pour les différents projets de maintenance

Qu'est ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?

- Evolution du marché : Signature de nouveaux contrats et acquisition de nouveaux projets ;
- Rigueur des clients de GEPS : Les pénalités de retard dues à un suivi insuffisant ou un manque de satisfaction des obligations contractuelles ;
- Volonté de GEPS de digitaliser ses activités au niveau de la gestion des projets ;
- Volonté de GEPS de s'appuyer sur de nouveaux outils pour améliorer la qualité du service rendu au client dans un contexte de plus en plus concurrentiel.

Qu'est ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?

- Déclin de l'activité de GEPS par l'émergence des énergies renouvelables ;
- Orientation vers des projets à plus courts engagements (Contrat TX) ne nécessitant pas de suivi.

Conclusion :

Au vu de l'état actuel du secteur, nous pouvons valider avec certitude le besoin de l'outil de digitalisation. Cette validation est motivée par :

- D'une part, la réelle existence des raisons qui pourrait faire évoluer le besoin en termes de croissance du marché, de motivation au sein de GEPS pour l'amélioration de son service et de la croissante concurrence dans le marché.
- D'autre part, par la résilience technologique vérifiée des turbines de GE Gas Power à l'émergence des énergies renouvelables, au vu de leur conception leurs permettant De fonctionner à l'hydrogène.

De plus, nombreux entretiens ont été organisés avec différents chefs de projets et autres parties prenantes, ces derniers ont approuvé la nécessité de la digitalisation et l'utilité de la solution visée.

3.2 Conception

Suite à l'analyse du besoin et la compréhension de l'environnement de l'entreprise, la présente phase permet d'établir une conception de la solution proposée. Nous déroulons alors la méthodologie Merise et le langage UML pour la conception et la modélisation.

3.2.1 Méthode Merise

La méthode Merise nous permet de modéliser la base de données relationnelle qui régit la solution développée par la suite.

- **Grphe des dépendances fonctionnelles**

Le diagramme ci-dessous présenté nous permet d'apprécier les interdépendances existantes entre les différents attributs.

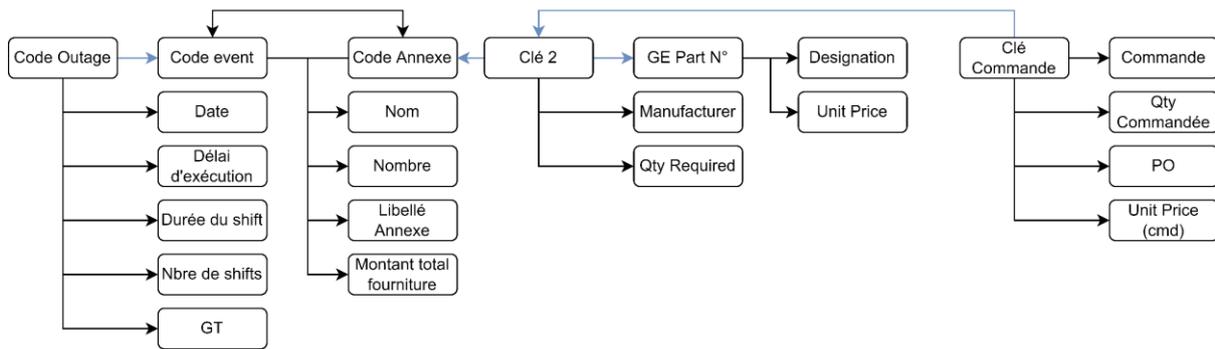


Figure 19 - Graphe des dépendances fonctionnelles

- Modèle Conceptuel de données

L'interprétation des interdépendances existantes entre les données nous permet de créer le modèle conceptuel de données suivant :

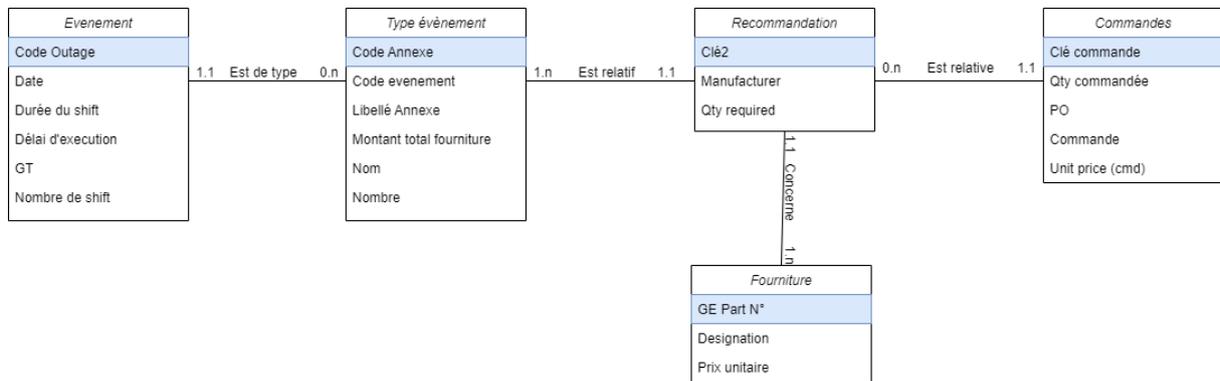


Figure 20- Modèle Conceptuel de données

Les règles de gestion régissant les cardinalités choisies dans le MCD sont les suivantes :

- Un événement de maintenance est d'un type précis et unique, il est possible d'avoir plusieurs événements de même type.
- Une recommandation de fourniture est relative à un type unique d'évènement, chaque type événement à au moins une recommandation.
- Une commande est relative à une recommandation unique et définie, une recommandation peut avoir plusieurs ou aucune commande.
- Une recommandation concerne une pièce de rechange bien précise, une pièce peut faire l'objet de plusieurs recommandations différentes.

- **Modèle Logique de données**

Ainsi, nous pouvons déduire le Modèle Logique de Données qui régit les interactions entre les différentes tables.

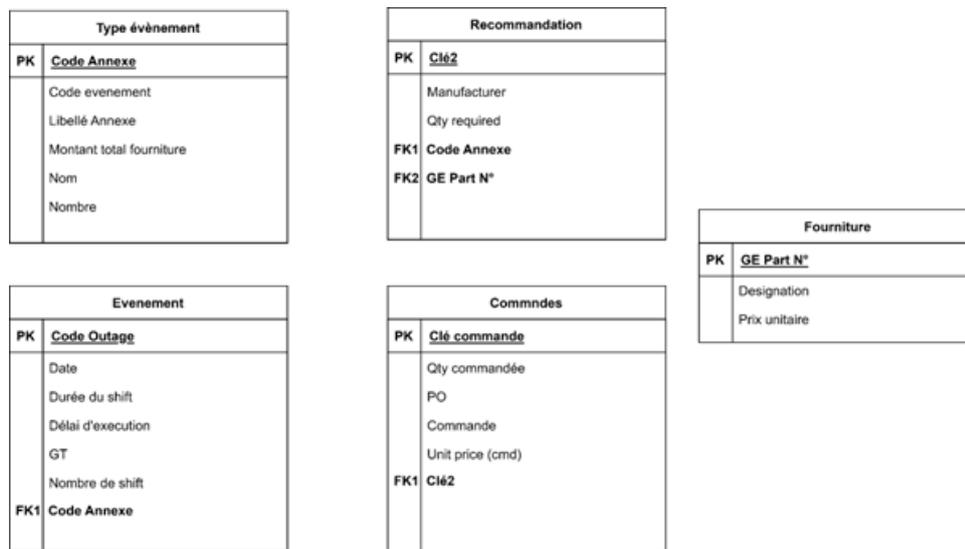


Figure 21 - Modèle Logique de données

3.2.2 Diagrammes UML

La modélisation des différents cas d'utilisation par le langage UML permet d'explicitier les différents scénarios rendus possibles par la plateforme. Dans ce qui suit nous présentons quelques diagrammes déterminant la façon dont le logiciel fournit des différentes fonctionnalités recherchées. Ceci a pour but de modéliser clairement le système et de faciliter la communication avec les différentes parties prenantes (décideurs, utilisateurs...)

- **Diagramme des cas d'utilisation**

Il s'agit d'un descriptif du système selon le point de vue des utilisateurs. Il permet de répondre à la question : Qui fait Quoi ?

La figure 22 permet d'établir aisément les rôles des différents utilisateurs du système et d'énoncer les permissions relatives à chaque rôle, tel que le droit à la modification des inputs qui est réservé au responsable du contrat uniquement.

Notons que les relations entre cas d'utilisation illustrées ci-dessous sont toutes de type « Include », ceci suppose une obligation d'exécuter les cas d'utilisation associés.

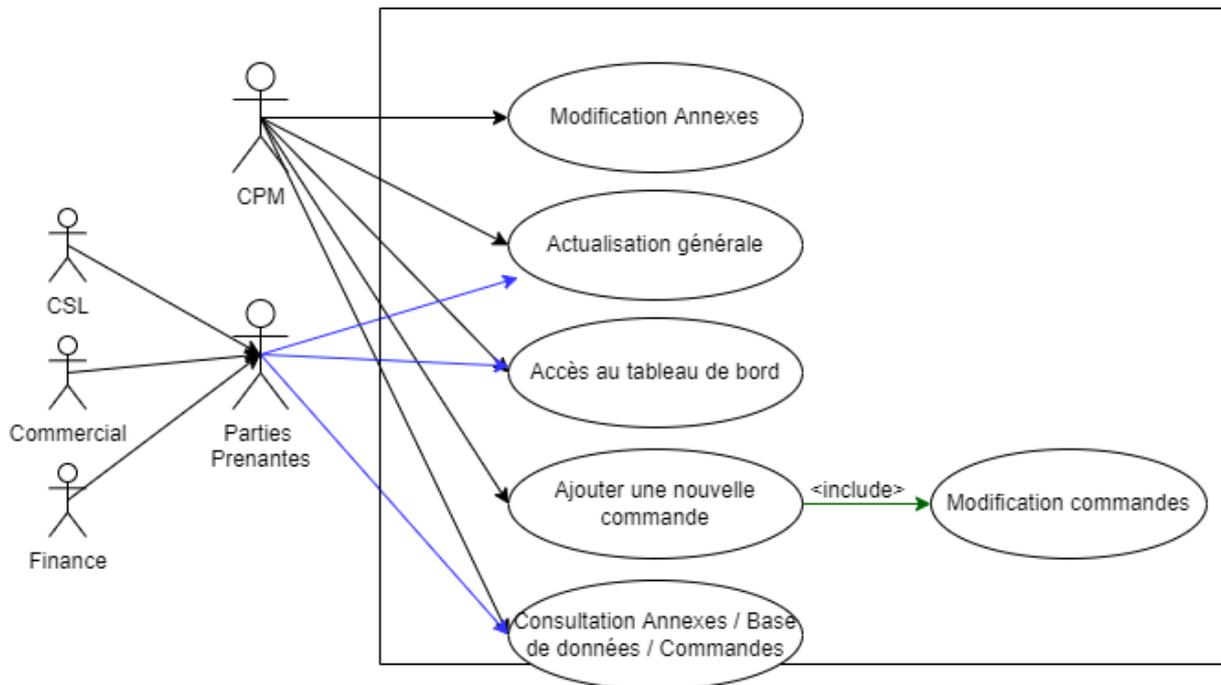


Figure 22 - Diagramme des cas d'utilisation

- **Diagrammes d'état-transition**

Il s'agit d'un graphe composé d'un nombre fini d'états pouvant être pris par un objet ou une classe. Dans la figure 23 un diagramme d'état transition est dressé pour présenter les états et transitions du système lors de l'exécution de quelques cas d'utilisation à savoir :

- L'ajout d'une commande ;
- L'actualisation générale des traitements ;
- La consultation des fichiers.

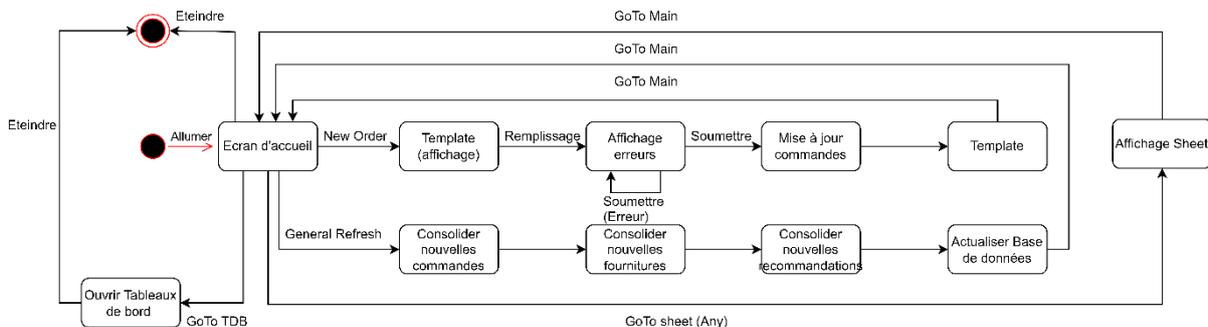


Figure 23 - Diagramme d'état-transition

- **Diagrammes de séquences système**

Pour décrire l'aspect comportemental du système, des diagrammes de séquence sont généralement élaborés pour décrire les cas d'utilisation. Ces diagrammes montrent la chronologie des actions entre les acteurs et les objets du système.

Dans ce qui suit, nous présentons un diagramme de séquence particulier, dénommé Diagramme de séquences système qui représente les échanges entre les acteurs et le système qu'on considère comme une boîte noire. Le cas d'utilisation de l'ajout d'une commande est choisi pour illustration dans la figure 24 au vu de la richesse qu'implique son traitement.

Explication illustrative du traitement :

1. L'utilisateur clique sur le bouton Ajouter une commande.
2. Le système s'exécute et ouvre le modèle d'ajout d'une commande
3. L'utilisateur renseigne les champs nécessaires à l'ajout d'une commande.
4. Le système vérifie la qualité et la cohérence des données entrées.
5. En cas d'erreur : le système affiche les erreurs.
6. L'utilisateur confirme l'ajout.
7. En cas d'erreur persistante : le système refuse l'ajour ; sinon : il l'accepte et met à jour la table des commandes
8. L'utilisateur clique sur le bouton Actualisation Générale qui permet de synchroniser les différents éléments de la solution

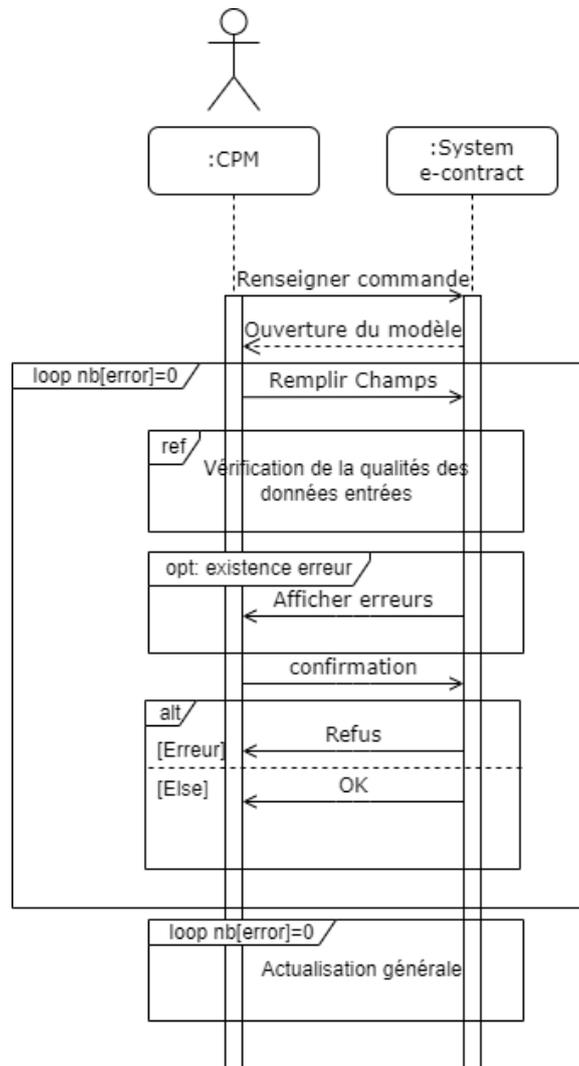


Figure 24 - Diagramme illustratif de séquences système pour l'ajout d'une commande

3.3 Développement

Une fois la conception du système aboutie et les fonctionnalités répondant au besoin définies, la plateforme e-contrat ainsi que les tableaux de bord sont développés. Rappelons que l'outil utilisé pour le développement de la plateforme est Excel (VBA), tandis que la conception du tableau de bord se fait par le déroulement d'un processus ETL.

3.3.1 Développement des tableaux de bord – Processus ETL

Afin d'améliorer le suivi, l'analyse des données et le reporting, une solution basée sur la Business Intelligence est choisie. En déroulant le processus ETL, des données issues de différentes sources sont traitées et valorisées.

Extraction des données

La gestion traditionnelle des contrats au sein de GEPS ne se base pas sur une politique de valorisation des données. Ainsi, l'identification des sources de données existantes utiles et nécessaires, leur collecte et leur compréhension représentent une nouveauté dans les processus d'exécution des contrats.

- **Besoin en données :**

Le travail de résolution étant appliqué à un projet pilote, celui du contrat KH/DG/06/19, l'ensemble des données nécessaires se trouve au sein du contrat concerné. Ainsi, les différentes annexes du contrat ci-dessous énumérées sont requises :

- Plan de la maintenance planifiée ;
- Délais de réalisation des services, délais de livraison des pièces ;
- Procédure d'ajustement des prix ;
- Décomposition du montant contractuel ;
- Listes et prix de la fourniture nécessaire aux différents travaux de maintenance (arrêts, rénovation, etc.) ;

De plus, les commandes émises par le client sont nécessaires.

- **Collecte des données :**

Les données utilisées sont de deux types

- Données fixes : Ce sont des données à évolution très lente, il s'agit des données récoltées du contrat. La collecte de ces données se fait une unique fois par contrat.
- Données évolutives : Ce sont des données vouées à une évolution, il s'agit des commandes émises par le client. La collecte de ces données doit se faire régulièrement afin d'assurer une mise à jour fidèle à la réalité de l'avancement des opérations.

- **Compréhension des données :**

En traitant les données une évaluation de leur qualité est effectuée. En effet, les données comportent un grand nombre d'anomalies qui affectent la bonne exécution du contrat, il sera nécessaire de traiter ces anomalies dans la phase de transformation des données. Les types d'anomalies relevées sont les suivants :

Type d'anomalie	Nombre	Exemple		
Produits n'ayant pas de code référent (valeurs manquantes)	61	GE Part N°	Designation	
		//	REPAIR KIT FOR SAFETY BLOCKS F	
		//	REPAIR KIT FOR GAS STOP RATIO	
		//	REPAIR KIT FOR CONTROL GAS V/	
		//	REPAIR KIT FOR CONTROL GAS V/	
		//	REPAIR KIT FOR CONTROL GAS V/	
		//	REPAIR KIT FOR IGV CONTROL CY	
		//	REPAIR KIT FOR MAIN HP OIL PUF	
		//	REPAIR KIT FOR AUX. HP OIL PUF	
Code produit indiquant différentes désignations	96	GE Part N°	Designation	
		312A6077P004	STOP SPEED/RATIO VALVE SERVO	
		312A6077P004	SERVOVALVE 3COIL 5GPM (90TV-1	
Code produit indiquant différents prix unitaires	51	GE Part N°	Designation	Unit Price
		119E3564P001	DRILLED PLUG,INNER-BARREL	\$ 3,070.17
		119E3564P001	DRILLED PLUG,INNER-BARREL	\$ 2,149.12
Produits ayant différents constructeurs	4	GE Part N°	Designation	Manufacturer
		E0190300	CONVERTISEUR DE MESURE 48-2 VA TECH	
		E0190300	CONVERTISEUR DE MESURE 48-2 MR	

Tableau 11 - Tableau récapitulatif de la qualité des données

Transformation des données

Une transformation des données brutes est nécessaire pour une exploitation adéquate. Cette phase a pour but de mettre les données brutes sous une forme plus utile.

La préparation des données passe par quatre étapes principales :

- Premier traitement des anomalies :

Le nettoyage des données se divise en deux étapes, commençant par les valeurs manquantes des références produits. Ces champs sont remplis grâce à l'expertise des décideurs et les références de GE.

Le traitement des autres types d'anomalies se fera après la consolidation des données.

- Fusion et agrégation des données :

Le niveau d'agrégation premier choisi est le niveau des événements de maintenance. Rappelons les types d'événement prévus dans le contrat :

- Inspection de combustion (CI)
- Inspection des parties chaudes (HGPI)
- Inspection des parties chaudes avec amélioration AGP+32K (HGPI+32K)
- Inspection majeure avec amélioration AGP+32K (MI+32K)
- Inspection majeure de l'alternateur
- Fourniture des pièces de rechange mécaniques et instrumentation
- Fourniture des pièces de rechange électriques

Les recommandations de GE citées dans le contrat seront d'abord fusionnées, en concaténant les différentes informations relatives aux prix, délais, quantités et autres. Ensuite, elles seront regroupées au niveau d'agrégation choisi.

La structure finale et standardisée des tables relatives aux événements est la suivante :

Evenement_Parts
Clé2
item
MLI
QTY per GT
GE Part N°
Designation
Qty Required
Délai de livraison (Weeks)
Unit Price
Total Price
Annexe
Evenement
Replaced By
Manufacturer

Tableau 12 - Structure standard de la table relative à chaque évènement

- Consolidation des données

Les données issues des différentes tables d'événements sont insérées dans une unique table exhaustive ayant la même structure. Cette insertion est automatisée à l'aide d'un code VBA qui prend en compte la taille variable des tables source.

Une grande partie des anomalies est plus visible à ce niveau, la qualité des données relatives à chaque évènement se détériore davantage lorsque ces données sont mélangées, au vu des incohérences existantes.

Afin d'y remédier, une clé composite est créée combinant la référence du produit et la référence de l'annexe d'où il provient.

- Deuxième traitement des anomalies

Les différents types d'anomalies sont traités à cette étape. Il s'agit surtout d'une adaptation des données aux contraintes techniques. Ainsi, pour chaque produit présentant des incohérences (qu'elles soient relatives au prix, désignation ou constructeur), un suffixe est ajouté à son code produit pour corriger sa première apparition dans les données directement collectées. La correction ruisselle par la suite aux données transformées au vu de l'automatisation des traitements.

Ceci permet de supprimer les incohérences tout en prenant en compte la nature très sensible des données, ces dernières étant des recommandations de référence.

La préparation des données ainsi effectuée permet de migrer d'une forme identique aux transcriptions des contrats vers une forme facilement utilisable pour la création de modèles informatiques.

Chargement des données

Les données ainsi structurées grâce à la méthode MERISE sont prêtes à être chargées dans le data mart. L'outil choisi pour la création des tableaux de bord est Power BI. Ainsi, le modèle de données suivant y est implémenté pour permettre l'analyse des données et la création de rapports.

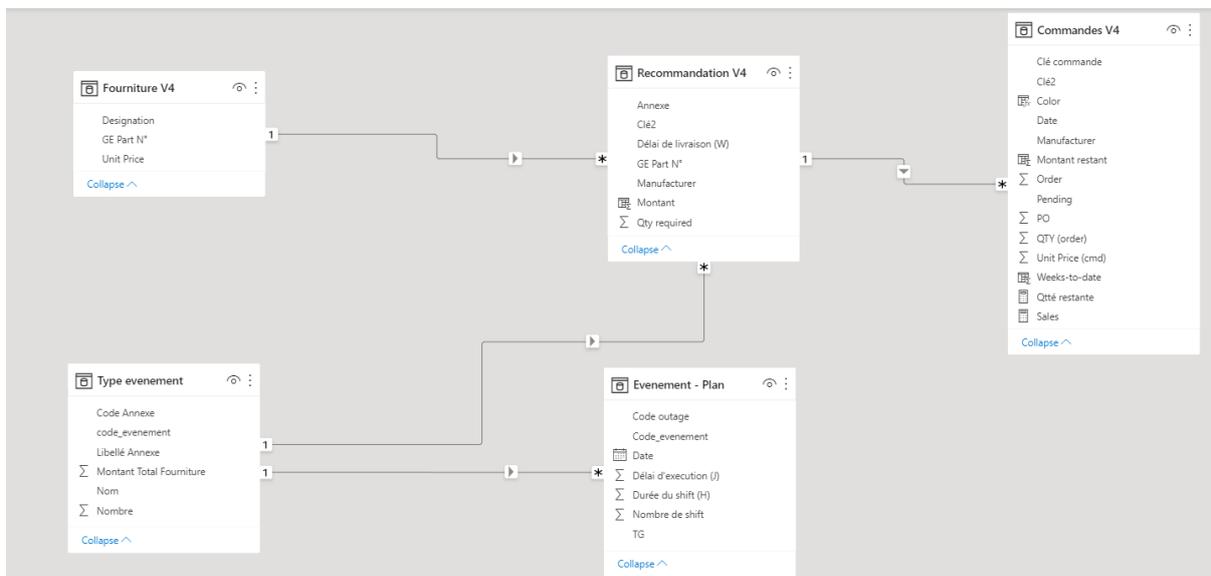


Figure 25 - Modèle de données

Afin de compléter le schéma de données fourni par la méthode Merise, les différentes mesures et attributs calculés sont également définis à l'aide du langage DAX, tel que le montre la figure 25 ci-dessus.

3.3.2 Développement de la plateforme

Le développement de la plateforme passe par deux étapes :

Création de l'infrastructure

A l'aide de Microsoft Excel, les différents Template sont chargés, standardisés et organisés dans multiples classeurs dans le but de contenir les données qui leurs sont destinées. Ainsi, un classeur est créé pour chaque annexe du contrat.

Ensuite, à l'aide d'un traitement de données sur le tableur utilisant des formules et des tableaux croisés dynamiques, ces données sont consolidées et groupées par type d'évènement, avant d'être regroupées dans un unique classeur contenant l'ensemble des données issues de l'ensemble des types d'évènement.

La centralisation de ces données leurs ajoutent déjà une valeur, par la simplification impliquée lors de la gestion de l'exécution du contrat. Le format de la table contenant les données consolidées est le suivant :

Clé	Clé2	Item	MU	QTY per	GE Part N°	Designation	Qty requi	Délai de livraison	Unit Price	Total Price	Annex	Evenement	Replaced by	Manufactureur	Clé2
1	181D9251G001_1-B-1-1	1	0701	14	181D9251G001_1	TUBE,CROSSFIRE - MALE	42	29	\$ 909.05	\$ 38,180.14	B-1-1	Combustion Inspection		181D9251G001_1-B-1-1	
2	181D9252G001_1-B-1-1	2	0701	14	181D9252G001_1	TUBE,CROSSFIRE - FEMALE	42	29	\$ 785.76	\$ 33,002.13	B-1-1	Combustion Inspection		181D9252G001_1-B-1-1	
3	223C2166P001-B-1-1	3	0701	28	223C2166P001	RETAINER,CROSSFIRE TUBE	84	24	\$ 171.76	\$ 14,427.90	B-1-1	Combustion Inspection		223C2166P001-B-1-1	
4	287A1614P004-B-1-1	4	0701	56	287A1614P004	RING PACKG	56	18	\$ 15.18	\$ 850.04	B-1-1	Combustion Inspection		287A1614P004-B-1-1	
5	318A9713P028-B-1-1	5	0701	14	318A9713P028	GASKET	56	18	\$ 12.73	\$ 712.73	B-1-1	Combustion Inspection		318A9713P028-B-1-1	
6	318A9713P037-B-1-1	6	0701	14	318A9713P037	GASKET	14	18	\$ 31.18	\$ 436.50	B-1-1	Combustion Inspection		318A9713P037-B-1-1	
7	318A9713P038-B-1-1	7	0701	2	318A9713P038	GASKET	12	24	\$ 3.91	\$ 46.89	B-1-1	Combustion Inspection		318A9713P038-B-1-1	
8	344A5938P008-B-1-1	8	0701	14	344A5938P008	GASKET	56	16	\$ 7.98	\$ 447.00	B-1-1	Combustion Inspection		344A5938P008-B-1-1	
9	N733AP35028-B-1-1	9	0701	16	N733AP35028	BOLT 12 PT	16	24	\$ 4.19	\$ 67.03	B-1-1	Combustion Inspection		N733AP35028-B-1-1	
10	N733AP35048-B-1-1	10	0701	392	N733AP35048	ALY STL 12PT SCREW	196	24	\$ 3.80	\$ 745.08	B-1-1	Combustion Inspection		N733AP35048-B-1-1	
11	25888786P002-B-1-1	11	0701	4	25888786P002	GASKET	24	13	\$ 7.46	\$ 179.08	B-1-1	Combustion Inspection		25888786P002-B-1-1	
12	N733AP35044-B-1-1	12	0701	56	N733AP35044	SCREW, 12 PT	56	28	\$ 5.66	\$ 317.10	B-1-1	Combustion Inspection		N733AP35044-B-1-1	
13	N733AP33072-B-1-1	13	0701	84	N733AP33072	ALY STL 12PT SCREW	84	24	\$ 2.35	\$ 197.81	B-1-1	Combustion Inspection		N733AP33072-B-1-1	
14	N28P25010-B-1-1	14	0701	56	N28P25010	SCREWSOCHD	56	24	\$ 0.67	\$ 37.54	B-1-1	Combustion Inspection		N28P25010-B-1-1	
15	N14P29020-B-1-1	15	0701	168	N14P29020	SCREW, CAP HEX HD	84	24	\$ 0.32	\$ 26.67	B-1-1	Combustion Inspection		N14P29020-B-1-1	

Figure 26 - Format de la table contenant les données consolidées

Automatisation des traitements :

Une fois l'infrastructure créée, les traitements sont rendus fluides et automatique à l'aide du langage de programmation VBA. Ceci se fait par l'incorporation de quatre modules contenant multiples fonctions tels qu'explicités ci-dessous :

- **Module Automatisation :**

Ce module est responsable d'automatiser le traitement des données et le rendre reproductible, il se compose des fonctions suivantes :

- Refresh()
- update_filter_pivot_4()
- update_filter_pivot_5()
- update_filter_comb()

- **Module Navigation :**

Ce module est responsable de gérer la navigation entre les différents classeurs de la plateforme ainsi que l'accès au tableau de bord, il se compose des fonctions suivantes :

- Close_all_only_activesheet()
- Unhide()
- goToMain()
- goToDeliveryTerms()
- goToPrices()
- goToConsolidated()
- goToCommandes()
- goToPlan()
- goToTDB()

- **Module Modification :**

Ce module est responsable de l'ajout d'une nouvelle commande et sa consolidation avec les données initiales en assurant la cohérence des données, il se compose DES fonctions suivantes :

- New_order()
- goToTemplate-

3.4 Livrables

3.4.1 Plateforme e-contract

La plateforme e-contract offre une version digitalisée du contrat. Principalement, elle permet d'alimenter le modèle de données créé par des mises à jour, et ainsi mettre à jour le tableau de bord. Elle permet également de naviguer dans les différentes données incluses dans le contrat et de les modifier.

La plateforme est implémentée sur Excel et régie par un code VBA, le choix s'est porté sur Excel au vu de son universalité et de son utilisation préalable par les employés de l'entreprise.

Fonctionnalités

Dans ce qui suit, nous énumérons les différentes fonctionnalités de la plateforme e-contract.

- **Écran d'accueil :**

A l'ouverture du fichier, l'utilisateur est orienté par une page d'accueil qui présente les différentes fonctionnalités disponibles, tel que le montre la figure 27 ci-dessous.

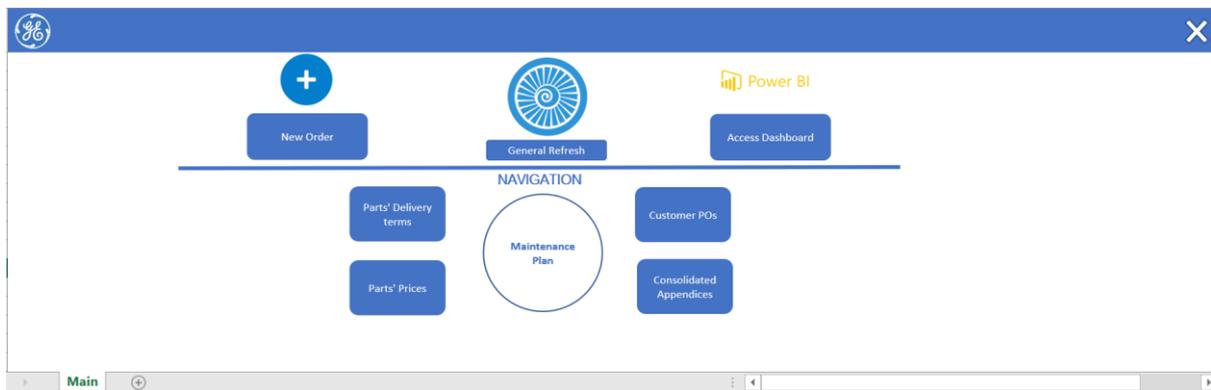


Figure 27 - Ecran d'accueil e-contract

- **Navigation :**

La plateforme inclut multiples fichiers contenant les différentes données relatives aux annexes du contrat, au tableau de bord ou à la base de données relationnelle. Une navigation entre ces différents fichiers est rendue intuitive grâce à une expérience visuelle simplifiée, illustrée par des flèches. Les code VBA qui régissent cette fonctionnalité sont insérés dans les annexes B-5, B-6, B-7.

Cette fonctionnalité offre une version numérique du contrat servant de jumeau digital. Elle permet une navigation plus fluide dans les données et les différentes annexes du contrat, répondant ainsi aux attentes du chef de projet.

Le but de cette fonctionnalité est de garder une version des opérations très proche de la traditionnelle. Les formats initiaux des données, tels qu'ils existent dans le contrat, demeurent accessibles. Ceci permet de garder les avantages de l'effet d'apprentissage qui s'est naturellement découlé de l'activité historique de GEPS et d'accompagner l'adoption de la plateforme qui ne change graduellement la nature de l'activité.

Les figures suivantes montrent des exemples des différentes parties du contrat, sous leur format numérique, tels qu'elles sont implémentées sur e-contract en étant fidèles aux formats traditionnels antérieurement utilisés par le chef de projet.

Clé commande	Clé2	QTY commandée	Unit Price (\$)	Manufacturer	Comman	PO	Date	Pending
1	223C2166P001-B-1-1	28	\$ 171.76		1	1	1/1/2022	No
2	287A1614P004-B-1-1	56	\$ 15.18		1	1	1/1/2022	No
3	318A9713P028-B-1-1	14	\$ 12.73		1	1	1/1/2022	No
4	318A9713P037-B-1-1	14	\$ 31.18		1	1	1/1/2022	No
5	344A5938P008-B-1-1	14	\$ 7.98		1	1	1/1/2022	No
6	258B8786P002-B-1-1	4	\$ 7.46		1	1	1/1/2022	No
7	N28P25010-B-1-1	56	\$ 0.67		1	1	1/1/2022	No
8	186C1916P013-B-1-1	56	\$ 2.41		1	1	1/1/2022	No
9	186C1916P022-B-1-1	28	\$ 4.17		1	1	1/1/2022	No
10	186C1916P049-B-1-1	14	\$ 5.14		1	1	1/1/2022	No
11	197C3121G001-B-1-1	14	\$ 594.87		1	1	1/1/2022	No
12	219B6763P006-B-1-1	28	\$ 46.23		1	1	1/1/2022	No
13	219B6763P007-B-1-1	14	\$ 58.14		1	1	1/1/2022	No
14	237B2743G002-B-1-1	14	\$ 173.26		1	1	1/1/2022	No
15	258A4784P015-B-1-1	28	\$ 9.35		1	1	1/1/2022	No
16	91313202P007_1-B-1-1	1	\$ 53.00		1	1	1/1/2022	No
17	91313203P001_1-B-1-1	2	\$ 1,184.91		1	1	1/1/2022	No
18	N5606P12001G11-B-1-1	1	\$ 50.93		1	1	1/1/2022	No
19	N14P35036-B-1-1	12	\$ 1.12		1	1	1/1/2022	No
20	N14P29040-B-1-1	12	\$ 0.45		1	1	1/1/2022	No
21	294A0150P004-B-1-1	20	\$ 11.51		1	1	1/1/2022	No

Figure 28 - Exemple - Commandes client reçues

Item	MLI	QTY per GT	GE Part N°	Designation	Qty required	Délai de livraison (W)
1	0701	28	223C2166P001	RETAINER,CROSSFIRE TUBE	56	24
2	0701	56	287A1614P004	RING PACKG	112	18
3	0701	14	318A9713P028	GASKET	28	18
4	0701	14	318A9713P037	GASKET	28	18
5	0701	2	318A9713P038	GASKET	4	24
6	0701	14	344A5938P008	GASKET	28	16
7	0701	16	N733AP35028	BOLT 12 PT	32	24
8	0701	4	258B8786P002	GASKET	12	13
9	0717	56	186C1916P013	TP BOLT	112	24
10	0717	28	186C1916P022	TP BOLT	56	24
11	0717	56	186C1916P029	TP BOLT	56	44
12	0717	14	186C1916P049	TP BOLT	28	44
13	0717	14	197C3121G001	TP ENDSEAL	28	22
14	0717	28	219B6763P006	TP LKPLATE	56	22
15	0717	14	219B6763P007	TP LKPLATE	28	22
16	0717	14	237B2743G002	TP RETAINR MS9001	28	18
17	0717	28	258A4784P015	TP LKPLATE	56	17
18	0717	24	258A4784P017	TP LKPLATE	48	13
19	0717	4	258A4784P019	LOCK PLATE	8	18
20	0962	56	372A1159P009	GASKET	112	17
21	0962	28	N5606P02006G11	GASKET SPIRI W/SHIND	56	16

Figure 29- Exemple - Délais de livraison pour les consommables requis pour une activité de maintenance

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
S	PART NUMBI	DESCRIPTION	Q	Unit Pric	Total Pric	Annexe	Evenement		
1	81D9251G001	TUBE,CROSSFIRE - MALE	42	\$ 909.05	\$38,180.14	B-1-1	Combustion Inspection	 	
2	81D9252G001	TUBE,CROSSFIRE - FEMALE	42	\$ 785.76	\$33,002.13	B-1-1	Combustion Inspection		
3	223C2166P001	RETAINER,CROSSFIRE TUBE	84	\$ 171.76	\$14,427.90	B-1-1	Combustion Inspection		
4	287A1614P004	RING PACKG	56	\$ 15.18	\$ 850.04	B-1-1	Combustion Inspection		
5	318A9713P028	GASKET	56	\$ 12.73	\$ 712.73	B-1-1	Combustion Inspection		
6	318A9713P037	GASKET	14	\$ 31.18	\$ 436.50	B-1-1	Combustion Inspection		
7	318A9713P038	GASKET	12	\$ 3.91	\$ 46.89	B-1-1	Combustion Inspection		
8	344A5938P008	GASKET	56	\$ 7.98	\$ 447.00	B-1-1	Combustion Inspection		
9	N733AP35028	BOLT 12 PT	16	\$ 4.19	\$ 67.03	B-1-1	Combustion Inspection		
10	N733AP35048	ALY STL 12PT SCREW	196	\$ 3.80	\$ 745.08	B-1-1	Combustion Inspection		
11	258B8786P002	GASKET	24	\$ 7.46	\$ 179.08	B-1-1	Combustion Inspection		
12	N733AP35044	SCREW, 12 PT	56	\$ 5.66	\$ 317.10	B-1-1	Combustion Inspection		
13	N733AP33072	ALY STL 12PT SCREW	84	\$ 2.35	\$ 197.81	B-1-1	Combustion Inspection		
14	N28P25010	SCREWSOCHD	56	\$ 0.67	\$ 37.54	B-1-1	Combustion Inspection		
15	N14P29020	SCREW, CAP HEX HD	84	\$ 0.32	\$ 26.67	B-1-1	Combustion Inspection		
16	N733AP35072	ALLOY STEEL 12-POINT SCREW	140	\$ 6.33	\$ 886.59	B-1-1	Combustion Inspection		
17	43D7407G004	T/P BULLHORN	42	\$1,086.30	\$45,624.50	B-1-1	Combustion Inspection		
18	186C1916P013	TP BOLT	168	\$ 2.41	\$ 404.52	B-1-1	Combustion Inspection		

Figure 30 - Exemple - Prix des consommables requis pour une activité de maintenance

- Ajout d'une commande :

Afin de garder le statut des commandes reçues par le client possible, un Template est créé qui permet de renseigner une commande reçue. Ceci permettra par la suite d'alimenter automatiquement la table des commandes qui mettra à jour le tableau de bord. Le code VBA qui régit cette fonctionnalité est inclus en Annexe B-1.

New Order Insertion										KH/DG/06/19	
Mandatory		Automatic fill		Mandatory	Mandatory	Mandatory	Mandatory	Mandatory	Mandatory	Automatic check	
GE Part N°	Annexe	Clé2	QTY commandée	Unit Price (\$)	Manufacturer	Commande	PO	Date		Designation	
0391-00-297-T	B-1-6	0391-00-297-T-B-1-6	4	\$ 171.76	RUGGLES KLIN	29	10	5/1/2022		"O"RING - STEM	
04021140P0688	B-1-6	04021140P0688-B-1-6	6	\$ 15.18	ELIN BUILD	29	10	5/1/2022		Turbine end bearing drain temperature detector 10	
Wrong Part N° 1	B-1-7	Wrong Part N° 1-B-1-7	4	\$ 12.73	MSAT BY GE	29	10	5/1/2022	ERROR		
093/322051-000	B-1-7	093/322051-000-B-1-7	89	\$ 31.18	MSAT BY GE	29	10	5/1/2022		3P FUSEBLOCK 250A U1-3LGZ/K	
114A6734P008	B-1-4	114A6734P008-B-1-4	7	\$ 7.98		29	10	5/1/2022		LOCK PLATE	
Wrong Part N° 2	B-1-6	Wrong Part N° 2-B-1-6	3	\$ 7.46	RUGGLES KLIN	29	10	5/1/2022	ERROR		
114A8218P034-2	B-1-6	114A8218P034-2-B-1-6	4	\$ 0.67	RUGGLES KLIN	29	10	5/1/2022		STEM	
114A8218P034-37	B-1-6	114A8218P034-37-B-1-6	43	\$ 2.41	RUGGLES KLIN	29	10	5/1/2022		ADAPTER - BRONZE	
114A8218P034-4	B-1-6	114A8218P034-4-B-1-6	98	\$ 4.17		29	10	5/1/2022		SPRING	
114A8218P034-5	B-1-6	114A8218P034-5-B-1-6	5	\$ 5.14		29	10	5/1/2022		SPRING RETAINER& PIN	
114A8218P034-6	B-1-6	114A8218P034-6-B-1-6	4	\$ 594.87		29	10	5/1/2022		PISTON SHAFT TUBE	
114A8218P034-8	B-1-6	114A8218P034-8-B-1-6	3	\$ 46.23		29	10	5/1/2022		STEM GUIDE BUSHING (Pos.8)	
114A8650P004	B-1-2	114A8650P004-B-1-2	24	\$ 58.14		29	10	5/1/2022		BKT LOCPIN	
114A8650P004	B-1-3	114A8650P004-B-1-3	4	\$ 173.26		29	10	5/1/2022		BKT LOCPIN	
114A8650P004	B-1-4	114A8650P004-B-1-4	4	\$ 9.35		29	10	5/1/2022		BKT LOCPIN	
114E1249P014	B-1-4	114E1249P014-B-1-4	23	\$ 53.00		29	10	5/1/2022		SEAL,CLOTH	
114E1249P015	B-1-4	114E1249P015-B-1-4	65	\$ 577.87		29	10	5/1/2022		SEAL,CLOTH	
114E1249P016	B-1-4	114E1249P016-B-1-4	53	\$ 46.23		29	10	5/1/2022		SEAL,CLOTH	

Figure 31 - Illustration ajout d'une commande

En détectant les potentielles anomalies dans les commandes entrées, cette fonctionnalité prévient l'insertion de potentielles erreurs pouvant altérer le traitement de données.

- Accéder au rapport :

A partir de la plateforme e-contract, il est possible d'accéder au fichier Power BI contenant le rapport. Ceci permet de centraliser l'ensemble du traitement en un unique fichier. Le code VBA qui régit cette fonctionnalité est inclus dans l'annexe B-3.

- Actualisation générale :

L'actualisation générale permet de dérouler le processus de création de la base de données à partir des annexes du contrat. Ceci permet de prendre en compte, dans l'élaboration du tableau de bord, toute modification renseignée par l'utilisateur dans les fichiers de base.

Également, cette fonctionnalité est importante pour la généralisation de la solution, comme on le verra par la suite. Le code VBA permettant cette fonctionnalité est inclus dans l'Annexe B-2 et B-4.

3.4.2 Tableaux de bord

Afin de satisfaire les besoins de l'exécution du contrat, deux types de rapports sont créés : un rapport statique et un rapport dynamique. Ces rapports permettent de présenter des indicateurs que les utilisateurs peuvent utiliser pour la prise de décision. Ci-dessous sont présentés les différents indicateurs de performances retenus ainsi que la structure des deux tableaux de bord :

Structure des tableaux de bords

Les deux rapports possèdent une structure commune se décomposant en deux parties principales :

- **Phase sélection :**

La partie sélection se trouve centralisée en haut des deux rapports, elle permet d'affiner les résultats affichés, de filtrer la portée des analyses ou d'effectuer des recherches.

Un large panel de critères est mis à la disposition des utilisateurs afin d'augmenter la précision de leurs analyses. Il est utile de mentionner que les critères retenus pour la sélection s'adaptent au vocabulaire employé au sein de GE, et ainsi, à la nature des opérations. L'utilisateur a la possibilité de filtrer selon un ou plusieurs critères parmi la liste suivante :

- Code Annexe : Afin de rapprocher la structure du tableau de bord à celle du contrat
- Référence Produit : Incluant tous les produits objets du contrat
- Evènement : Pour une analyse spécifique à un évènement précis
- Commandes client : Offre un suivi spécifique opérationnel des commandes

- **Phase Visualisation :**

La partie Visualisation permet d'afficher nombreux visuels montrant des statistiques relatant l'état des KPI relatifs à la sélection choisie. Power BI permet d'effectuer des filtres et sélection à travers le contenu des visuels.

Cette partie est personnalisée à chaque rapport au vu de l'utilité visée qui varie de l'un à l'autre.

Indicateurs Clé de Performance

Les Dashboard traitant principalement l'engagement de fournir de la pièce de rechange, les indicateurs de performances les plus importants pour l'entreprise sont : Les quantités livrées, les délais de livraisons et l'état d'avancement du contrat.

Les indicateurs ainsi retenus sont :

- La part des commandes reçues par rapport aux montants et quantités contractuels :

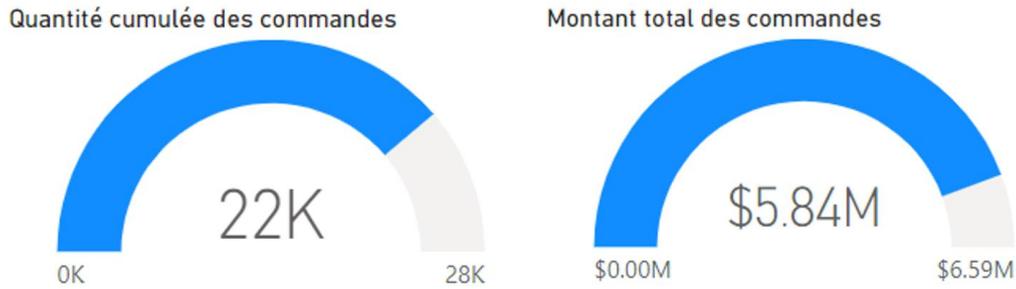


Figure 32 - Illustration du KPI – Part des commandes

- Prestations restantes avant la clôture du contrat en quantité et en montants :

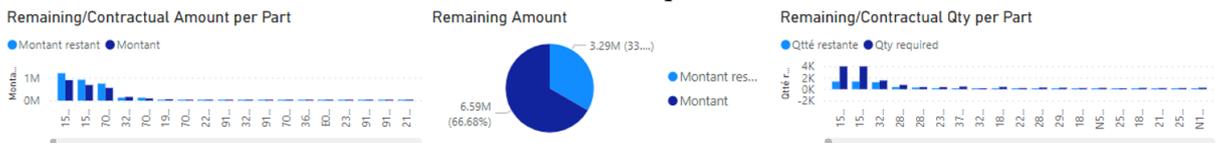


Figure 33 - Illustration du KPI – Prestations restantes

- Part des fournisseurs dans le chiffre d'affaires :
Cette mesure peut motiver une potentielle restructuration des relations fournisseurs par l'établissement d'engagements de longues durées ou des partenariats

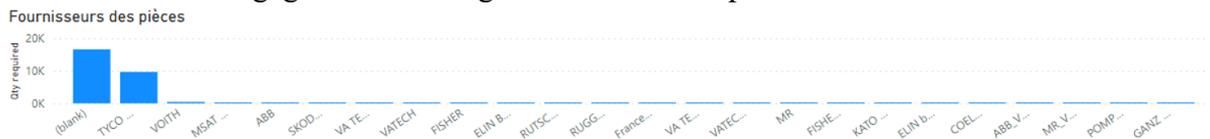


Figure 34 - Illustration du KPI – Part des fournisseurs

- Commandes en attente :
Pour les besoins opérationnels de l'exécution, une attention particulière est accordée aux commandes lancées par le client se trouvant encore en attente. La maîtrise des délais de livraison permet à GEPS d'éviter de potentielles pénalités de retard.

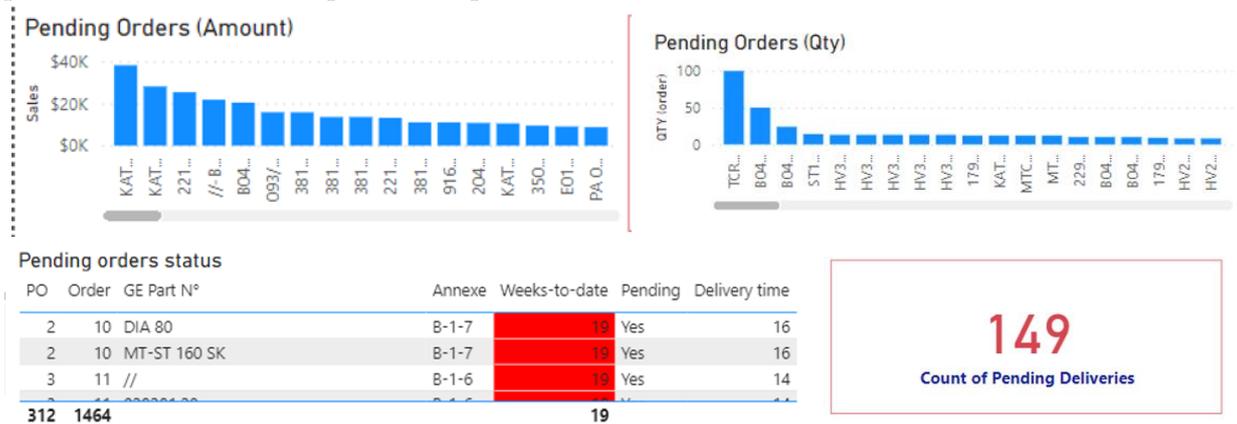


Figure 35 - Visualisation – Commandes en attente

Types de rapports

Comme précédemment mentionné, deux types de rapports sont développés pour satisfaire des besoins de l'exécution des contrats.

- **Rapport dynamique - Opérationnel :**

Ce rapport traite des données entrées à une fréquence déterminée pour se mettre à jour et permettre le suivi opérationnel dans l'exécution des opérations. Il assiste le CPM au jour le jour dans l'exécution de ses tâches selon des processus définis. Ce rapport s'oriente vers les applications en se concentrant sur les commandes reçues par le client, des commandes devant être traitées au plus vite afin de respecter les délais limités.

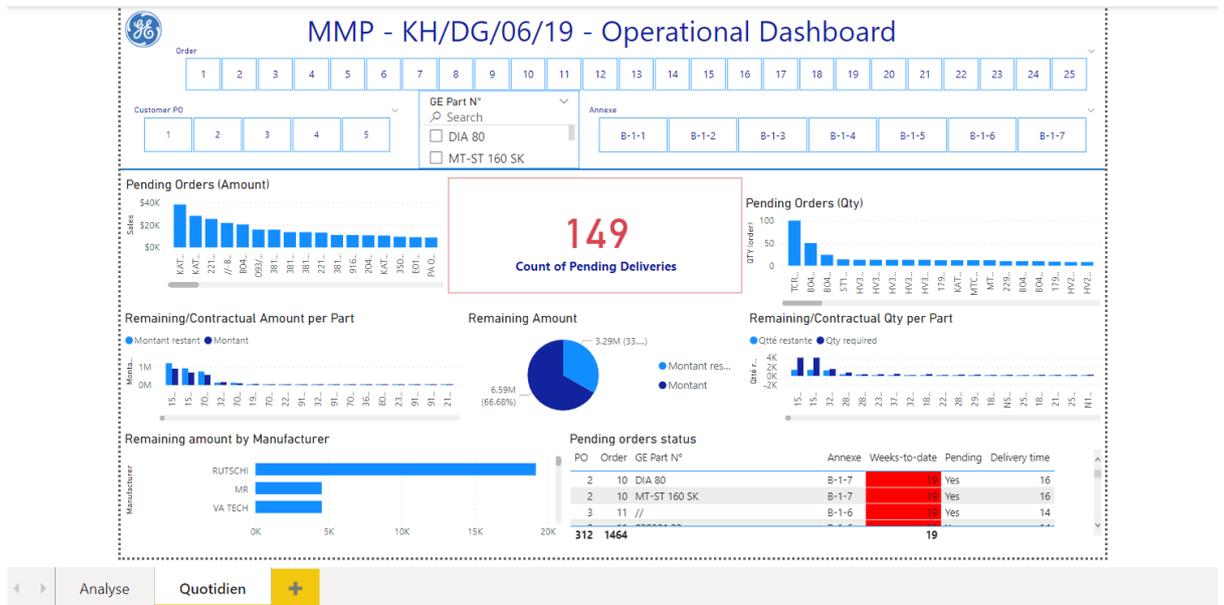


Figure 36 - Aperçu du tableau de bord opérationnel

- Rapport statique - Analytique :

Ce rapport permet d'avoir du recul pour apprécier les opérations effectuées au long d'une période et en tirer des analyses. Il sert à suivre et à évaluer la performance, à effectuer des analyses et à générer des rapports.

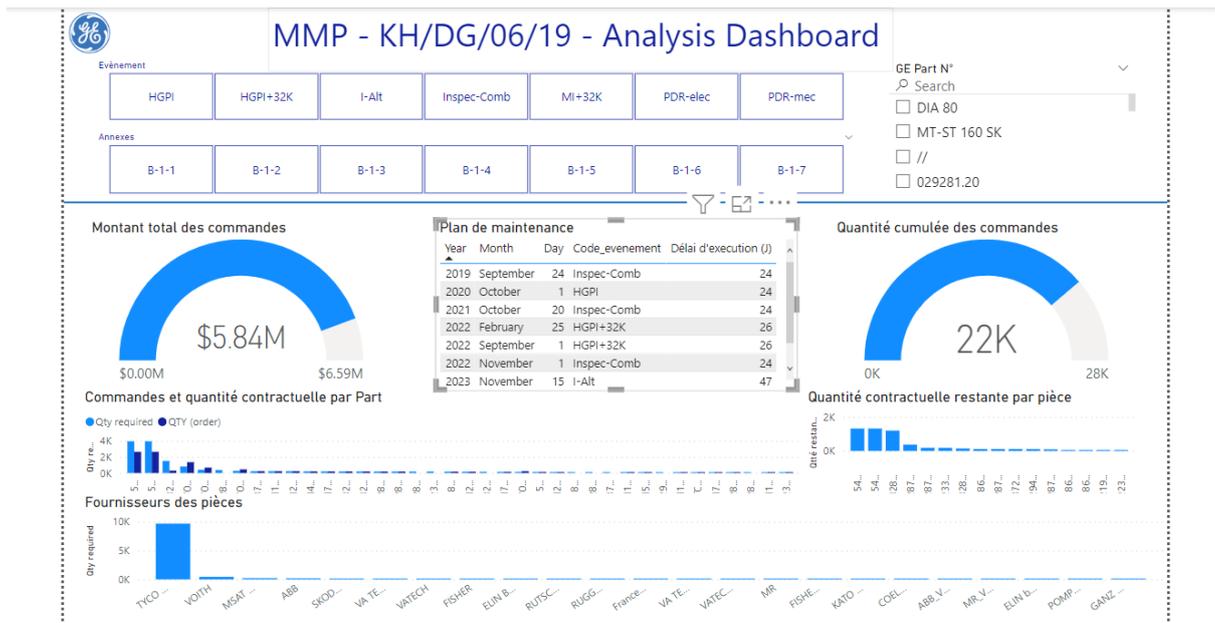


Figure 37 - Aperçu du tableau de bord analytique

3.4 Généralisation de la solution

Le contrat concerné par la résolution est considéré comme projet pilote. La finalité du projet est plus globale et vise l'amélioration générale des services de GEPS.

Pour que la solution soit généralisable à d'autres projets :

1. Les traitements doivent être automatisés. Ceci est réalisé par le caractère procédural et fonctionnel des algorithmes programmés. Ainsi, le module « Automatisation » composé des quatre fonctions initialement présentées (Voir annexe B-2 et B-4) et qui régissent la fonctionnalité « Actualisation générale » a pour finalité d'automatiser les traitements et les reproduire par une simple modification des données en entrée relatives aux nouveaux contrats.
2. Les données en entrée doivent être standardisées et exemptes d'anomalies. Pour cela, deux solutions se présentent :
 - Un travail doit se faire en amont, au cours de la phase de l'élaboration des contrats, dans le but de supprimer les incohérences à la source. Il s'agit de la solution la plus durable, l'effort nécessaire pour sa mise en place est justifié par le fait que la documentation consiste en une documentation stratégique. Il sera alors amorti tout au long de la durée de vie de la documentation.
 - Automatiser le traitement de ces anomalies de sorte à contourner les contraintes logicielles au cours des traitements informatiques. Cette solution est facilement implémentable mais ne représente qu'une solution informatique d'urgence qui subit les anomalies que présentent les données au lieu de les gérer.

3.5 Evaluation

3.5.1 Evaluation de e-contract

La pertinence du système e-contract se mesure par rapport à un ensemble de critères prédéfinis que nous avons élaboré par consultation des décideurs. La solution a été soumise aux décideurs

pour noter la satisfaction des différents critères et émettre un jugement. La grille d'évaluation suivante présente un récapitulatif des impressions

Critères	Note (/5)	Synthèse
La solution permet d'effectuer un suivi opérationnel de l'exécution du contrat	4	Le critère est satisfait, toutefois nombreuses améliorations peuvent être incluses, tel que l'intégration de données financières ou de données liées à la logistique. Certaines fonctionnalités pourront être ajoutées par la suite à condition de la disponibilité des données nécessaires. Également, les décideurs estiment qu'un ordonnancement des tâches en optimisant les ressources permettrait un meilleur suivi.
La plateforme permet de consolider les données transitant dans le cadre du contrat	4	La plateforme permet de consolider une bonne partie des données utiles pour le CPM dans l'exécution de ses tâches. Il pourrait être intéressant d'inclure de nouvelles sources de données toutes aussi importantes mais principalement utilisées par les fonctions de support.
La plateforme permet de détecter et corriger les anomalies altérant la qualité des données	2.5	Les anomalies existantes dans les données constituent un réel problème dans l'exécution. La solution détecte une partie des anomalies mais ne les corrige pas. Il s'agit des anomalies impliquant des problèmes techniques lors du traitement. Bien que la simple détection soit facilement implémentable, la correction des données doit être faite à la source par un travail touchant principalement la phase commerciale dédiée à l'élaboration des contrats et à la standardisation des bases de données de l'entreprise.
La plateforme permet de vérifier la qualité des données en entrée du système	3.5	Le système permet de détecter les anomalies liées à l'ajout de nouvelles commandes en se basant sur la liste des pièces existantes
L'utilisation de la plateforme est facile et intuitive	4.5	L'universalité de la plateforme utilisée et sa facilité initiale d'utilisation garantit la satisfaction de ce critère.
La solution est généralisable sur d'autres contrats	5	L'ensemble des traitements étant automatisés, il suffit d'introduire les inputs du nouveau contrat. Ce critère est donc satisfait.
Le système est jugé bénéfique et efficace aux opérations	5	Les parties prenantes interrogées sont unanimes par rapport à la satisfaction de ce critère

Tableau 13 - Grille d'évaluation de la plateforme e-contract

3.5.2 Evaluation des Tableaux de bord

La pertinence d'un tableau de bord se mesure en se basant sur son utilité. Ainsi, le résultat réalisé a été soumis aux décideurs-utilisateurs pour émettre un jugement. Une grille d'évaluation de la pertinence d'un tableau de bord est adoptée suite à une consultation des décideurs à propos des critères à considérer.

Critère	Note (/5)	Synthèse
---------	-----------	----------

Permettre de mesurer la situation à intervalles réguliers	4	La possibilité de filtrer sur les différents évènements et Code Annexes est appréciée, cette terminologie étant celle adoptée dans la culture de l'entreprise.
Permettre une analyse concrète de la performance	4	Validation du critère par rapport à la fourniture des pièces de rechange ; Volonté de généraliser l'approche pour les autres types d'activités.
Permettre de faciliter la prise de décision et l'élaboration de plan d'actions	4.5	Le rapport opérationnel offre un accès visuel aux chefs de projets afin de les aider dans la prise de décision ; La définition de plan d'actions à court terme est effectivement possible pour la fourniture de pièces de rechange.
Permettre de redéfinir les axes stratégiques / axes de travail,	3.5	Le rapport analytique offre une vue globale sur la gestion du contrat, notamment la gestion des relations fournisseurs ; Volonté de généraliser l'approche à l'échelle de l'entreprise en incluant multiples contrats.
Avoir un lien direct avec l'objectif suivi,	4	Critère satisfait ; volonté de généraliser.
Être lisible, facilement interprétable et précis,	4.5	Les différents résultats affichés sont très précis et fidèles à la réalité du contrat.
Se prêter à des comparaisons temporelles,	4	Critère satisfait notamment dans le rapport opérationnel. Ce critère reste peu important pour le suivi de la performance, le temps n'étant pas le critère de comparaison adopté.

Tableau 14 - Grille d'évaluation du tableau de bord

3.5.3 Evaluation de la base de données

La qualité des bases de données peut être déterminée en la comparant aux normes techniques des meilleures pratiques ci-dessous retenues. Dans notre cas, il est aisé de vérifier que la base de données développée satisfait les exigences suivantes :

- 1^{ère} forme normale : Tous les attributs possèdent une valeur sémantiquement atomique ;
- 2^{ème} forme normale : Un attribut non identifiant ne dépend pas d'une partie de l'identifiant mais de tout l'identifiant ;
- 3^{ème} forme normale : Tous les attributs non identifiants doivent dépendre directement de l'identifiant, aucun attribut non identifiant ne dépend de l'identifiant par dépendances transitives.
- Forme normale de Boyce-Codd : Tous les attributs non identifiants ne sont pas source de dépendance fonctionnelle pour une partie de l'identifiant.

On peut alors attester que la base de données développée satisfait la forme normale de Boyce-Codd.

3.6 Déploiement

Suite à la validation de la solution, cette dernière est jugée satisfaisante des besoins de GEPS en termes de digitalisation de son activité opérationnelle.

Un plan est mis en place pour le déploiement de cette dernière et sa généralisation à travers les différents projets de GE Algérie.

L'étude de faisabilité étant effectuée et la preuve de concept étant développée dans le présent travail, le plan a pour objectif principale de maîtriser le déploiement de la solution et sa mise en service.

Ce plan comporte 2 phases : La planification du déploiement et le déploiement effectif de la solution.

3.6.1 Préparation au déploiement de la solution

Cette phase comporte quatre étapes principales, à savoir :

Etape	Actions
L'adaptation de la solution à la charte informatique et technique de GE	Vérification de la satisfaction des exigences de GE en termes de cybersécurité.
	Compléter la documentation des différentes fonctionnalités.
	Développement de potentielles fonctionnalités additionnelles.
L'adaptation des processus métier à l'introduction de l'outil	Optimisation de l'utilisation des fonctionnalités au sein de GEPS, notamment en termes de reporting et collaboration avec le client.
	Adapter les processus de GEPS en prévision de la numérisation de l'activité.
La sensibilisation et formation des utilisateurs	Etablissement d'un plan de formations pour la promotion de la solution auprès des CPM.
	Sensibilisation et implication de la part de la direction générale pour motiver le changement.
Préparation des lieux au déploiement	Gestion du changement.
	Sensibilisation des différents acteurs de l'impact de la solution.
	Planifier la maintenance et l'entretien du système.
	Simulation du lancement + Essai pré-déploiements + Simulation des opérations to-be.

Tableau 15 - Préparation au déploiement de la solution

3.6.2 Déploiement de la solution

Cette phase a pour objectif de contrôler la phase de déploiement et assurer sa pérennité, elle se compose également de quatre étapes, tel que le montre le tableau 17.

Etape	Actions
Evaluation de l'utilisation de la solution	Détermination des résultats obtenus ;
	Détermination des écarts des résultats escomptés ;
	Quantifier la valeur ajoutée par la solution.
Analyse des résultats et des écarts	Mener une analyse des causes racines pour remédier aux écarts détectés ;
	Remédier aux écarts détectés.

Contrôle et monitoring	Détermination des points à améliorer ;
	Planification des améliorations.
Amélioration continue	DMAIC ;
	PDCA.

Tableau 16 - Déploiement de la solution

4 Valeur ajoutée

A Présent, l’outil est déployé sur le projet pilote uniquement, les observations suivantes sont alors recueillies de l’exécution du contrat en question.

- Au niveau de la gestion du contrat KH/DG/06/19, l’utilisation du livrable est adoptée par le chef du projet. En effet, le suivi que permet le tableau de bord et la consolidation des différentes données offrent une très bonne visibilité par rapport aux opérations entreprises depuis la signature du contrat. Une visibilité d’autant plus importante au vu de la clôture des prestations prévue en 2023, ce qui nécessite un audit financier et opérationnel pour s’assurer de l’achèvement de l’ensemble des obligations contractuelles.
- L’outil sert de référence pour les différentes informations nécessaires à l’exécution, remplaçant ainsi la méthodologie antérieure peu optimisée.
- Le gain en temps impliqué par l’utilisation de la solution est considérable, en tenant compte des différentes opérations qui sont grandement simplifiés, à savoir : le pilotage de la fonction Achat, le suivi opérationnel de la performance, la collaboration avec le client, la création de rapports et leur partage.
- Le gain en productivité est remarquable concernant la communication de l’état d’avancement au client. L’entreprise dispose d’un support pour générer des rapports exhaustifs à partager.

5 Estimation financière de la mise en place de la solution

Bien que la valeur ajoutée de la solution soit évidente, le gain réalisé n’est pas chiffré à ce stade de résolution pour les raisons suivantes :

- La solution est destinée à un déploiement exhaustif englobant l’ensemble de l’activité de GEPS. L’amortissement des charges devrait-être important et son calcul ou estimation nécessite un déploiement des efforts à plus haute échelle dépassant le cadre du projet pilote dans lequel s’est inséré le présent travail à présent.
- Au niveau du projet pilote où la solution est déployée, la durée d’utilisation n’est pas suffisamment longue pour chiffrer le gain. Ce dernier n’étant pas directement numéraire mais consistant en un gain de productivité, une efficacité augmentée en termes de délais raccourcis, de qualité améliorée et de potentiels coûts réduits (coûts indirects)

6 Optimisation de la gestion de la pièce de rechange

6.1 Introduction

Dans l'optique d'une amélioration globale du service de maintenance au sein de GEPS, nous avons pour ambition d'attaquer l'ensemble des dysfonctionnement détectés au cours du diagnostic effectué notamment celui de la gestion de la pièce de rechange car il impacte sensiblement la pertinence de notre application.

Cette phase des opérations est le déclencheur du processus de fourniture de la pièce de rechange au sein de GEPS, que nous détaillons dans l'annexe A-4. L'activité de gestion de stocks du client est donc intimement liée aux processus métier de GE.

Ainsi, la présente solution est destinée à compléter la solution principale proposée, en taclant les problèmes spécifiques détectés relatifs à la collaboration dans la gestion de la pièce de rechange, dans le cadre du suivi et de l'exécution des prestations.

Rappelons que l'optimisation de la gestion de la pièce de rechange figure parmi les objectifs du contrat. Toutefois, sa gestion est menée exclusivement par le client dans un environnement qui manque de collaboration.

A cet effet, l'approche adoptée pour la résolution avait pour but d'établir un état commun qui serait favorable aux deux parties dans une optique d'optimisation bilatérale en utilisant la programmation mathématique.

La présente partie introduit cette solution d'accompagnement qui vise à viabiliser la solution principale proposée, qui est la digitalisation de la gestion opérationnelle des projets.

Une étude des besoins et des contraintes du client est alors essentielle pour la compréhension du contexte. Pour des contraintes logistiques, le diagnostic prévu de l'état de la gestion des stocks du client n'a pas été effectué, forçant la modélisation à demeurer généraliste. Également, son implémentation ne dépend pas de GEPS et nécessite l'implication du client.

Dans ce qui suit, nous présentons la méthodologie adoptée pour la modélisation qui nous a permis de traduire la problématique en un problème d'optimisation mathématique.

6.2 Contexte

Selon le contrat, le client est tenu de commander une liste préétablie de pièces de rechange et de consommables pour des quantités et prix connus. Ces commandes serviront dans l'exécution du plan de maintenance.

L'objectif du client est de minimiser le coût total de la gestion de son stock, tandis que l'objectif de GEPS est une d'avoir une meilleure visibilité sur la demande du client afin de mieux l'appréhender.

Le contrat prévoit deux procédures définies, à savoir :

- L'indexation incrémentale des prix préétablis des pièces à 2% à partir de la deuxième année contractuelle
- Les pénalités hebdomadaires que doit adosser le prestataire en cas de retards de livraison s'élevant à 0.5% du montant des pièces non-livrés.

6.3 Hypothèses et estimations

Nous supposons que le coût total de la gestion des stocks se compose de :

$$\text{Coût Total} = \text{coût d'achat} + \text{coût de lancement de la commande} \\ + \text{coût de possession et de stockage} + \text{coûts de pénurie}$$

Avec :

$$\text{Coût d'achat} = \text{Prix d'achat} + \text{coût de transport} + \text{coût de manutention} \\ + \text{coûts du contrôle de la qualité ...}$$

Pour la suite du raisonnement, nous posons les hypothèses suivantes :

- Le coût d'achat se résume au prix d'achat, au vu de l'incoterm adopté pour le transport.
- La capacité de stocks chez le client n'est pas contraignante, on la suppose illimitée.
- Le coût du lancement d'une commande est nul.
- Hypothèse simplificatrice : L'ensemble des quantités d'une pièce donnée pour un évènement donné est commandé en un seul coup.

Nous émettons également les estimations suivantes :

- Les délais de livraison de GE suivent une loi normale tel que :

$$D_i \rightarrow N(C_i, 3 \text{ semaines})$$

Avec D_i : délai effectif de livraison de la pièce i et C_i : délai contractuel exprimé en semaines.

- Le coût de stockage d'une pièce i est égal à 1% de son prix d'achat pour chaque semaine en stock. Ce coût est destiné à être varié au cours de la résolution, sa valeur réelle étant inconnue.
- Le coût de pénurie est calculé à la base du manque à gagner hebdomadaire du client, en tenant en compte de :

- Prix du kWh en Algérie : \$ 0.034

- Puissance électrique générée par une turbine à gaz du site : 44MW

Le coût hebdomadaire de rupture est donc de $C_p = \$ 251,328.00$

6.4 Modélisation du programme non linéaire d'optimisation

Le modèle a pour objectif de répondre à la question :

« Quand le client doit-il commander les pièces de rechanges en tenant compte du risque de pénurie, des dates des arrêts planifiés, du coût de stockage, de l'indexation des prix et les retards de livraison ? »

Il s'agit donc de déterminer pour chaque pièce, la semaine à laquelle elle doit être commandée afin de minimiser les coûts. En d'autres termes :

$$\min(CT) = \sum P_i + (X_i - 52) \text{DIV } 52 \times 2\% \times P_i \times V_{1i} + (X_i + D_i - B_i) \times c_p \times V_{2i} \\ + (B_i - X_i - D_i) \times c_s \times V_{3i} - (D_i - C_i) \times 0.5\% \times P_i \times V_{4i}$$

s/c :

$$(1) \dots V_{1i} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; V_{2i} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; V_{3i} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; V_{4i} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

$$(2).... X_i \geq 0$$

$$(3).... (X_i - 52) \times V_{1i} \geq 0$$

$$(4).... (X_i + D_i - B_i) \times V_{2i} \geq 0$$

$$(5).... (X_i + D_i - B_i) \times V_{3i} \leq 0$$

$$(6).... (D_i - C_i) \times V_{4i} \geq 0$$

Avec :

X_i : Variable de décision : La semaine à laquelle le client doit commander la pièce i .

P_i : Prix d'achat de la pièce i

52 : Nombre de semaines par année

DIV : Division entière (nous calculons le quotient)

D_i : Délai effectif de livraison de la pièce i

B_i : Semaine à laquelle la pièce i est essentielle sur le site du client (début de début de l'activité de maintenance)

C_i : Délai contractuel de livraison

c_p : Coût de pénurie

c_s : Coût de stockage

V_{1i} : Variable de décision régulant l'indexation du prix

V_{2i} : Variable de décision régulant le calcul des coûts de pénurie

V_{3i} : Variable de décision régulant le calcul des coûts de stockage

V_{4i} : Variable de décision régulant le calcul des coûts des pénalités

6.4.1 Explication de la fonction objectif à minimiser :

L'objectif est de minimiser le coût total (CT) de la gestion de la pièce de rechange, ce coût total pour une pièce i se compose de :

- Le coût d'achat, compte tenu de l'indexation des prix :

$$P_i + (X_i - 52) DIV 52 \times 2\% \times P_i \times V_{1i}$$

- Le coût de pénurie en cas de retard :

$$(X_i + D_i - B_i) \times c_p \times V_{2i}$$

- Le coût de stockage en cas de mise au stock de la pièce :

$$(B_i - X_i - D_i) \times c_s \times V_{3i}$$

- Le gain perçu des potentielles pénalités de retard, en cas de retard :

$$(D_i - C_i) \times V_{4i} \geq 0$$

6.4.2 Explication des contraintes :

(1) ; (2) ; (3) : Contraintes d'intégrité ;

(3) : Etablissement de la condition sur l'indexation des prix, à savoir :

$$V_{1i} = \begin{cases} 0 & \text{si le nombre de semaines} < 52 \times 2 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

(4) : Etablissement de la condition sur l'application des coûts de pénurie

$$V_{2i} = \begin{cases} 0 & \text{si la date de livraison } X_i + D_i < \text{Date du besoin } B_i \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

(5) : Etablissement de la condition sur l'application des coûts de stockage

$$V_{3i} = \begin{cases} 0 & \text{si la date de livraison } X_i + D_i > \text{Date du besoin } B_i \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

(6) : Etablissement de la condition sur l'application des pénalités de retard

$$V_{4i} = \begin{cases} 0 & \text{si le délai de livraison } D_i < \text{Délai contractuel } C_i \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

6.5 Préalables à l'implémentation du modèle

Le modèle élaboré est très généraliste sans être adapté au contexte particulier du client de GEPS, un diagnostic plus précis doit être effectué afin de proposer une solution personnalisée au client.

La solution étant conçue pour être appliquée par le client, son implémentation nécessite sa contribution dans le but de rendre le modèle plus précis, fidèle à la réalité et adapté à son besoin.

Toutefois, la modélisation mathématique du problème de la gestion de la PDR, à ce niveau de généralité, peut s'avérer utile pour l'étude d'autres cas et projets, de par les avantages que présentent la modélisation dans la compréhension des systèmes complexes.

7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter la solution proposée visant à améliorer la gestion des projets de maintenance au sein de GEPS. La démarche de conception s'est étalée sur la définition d'une démarche de résolution, la définition des spécifications de la solution et les fonctionnalités attendues, avant de dérouler une démarche basée sur des concepts académique visant la mise en place de la solution. Pour finir, une extension de celle-ci est proposée en abordant le processus amont déclencheur de l'activité de GEPS, à savoir la gestion de la PDR. Pour cette partie, une modélisation mathématique généraliste est proposée pour simplifier le modèle.

Conclusion Générale

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la gestion des projets de maintenance au sein de General Electric Power Services, l'entreprise leader dans le secteur du service de maintenance des équipements de production d'électricité implantés à travers l'ensemble du territoire national. Notre travail est initié dans une ambition d'amélioration générale du service rendu par GEPS à ses clients.

L'activité de GEPS est régie par des contrats de sous-traitance signés avec ses clients. Ces contrats représentent des projets de maintenance, indépendamment gérés tout en ayant une forme étroitement similaire, qui structurent l'organisation en mode projet au sein de l'entreprise. Au vu de cette partition au sein de l'activité, nous nous positionnons au niveau d'un projet pilote et nous nous définissons comme objectif d'optimiser la gestion de projet au sein de ce contrat, en gardant une vision de généralisation de la solution proposée sur l'ensemble des projets de l'entreprise.

Pour ce faire, notre travail a connu quatre phases successives et reliées. Dans un premier lieu, nous nous sommes familiarisés avec l'activité de l'entreprise dans le cadre de l'exécution du contrat par l'assistance du chef de projet dans l'exécution opérationnelle du contrat, en termes de suivi des opérations, d'approvisionnement et de suivi financier. Ceci nous a permis de découvrir les processus métiers, de relever les différents dysfonctionnements et de constituer une base pour l'établissement d'un diagnostic.

Ensuite, une phase d'analyse et de diagnostic s'en est suivie, de nombreux entretiens avec les différentes parties prenantes du projet, ainsi que des projets relatifs à d'autres contrats, ont été effectués. Ceci nous a permis de valider les différents dysfonctionnements relevés, d'en détecter de nouveaux et de vérifier la généralité des dysfonctionnements à travers les autres contrats de maintenance. Cette phase est finalement aboutie par la définition d'une problématique précise qui a été abordée dans les phases suivantes dans le but de la résoudre.

Suite à cela, une démarche scientifique basée sur des outils académiques a été élaborée afin de tracer le cheminement de la résolution et de l'encadrer. Cette phase nous a permis de définir une architecture globale de la solution visée et d'établir un plan d'action pour son développement et sa mise en place.

Enfin, la phase finale du travail effectué consiste en le déroulement du plan d'action établi et le développement de la solution visée. La problématique détectée étant un manque de consolidation et de traçabilité des opérations dans le cadre de l'exécution des contrats ainsi qu'une obsolescence du processus du suivi opérationnel, la solution proposée est la digitalisation de la gestion opérationnelle des contrats de maintenance.

La solution proposée est une plateforme informatique centralisée soutenue par une base de données relationnelle et des tableaux de bords, qui assiste opérationnellement les chefs de projets dans la réalisation et le suivi des obligations contractuelles de GEPS.

La solution ainsi proposée, déployée au sein du projet pilote de l'étude offre au chef du projet :

- Une meilleure visibilité par rapport aux opérations accomplies, en cours et restantes dans le cadre de l'exécution du contrat. Cette visibilité est d'autant plus précieuse au vu de sa nécessité pour la clôture prochaine des prestations.
- Une version digitale du contrat servant d'une référence pour les différentes informations nécessaire à l'exécution et remplaçant la méthode traditionnelle antérieure.
- Un outil robuste d'aide à la décision ainsi qu'un support facilitant la communication de l'avancement des prestations au client, par l'intégration des tableaux de bord dans la gestion.

Afin d'améliorer la solution proposée, des perspectives d'amélioration peuvent être explorées :

- L'amélioration de la collaboration avec le client étant un des objectifs visés par la solution, il serait intéressant de la rendre commune aux deux parties par l'inclusion du client comme utilisateur de la plateforme en gérant son déploiement et sa mise en place qui nécessitera de franchir les obstacles techniques liés aux infrastructures utilisées, de définir les différents scénarios et de gérer le changement.
- La vision étant d'améliorer le service global de GE, compléter le déploiement de la solution à travers les différents projets, en l'intégrant aux autres systèmes initialement utilisés, constitue un projet très intéressant et de grande envergure à gérer, au vu de la transformation totale qu'il implique dans l'activité.

Pour conclure, ce projet constitue une aventure qui nous a permis d'apprendre énormément sur un plan professionnel, académique et humain, capitalisant et couronnant ainsi les précieuses connaissances acquises durant notre formation à l'École.

Bibliographie

- (Aptean, 2018)** Aptean. The evolution of maintenance, disponible sur <https://www.aptean.com/en-EU/insights/blog/the-evolution-of-maintenancev>
- (Baptiste, 2015)** Jean-Luc BAPTISTE, Merise Guide Pratique (Nouvelle édition), 2008.
- (Brasseur, 2018)** Brasseur, Martine, et Fatine Biaz. « L'impact de la digitalisation des organisations sur le rapport au travail : entre aliénation et émancipation », *Question(s) de management*, vol. 21, no. 2, 2018, pp. 143-155.
- (BSI, 1984)** British Standards Institution. Maintenance management terms, 1984
- (Bzhwen, 2020)** Kadir, Bzhwen. (2020). Designing new ways of working in Industry 4.0. 10.13140/RG.2.2.33234.79041.
- (Cazals, 2015)** François Cazals. Startégies digitales, De boeck, 2018. 2e Édition, 384 pages.
- (Cuignet, 2007)** Renault CUIGNET , « Management de la maintenance » –Edition Dunod 2007
- (Documentation GE, 2019)** Documentation GE, 2019, Contrat de maintenance.
- (Energieplus, 2020)** Energieplus. Technique de cogeneration turbines, disponible sur <https://energieplus-lesite.be/techniques/cogeneration9/turbine/> (
- (Eurodecision, 2022)** Eurodecision, La programmation linéaire et mathématique, disponible sur <https://www.eurodecision.com/algorithmes/recherche-operationnelle-optimisation/programmation-mathematique-programmation-lineaire>
- (euroénergie, 2017)** Euroénergie, 2017. Sonelgaz et GE signent un accord de partenariat, Available at: <https://www.euro-energie.com/sonelgaz-et-general-electric-signent-un-accord-de-partenariat-r-long-terme-pour-la-realisation-d-un-complexe-industriel-en-algerie-n-4236>
- (Forbes, 2022)** *Forbes 2000*. Disponible sur <https://www.forbes.com/lists/global2000/?sh=3f45513e5ac0>
- (General Electric Company, 2004)** General Electric Company. Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations © 2004 GER-3620K (12/04)
- (GE, 2022)** General Electric, 2022. *GE | Building a world that works*. Disponible sur www.ge.com
- (Goillkar, 2020)** Goillkar, V., *Business intelligence Architecture*. 2020. Disponible sur <https://vaishaligoillkar3322.medium.com/business-intelligence-architecture-97935d03e26d>
- (IBM, 2021)** *UML models and diagrams- Mars 2021*. Disponible sur : <https://www.ibm.com/docs/en/rational-soft-arch/9.7.0?topic=diagrams-uml-models>
- (iea, 2022)** *Electricity Market Report - January 2022*. Disponible sur : <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-january-2022>
- (IEEE, 2022)** IEEE. Standard Glossary of So.ware Engineering Terminology, 2022.

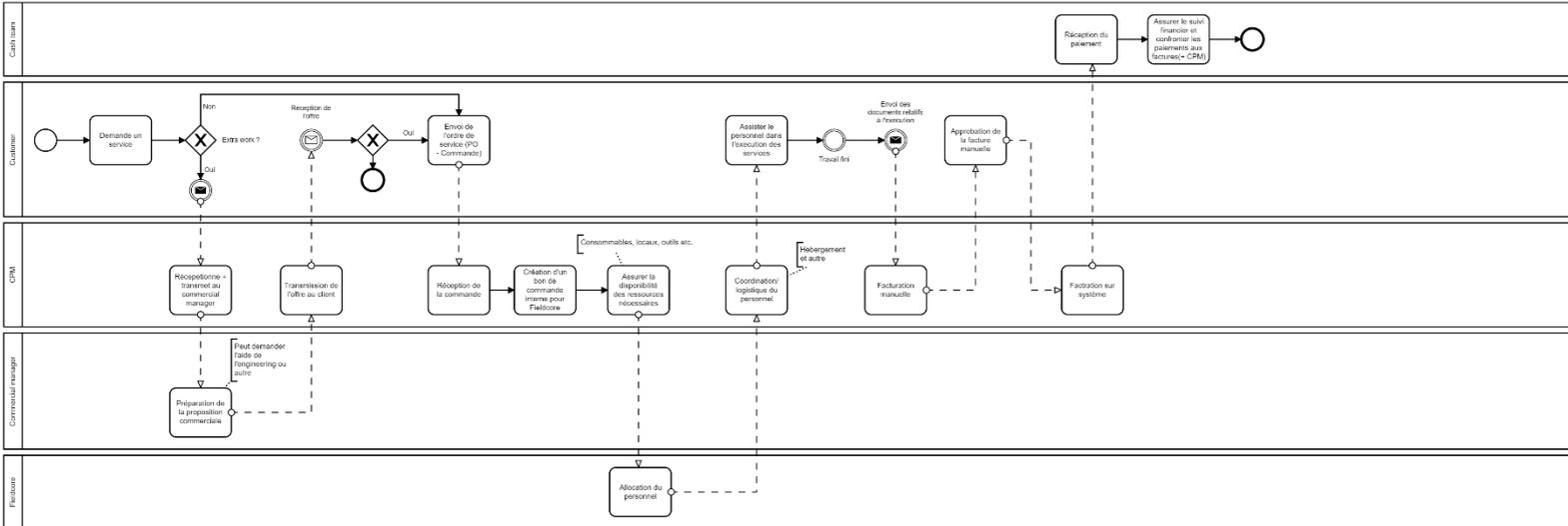
- (L'expression, 2006)** L'expression, 2006. Disponible sur : <https://www.lexpressiondz.com/index.php/nationale/kahrama-sera-toujours-operationnelle-31980>
- (Manufacturing, 2014)** Manufacturing. The prox and cons of outsources vs inhouse maintenance Disponible sur <https://www.manufacturing.net/home/article/13150064/the-pros-cons-of-outsourced-vs-inhouse-maintenance>
- (McKinsey, 2020)** McKinsey. Business Fonctions Operations, Our insights. Disponible sur <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/The%20future%20of%20maintenance%20for%20distributed%20fixed%20assets/The-future-of-maintenance-for-distributed-fixed-assets.pdf>
- (Mines PaisTech, 2022)** R. Gicquel. Turbines à gaz, Mines PaisTech, 2022. Disponible sur <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/turbines-gaz.html>
- (Noual, 2022)** Noual Nadjwa, Ecole Nationale Polytechnique, Management de la maintenance. 2021
- (Observatoire, 2019)** Observatoire Europe Afrique, 2019. Disponible sur : <http://observatoire-europe-afrique-2030.org/wp-content/uploads/2019/10/Top500-Jeune-Afrique-12102019-liste-des-entreprises.pdf>
- (Oracle, 2022)** Oracle. L'essentiel à savoir sur les bases de données, 2022.
- (Our world in data, 2022)** Our world in data, 2022. *Energy Data Explorer*.
- (Reix, 2004)** Robert Reix. Systèmes d'information et management des organisations, 2004.
- (Reuters, 2018)** Alwyn Scott. GE's push to fix power turbine problem goes global, 2018.
- (Salesforce, 2022)** Salesforce. What is Digital Transformation.
- (Sonatrach, 2022)** Sonatrach, 2022. Consultable sur www.sonatrach.dz
- (Sonelgaz, 2022)** Sonelgaz, 2022. Consultable sur www.Sonelgaz.dz
- (Springer, 2008)** Mohamed Ben-Daya • Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf • Jezdimir Knezevic • Daoud Ait-Kadi, Handbook of Maintenance Management and Engineering. Springer, 2009.
- (Tani, 2021)** Meziane Tani, Introduction au Génie Logiciel, Ecole Nationale Polytechnique, 2021
- (VBA, 2019)** Excel® 2019 Power Programming with VBA
- (Zouaghi, 2021)** Zouaghi Iskander, Business Intelligence, Ecole Nationale Polytechnique, 2021

Annexes

Annexe A : Modélisation des processus

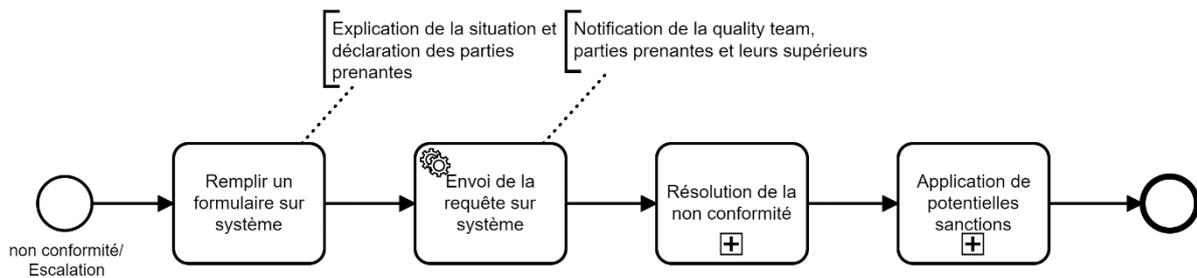
Annexe A-1 : Cartographie de processus de préparation d'un service de maintenance

Le CPM est le premier responsable de la bonne exécution de toutes les activités dans le cadre de l'exécution du contrat. En cas de non-conformité à n'importe quelle étape, il est possible d'émettre un Non Conformance Report pour escalade.



Annexe A-1 Cartographie du processus de préparation d'un service de maintenance

Annexe A-2 : Cartographie de processus d'escalade pour non-conformité (mené par le CPM)



Annexe A-2 Cartographie du processus d'escalade pour non conformité

Annexe B – Programmation Informatique

Annexe B-1 : Code VBA : Fonction New_order()

```
Sub new_order()  
'  
' new_order Macro  
'  
    Application.ScreenUpdating = False  
  
    Dim nberrors As Integer  
    Dim nblines As Integer  
  
    'First, we verify that all the parts are well defined.  
  
    nberrors = Sheets("New Order template").Range("B2").Value()  
    If (nberrors > 0) Then  
        MsgBox ("Some Part numbers are not identified. System unable to proceed")  
    Else  
  
        'Then we select the (exact number of) lines ant copy them  
        nblines = Sheets("New Order template").Range("B3").Value()  
        Range("C6:J" & 6 + nblines - 1).Select  
        Selection.Copy  
        Sheets("Commandes V4").Select  
        Range("B2").Select  
        Selection.End(xlDown).Select  
        Range("B" & Selection.Row + 1).Select  
  
        'Then we paste them in the Commandes Sheets  
  
        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
            :=False, Transpose:=False  
  
        'Here we clear the template's content  
  
        Sheets("New Order template").Select  
        Range("D6:J6").Select  
        Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select  
        Application.CutCopyMode = False  
        Selection.ClearContents  
        Range("A6:B6").Select  
        Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select  
        Selection.ClearContents  
        Range("A6").Select  
    End If  
End Sub  
  
'Can be added : Less tolerance with errors in the other fields ; sensitivity to blank -  
' rows among filled rows.
```

Annexe B-1 Code VBA - Fonction New_order()

Annexe B-2 : Code VBA : Fonction refresh()

```
Sub refresh()

'
' refresh Macro
'

'First, we need to copy the values from each event consolidated' table

'Let's clear the destination content

unhide ("Annexes consolidées (Version 4)")
Sheets("Annexes consolidées (Version 4)").Select
Range("C2:O2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents

'On declare une liste

    Dim events(1 To 7) As String

'On remplit les éléments de la liste

    events(1) = "Combustion insp Parts"
    events(2) = "HGPI Parts"
    events(3) = "HGPI+32K Parts"
    events(4) = "MI+32K Parts"
    events(5) = "MI - Alt Parts"
    events(6) = "Op Mec Instr Parts"
    events(7) = "Op Elec Parts"

'We loop through the list

    Dim item As Variant

    For Each item In events
        unhide (item)
        update_filter_comb (item)
        Sheets(item).Select
        Range("A2").Select
        Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
        Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
        Selection.Copy
        Sheets("Annexes consolidées (Version 4)").Select
        Range("C1").Select
        'Verify if it's the first iteration

        If IsEmpty(Range("C2").Value) = False Then
            Selection.End(xlDown).Select
        End If

        Range("C" & Selection.Row + 1).Select
        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
            :=False, Transpose:=False
        Application.CutCopyMode = False

    Next item

' We clear the content of the destination tables
unhide ("Furniture V4")
Sheets("Furniture V4").Select
Range("A2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents

unhide ("Recommandation V4")
Sheets("Recommandation V4").Select
```

```

Range("A2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents

'then, we refresh the pivot tables based on the final consolidated table (Annexes consolidées
(Version 4)
  unhide ("pivot tables")
  Sheets("pivot tables").Select

  ActiveSheet.PivotTables("PivotTable4").PivotCache.refresh
  ActiveSheet.PivotTables("PivotTable5").PivotCache.refresh
  Call update_filter_pivot_4
  Call update_filter_pivot_5
'then we copy the content

  'first pivot
  Range("A4").Select
  Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
  Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
  Selection.Copy
  Sheets("Furniture V4").Select
  Range("A2").Select
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

  'second pivot
  Sheets("pivot tables").Select
  Range("J4").Select
  Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
  Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
  Application.CutCopyMode = False
  Selection.Copy
  Sheets("Recommandation V4").Select
  Range("A2").Select
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

.....

.....

Sheets("Main").Select
Call close_all_only_activesheet
MsgBox ("Refresh Done !")
End Sub

```

Annexe B- 2 Code VBA - Fonction Refresh()

Annexe B-3 : Code VBA : Fonction open_TDB()

```
Sub OpenTDB()  
  
On Error GoTo Errorfile  
    unhide ("Fourniture V4")  
    unhide ("Commandes V4")  
    unhide ("Recommandation V4")  
    unhide ("Type evenement")  
    unhide ("Evenement - Plan")  
    Dim MyApp As Object  
    Dim MyFile As String  
    Set MyApp = CreateObject("Shell.Application")  
    MyFile = Application.ActiveWorkbook.Path & "\Dashboard.pbix"  
    MyApp.Open (MyFile)  
    Set MyApp = Nothing  
Exit Sub  
  
Errorfile:  
    Set MyApp = Nothing  
    MsgBox "Erreur lors de l'ouverture de fichier..."  
  
End Sub
```

Annexe B- 3 Code VBA - Fonction Open_TDB()

Annexe B-4 : Code VBA : update_filter_pivot()

```
Sub update_filter_pivot_4()  
,  
' update_filter_pivot Macro  
,  
  
,  
    Range("A3").Select  
    ActiveSheet.PivotTables("PivotTable4").ClearAllFilters  
    With ActiveSheet.PivotTables("PivotTable4").PivotFields("GE Part N°")  
        .PivotItems("(blank)").Visible = False  
    End With  
End Sub  
  
Sub update_filter_pivot_5()  
,  
' update_filter_pivot_5 Macro  
,  
  
,  
    Range("J3").Select  
    ActiveSheet.PivotTables("PivotTable5").ClearAllFilters  
    With ActiveSheet.PivotTables("PivotTable5").PivotFields("Clé2")  
        .PivotItems("").Visible = False  
    End With  
End Sub  
  
Function update_filter_comb(sheetname_1 As String)  
  
    Sheets(sheetname_1).Select  
    ActiveSheet.Range("$A$1:$K$500").AutoFilter Field:=4  
    ActiveSheet.Range("$A$1:$K$500").AutoFilter Field:=4, Criterial:="<>"  
End Function
```

Annexe B- 4 Code VBA-Update_filter_pivot()

Annexe B-5 : Code VBA : Fonction Close_all_only_activesheet()

```
Sub close_all_only_activesheet()  
Application.ScreenUpdating = False  
  For Each Sheet In ThisWorkbook.Sheets  
  
    If Not (Sheet.Name = ActiveSheet.Name) Then  
      Sheets(Sheet.Name).Visible = xlHidden  
    End If  
    ' MsgBox (Sheet.Name)  
  Next  
End Sub
```

Annexe B- 5 Code VBA - Close_all_only_activesheet()

Annexe B-6 : Code VBA : Fonction Unhide()

```
Function unhide(sheetname As String)  
Application.ScreenUpdating = False  
  Sheets(sheetname).Visible = True  
End Function
```

Annexe B- 6 Code VBA - Fonction Unhide()

Annexe B-7 : Fonctions de navigation

```
Sub goToTemplate()  
Application.ScreenUpdating = False  
    unhide ("New Order template")  
    Sheets("New Order template").Select  
    Call close_all_only_activesheet  
    unhide ("Commandes V4")  
    Sheets("New Order template").Select  
End Sub
```

```
Sub goToMain()  
Application.ScreenUpdating = False  
    unhide ("Main")  
    Sheets("Main").Select  
    Call close_all_only_activesheet  
End Sub
```

```
Sub goToDeliveryTerms()  
Application.ScreenUpdating = False  
  
    Dim events(1 To 7) As String  
  
    events(1) = "Combustion insp Parts"  
    events(2) = "HGPI Parts"  
    events(3) = "HGPI+32K Parts"  
    events(4) = "MI+32K Parts"  
    events(5) = "MI - Alt Parts"  
    events(6) = "PDR op mec Parts"  
    events(7) = "PDR op elec Parts"  
  
    Dim item As Variant  
  
    For Each item In events  
        unhide ("DLL - " & item)  
    Next item  
    Sheets("Main").Visible = xlHidden  
  
End Sub
```

```

Sub goToPrices()
Application.ScreenUpdating = False

    Dim events(1 To 7) As String

    events(1) = "Combustion insp Parts"
    events(2) = "HGPI Parts"
    events(3) = "HGPI+32K Parts"
    events(4) = "MI+32K Parts"
    events(5) = "MI - Alt Parts"
    events(6) = "PDR op mec Parts"
    events(7) = "PDR op elec Parts"

    Dim item As Variant

    For Each item In events
        unhide ("Prix - " & item)
    Next item
    Sheets("Main").Visible = xlHidden

End Sub

Sub goToConsolidated()
Application.ScreenUpdating = False
    unhide ("Annexes consolidées (Version 4)")
    Sheets("Annexes consolidées (Version 4)").Select
    Call close_all_only_activesheet
End Sub

Sub goToCommandes()
Application.ScreenUpdating = False
    unhide ("Commandes V4")
    Sheets("Commandes V4").Select
    Call close_all_only_activesheet
End Sub

Sub GoToPlan()
Application.ScreenUpdating = False
    unhide ("Plan de maintenance")
    Sheets("Plan de maintenance").Select
    Call close_all_only_activesheet
End Sub

```

Annexe B- 7 Code VBA - Fonction de navigation

Annexe C – Annexes du contrat

Annexe C-1 : Unités couvertes

UNITE COUVERTE

Les Unités Couvertes se composeront de la turbine et de l'alternateur et des auxiliaires tel que décrit ci-dessous :

A- Trois (03) turbines à gaz, modèles PG9171E du fabricant General Electric, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Model des trois (03) Turbine à gaz	PG9171E
Frame size	9E
Année de mise en service	2005
Type de combustion	DLNI
Régime de fonctionnement	Charge de base en cogénération
Type de combustible	Gaz naturel
Filtration d'air	Filtre d'air autonettoyant avec refroidissement à eau
Contrôle commande	Mark V - TMR
Lavage compresseur	OFF line

Annexe C- 1 Unités couvertes par le contrat

Annexe C-2 : Annexe du contrat – Consommables pour inspection de combustion.

ANNEXE B-1/1: DECOMPOSITION DU MONTANT DU CONSOMMABLES POUR INSPECTION DE COMBUSTIO

SL #	PART NUMBER	DESCRIPTION	Q'TY	Unit Price	Total Price
1	181D9251G001	TUBE,CROSSFIRE - MALE	42	\$ 909,05	\$ 38 180,14
2	181D9252G001	TUBE,CROSSFIRE - FEMALE	42	\$ 785,76	\$ 33 002,13
3	223C2166P001	RETAINER,CROSSFIRE TUBE	84	\$ 171,76	\$ 14 427,90
4	287A1614P004	RING PACKG	56	\$ 15,18	\$ 850,04
5	318A9713P028	GASKET	56	\$ 12,73	\$ 712,73
6	318A9713P037	GASKET	14	\$ 31,18	\$ 436,50
7	318A9713P038	GASKET	12	\$ 3,91	\$ 46,89
8	344A5938P008	GASKET	56	\$ 7,98	\$ 447,00
9	N733AP35028	BOLT 12 PT	16	\$ 4,19	\$ 67,03

Annexe C- 2 Exzmple de PDR pour inspection de combustion

Annexe C-3 : Annexe du contrat – Consommables pour inspection des parties chaudes

Annexe B-1-2 : Consommables requis pour Inspection des parties chaudes classique (sans amélioration AGP+32K);

SL #	DESCRIPTION	Q'TY	UoM	DLVRY (WKS)	Unit Price	Total Price
1	TUBE,CROSSFIRE - MALE	14	EA	26	\$ 909,05	\$ 12 726,71
2	TUBE,CROSSFIRE - FEMALE	14	EA	26	\$ 785,76	\$ 11 000,71
3	RETAINER,CROSSFIRE TUBE	28	EA	22	\$ 171,76	\$ 4 809,30
4	RING PACKG	56	EA	16	\$ 15,18	\$ 850,04
5	GASKET	14	EA	16	\$ 12,73	\$ 178,18
6	GASKET	14	EA	16	\$ 31,18	\$ 436,50
7	GASKET	2	EA	22	\$ 3,91	\$ 7,81
8	GASKET	14	EA	14	\$ 7,98	\$ 111,75
9	ROIT 12 PT	16	EA	22	\$ 4,10	\$ 67,02

Annexe C- 3 Exemple de consommables pour inspection des parties chaudes

Annexe C-4 : Annexe du contrat – exemple de PDR mécanique

Manufacturer: FISHER & EMERSON
 ACTUATOR:
 Type: 1052
 Serial N°: EU03427187
 size: 60
 Power fail: OPEN
 VALVE BODY:
 Type: CV500
 Serial N°: E403427187
 size: 4 Rating: 300 RF
 Packing: GRAPHITE
 SE Part N°: 91424284G005
 VLI: 0991

269	0991	2	91424284G005	TRANSFER TOOL GAS SYSTEM PURGE AIR VALVE (VA13-3 & 4) 91424284C005	2	14 weeks
270	0991		//	VA13-3 & 4	6	14 weeks
271	0991	2	328A7435P001	LIMIT SWITCH, EP (VA13-3&4)	2	14 weeks
272	0991	2	197B6824P001	LEVER, SWITCH LIMIT ACTUA (VA13-3&4)	2	14 weeks
273	0991	2	N605P9004C	SELF TAPPING SCREW (VA13-3&4)	2	14 weeks
274	0991	1	91435960P001	AIR FILTER (FA2-1)	3	14 weeks
275	0991	2	91452419P008	FILTER PRESSURE REGULATOR (VPR44-3&4)	6	14 weeks

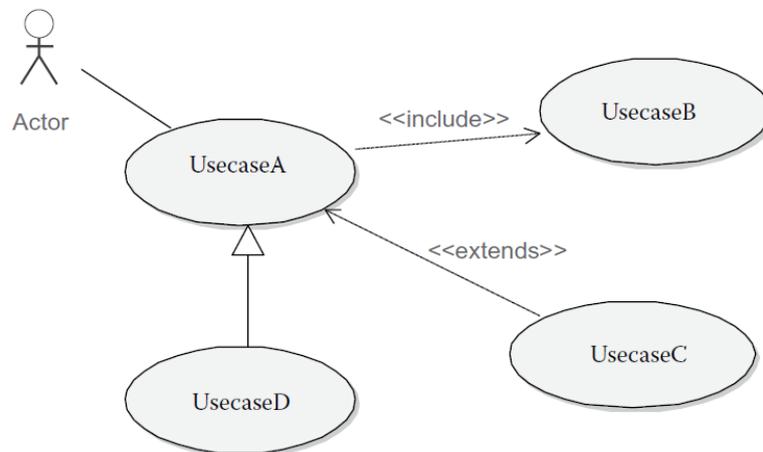
SPARE PARTS FOR AUXI. LUBRICATING OIL PUMP (QA)
 Manufacturer: RUTSCHI
 Model: CNV-125-100-315
 SE Part N°: 91406336P001
 VLI: 1006

276	1006	1	91600663P104	WEAR RING	3	14 weeks
277	1006	1	91600663P107	BEARING BUSH	3	14 weeks
278	1006	1	91600663P555	LIP RING	3	14 weeks
279	1006	1	91600663P556	FELT	3	14 weeks
280	1006	1	91600663P001	BALL BEARING	3	14 weeks
281	1006	1	91600663P570	GASKET	3	14 weeks

Annexe C- 4 Exemples de PDR mécanique

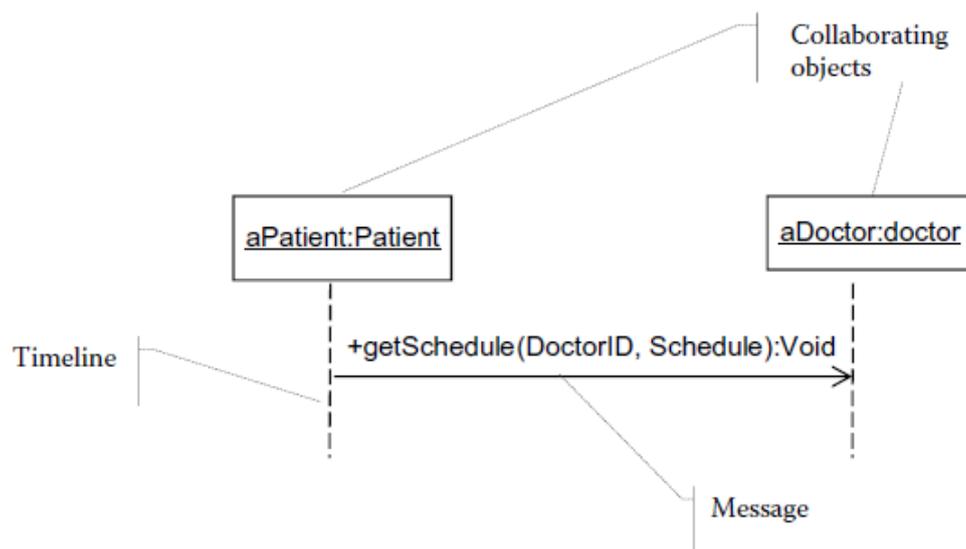
Annexe D – Diagramme UML

Annexe D-1 : Diagramme de cas d'utilisation



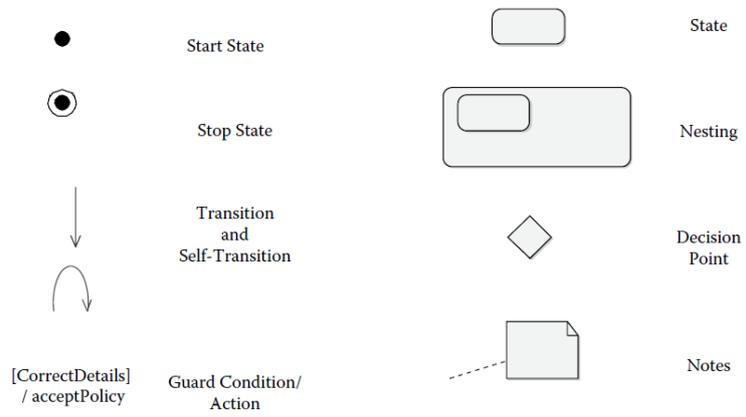
Annexe D - 1 Diagramme de cas d'utilisation

Annexe D-2 : Diagramme de séquences



Annexe D - 2 Diagramme de séquence

Annexe D-3 : Diagramme d'état-transition



Annexe D - 3 Diagramme d'état-transition