



Département Génie Industriel et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'INGENIEUR d'État

-Filière-

Génie Industriel

-Spécialité -

Management et Ingénierie de la Maintenance Industrielle

- Thème -

Étude de l'Impact de la Maintenance sur l'Environnement : Cas d'une Ligne de Production

Réalisé par

SAHRAOUI Housseem Eddine

Les membres de Jury :

HACHEMI Hania

TARGUI Nabila

SALHI Nedjma

Président

Examineur

Encadrant

MCB ENSTA

MCB ENSTA

MCB ENSTA

Alger, le 30/06/2024

Année universitaire 2023–2024

تتناول هذه الأطروحة التأثير البيئي لأنشطة الصيانة الصناعية، مع التركيز على الممارسات المستدامة والصدقية للبيئة. تستكشف العلاقة بين الصيانة الصناعية وحماية البيئة، مع التركيز على التحديات في الجزائر والمعايير الدولية مثل ISO 14001. دراسة حالة حول خط إنتاج PET في NCA-Rouïba تحلل استهلاك الموارد وإدارة المخاطر البيئية في الصيانة التصحيحية. كما تحسب الأطروحة البصمة الكربونية لأنشطة الصيانة على خط إنتاج العصير في PET، وتقدم توصيات لتحسين الأداء البيئي. باستخدام تحليل دورة الحياة (LCA) ومؤشرات الأداء البيئي، تُظهر كيف يمكن للصيانة الصناعية أن تعزز الاستدامة من خلال تحسين استخدام الموارد، وتقليل النفايات والانبعاثات، واعتماد استراتيجيات إدارة المخاطر البيئية بشكل استباقي.

الكلمات المفتاحية

الصيانة المستدامة - الصيانة الخضراء - التأثير البيئي - دراسة حالة - الأداء البيئي - تحليل دورة الحياة - ISO 14001

Abstract

This thesis examines the environmental impact of industrial maintenance activities, emphasizing sustainable and eco-friendly practices. It explores the relationship between industrial maintenance and environmental protection, with a focus on the challenges in Algeria and international standards like ISO 14001. A case study on the PET production line of NCA-Rouïba analyzes resources consumption and environmental risk management in corrective maintenance. The thesis also calculates the carbon footprint of maintenance activities on a PET juice production line, offering recommendations to improve environmental performance. Utilizing Life Cycle Analysis (LCA) and environmental performance indicators, it demonstrates how industrial maintenance can enhance sustainability by optimizing resource use, reducing waste and emissions, and adopting proactive environmental risk management strategies.

Keywords : Sustainable Development - Green Maintenance - Environmental Impact - Case Study - environmental performance - Life Cycle Analysis - ISO 14001.

Résumé

Ce mémoire examine l'impact environnemental des activités de maintenance industrielle, en mettant l'accent sur les pratiques durables et écologiques. Elle explore la relation entre la maintenance industrielle et la protection de l'environnement, en se concentrant sur les défis en Algérie et les normes internationales telles que l'ISO 14001. Une étude de cas sur la ligne de production de PET de NCA-Rouïba analyse la consommation de ressources et la gestion des risques environnementaux dans la maintenance corrective, Calcule également l'empreinte carbone des activités de maintenance pour une ligne de production de jus en PET, en proposant des recommandations pour améliorer la performance environnementale. En utilisant l'analyse du cycle de vie (ACV), elle démontre comment la maintenance industrielle peut améliorer la durabilité en optimisant l'utilisation des ressources, en réduisant les déchets et les émissions, et en adoptant des stratégies de gestion proactive des risques environnementaux.

Keywords : Développement Durable - Maintenance Verte - Impact Environnemental - Étude de Cas - performance environnementale - Analyse du Cycle de Vie - ISO 14001.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrante, Mme Salhi Nedjma, pour ses conseils avisés, son soutien constant et ses encouragements tout au long de ce projet. Je remercie également tous les enseignants qui m'ont accompagné durant toutes ces années d'études pour leur dévouement et leur soutien.

Je souhaite également remercier sincèrement M. Khaled Sayad et M. Fayçal Hessenkhodja pour leur assistance précieuse et leurs orientations durant ma période de stage. Leur expertise et leur aide ont été inestimables pour la réalisation de ce travail.

Enfin, un merci tout particulier à mes parents et à toute ma famille pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien moral tout au long de cette aventure académique. Leur présence à mes côtés a été une source constante de motivation et d'inspiration.

SAHRAOUI Housseem Eddine

Table des matières

Liste des tableaux	7
Table des figures	9
Liste des acronymes	10
Introduction générale	12
1 La maintenance et le développement durable.	13
1.1 Introduction	13
1.2 Développement Durable (DD)	14
1.3 L'Algérie et le développement durable	15
1.3.1 Défi environnemental en Algérie : Pollution industrielle et ses conséquences	15
1.3.2 L'Algérie et les Objectifs de Développement Durable (ODD)	16
1.3.2.1 Engagement envers la Protection du Climat et Projets Environnementaux	17
1.3.2.2 Transition vers une Énergie Durable et Renouvelable	17
1.4 ISO 14001 : Gestion environnementale pour l'industrie	18
1.5 Outils de mesure de l'impact environnementaux	19
1.5.1 Analyse des aspects environnementaux	19
1.5.2 Analyse du cycle de vie	20
1.5.3 Indicateurs de performance environnemental	21
1.5.4 Empreinte Carbone	22
1.6 L'impact de la Maintenance Industrielle sur l'Environnement	23
1.6.1 Maintenance verte	24
1.6.2 La Maintenance et la consommation des ressources	25
1.6.2.1 Consommation d'énergie	25

1.6.2.2	Consommation de la matière	25
1.6.3	Les rejets dans la Maintenance Industrielle	26
1.6.3.1	Les rejets solides	26
1.6.3.2	Les rejets liquides	26
1.6.3.3	Les rejets dans l'air	27
1.7	Conclusion	27
2	La Maintenance et la Gestion Environnementale : Étude de Cas de la Ligne de Production PET.	28
2.1	Introduction	28
2.2	Présentation de l'Entreprise	29
2.2.1	Installation principale	29
2.2.2	Les normes ISO adoptées par NCA-Rouïba	29
2.3	La ligne de production	30
2.4	L'impact environnemental de la ligne PET	31
2.4.1	La ligne PET et la Consommation d'Énergie	33
2.4.2	Consommation de matières	33
2.5	Optimisation des Consommations	35
2.5.1	Le risque de la maintenance corrective sur la consommation d'énergies et d'eau	35
2.5.1.1	Identification des risques augmentant la consommation	35
2.5.1.2	Gravité et Probabilité des Risques	38
2.5.1.3	Risques d'Augmentation de la Consommation d'Électricité	38
2.5.1.4	Risques d'Augmentation de la Consommation d'Eau	39
2.5.1.5	Risques d'Augmentation de la Consommation de Gaz	40
2.5.2	Plan d'Action	40
2.6	Conclusion	41
3	Évaluation et analyse de l'empreinte carbone du service maintenance de la PET.	42
3.1	Introduction	42
3.2	Définir les procédures de maintenance existantes	42
3.2.1	Lubrification	43

3.2.2	Nettoyage des Machines	45
3.2.3	Maintenance des Filtres	46
3.2.4	La surveillance	47
3.2.5	Changement des pièces	47
3.2.5.1	Cas préventive	47
3.2.5.2	Cas corrective	48
3.2.6	Prestataire de service sur le bras robot	48
3.2.7	Les aspects environnementaux de la maintenance de la ligne PET	49
3.3	Evaluation de l'impact environnemental de la maintenance industrielle	49
3.3.1	Definir le but et champ d'étude	50
3.3.2	L'inventaire	50
3.3.2.1	Procédure de Lubrification	50
3.3.2.2	Procédure de Nettoyage des Machines	52
3.3.2.3	Procédure de Maintenance des Filters	52
3.3.2.4	Changement des pièces	53
3.3.2.5	Prestataire des services maintenance	54
3.3.2.6	Rapport des résultats	54
3.3.3	Evaluation d'impact : Calcul de l'empreinte carbone	55
3.3.3.1	Émissions dûes à la consommation de l'électricité et de l'eau	56
3.3.3.2	Émissions dûes à l'utilisation de la graisse et de l'huile	57
3.3.3.3	Catégories de Scope 3 concernant les procédures de maintenance industrielle	58
3.3.4	Interprétation des résultats	61
3.4	Points d'amélioration	63
3.4.1	Quantité et durabilité des produits consommés	63
3.4.2	Gestion des déchets	64
3.5	Conclusion	66
	Conclusion générale	67
	A APPRUE	68
	B Roue de Deming	69

C	Maîtrise des Risques	70
D	Business Process Model and Notation	71
E	Produits de nettoyage	72
F	Contrôle de la ligne PET	73
G	Équipement utilisé lors des interventions de maintenance	75
H	L'utilisation des équipement lors des interventions de maintenance	76
I	Scope 3	77
J	Diagramme de Pareto	78
	Bibliographie	79

Liste des tableaux

2.1	Ressources consommées par la ligne PET	32
2.2	Déchets générés par les machines de la ligne PET	32
2.3	Bruit et intensité lumineuse des machines	33
2.4	Identification des aspects environnemental	34
2.5	Risques de Surconsommation d'Électricité	36
2.6	Risques d'Arrêts Imprévus des Machines	36
2.7	Risques de Fuites d'Air	37
2.8	Risques de Fuites d'Eau	38
2.9	Tableau de Probabilité	38
2.10	Risques d'Augmentation de la Consommation d'Électricité	39
2.11	Risques d'Augmentation de la Consommation d'Eau	39
2.12	Risques d'Augmentation de la Consommation de Gaz	40
2.13	Solutions Proposées par le Département Maintenance	41
3.1	Maintenance des Filtres de la ligne PET	46
3.2	Identification des aspects environnemental pour la maintenance industrielle	49
3.3	Consommation annuelle des produit de nettoyage	52
3.4	Les ressources consommé lors la maintenance des filtres sur un an	52
3.5	Liste des Ressource utilisées lors de l'intervention du prestataire	54
3.6	Consommation annuelle d'énergie	54
3.7	Consommation de produit nocif	55
3.8	Consommation des pièces par nature et type de maintenance	55
3.9	L'empreinte de carbone de la consommation d'electricite	57
3.10	Consommation d'Eau annuelle et empreinte de carbone	57
3.11	Empreinte carbone des produits de lubrification	58

3.12	Empreinte carbone des produits de Nettoyage	59
3.13	Empreinte carbone des Pièces de Rechange	59
3.14	Empreinte carbone des pièces de rechange les plus couramment utilisées	60
3.15	Empreinte carbone des composants utilisés par le Prestataire	60
3.16	Empreintes carbone des déchets par procédure	60
3.17	Empreinte carbone des filtres usagés	61
3.18	Empreinte carbone des déchets de textiles et d’emballages	61
3.19	Émissions de carbone de chaque procédure de maintenance	61
3.20	Émissions de carbone de chaque machine de la ligne PET	62
3.21	Émissions de carbone des produits de maintenance	62
3.22	Émissions par type de déchets	63
3.23	Émissions de CO2e associées aux différents types de traitement des déchets	65
3.24	Entreprises et entités impliquées dans la gestion des déchets industriels en Algérie	66
7.1	Équipement utilisé lors des interventions de maintenance	75
8.1	L’utilisation des équipement lors des interventions de maintenance	76

Table des figures

1.1	Les Objectifs de Développement Durable [1]	15
1.2	L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable [2]	17
1.3	Impact environnemental sur les coûts de l'industrie [3]	18
2.1	Bilan de masse pour la chaîne de production PET	34
3.1	BPMN : Maintenance préventives	43
3.2	BPMN : Maintenance corrective	43
3.3	Bilan de masse pour la procédure de Lubrification	45
3.4	Bilan de masse pour la procédure de nettoyage des machines	45
3.5	Bilan de masse pour la Maintenance des filtres	47
3.6	Bilan de masse pour le prestataire	48
3.7	Quantité annuelle de graisse consommée par la ligne PET de chaque type de graisse (en kg)	50
3.8	Quantité annuelle de graisse consommée par chaque Machine (en kg)	51
3.9	Consommation Annuelle de l'Huile pour la Lubrification	51
3.10	Consommation des pièces de rechange pour la maintenance préventive en 2023	53
3.11	Consommation des pièces de rechange pour la maintenance corrective en 2023	53
3.12	Moteur de recherche : climatiq	56
3.13	Moteur de recherche : CarbonKit	56
3.14	les pièces de rechange les plus couramment utilisées	59
3.15	Empreinte Carbone des déchets	63
2.1	Les 4 étapes de la roue de Deming [4]	69

Liste des acronymes

- **PET** : polyéthylène téréphtalate
- **NCA** : Nouvelle Conserverie Algérienne
- **ISO** : Organisation internationale de normalisation
- **ACV** : Analyse de Cycle de Vie
- **ODD** : Objectifs de Développement Durable
- **MATE** : Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement
- **ONEDD** : Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable
- **APPRUE** : Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie
- **PNC** : Plan National Climat
- **SME** : Système Management Environnemental
- **ADEME** : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
- **PE** : Performance Environnementale
- **SMEA** : système de ma nagement Environnemental et d'Audit
- **AES** : Aspect Environnemental Significatif
- **NEP** : Nettoyage En Place
- **QHSE** : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement
- **SONELGAZ** : Société Nationale de l'électricité et du gaz
- **BPMN** : Business Process Model and Notation
- **GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- **ODU** : Oxydation Pendant l'Utilisation
- **CV** : Valeur Calorifique
- **EPA** : Environmental Protection Agency
- **DA** : Digestion Anaérobie
- **RBF** : Recyclage en Boucle Fermée
- **MeD** : Mise en Décharge
- **IGM** : Incinération par Grille Mobile
- **ADN** : Agence Nationale des Déchets

Introduction générale

L'impact environnemental des activités industrielles est devenu une préoccupation majeure au niveau mondial, incitant de nombreuses entreprises à revoir leurs pratiques de maintenance et de production pour adopter des approches plus durables [5]. Ce mémoire s'inscrit dans cette démarche, explorant les différentes procédures de la maintenance industrielle et leur influence sur l'environnement. Elle se divise en trois chapitres, chacun abordant des thèmes essentiels pour comprendre et améliorer la durabilité des pratiques industrielles.

Le premier chapitre examine les relations entre la maintenance industrielle et la protection de l'environnement.

Le deuxième chapitre se concentre sur le rôle de la maintenance industrielle dans la gestion environnementale de l'industrie [6], en s'appuyant sur une étude de cas de la ligne de production PET de l'entreprise NCA-Rouïba. Cette étude permet d'analyser l'impact environnemental de la ligne PET et de proposer des stratégies de gestion des risques associés à la maintenance corrective.

Enfin, le troisième chapitre traite du calcul de l'empreinte carbone des activités de maintenance sur une ligne de production de jus en PET.

L'objectif principal de cette étude est de démontrer comment la maintenance industrielle peut contribuer de manière significative à la durabilité environnementale. Les problématiques abordées incluent l'optimisation de la consommation des ressources, la réduction des déchets et des émissions, et la gestion proactive des risques environnementaux [7]. Ce travail vise à offrir des recommandations pratiques pour améliorer la performance environnementale des entreprises industrielles.

Le cadre théorique repose sur les concepts de développement durable et de gestion environnementale, avec une attention particulière aux normes internationales telles que l'ISO 14001.

La méthodologie comprend une analyse des aspects environnementaux et des impacts associés, l'utilisation d'outils tels que l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et les indicateurs de performance environnementale, ainsi qu'une étude de cas détaillée de l'entreprise NCA-Rouïba.

Chapitre 1

La maintenance et le développement durable.

1.1 Introduction

Le développement durable est devenu un enjeu majeur à l'échelle mondiale, influençant de manière significative les politiques industrielles et environnementales. Depuis l'adoption du Pacte Mondial des Nations Unies en 2001 [8], les entreprises sont incitées à intégrer des principes de respect des droits de l'homme, de lutte contre la corruption et de responsabilité environnementale dans leurs activités. En Algérie, bien que les critères environnementaux n'aient pas toujours été prioritaires dans la sélection des procédés industriels, une prise de conscience progressive pousse les industries à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement [9].

Dans ce contexte, la maintenance industrielle joue un rôle crucial en permettant aux entreprises de gérer et de minimiser leur impact environnemental. La maintenance ne se contente plus de réparer les machines et de prévenir les pannes ; elle s'étend désormais à la gestion proactive des ressources et à la réduction des déchets et des émissions [10]. L'efficacité de la maintenance peut directement influencer la consommation d'énergie, la gestion des déchets, et la durabilité des équipements, ce qui en fait un levier essentiel pour atteindre les objectifs de développement durable.

Ce chapitre se propose d'explorer les liens entre la maintenance industrielle et la protection de l'environnement, en mettant en lumière les bénéfices de cette approche. Nous commencerons par présenter les fondements du développement durable et ses objectifs globaux, puis nous examinerons les défis environnementaux spécifiques rencontrés par l'Algérie. Nous discuterons également des normes internationales telles que l'ISO 14001 et des systèmes de gestion environnementale qui aident les entreprises à améliorer leurs performances écologiques.

Enfin, nous analyserons l'impact de la maintenance industrielle sur l'environnement, en mettant en avant les stratégies et techniques qui peuvent rendre ces pratiques plus durables. Cette exploration mettra en évidence les avantages de l'étude de l'impact de la maintenance sur l'environnement.

1.2 Développement Durable (DD)

Le développement durable est un concept qui se présente comme un nouvel ordre dans lequel la croissance économique ne nuit pas à la société ni à l'environnement [8] [11]. L'idée sous-jacente est de lier étroitement le développement économique au maintien des équilibres écologiques, afin d'éviter les dégradations irréversibles pour les générations futures et l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. En d'autres termes, il s'agit de promouvoir un modèle de développement qui prend en compte à la fois les aspects économiques, sociaux et environnementaux, dans le but de préserver notre planète pour les générations à venir [12].

En 2015, dans le contexte d'un programme de développement durable à l'horizon 2030, les pays membres des Nations Unies ont défini les objectifs de développement durable [13]. Ces objectifs servent de cadre global pour orienter les actions visant à éradiquer la pauvreté, protéger la planète et assurer la prospérité pour tous [14].

Une liste de 17 Objectifs de Développement Durable :

1. Pas de pauvreté
2. Faim « Zéro »
3. Bonne santé et bien-être
4. Éducation de qualité
5. Égalité entre les sexes
6. Eau propre et assainissement
7. Énergie propre et d'un coût abordable
8. Travail décent et croissance économique
9. Industrie, innovation et infrastructure
10. Inégalités réduites
11. Villes et communautés durables
12. Consommation et production responsables
13. Lutte contre les changements climatiques
14. Vie aquatique
15. Vie terrestre
16. Paix, justice et institutions efficaces
17. Partenariats pour la réalisation des objectifs

Le développement durable se concentre sur la préservation des ressources naturelles, la protection de la biodiversité et la réduction des impacts négatifs sur les écosystèmes. Il encourage également l'adoption de pratiques durables pour minimiser la pollution, les émissions de gaz à effet de serre et les déchets [15].

L'approche intégrée de l'écologie industrielle, conceptualisée par Robert Frosch en 1995, vise à transformer les processus industriels en faveur de pratiques plus durables. Cette initiative encourage les entreprises à adopter des stratégies de production plus efficaces et respectueuses de l'environnement [16].



FIGURE 1.1 – Les Objectifs de Développement Durable [1]

1.3 L'Algérie et le développement durable

Le chemin vers la réalisation des objectifs de développement durable en Algérie est jalonné de plusieurs défis qui nécessitent des efforts par la gouvernance et les entreprises pour atteindre ces objectifs dans les délais impartis [17]. Ainsi, l'Algérie est confrontée à de nombreux enjeux et a encore beaucoup à accomplir [18]. Pour progresser, il est essentiel de sensibiliser la population à l'importance du développement durable et d'adopter des lois et réglementations nationales en adéquation avec les objectifs fixés au niveau international.

1.3.1 Défi environnemental en Algérie : Pollution industrielle et ses conséquences

Le principal défi en Algérie, ayant un impact significatif sur l'environnement, réside dans les conséquences de l'industrie, en particulier la pollution et la consommation d'eau générées par celle-ci [9].

Par exemple, en ce qui concerne la pollution des eaux usées industrielles, les entreprises produisent chaque année 220 millions de mètres cubes d'eaux usées, 55 000 tonnes de demande biochimique en oxygène sur cinq jours, 135 000 tonnes de matières en suspension et 8 000 tonnes de matières azotées [19].

Un autre exemple concerne la production de déchets "spéciaux", qui s'élève à environ 180 000 tonnes par an, comprenant 9 500 tonnes de déchets biodégradables, 6 500 tonnes de déchets organiques, 48 000 tonnes de déchets inorganiques et 55 000 tonnes de déchets peu toxiques [20].

De plus, 140 000 tonnes d'huiles sont commercialisées chaque année par Natal, mais seulement 8 % d'entre elles sont récupérées en vue d'un recyclage à l'étranger [19].

Il est également important de souligner la pollution de l'air. À Annaba, Arzew, Ghazaouet et Alger, l'air est pollué par les industries existantes, dont les équipements de traitement des gaz et des fumées chargées de particules, rejetés dans l'atmosphère, ont des effets particulièrement nocifs et ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques, parfois graves, chez les populations [19] [21]. La pollution atmosphérique d'origine industrielle se compose principalement d'émissions de poussières, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote [22].

Ces problèmes sont aggravés par les rejets d'eaux industrielles non traitées, les émissions de gaz et la production de déchets dangereux. Les déchets sont généralement stockés sur les sites de production sans se conformer aux normes et règlements environnementaux nationaux ou internationaux [9].

Les critères de protection de l'environnement n'ont pas été considérés comme essentiels lors de la sélection des procédés de fabrication. Il est impératif de mettre en place des mesures et des réglementations plus strictes pour remédier à ces problèmes et promouvoir un développement industriel plus respectueux de l'environnement [9] [23].

1.3.2 L'Algérie et les Objectifs de Développement Durable (ODD)

L'Algérie s'est pleinement engagée dans le processus de négociation et les consultations liées aux Objectifs de Développement Durable (ODD) à niveau national, régional et international. En 2000, la création du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (MATE) a ouvert de nouvelles perspectives, avec un programme de renforcement institutionnel et juridique en cours [24]. Un rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement et le développement durable a été adopté en 2000 [25].

La Stratégie Nationale de l'Environnement 2017-2035 garantit 14 des 17 objectifs de développement durable des Nations Unies auxquels l'Algérie s'est engagée lors de la Conférence des Nations Unies sur le développement durable en 2015. Cette stratégie est articulée autour de sept axes, qui incluent [26] :

- L'amélioration de la santé et de l'hygiène de vie.
- La préservation du capital naturel et culturel.
- La sécurité alimentaire durable.
- Le développement d'une économie verte et circulaire.
- La résistance à la désertification.
- L'adaptation au changement climatique et la participation aux efforts internationaux.
- La mise en place d'une gouvernance environnementale.

L'ONEDD, en Algérie, surveille les impacts environnementaux des activités humaines en collectant et diffusant des données. Il contrôle les rejets polluants des unités industrielles, soutenant la politique nationale environnementale et de développement durable [2]. L'Algérie, le plus grand pays d'Afrique, a lancé un plan de relance de l'économie verte avec des objectifs tels que le recyclage, le soutien aux industries de transformation, et l'investissement dans la gestion des déchets [27]. Ce plan prévoit des exemptions fiscales pour les entreprises qui réduisent leurs émissions polluantes et leurs déchets chimiques, tout en améliorant leur efficacité énergétique. Par exemple, l'organisation APPRUE en bénéficie (voir l'annexe A). Ces mesures encouragent les pratiques écologiques et soutiennent la transition vers une économie verte en Algérie [28].



FIGURE 1.2 – L’Observatoire National de l’Environnement et du Développement Durable [2]

1.3.2.1 Engagement envers la Protection du Climat et Projets Environnementaux

Dans le cadre de ses démarches de protection du climat, l’Algérie a adopté, en 2020, le Plan national Climat (PNC) pour la période 2020-2030, qui est considéré comme sa vitrine internationale en la matière et qui vise à réduire le taux des émanations de gaz à effet de serre de 22% [29].

L’Algérie a également manifesté un fort intérêt pour les questions climatiques et la préservation de l’environnement en annonçant la relance et l’extension du projet du barrage vert sur une superficie de 4,7 millions d’hectares dans les années à venir. De plus, les programmes en cours visant à équiper toutes les cimenteries d’électrofiltres devraient contribuer à remédier à cette situation [19].

1.3.2.2 Transition vers une Énergie Durable et Renouvelable

L’Algérie s’engage résolument dans une nouvelle ère énergétique durable en se concentrant sur l’utilisation efficace de l’énergie et le développement des énergies renouvelables. En février 2011, le gouvernement a lancé un programme ambitieux pour favoriser le développement des énergies renouvelables [30].

Le cœur de ce programme consiste à installer une capacité de production d’énergie renouvelable d’environ 22 000 mégawatts (MW) d’ici 2030 pour répondre à la demande nationale en énergie. Une option stratégique d’exportation est également envisagée, sous réserve des conditions du marché. La mise en œuvre de ce programme permettra de réduire les émissions de CO₂ de l’ordre de 193 millions de tonnes, contribuant ainsi de manière significative à la lutte contre le changement climatique [31].

L’efficacité énergétique est un aspect clé pour l’Algérie, qui ambitionne d’atteindre la neutralité carbone tout en assurant sa sécurité et indépendance énergétiques, et en diversifiant son économie grâce aux opportunités offertes par l’économie « verte ».

1.4 ISO 14001 : Gestion environnementale pour l'industrie

Dans le but de préserver l'impact industriel sur l'environnement, la mise en place d'un système de management environnemental (SME) aide les entreprises à s'inscrire dans une démarche d'amélioration continue de la performance environnementale et assure la gestion environnementale au sein de l'entreprise [32].

Selon l'ADEME, un système de management environnemental correspond à un ensemble de procédures qu'une organisation doit suivre pour atteindre ses objectifs en matière d'environnement [33].

La performance environnementale (PE) s'explique d'une part par la capacité à diminuer l'impact sur l'environnement (local, régional) des activités de l'industrie (ou autre activité) concernée, et d'autre part par le fonctionnement d'un système de gestion qui assure la capacité à réduire ces impacts [34]. Selon la norme ISO 14001, la PE est aussi définie comme « les performances mesurables liées à la gestion des aspects environnementaux » [35].

La gestion environnementale vise à évaluer et à réduire l'empreinte environnementale des activités de l'entreprise, contribuant ainsi à une meilleure intégration des préoccupations environnementales dans les pratiques de gestion et d'organisation [18].

Le SME aide à l'optimisation des consommations d'énergie et de matériel, à diminuer les déchets à la source et à améliorer la gestion des déchets, à contrôler les nuisances sonores et à prévenir les accidents, dans le but d'adopter des stratégies de production plus efficaces et respectueuses de l'environnement [36].

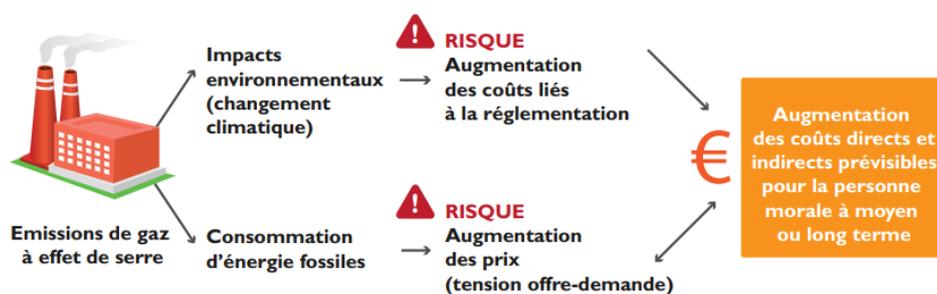


FIGURE 1.3 – Impact environnemental sur les coûts de l'industrie [3]

Le SME contribue également à respecter les règles environnementales, ce qui permet d'éviter les frais de pénalités et de réduire les dépenses grâce à une utilisation plus efficace des ressources [37]. Il serait également possible de mettre en avant l'image de l'entreprise auprès des milieux d'affaires, ce qui facilite son attrait pour les capitaux et les partenaires commerciaux, et lui permet de se positionner de manière concurrentielle sur le marché mondial [38].

Mettre en place un SME s'appuyant sur la norme ISO 14001 ou un SMEA (système de management environnemental et d'audit), ça permettrait d'anticiper les demandes de produits labellisés ou certifiés (certification ISO 14001, labels vert...) [18].

La norme ISO 14001 repose sur le principe de la roue de Deming (voir annexe B), qui comprend quatre étapes fondamentales (planifier, réaliser, vérifier, réagir), dans le but de promouvoir une amélioration continue [39]. Elle constitue un cadre structurant pour l'instauration d'un SME et

s'applique à toutes les entreprises, indépendamment de leur taille, de leur secteur d'activité ou de leur ancienneté. La certification, délivrée par des organismes habilités, peut être renouvelée tous les trois ans [40].

Une des exigences de l'ISO 14001 versions 2015 est de « déterminer les aspects environnementaux de ses activités, produits et services qu'il a les moyens de maîtriser et ceux sur lesquels il a les moyens d'avoir une influence, ainsi que leurs impacts environnementaux associés, dans une perspective de cycle de vie »[38].

L'engagement dans la démarche de mise en place d'un SME selon ISO14001 se fait progressivement [18] :

1. Un premier diagnostic est établi à partir d'une analyse environnementale, permettant de réaliser un inventaire des aspects et des impacts associés par site d'activité.
2. Les aspects environnementaux significatifs sont ensuite repérés (AES) et hiérarchisés par rapport au contexte réglementaire et à la politique de l'établissement.
3. Enfin pour les AES prioritaires, l'entreprise établit un programme d'intervention comprenant un responsable, des moyens affectés et des délais pour les résultats attendus.

Les utilisateurs de la norme ont indiqué que ISO14001 :2015 les aide à [40] :

- Démontrer la conformité aux exigences légales et réglementaires, actuelles et futures.
- Renforcer l'implication de la direction et l'engagement des employés.
- Améliorer la réputation de l'entreprise et la confiance des parties prenantes au travers d'une communication stratégique.
- Réaliser des objectifs stratégiques en prenant en compte les questions environnementales dans la gestion de l'entreprise.
- Obtenir un avantage concurrentiel et financier grâce à l'amélioration de l'efficacité et à la réduction des coûts.
- Favoriser une meilleure performance environnementale des fournisseurs en les intégrant dans les systèmes d'activités de l'organisme.

1.5 Outils de mesure de l'impact environnementaux

1.5.1 Analyse des aspects environnementaux

L'analyse environnementale est une étude des activités d'une entreprise et de ses impacts sur l'environnement. En d'autres termes, il s'agit d'un état des lieux, d'une photo de la situation environnementale de l'entreprise [41]. L'analyse environnementale est la première étape dans la mise en place d'un Système de management environnemental (SME), pour réduire les impacts environnementaux d'une structure [42].

La relation entre l'aspect environnemental et son impact est cruciale dans la compréhension des enjeux écologiques [43]. Par exemple, une activité industrielle peut avoir comme aspect environnemental la production de déchets, qui est une cause directe d'impact sur l'environnement, tel que la pollution. Cette relation cause à effet est fondamentale pour évaluer les conséquences environnementales et développer des stratégies de gestion durable. La quantification précise des aspects, comme le rejet de métaux par une installation de traitement des eaux, permet d'établir des mesures correctives et préventives pour minimiser les impacts négatifs sur l'écosystème naturel. Ainsi, la gestion environnementale s'appuie sur cette relation pour améliorer les pratiques et promouvoir la responsabilité écologique [44, 45].

Les impacts environnementaux sont identifiés à travers une analyse environnementale : risque évalué par la fréquence et la gravité. Les impacts dépassant le seuil de criticité, que l'entreprise s'est fixé elle-même, seront les aspects environnementaux significatifs. Ces derniers sont pris en compte dans votre SME dans le cadre de l'établissement de ces objectifs / cibles [46] [47].

La première étape du processus devrait consister à mettre en évidence les aspects environnementaux qui résultent de l'activité de l'entreprise. Au départ, seuls les aspects « prioritaires (significatifs) » en matière de gestion de l'environnement seront étudiés et feront l'objet d'un suivi [48].

La méthodologie d'identification des aspects environnementaux peut s'appuyer sur les thèmes suivants [44] :

- Quels sont nos rejets dans l'air ?
- Rejetons-nous dans l'eau ?
- Quelles ressources naturelles ou matières premières consommons-nous ?
- Sommes-nous énergivores ?
- Émettons-nous de la chaleur, des radiations, des vibrations ?
- Quelle est la nature et le volume de nos déchets ?

Les impacts environnementaux sont normalement analysés à l'aide d'une gamme de méthodes, allant de l'analyse qualitative simple à une enquête quantitative détaillée ou à une modélisation [45].

Les types de méthodes et d'outils d'analyse d'impact utilisés ainsi que l'étendue et la profondeur de l'analyse doivent être proportionnés au type, à l'échelle, à l'emplacement et à l'importance de chaque impact, conformément aux bonnes pratiques internationales de l'industrie [46].

L'article de SolutionsTRAK présente cinq méthodes pour identifier les aspects et impacts environnementaux dans le cadre d'un système de gestion environnementale (EMS). Les méthodes incluent [49] :

- Méthode de groupement : Analyse par catégories spécifiques (activités, produits, services).
- Méthode de sondage : Étude des zones géographiques du site par un examen détaillé.
- Méthode de bilan de masse : Évaluation des entrées et sorties (matériaux, déchets).
- Méthode de rétrocouplage : Identification des impacts puis des aspects associés.
- Méthode pot-pourri : Combinaison de plusieurs approches pour une analyse complète.

1.5.2 Analyse du cycle de vie

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est un outil essentiel pour les entreprises souhaitant améliorer leur performance environnementale. Elle permet d'évaluer l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'une organisation sur l'ensemble de son cycle de vie [50].

Selon l'ADEME, « l'ACV recense et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associés aux activités humaines [51]. »

Les flux physiques de matières premières et d'énergie sont essentiels dans le cycle de vie d'un produit. Ils débutent par l'acquisition de ressources, qui sont ensuite transférées et transformées au cours du processus de production. Finalement, le produit fini est distribué aux consommateurs. Cette chaîne d'activités est cruciale pour comprendre l'impact environnemental et économique

d'un produit, car elle englobe toutes les étapes depuis la source jusqu'à la consommation finale [52].

La méthodologie de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) s'appuie sur les 4 étapes suivant [50] [53] :

- Définition des objectifs et du champ d'application : Établir le but de l'étude, les frontières du système, et choisir les unités fonctionnelles.
- Inventaire du cycle de vie : Collecter des données sur les intrants et extrants, y compris la consommation d'énergie et les émissions, dans les limites du système.
- Évaluation des impacts du cycle de vie : Utiliser les données de l'ICV pour évaluer les impacts environnementaux.
- Interprétation : Identifier les enjeux clés, évaluer les résultats, et fournir des recommandations en tenant compte des limites de l'étude.

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode holistique qui évalue l'impact environnemental d'un produit ou d'un service à toutes les étapes de son existence [53]. Elle permet aux fabricants, aux consommateurs et aux décideurs politiques de prendre des décisions éclairées en considérant non seulement le coût et la performance, mais aussi la durabilité environnementale. En examinant l'utilisation des ressources, les émissions, la gestion des déchets et les possibilités de recyclage, l'ACV aide à identifier les opportunités d'amélioration écologique [54].

1.5.3 Indicateurs de performance environnemental

Un indicateur de performance environnementale est un outil qui fournit des informations sur les progrès réalisés par l'entreprise en matière d'environnement. Les indicateurs devraient permettre de traiter l'information et de réduire le nombre de paramètres nécessaires pour rendre compte d'une situation. Ils faciliteront la compréhension et l'interprétation des résultats [55].

L'utilité des indicateurs : Ils sont essentiels lors de l'analyse environnementale initiale et pour identifier les aspects et impacts significatifs (tableau de bord de la situation initiale). Ils permettent de suivre l'évolution des objectifs fixés, de vérifier l'efficacité du Système de Management Environnemental (SME), et de communiquer facilement les principales informations environnementales, entre autres [56].

Chaque organisme doit choisir les indicateurs qu'il considère comme importants pour remplir ses propres critères de performance environnementale, voici quelques indicateurs [55] :

- Les indicateurs relatifs aux matériaux (quantité de matériaux utilisés par unité de produit, quantité d'eau consommée par unité de produit...).
- Les indicateurs "Énergie" (quantité d'énergie utilisée par année ou par produit, quantité d'énergie utilisée par client ou par service...).
- les indicateurs "services utiles aux opérations de l'organisme" (la quantité de détergents utilisés par des prestataires de service contractants, la quantité ou le type de déchets générés par des prestataires de service contractants...).
- Les indicateurs "installations physiques et équipements" (le nombre annuel de cas d'urgence,...).
- Les indicateurs "produits" (le taux de produits défectueux, dont les propriétés dangereuses sont limitées).

- Les indicateurs "déchets" (quantité de déchets par année ou par unité de produit, la quantité de déchets dangereux éliminés suite à une substitution de matériau...).
- Les indicateurs "émissions" (quantité d'émission spécifiques par années ou par unité de produit,...).

Il faut notamment s'assurer que les données disponibles sont compatibles avec l'indicateur construit : cela nécessitera parfois de convertir les données de base afin de manière à travailler avec une unité de mesure commune. Une fois les données converties en indicateurs, il s'agira d'interpréter les informations ainsi obtenues. Les indicateurs devraient être comparés à diverses références dont nous avons déjà parlé précédemment [55] :

- Les références réglementaires.
- Les références sectorielles (fédérations sectorielles...).
- Les objectifs et cibles de groupe.
- Les objectifs et cibles de l'entreprise elle-même.

1.5.4 Empreinte Carbone

L'empreinte carbone peut être calculée pour un certain produit en prenant en compte les émissions tout au long de son cycle de vie. L'empreinte carbone calculée peut être utilisée pour comparer la performance environnementale d'un produit avec celle d'autres produits ayant des fonctions similaires [56]. Une norme ISO pour les empreintes carbone incluant des principes spécifiques, des exigences et des lignes directrices pour la quantification et la communication de l'empreinte carbone d'un produit, basée sur les normes pour l'ACV, la quantification, les labels environnementaux et la communication [57].

Les sources d'émission sont catégorisées dans trois périmètres [58] :

- Le Périmètre 1 couvre les émissions directes issues des activités contrôlées par l'organisation, comme la combustion de carburants.
- Le Périmètre 2 concerne les émissions indirectes liées à la production d'énergie consommée, telles que l'électricité ou la chaleur.
- Le Périmètre 3 englobe toutes les autres émissions indirectes, souvent les plus importantes, qui surviennent dans la chaîne de valeur de l'entreprise, incluant les biens et services achetés, les déplacements des employés, et les déchets générés.

Le principe de quantification des émissions de GES pour une organisation est simple, pour chaque source d'émission, le calcul suivant est effectué.

La formule utilisée donne le calcul de l'empreinte carbone [59] :

$$EC = \text{Données d'activité} \times FE \times PRG \quad (1.1)$$

tel que :

- EC : Empreinte carbone.
- FE : Facteur d'émission.
- PRG : Potentiel de réchauffement global.

Les données d'activité d'une entreprise correspondent à la quantité d'un produit ou d'un service spécifique (par exemple, quantité de kWh d'électricité utilisée, nombre de voitures, tonnes de produit, etc.).

Le facteur d'émission est propre à chaque donnée d'activité et permet de convertir la donnée d'activité en quantité d'équivalent CO₂ émise (exemple : Brûler 1 litre d'essence = 2,3 kg CO₂e). Ces facteurs d'émission sont disponibles dans différentes bases de données carbone comme :

- Les facteurs d'émission de l'EPA (U.S. Environmental Protection Agency) sont exprimés en kgCO₂e/USD et convertissent les dépenses en biens et services en émissions de CO₂ équivalentes. Cela facilite le calcul des émissions de gaz à effet de serre de la chaîne d'approvisionnement et l'évaluation de l'empreinte carbone des activités économiques, utilisées dans les analyses d'impact environnemental des entreprises et des gouvernements. [60]
- Les facteurs d'émission du GIEC permettent de calculer les émissions de gaz à effet de serre pour divers secteurs, comme l'énergie, l'industrie, et l'agriculture. Ils sont essentiels pour les inventaires nationaux de GES et les études de changement climatique, en fournissant des valeurs standardisées pour convertir les activités humaines en équivalents CO₂. [61]
- DEFRA fournit des facteurs d'émission pour une large gamme d'activités, exprimés en kgCO₂e par unité d'activité. Ces facteurs aident à évaluer les impacts environnementaux des secteurs tels que le transport, l'énergie, et la gestion des déchets. [62]
- ÖKOBAUDAT est une base de données allemande spécialisée dans les facteurs d'émission pour le secteur de la construction. Elle fournit des valeurs pour divers matériaux et processus de construction, exprimées en kgCO₂e par unité, aidant à calculer les impacts environnementaux des projets de construction en Allemagne. [63]
- Ecoinvent propose une base de données complète pour les analyses de cycle de vie (ACV), incluant des facteurs d'émission pour une grande variété de produits et services. Exprimés en kgCO₂e par unité d'activité, ces facteurs permettent d'évaluer les impacts environnementaux tout au long du cycle de vie des produits. [64]

Pour déterminer l'empreinte carbone en unités de kilogrammes d'équivalent (kgCO₂eq), il suffit de multiplier la masse réelle du gaz émis par son facteur de Potentiel de réchauffement global (PRG) correspondant. Cette multiplication fournit la masse équivalente en CO₂, qui est calculée après avoir quantifié le gaz émis.

Dans la plupart des cas, le facteur d'émission inclut également la valeur du potentiel de réchauffement global (PRG). Par conséquent, la formule pour calculer l'empreinte carbone devient [59] :

$$L'empreintecarbone = Donnéesd'activité \times Facteurd'émission$$

Cela permet de convertir la donnée d'activité en émissions de CO₂ équivalentes, tenant compte des effets spécifiques de différents gaz à effet de serre.

1.6 L'impact de la Maintenance Industrielle sur l'Environnement

La maintenance est l'une des principales activités dans le domaine de la fabrication, car elle influence grandement la qualité et la quantité de production et a un impact direct sur les coûts de production et la satisfaction des clients [65]. Avec l'émergence des défis de développement durable et une nouvelle vision des parties prenantes, de nouvelles pratiques de maintenance sont développées pour faire face à ces changements [66]. En outre, la maintenance industrielle peut jouer un rôle essentiel dans l'engagement des entreprises en faveur de stratégies visant

à améliorer leur performance environnementale, garantissant ainsi le succès de leur gestion environnementale [67].

Le service de maintenance peut jouer un rôle essentiel dans une production vise à réduire son impact environnemental à travers des activités d'entretien [68]. Ces activités permettent de maintenir les anomalies liées à l'augmentation de la consommation des ressources (Énergie, Eau, Gaz, etc.). De plus, elles ciblent les anomalies qui entraînent la génération de déchets, d'eaux usées et d'émissions de gaz.

Une autre mission de la maintenance industrielle concerne les installations qui avait une valeur ajoutée à la performance environnemental comme les électrofiltres, les ressources renouvelables ou les stations de recyclage des eaux usées. La responsabilité de maintenir ces installations incombe généralement au département de maintenance .

Le département de maintenance doit également surveiller sa consommation de ressources, en particulier lors des interventions sur les machines et la gestion des déchets générés [69]. Il est important de noter que l'absence ou une mauvaise gestion au sein du département de maintenance peut avoir un impact négatif sur l'environnement et réduire la performance environnementale de l'entreprise.

En résumé, la maintenance industrielle impacte l'environnement, que ce soit par la consommation de ressources et les rejets générés par le département, ou par la qualité des services fournis à la production et les activités d'entretien liées aux anomalies environnementales de objective de contrôler les aspects environnemental.

1.6.1 Maintenance verte

La maintenance verte désigne les pratiques de maintenance qui mettent l'accent sur la durabilité environnementale et cherchent à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. Elle implique la mise en œuvre de stratégies et de techniques visant à optimiser l'utilisation des ressources, à réduire la génération de déchets et la pollution lors des opérations de maintenance [66].

La maintenance verte englobe l'utilisation de produits et de techniques écologiques, tels que les lubrifiants biodégradables, la mise en place de programmes de recyclage et la réduction des émissions. Elle prend en compte l'ensemble du cycle de vie de l'équipement, dans le but de minimiser les déchets et de maximiser l'efficacité des ressources [7].

La maintenance verte met l'accent sur l'utilisation de technologies et de stratégies visant à améliorer l'efficacité énergétique lors des opérations de maintenance, telles que les programmes de maintenance préventive et prédictive. De plus, elle garantit le respect des réglementations et des normes environnementales, favorisant ainsi des opérations sûres et durables. Elle encourage également l'utilisation de matériaux et d'équipements de maintenance économes en énergie [70].

Note que les pratiques de maintenance verte priorisent la santé et la sécurité des travailleurs de la maintenance et des autres personnes sur les sites de travail. Cela inclut l'utilisation de matériaux sûrs, tels que les fluides biodégradables respectueux de l'environnement, les matériaux non toxiques et les lubrifiants à longue durée de vie [71].

1.6.2 La Maintenance et la consommation des ressources

1.6.2.1 Consommation d'énergie

L'énergie consommée par la ligne de production ou par un équipement industriel peut être mesurée à l'aide des compteurs et toute augmentation de consommation ou faible rendement énergétique par rapport aux caractéristiques des machines considérées comme une anomalie nécessite de régler.

La maintenance joue un rôle crucial dans la conservation d'énergie par les interventions de graissage, changement des composants (roulements, engrenages, fils électriques, moteurs, etc.) et l'utilisation des matériaux et d'équipement économes en énergie assure que la production prend son besoin d'énergie et minimise les pertes énergétiques.

En plus l'utilisation des technologies d'énergie efficace et des ressources renouvelables durant la production ou les interventions de maintenance donnent une valeur favorable à l'environnement.

La maintenance centrée sur l'énergie (ECM) est une approche innovante de la maintenance qui se concentre sur l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie. Il s'agit d'un système de maintenance proactif qui utilise le gaspillage d'énergie comme critère principal pour déterminer les besoins de maintenance, visant à réduire la consommation d'énergie et à améliorer les performances des équipements [72]. En identifiant et en traitant les zones où l'énergie est gaspillée, l'ECM peut entraîner des économies d'énergie significatives, certaines organisations rapportant une réduction de la consommation d'énergie allant jusqu'à 30 %. L'ECM intègre diverses stratégies de maintenance, telles que la maintenance préventive, prédictive et centrée sur la fiabilité, pour créer un programme complet qui garantit que les équipements fonctionnent avec une efficacité énergétique optimale [73].

1.6.2.2 Consommation de la matière

Durant les activités de maintenance l'utilisation et la consommation des matières est importante surtout dans l'aspect technique, les deux autres aspects managérial et administratif, la consommation de matière est limitée dans les papiers, l'encart, les autres outils administratifs. L'implémentation de l'informatisation permet d'arriver à l'objectif de Zéro Papier [74]. Mais pour l'aspect technique il faut de prendre des efforts importants pour contrôler la consommation de manière raisonnable et optimale.

La gestion des matières consommées lors des interventions de maintenance est un enjeu majeur pour la protection de l'environnement. Les substances telles que les huiles, les graisses et les désinfectants, ainsi que les pièces de rechange, peuvent avoir des effets néfastes sur le sol, l'eau et l'air si elles ne sont pas manipulées avec soin. Il est donc primordial d'adopter des pratiques qui minimisent l'impact environnemental de ces activités [75]. Cela implique une utilisation judicieuse et mesurée des ressources, en veillant à ne pas excéder les quantités nécessaires. L'optimisation de la consommation passe également par le choix de produits éco-responsables, qui sont moins polluants et souvent recyclables ou biodégradables. Par exemple, l'utilisation d'huiles biodégradables ou de graisses non toxiques peut réduire considérablement la contamination potentielle [76].

Les services de maintenance réduisent les anomalies qui génèrent des pertes ou plus de consommation des matières durant la production, une surveillance régulière des sites de maintenance pour détecter toute fuite ou déversement accidentel est essentielle pour prévenir la contamination.

En effectuant des contrôles réguliers et en réparant les équipements défectueux, comme une machine de remplissage qui fuit, ils peuvent non seulement prévenir la surconsommation de ressources, mais aussi améliorer l'efficacité globale de la production.

1.6.3 Les rejets dans la Maintenance Industrielle

1.6.3.1 Les rejets solides

Les rejets solides lors des activités de maintenance sont sources dangereuses sur l'environnement, la plupart de ses rejets sont des déchets spéciaux qui sont caractérisés par leur dangerosité pour l'environnement et/ou la santé publique [77]. En raison de leur nature et de leur composition, ces déchets ne peuvent être traités comme les déchets ménagers ordinaires. Ils nécessitent des procédures spécifiques de collecte, de transport et de traitement pour éviter tout risque de contamination ou de pollution [78].

Les huiles, graisses, batteries usagées, filtres à huile, pneus, courroies et déchets d'équipements électriques et électroniques sont des exemples typiques de déchets spéciaux qui résultent souvent des activités de maintenance [78]. D'autres types de déchets génèrent par les activités de maintenance classés selon leur nature (métal, acier, inox, électronique, plastique, etc.), ensablent les tuyaux, les tôles, câbles électriques, PDR, joint, etc.

La gestion des déchets issus des activités de maintenance est cruciale pour l'environnement. Classifier ces déchets par matériau permet de faciliter leur recyclage ou leur élimination de manière sécurisée [76]. Le stockage adéquat selon les spécificités de chaque type de déchet est également essentiel pour prévenir la contamination et assurer une élimination efficace. Les entreprises spécialisées dans la récupération de ces matériaux jouent un rôle important dans le cycle de vie des déchets, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

1.6.3.2 Les rejets liquides

Le nettoyage industriel est essentiel pour maintenir les machines et les composants sensibles en bon état de fonctionnement et pour garantir la qualité des produits finis, comme exemple le nettoyage des cellules photovoltaïques, le dégraissage, le nettoyage lors des changements de série, et bien d'autres opérations.

Ces activités sont généralement prises en charge par le service de maintenance et peuvent avoir un impact environnemental significatif. En effet, l'utilisation d'eau, de désinfectants, d'acides et d'autres produits de nettoyage peut générer des eaux usées contaminées. Si ces eaux usées ne sont pas correctement traitées, elles risquent de polluer le sol, l'eau et l'air [79].

Lors de la maintenance des machines et des équipements, les huiles et lubrifiants peuvent devenir contaminés et nécessitent une élimination appropriée. Ces substances peuvent contenir des métaux lourds et d'autres contaminants.

Mettre en place un programme pour contrôler, collecter et transférer les eaux usées vers les stations de traitement afin de retirer les substances dangereuses de l'eau.

1.6.3.3 Les rejets dans l'air

Différentes activités de maintenance peuvent produire des émissions de gaz, poussière, vapeur, chaleur, etc. Ce type de rejet est nocif pour l'environnement, surtout le climat et dangereux pour la santé des travailleurs, les mainteneurs doivent prendre en considération les conditions de sécurité et peuvent trouver des techniques et technologies pour réduire ses émissions si sont déplacées la réglementation [80].

Les activités de maintenance peuvent inclure la vérification et le remplacement des filtres, l'ajustement des paramètres de fonctionnement et la réparation des composants endommagés. Ces mesures sont essentielles pour assurer que les équipements fonctionnent de manière optimale et que les émissions restent dans les limites des normes réglementaires. En outre, une maintenance proactive peut contribuer à prolonger la durée de vie des équipements, à réduire la consommation d'énergie et à limiter les émissions de gaz à effet de serre.

1.7 Conclusion

Ce premier chapitre a mis en lumière l'importance du développement durable dans le contexte industriel et environnemental, en particulier en Algérie. En exposant les objectifs globaux du développement durable et les défis spécifiques auxquels l'Algérie fait face, nous avons souligné l'urgence d'adopter des pratiques industrielles plus respectueuses de l'environnement. La norme ISO 14001 et les systèmes de gestion environnementale se révèlent être des outils essentiels pour guider les entreprises vers une performance environnementale améliorée.

L'étude de l'impact environnemental de la maintenance industrielle est cruciale pour répondre aux questions environnementales à l'échelle nationale et internationale. En analysant les pratiques actuelles et en proposant des solutions concrètes pour améliorer la gestion environnementale, cette mémoire contribue à sensibiliser les entreprises et les gouvernements à l'importance de la durabilité environnementale. En mettant en lumière les avantages tangibles de la maintenance verte, cette mémoire joue un rôle clé dans la transition vers une industrie plus durable et respectueuse de l'environnement.

La maintenance industrielle, lorsqu'elle est orientée vers des pratiques durables, peut significativement contribuer à cette amélioration. En optimisant l'utilisation des ressources, en réduisant les déchets et en minimisant les émissions polluantes. L'étude de l'impact de la maintenance sur l'environnement est donc cruciale, car elle permet d'identifier les points d'amélioration et de proposer des solutions concrètes pour une meilleure gestion environnementale. Dans les chapitres suivants, nous explorerons plus en détail les méthodologies spécifiques et les études de cas qui illustrent ces principes en action, démontrant ainsi les avantages tangibles de cette approche pour l'industrie et l'environnement.

Chapitre 2

La Maintenance et la Gestion Environnementale : Étude de Cas de la Ligne de Production PET.

2.1 Introduction

La transition vers une production industrielle plus respectueuse de l'environnement est devenue un impératif dans le contexte actuel de changement climatique et de dégradation des écosystèmes. La maintenance industrielle, traditionnellement centrée sur la fiabilité et la performance des équipements, prend aujourd'hui une nouvelle dimension en intégrant des objectifs de durabilité environnementale. Ce deuxième chapitre vise à illustrer comment la maintenance industrielle peut contribuer de manière significative à une production plus verte en présentant une étude de cas sur la ligne de production PET de l'entreprise NCA-Rouïba.

NCA-Rouïba, un leader dans l'industrie des boissons en Algérie, a mis en place une série de mesures pour réduire son empreinte écologique. Ce chapitre commence par une présentation de l'entreprise et de sa ligne de production PET. Ensuite, il examine les aspects environnementaux spécifiques pour une ligne de production, en évaluant les consommations d'énergie et de matières, ainsi que les déchets générés.

L'optimisation des consommations et la gestion des risques liés à la maintenance corrective sont également abordées. Une attention particulière est portée sur les pratiques qui permettent de minimiser l'impact environnemental des interventions de maintenance, en promouvant une approche proactive et préventive. Enfin, ce chapitre propose un plan d'action détaillé pour améliorer encore la performance environnementale de la ligne de production, mettant en avant les bénéfices économiques et écologiques d'une maintenance industrielle bien gérée.

En somme, ce chapitre démontre que la maintenance industrielle, en tant que levier stratégique, peut jouer un rôle central dans la réalisation des objectifs de développement durable. L'exemple de NCA-Rouïba sert de modèle pour d'autres entreprises désireuses de s'engager dans une voie plus verte, illustrant concrètement les avantages d'une maintenance alignée avec les principes de durabilité environnementale.

2.2 Présentation de l'Entreprise

NCA-Rouïba (Nouvelle Conserverie Algérienne de Rouïba), fondée en 1966 par Salah Othmani, est une figure emblématique de l'industrie algérienne des boissons. Spécialisée initialement dans la production de concentré de tomate et de confiture, Rouïba a su évoluer avec son temps, diversifiant ses activités pour inclure les boissons à base de fruits dès 1984. Cette innovation a été suivie, en 1989, par le lancement d'un jus de fruits pasteurisé, une première en Algérie, conditionné dans un emballage aseptique en carton.

En 2010, l'entreprise Rouïba en introduisant un nouveau segment de bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET). Cette innovation s'inscrivait dans une démarche d'amélioration continue et de réponse aux nouvelles attentes des consommateurs en matière de praticité et d'impact environnemental. En adoptant le PET, Rouïba a non seulement amélioré la durabilité de ses emballages mais a également pris un pas en avant vers une économie circulaire, où les matériaux sont réutilisés et recyclés pour minimiser les déchets et l'impact environnemental.

L'année 2020 a marqué un tournant pour l'entreprise avec son acquisition par le Groupe Castel, un acteur majeur du secteur des boissons.

2.2.1 Installation principale

L'emplacement stratégique de l'entreprise NCA-Rouïba, à l'entrée de la ville et à proximité de l'autoroute Est-Ouest ainsi que du centre-ville de Rouïba, offre un accès facilité qui est un atout majeur pour les opérations logistiques et la distribution. La présence de l'entreprise dans la zone industrielle de Rouïba lui confère également un avantage en termes d'approvisionnement en eau, grâce à la proximité de la nappe de la Mitidja. Cette nappe représente une ressource hydrique de valeur pour les processus industriels nécessitant une grande quantité d'eau.

La société est implantée sur une surface de 26000 m², cette surface est répartie entre les différents ateliers selon la plateforme logistique optimise l'utilisation de l'espace et favorise une production efficace. Avec trois ateliers dédiés au conditionnement, une à l'emballage de carton aseptique et deux à l'emballage plastique, NCA-Rouïba est bien équipée pour répondre aux exigences de production tout en respectant les normes de qualité et de sécurité.

L'implantation de l'entreprise dans une zone industrielle stratégique renforce ces avantages en créant des opportunités de synergies commerciales et industrielles avec les entreprises voisines.

2.2.2 Les normes ISO adoptées par NCA-Rouïba

NCA-Rouïba a démontré une prise de conscience précoce de l'importance de la qualité, de l'environnement et de la sécurité alimentaire, des éléments clés pour assurer la durabilité de l'entreprise. Cette vision a guidé l'entreprise vers l'adoption d'un système intégré "Qualité et Environnement" basé sur des normes internationalement reconnues.

L'obtention de la certification ISO 9001 a marqué un engagement envers un management de qualité supérieure, tandis que la certification ISO 14001 a renforcé l'engagement de l'entreprise envers la protection environnementale.

L'initiative de NCA-Rouïba pour certifier son système de sécurité alimentaire selon la norme ISO 22000 témoigne de son engagement à garantir la sécurité des denrées alimentaires, un

aspect essentiel pour gagner et maintenir la confiance des consommateurs.

De plus, la participation de NCA-Rouïba au programme RSMENA souligne son dévouement à la responsabilité sociétale et à la contribution au développement durable, conformément à la norme ISO 26000.

En adoptant ces normes, NCA-Rouïba se positionne non seulement comme un leader dans son secteur, mais aussi comme un modèle de responsabilité et d'innovation, prouvant que le succès commercial peut aller de pair avec un impact positif sur la société et l'environnement.

2.3 La ligne de production

Une ligne de production est un ensemble de machines, d'équipements, de travailleurs et parfois de robots, disposés de manière séquentielle dans une usine pour assembler des composants ou transformer des matières premières en produits finis [81].

Les lignes de production modernes sont des écosystèmes interconnectés qui combinent technologie, ingénierie et responsabilité environnementale pour répondre aux besoins de la société tout en préservant notre planète pour les générations futures. Elles adoptent de plus en plus des pratiques durables afin de réduire leur impact environnemental [82].

La ligne de production PET pour le jus de fruits est un système automatisé qui transforme des bouteilles en plastique PET préformées en jus de fruits finis prêts à la vente. La ligne se compose de plusieurs étapes clés :

Soufflage

La première étape consiste à souffler les préformes PET dans des bouteilles en plastique de la taille et de la forme souhaitées. Cela se fait par une machine qui s'appelle souffleuse. La souffleuse chauffe les préformes et les souffle par l'air comprimé à l'aide d'un moule et une tige d'élongation, afin d'obtenir à la sortie des bouteilles.

La progression de la chaîne de tournettes entraîne la rotation des préformes sur leur axe et leur défilement en continu dans le four. Les préformes y sont chauffées par une série de lampes infrarouges à quartz.

Une ventilation assure un refroidissement superficiel des préformes, tandis que les IR les chauffent à cœur.

Le volume de bouteille est déterminé à partir de le point de préforme et la forme de moule.

Convoyage

Une fois soufflées, les bouteilles sont transportées par un convoyeur vers la station de remplissage. La première partie du convoyeur, avant la salle blanche, s'appelle Convoyeur d'Air et contient plusieurs filtres d'air. La partie après la salle blanche s'appelle Convoyeur transporteur et assure le transport des bouteilles vers les machines d'emballage. Le Sécheur et le Diviseur, deux machines placées sur le convoyeur transporteur, sont considérés comme faisant partie du système de convoyage.

Remplissage

Le nettoyage en place, ou NEP (Nettoyage En Place), est une méthode de nettoyage automatique et intégrée utilisée dans les industries où l'hygiène est une priorité absolue, comme l'agro-

limentaire, la pharmacie, la chimie, et d'autres. Ce système utilise des produits nettoyants tels que la soude pour assurer la stérilité des bouteilles, avant le processus de remplissage.

La salle blanche joue un rôle crucial en maintenant un environnement stérile pour le traitement des bouteilles. Cette chambre est divisée en deux sections principales, la première étant dédiée à la stérilisation. Les bouteilles y sont lavées pour éliminer toute contamination, ce qui est essentiel pour garantir la sécurité et l'hygiène du produit final. Stérilisation les bouteilles formés et les bouchons fait par un produit de nettoyage APA à température de 49C°.

Après cette étape, les bouteilles subissent un rinçage minutieux avec de l'eau stérile à 20°C pour éliminer tout résidu d'APA, garantissant ainsi que les bouteilles sont parfaitement propres avant le remplissage.

L'opération d'azotage est ensuite effectuée avant et après le remplissage des bouteilles. Cette technique consiste à injecter de l'azote dans les bouteilles pour déplacer l'oxygène, prévenant ainsi l'oxydation du produit, ce qui pourrait autrement altérer la qualité et la saveur de la boisson. L'azotage contribue également à la fermeture hermétique des bouteilles, en créant une pression positive qui aide à sceller le bouchon.

La station de remplissage injecte la quantité requise de jus de fruits dans chaque bouteille. Le remplissage peut être effectué à l'aide de vannes rotatives ou de systèmes de remplissage par gravité.

Le bouchon est comprimé par une série de cylindres puis enfoncé par une presse.

Étiquetage et Datage

Une étiqueteuse appose une étiquette sur chaque bouteille, indiquant la marque, le nom du produit, la liste des ingrédients, les informations nutritionnelles et la date de péremption. L'étiquetage réalisé par l'utilisation des étiquettes en film plastique OPP, ou films de polypropylène orienté, collées avec des autoadhésifs hot melt.

Une dateuse imprime la date de production sur chaque bouteille.

Fardelage

Les bouteilles remplies, étiquetées et datées sont ensuite regroupées par lot et filmées à l'aide d'une fardeluse. Cela permet de les transporter et de les stocker plus facilement.

Robotisation

Des robots peuvent être intégrés à la fin de la chaîne de montage pour effectuer des tâches telles que la palettisation, l'inspection de la qualité et l'emballage final.

2.4 L'impact environnemental de la ligne PET

La ligne de production de polyéthylène téréphtalate (PET), comme la plupart des chaînes de montage industriel, a un impact sur l'environnement, principalement en raison de la consommation de ressources et de la génération de déchets. La gestion de ces aspects est cruciale pour minimiser l'empreinte écologique.

Les ressources consommées par la ligne PET sont présente dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU 2.1 – Ressources consommées par la ligne PET

Ressource		Machines
Énergie	Énergie Électrique	Toute la ligne.
	Air comprimé (Compresseur)	Souffleuse.
Matière première	Préforme	Souffleuse.
	Produit Semi-fini (Jus)	Remplisseuse.
	Bouchons	Remplisseuse.
Matière secondaire	Eau	Souffleuse, Convoyeur, Salle blanche.
	Produites de Nettoyage	Station NEP, stérilisation.
	Azote	Remplisseuse.
L'emballage	Étiquettes en film plastique, Hot melt	Étiqueteuse.
	Encre	Dateuse.
	Film plastique	Fardeuse, Palettiseuse.
	Carton d'emballage	Palettiseuse.

Les déchets générés par les machines de la ligne PET durant la production sont présente dans le tableau suivant :

TABLEAU 2.2 – Déchets générés par les machines de la ligne PET

Machine	Déchets Solides	Déchets Liquides	Déchets dans l'Air
Souffleuse	Préforme NC		Chaleur
Convoyeur		Eaux usées	
Station NEP		Eaux usées	Odeurs
Remplisseuse		Eaux usées	Rejets gazeux
Étiqueteuse	Axe de film plastique		
Dateuse			Odeurs
Fardeuse	Axe de film plastique		
Palettiseuse	Plastique		

Par un audit environnemental, les agents chargés de bureaux QHSE déterminent les sources significatives de génération de bruit et les gazes, les résultats de l'audit en 2023 par SONALGAZ démontrer les points suivants :

TABLEAU 2.3 – Bruit et intensité lumineuse des machines

Machine	Bruit (dB)	Intensité Lumineuse
Souffleuse	66.2	-
Fardeleuse	95.1	62
Étiqueteuse	82	101

2.4.1 La ligne PET et la Consommation d'Énergie

L'optimisation de la consommation d'énergie électrique est essentielle pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. En Algérie, où la production d'électricité est principalement basée sur la combustion de gaz, cette optimisation est particulièrement importante. L'utilisation de technologies à haut rendement énergétique permet de minimiser la quantité d'énergie nécessaire pour accomplir une tâche, réduisant ainsi le gaspillage.

Par exemple, un compresseur fournit l'air à 40 bars à la souffleuse pour la production des bouteilles. L'utilisation de variateurs de vitesse sur les compresseurs peut améliorer l'efficacité énergétique et la réactivité aux demandes variables de la souffleuse, contribuant ainsi à une consommation énergétique plus optimale.

2.4.2 Consommation de matières

Matières premières :

- Préformes : 14 250 unités consommées par heure, générant en moyenne 70 déchets par heure, soit un ratio "déchets/bouteilles conformes" inférieur à 1%. Un plan de maintenance préventive est crucial pour minimiser les déchets et l'impact écologique.
- La remplisseuse approvisionne les bouteilles en jus dans la salle blanche. Une maintenance efficace prévient les fuites et les défaillances techniques, réduisant ainsi le gaspillage et l'empreinte écologique.

Matières secondaires :

- Produits de nettoyage : Soude (5 400 kg/an) et APA divosan VT53 (62 700 kg/an). Les rejets liquides doivent être correctement traités pour minimiser l'impact environnemental.
- Eau : Utilisée pour le refroidissement des bouteilles (souffleuse), le nettoyage des bouteilles (salle blanche) et la lubrification automatique (convoyeur). Une surveillance régulière des systèmes d'eau est impérative pour éviter le gaspillage.

Emballage :

Les machines comme les étiqueteuses, dateuses, fardeleuses et palettiseuses consomment :

- 2 500 rouleaux d'étiquettes/an.
- 150 cartouches d'encre/an.
- 3 300 axes de plastique/an.
- 126 720 cartons d'emballage/an.
- 76 032 m² de plastique/an.

Les déchets d'emballage peuvent être collectés et recyclés par les fournisseurs pour créer de nouveaux produits.

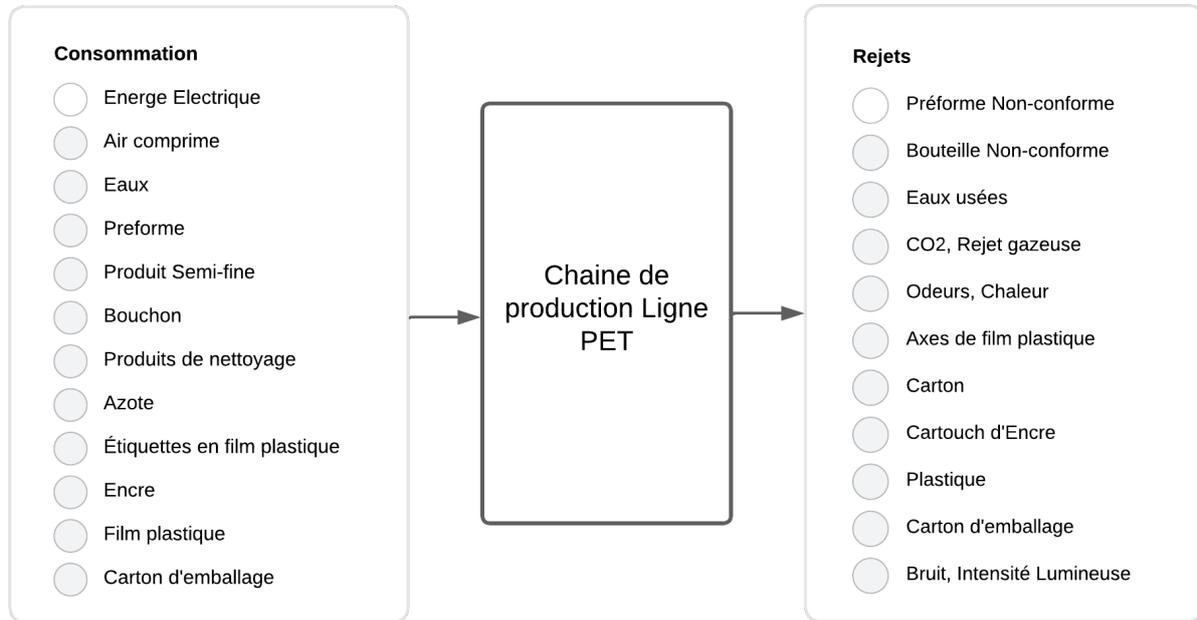


FIGURE 2.1 – Bilan de masse pour la chaîne de production PET

TABLEAU 2.4 – Identification des aspects environnemental

	Consommation d'énergie	Consommation d'eau	Consommation de matières premières	Consommation de matières secondaire	Déchets Non-conforme	Déchets d'emballage	Eaux usées	CO2, Rejets gazeuse	Odeurs, Chaleur	Bruit	Intensité Lumineuse
Souffleuse	X	X	X		X	X		X	X	X	
Convoyeur	X	X					X				
Station NEP	X	X		X			X	X	X		
Salle blanche Stérilisation/Remplissage	X	X	X	X	X		X	X	X		
Étiqueteuse	X			X		X				X	X
Dateuse	X			X		X					
Fardeuse	X			X		X			X	X	X
Palettiseuse	X			X		X					

En résumé, l'impact environnemental de la ligne de production PET est géré à travers une optimisation de la consommation des ressources, une maintenance efficace, et une gestion rigoureuse des déchets. Ces actions permettent de réduire l'empreinte écologique tout en maintenant une production efficace et durable.

2.5 Optimisation des Consommations

L'entreprise NCA-Rouïba surveille la consommation d'eau, d'énergie et de gaz. Des indicateurs sont calculés mensuellement pour déterminer ces consommations. Les formules de calcul de chaque indicateur sont les suivantes :

Ratio de consommation de l'eau

$$\text{Ratio de consommation de l'eau} = \frac{\text{Quantité d'eau consommée (en litres)}}{\text{Litre de jus produit}}$$

Ratio de consommation du gaz

$$\text{Ratio de consommation du gaz} = \frac{\text{Gaz consommé (en th)}}{\text{Litre de jus produit}}$$

Ratio de consommation de l'électricité

$$\text{Ratio de consommation de l'électricité} = \frac{\text{Énergie électrique consommée (en kW)}}{\text{Litre de jus produit}}$$

2.5.1 Le risque de la maintenance corrective sur la consommation d'énergies et d'eau

L'analyse des historiques et les entretiens avec les experts de l'entreprise permettent d'identifier les pannes responsables de l'augmentation des consommations. Ces pannes sont liées à un risque d'augmentation de la consommation d'énergie, d'eau et d'air.

2.5.1.1 Identification des risques augmentant la consommation

Risque : Surconsommation d'électricité due à des défaillances de variateurs et d'autres composants électriques.

Machines Affectées : (Souffleuse, Remplisseuse, Palettiseur et Convoyeur).

Causes :

- Défaillances des variateurs : Les variateurs sont essentiels pour contrôler la vitesse des moteurs électriques. Lorsque ces variateurs tombent en panne ou fonctionnent de manière inefficace, les moteurs peuvent consommer plus d'électricité que nécessaire.
- Problèmes de maintenance : Une maintenance inadéquate ou non réalisée peut entraîner une détérioration des composants électriques, ce qui augmente la consommation d'énergie.

Conséquences Potentielles :

- Impact environnemental : Une surconsommation d'énergie peut entraîner une empreinte carbone plus élevée, contribuant au changement climatique.
- Diminution de l'efficacité énergétique : L'entreprise devient moins compétitive en raison de l'inefficacité de ses opérations.

TABLEAU 2.5 – Risques de Surconsommation d'Électricité

Machine	Causes	Occurrence
Souffleuse	Défaut variateur Moule N° 7 et N° 6	3
	Défaut variateur hotte d'extraction	2
	Défaut variateur poste N° 12	1
Palettiseur	Défaut variateur	2
Remplisseuse	Défaut variateur	1
Convoyeur	Défaut variateur	1

Risque : Un arrêt imprévu se produit lorsqu'une machine cesse de fonctionner de manière inattendue en raison de défaillances techniques, de pannes mécaniques, de problèmes électriques, ou d'autres facteurs imprévus.

Causes :

- Défaillances techniques.
- Manque de maintenance préventive.
- Erreurs humaines.
- Problèmes d'alimentation.
- Défauts des composants.

Conséquences Potentielles :

- Augmentation des coûts énergétiques : Surconsommation d'énergie lors des redémarrages et du fonctionnement non optimal des machines.
- Impact sur la qualité : Risque de détérioration de la qualité des produits en raison des arrêts et des redémarrages fréquents.

TABLEAU 2.6 – Risques d'Arrêts Imprévus des Machines

Machine	Causes	Occurrence
Remplisseuse	Défaut évolution du poids bec N° 4 et N° 9	9
	Les portes de rinceuse shuntées	4
	Défauts dosage becs 1, 5, 6	3
	Problème de débitmètre	14
Souffleuse	Défaut moteur principal	1
	Défaut sur les moules	12
Palettiseur	Blocage élévateur palette sortie	2
	Défaut table élévatrice	1
Convoyeur	Blocage tapis diviseur	1

Risque : Les fuites d'air dans les machines de production peuvent entraîner une perte d'efficacité énergétique, augmenter les coûts opérationnels et potentiellement affecter la performance des machines.

Machines Affectées : (Souffleuse, Fardeuse et Palettiseur).

Causes :

- Usure des joints et des raccords.
- Mauvais entretien des systèmes d'air comprimé.
- Fuites dans les flexibles et les tubes.
- Défauts des composants (par exemple, valves, régulateurs).

Conséquences Potentielles :

- Impact Environnemental : L'augmentation de la consommation d'énergie contribue à un impact environnemental négatif.
- Diminution de la Performance des Machines : Les machines peuvent ne pas fonctionner de manière optimale en raison de la pression d'air insuffisante.
- Augmentation de la Consommation Énergétique : Les compresseurs d'air doivent fonctionner plus longtemps pour compenser les pertes, ce qui augmente la consommation d'énergie.
- Sécurité des Travailleurs : Les fuites d'air peuvent créer des environnements de travail dangereux si elles sont importantes ou non détectées.

TABLEAU 2.7 – Risques de Fuites d'Air

Machine	Causes	Occurrence
Fardeuse	Problème fuite d'air	3
Palettiseur	Fuite d'air (flexible de ventouse)	1
	Fuite d'air tête de robot	1
	Fuite d'air au niveau de trains palette	1

Risque : Les fuites d'eau peuvent entraîner une surconsommation d'eau, des interruptions de production et des coûts de réparation élevés.

Machines Affectées : (Souffleuse, Remplisseuse et Convoyeur)

Causes :

- Joints Usés.
- Vannes Défectueuses.
- Tuyaux Fissurés.

Conséquences Potentielles :

- Impact Environnemental : Utilisation excessive d'eau, affectant les ressources naturelles et augmentant les déchets d'eau.
- Dommages aux machines : L'eau qui fuit peut endommager les composants électriques.
- Coûts de Réparation : Réparations coûteuses pour remplacer les composants défectueux et réparer les fuites.

TABLEAU 2.8 – Risques de Fuites d’Eau

Machine	Causes	Occurrence
Souffleuse	Fuite d’eau glacée au niveau sellette fond du moule N° 10	6
Remplisseuse	Fuite vanne V5 module CIP/SIP	10

2.5.1.2 Gravité et Probabilité des Risques

Déterminer la gravité des risques (G) :

- Gravité des impacts sur la consommation d’électricité, d’eau et de gaz.
- Impact sur la production (arrêts de machines, qualité des produits).

Évaluer leur probabilité (P) :

- Fréquence d’occurrence des pannes et défauts.
- État et âge des machines.

Probabilité	Négligeable (1)	Mineure (2)	Modérée (3)	Majeure (4)	Catastrophique (5)
Très probable (5)	5	10	15	20	25
Probable (4)	4	8	12	16	20
Possible (3)	3	6	9	12	15
Improbable (2)	2	4	6	8	10
Très improbable (1)	1	2	3	4	5

TABLEAU 2.9 – Tableau de Probabilité

2.5.1.3 Risques d’Augmentation de la Consommation d’Électricité

Le risque d’augmentation du ratio de consommation d’électricité est lié aux arrêts imprévus, aux fuites d’air et à la surconsommation d’électricité.

TABLEAU 2.10 – Risques d’Augmentation de la Consommation d’Électricité

Machine	Panne	P	G	I
Remplisseuse	Défaut évolution du poids bec 4 & 9	4	3	12
	Portes de rinceuse shuntées	2	3	6
	Défauts dosage becs 1, 5, 6	2	4	8
	Problème de débitmètre	5	2	10
	Défaut variateur	3	3	9
Souffleuse	Défaut moteur principal	2	5	10
	Défaut sur les moules	5	4	20
	Défaut variateurs	4	3	12
Palettiseur	Blocage élévateur palette sortie	2	3	6
	Défaut table élévatrice	2	3	6
	Défaut variateur	2	3	6
	Problème fuite d’air	3	5	15
Convoyeur	Blocage tapis diviseur	2	4	8
	Défaut variateur	2	3	6
Fardeuse	Problème fuite d’air	3	5	15

2.5.1.4 Risques d’Augmentation de la Consommation d’Eau

Le risque d’augmentation du ratio de consommation d’eau est lié aux arrêts imprévus, aux fuites d’eau et la Mauvaise pratique lors des nettoyages.

TABLEAU 2.11 – Risques d’Augmentation de la Consommation d’Eau

Machine	Panne	P	G	I
Remplisseuse	Défaut évolution du poids bec 4 & 9	4	2	8
	Portes de rinceuse shuntées	2	4	8
	Défauts dosage becs 1, 5, 6	2	4	8
	Problème de débitmètre	5	3	15
	Fuite vanne V5 module CIP/SIP	5	4	20
Souffleuse	Défaut sur les moules	5	2	10
	Fuite d’eau glacée au niveau sellette fond du moule N° 10	4	5	20
Convoyeur	Blocage tapis diviseur	3	3	9

2.5.1.5 Risques d'Augmentation de la Consommation de Gaz

La remplisseuse est connectée à un flux de vapeur produit par des chaudières fonctionnant à la combustion de gaz naturel. Par conséquent, les pannes fréquentes de la remplisseuse peuvent entraîner une augmentation du ratio de consommation de gaz.

Selon l'avis des responsables de maintenance et du site, les arrêts imprévus de la remplisseuse peuvent entraîner une augmentation de la consommation de gaz.

TABLEAU 2.12 – Risques d'Augmentation de la Consommation de Gaz

Machine	Panne	P	G	I
Remplisseuse	Défaut évolution du poids bec 4 & 9	4	3	12
	Portes de rinceuse shuntées	2	5	10
	Défauts dosage becs 1, 5, 6	2	4	8
	Problème de débitmètre	5	3	15

2.5.2 Plan d'Action

Pour éliminer tout risque pouvant entraîner une augmentation de la consommation, des mesures proposées peuvent contribuer à réduire ou éliminer les causes profondes de ces problèmes. La mise en œuvre de ce plan est la responsabilité du département de maintenance.

Le contenu de plan d'action

Mettre en place un programme de maintenance préventive :

- Établir des inspections régulières et des interventions de maintenance surtout pour les pannes de zone rouge.
- Effectuer des inspections régulières de système d'air comprimé pour détecter les fuites.
- Planifier un programme de maintenance préventive pour remplacer les joints et les raccords usés.

Réparer ou remplacer les variateurs défectueux : Assurez-vous que tous les variateurs fonctionnent correctement.

Optimisation des réglages des machines : Vérifier et ajuster les réglages des machines pour garantir une utilisation efficace de l'énergie. Optimiser les systèmes d'air comprimé pour réduire la pression de fonctionnement sans affecter la performance.

Utiliser des outils de détection des fuites. Installer des systèmes de surveillance pour détecter automatiquement les fuites.

Réaliser des audits énergétiques pour identifier les sources de pertes d'énergie et proposer des améliorations.

Formation du personnel :

- Sur les meilleures pratiques pour réduire la consommation d'énergie.
- A identifier rapidement les signes de fuites et à prendre des mesures immédiates.

Surveillance et Suivi : Plusieurs indicateurs de performance peuvent être mis en place pour suivre la progression de la réalisation du plan d'action, tels que :

- Consommation d'électricité (kWh).
- Nombre de pannes de variateurs.
- Nombre de fuites détectées et réparées. par mois.
- Temps de fonctionnement des compresseurs d'air avant et après les réparations.

Solutions proposées par le Département Maintenance

TABLEAU 2.13 – Solutions Proposées par le Département Maintenance

Causes	Solutions
Mauvaise pratique lors des nettoyages	Installer des pistolets sur les dévidoirs.
Surconsommation d'électricité	Installer un variateur de vitesse sur le compresseur. Installer des compteurs d'électricité pour chaque machine.
Fuites sur les différents équipements	Renforcer les actions de réparation des fuites immédiatement. Mettre à niveau le circuit d'eau et d'air par section.
Arrêts imprévus des machines	Assurer l'entretien des onduleurs sur les différents équipements. Respecter les programmes de maintenance préventive.

2.6 Conclusion

Le deuxième chapitre du mémoire met en pratique les concepts théoriques du développement durable dans le cadre d'une étude de cas réelle sur la ligne de production PET de NCA-Rouïba. En présentant l'entreprise et sa démarche environnementale, ce chapitre montre comment une approche systématique de la maintenance industrielle peut contribuer à réduire l'impact environnemental d'une ligne de production.

La description détaillée de la ligne de production PET, des consommations de ressources et des rejets associés met en évidence les points critiques où des améliorations peuvent être apportées. L'analyse des risques liés à la maintenance corrective montre que des interventions inappropriées peuvent entraîner une surconsommation d'énergie et d'eau, augmentant ainsi l'impact environnemental.

Le plan d'action proposé pour optimiser les consommations de ressources et réduire les impacts environnementaux est un élément clé de ce chapitre. En adoptant des pratiques de maintenance préventive et prédictive, et en utilisant des technologies plus efficaces, NCA-Rouïba peut améliorer significativement sa performance environnementale.

Chapitre 3

Évaluation et analyse de l’empreinte carbone du service maintenance de la PET.

3.1 Introduction

Ce chapitre se propose d’examiner l’impact environnemental de la maintenance appliquée à la ligne de production PET de NCA-Rouïba. Il s’agit d’évaluer les procédures de maintenance existantes, de quantifier les ressources consommées et les déchets générés, et de calculer l’empreinte carbone associée à ces activités.

L’objectif est de fournir une vision claire et détaillée des contributions de la maintenance industrielle aux émissions de gaz à effet de serre et d’identifier les points d’amélioration possibles pour réduire cet impact. En mettant en lumière les pratiques actuelles et leurs conséquences environnementales, ce chapitre vise à proposer des solutions concrètes et efficaces pour une gestion plus verte et durable des activités de maintenance.

Nous commencerons par une définition des procédures de maintenance existantes, suivie d’une évaluation de leur impact environnemental à travers un inventaire des ressources utilisées et des émissions générées. Enfin, nous proposerons des pistes d’amélioration pour optimiser l’empreinte écologique de la maintenance industrielle.

3.2 Définir les procédures de maintenance existantes

Les procédures de maintenance appliquées sur la ligne de production PET sont réparties en deux catégories :

Maintenance préventive : La maintenance préventive inclut les procédures de lubrification, le nettoyage des machines, la maintenance des filtres, la surveillance et le remplacement des pièces lors des interventions préventives ou des révisions.

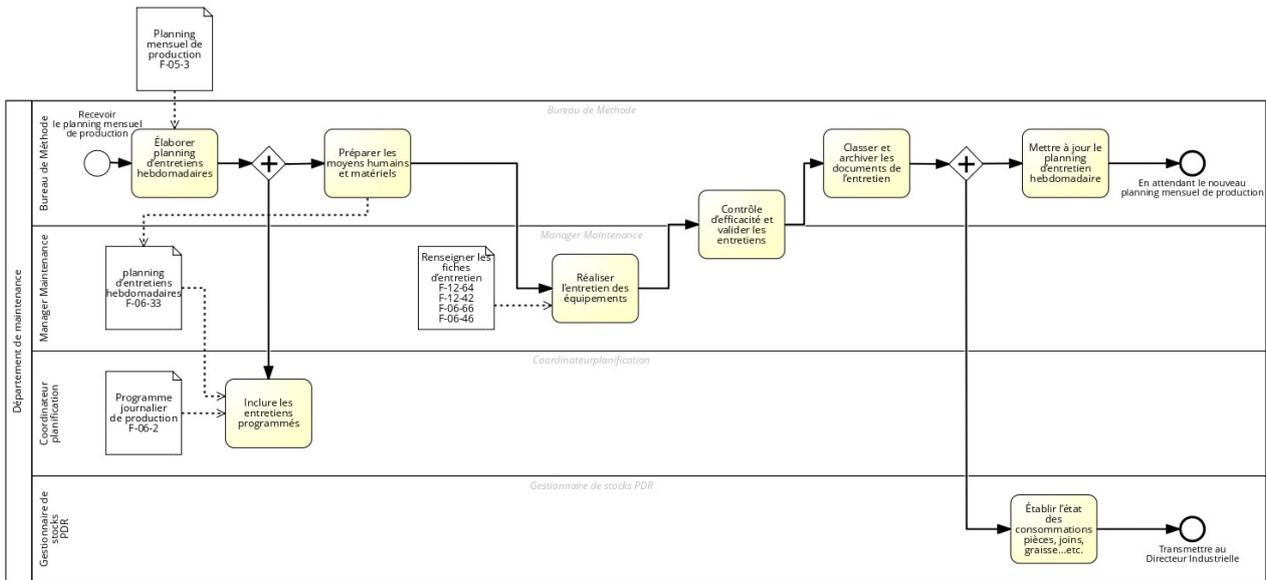


FIGURE 3.1 – BPMN : Maintenance préventives

Maintenance corrective : La maintenance corrective se limite au remplacement des pièces lors des interventions correctives.

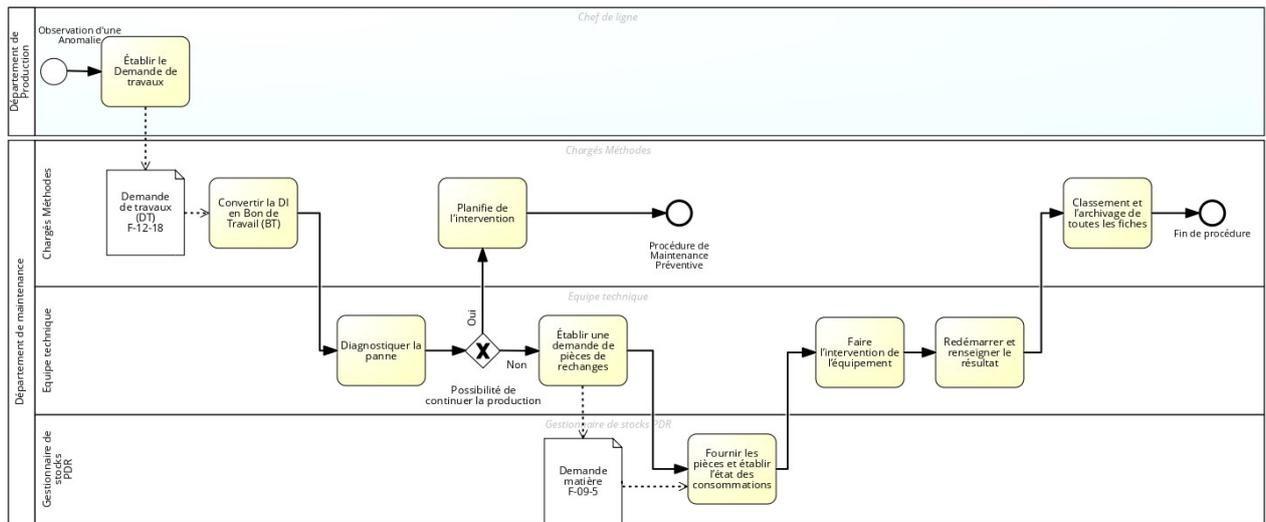


FIGURE 3.2 – BPMN : Maintenance corrective

Cette partie est essentielle pour définir l’importance des procédures de maintenance existantes afin de maintenir le fonctionnement de la ligne de production PET. Elle fournit des détails sur la dangerosité environnementale liée à la consommation et aux déchets, permettant ainsi d’évaluer les impacts environnementaux de chaque procédure.

3.2.1 Lubrification

Fonction Critique : Assurer le bon fonctionnement et réduire l’usure des pièces mobiles des machines.

L'opération de graissage est cruciale pour le maintien et la performance des équipements de la ligne PET. Elle implique l'application de graisse sur les composants mécaniques pour réduire la friction et l'usure, ce qui peut être réalisé :

- Manuellement avec un pinceau ou une pompe de graisse.
- Automatiquement via des cartouches de graisse ou des réservoirs de graisse.

La consommation de graisse est élevée pour la souffleuse, l'étiqueteuse, la remplisseuse et la fardeleuse en raison de leurs besoins en lubrification, nécessitant à la fois un graissage manuel et l'utilisation de cartouches de graisse et de réservoirs. En revanche, le convoyeur et le palettiseur nécessitent moins de points de graissage et peuvent être lubrifiés manuellement.

Les graissages manuels utilisent de la graisse TOTAL EP2, tandis que les réservoirs automatiques utilisent de la graisse TOTAL EP1, et les cartouches de graissage automatique sont de marque Perma.

La lubrification périodique de la palettiseuse utilise de l'huile 40/90 à une fréquence bihebdomadaire pour les points suivants :

- Chaîne du magasin à palettes.
- Chaîne du convoyeur à rouleaux.
- Table montante.
- Chaîne à chariot.
- Chaîne à rouleaux de la table tournante.

L'huile 40/90 est également utilisée pour la fardeleuse toutes les 3 000 heures de fonctionnement, avec une quantité de 200 ml appliquée à chaque intervention sur la chaîne de réglage de hauteur.

Le dégraissage (nettoyage de la graisse usagée) et l'élimination de l'huile usage est une étape cruciale pour maintenir les équipements en bon état de fonctionnement. Voici les ressources utilisées de dégraissage pour les types de graissage manuel et automatique :

Équipements nécessaires : Chiffons, brosses, le détergent industriel, gants de protection.

Ressources Utilisées :

Chiffons :

- Environ 2 chiffons utilisés à chaque intervention de graissage manuelle.
- Environ 10 chiffons par intervention pour la graisse automatique.

Détergent industriel :

- Environ 100 ml d'alcool par intervention pour la graisse manuel.
- Environ 200 ml d'alcool par intervention pour la graisse automatique.

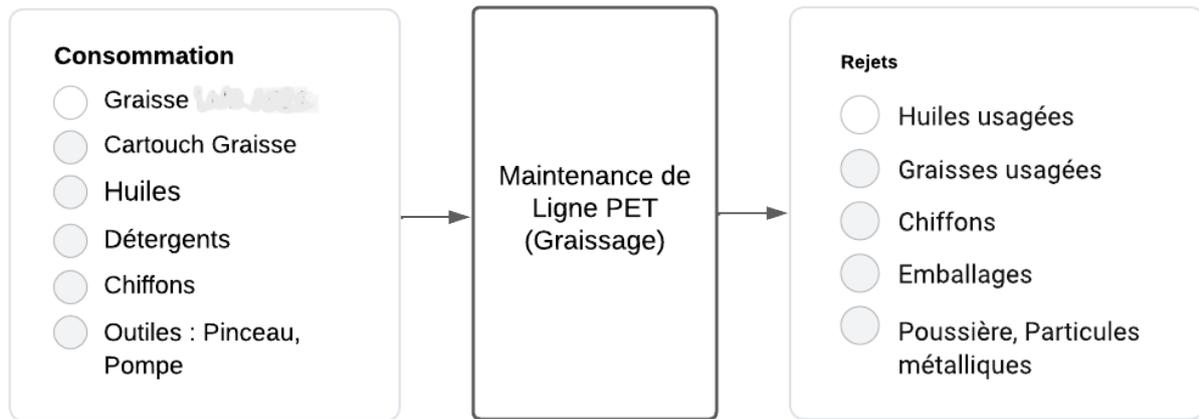


FIGURE 3.3 – Bilan de masse pour la procédure de Lubrification

Dangerosité Environnementale :

- Utilisation de lubrifiants peut entraîner des risques de pollution si des fuites ou des déversements se produisent.
- Élimination incorrecte des huiles usées peut contaminer le sol et les cours d’eau.

3.2.2 Nettoyage des Machines

Fonction Critique : Maintenir les machines en bon état de fonctionnement et prévenir les contaminations des produits.

L’opération de nettoyage des équipements de la ligne PET implique l’utilisation de divers produits tels que l’alcool, l’acide, le Brille inox et le lave-glass.

Les déchets générés par les opérations de nettoyage comprennent les chiffons usagés et les eaux usées contenant des résidus de produits de nettoyage.

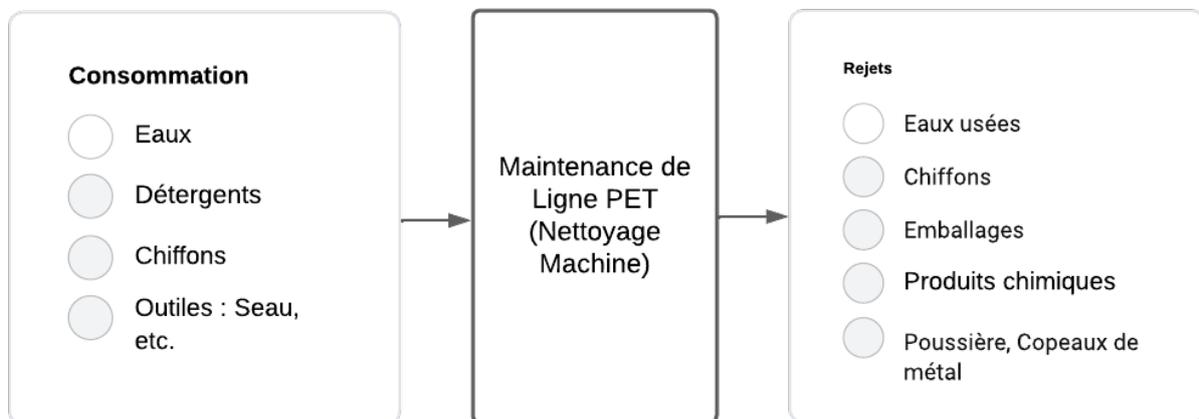


FIGURE 3.4 – Bilan de masse pour la procédure de nettoyage des machines

Dangerosité Environnementale :

- Utilisation de détergents et de solvants peut produire des déchets chimiques dangereux.
- Rejet d’eaux usées contenant des produits chimiques peut polluer les systèmes d’eau locaux.

3.2.3 Maintenance des Filtres

Fonction Critique : Assurer une filtration efficace des particules et des contaminants dans les systèmes de production.

Le nettoyage des filtres assure le bon fonctionnement des appareils, prolonge la durée de vie des filtres et réduit la fréquence de leur remplacement.

La ligne PET comprend 26 filtres présents dans différentes machines. Le tableau ci-dessous indique la fréquence de nettoyage et de remplacement.

TABLEAU 3.1 – Maintenance des Filtres de la ligne PET

Machine	Quantité	Fréquence de Nettoyage	Fréquence de Changement
Remplisseuse	5 filtres	Hebdomadaire	Semestriel
Convoyeur d’air	8 Filtres	Bihebdomadaire	Semestriel
Station NEP	6 Filtres	Hebdomadaire	Semestriel
Fardeuse	1 Filtre	Mensuelle	Annuel
Convoyeur transporteur	2 Filtres	Mensuelle	Semestriel
Souffleuse	1 Filtre	Mensuelle	Annuel
Etiqueteuse	2 Filtres	Mensuelle	Annuel
Palettiseuse	1 Filtre	Trimestriel	Annuel

Le nettoyeur haute pression est un équipement clé pour le nettoyage des filtres de la souffeuse, de la station de nettoyage en place, et de la remplisseuse.

- Puissance de l’appareil 2 kW.
- Fonction : il permet d’éliminer les impuretés et les résidus accumulés sur les filtres en utilisant de l’eau sous haute pression.
- Chaque intervention de nettoyage dure environ 30 minutes, assurant un nettoyage en profondeur des composants.

Le compresseur d’air utilisé pour le nettoyage des filtres dans le convoyeur d’air, le convoyeur mécanique, le sécheur, l’étiqueteuse, la fardeuse, et le palettiseur.

- Puissance de compresseur : 5 kW.
- Fonction : il souffle de l’air comprimé pour déloger la poussière et les particules des filtres.
- Chaque intervention avec le compresseur d’air dure également environ 30 minutes.

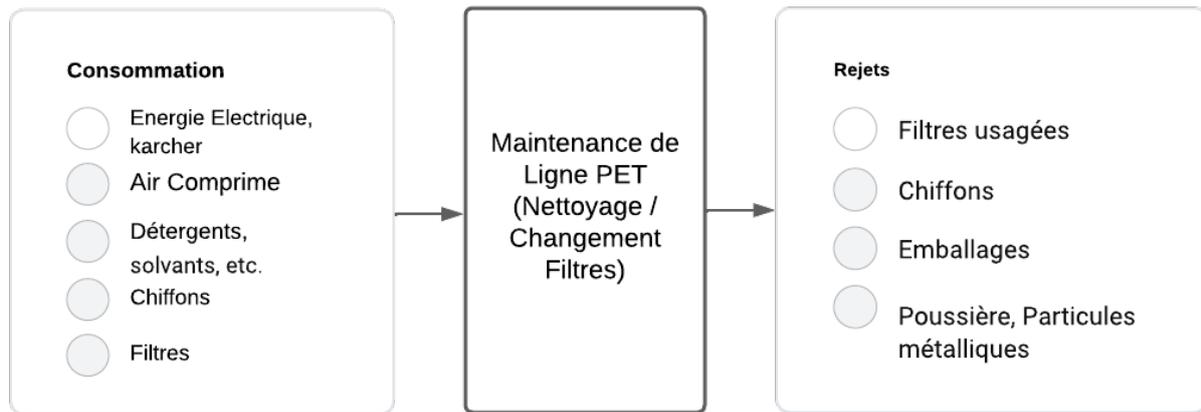


FIGURE 3.5 – Bilan de masse pour la Maintenance des filtres

Dangerosité Environnementale :

- Filtrés usagés peuvent contenir des substances dangereuses qui doivent être éliminées correctement.
- Utilisation de détergents et de solvants peut produire des déchets chimiques dangereux.

3.2.4 La surveillance

Fonction Critique : Détecter précocement les signes de défaillance des équipements pour intervenir rapidement.

Les agents de maintenance effectuent des vérifications périodiques basées sur un plan de surveillance rigoureux (voir l’annexe F). Les agents de maintenance remplissent des fiches de suivi pour noter leurs observations et les transmettre au responsable de maintenance. Les ressources utilisées pour la surveillance se limitent aux fiches papier. L’observation d’anomalies sur les machines par l’agent de maintenance ou l’opérateur de production déclenche une procédure de maintenance corrective.

3.2.5 Changement des pièces

3.2.5.1 Cas préventive

Fonction Critique : Remplacer les pièces avant qu’elles ne se dégradent pour éviter les pannes.

Le remplacement périodique des pièces, effectué selon une procédure de maintenance préventive, nécessite de garantir la disponibilité des pièces de rechange en magasin et de choisir le moment approprié en fonction du planning de production pour effectuer la maintenance.

Dangerosité Environnementale :

- Production et élimination des pièces usagés peuvent contribuer à la génération de déchets industriels.

3.2.5.2 Cas corrective

Fonction Critique : Remplacer les pièces défectueuses pour rétablir le bon fonctionnement des machines.

Dangerosité Environnementale :

- Gestion des déchets des pièces défectueuses doit être réalisée correctement pour éviter la pollution.
- Urgence des interventions correctives peut entraîner une gestion imprudente des déchets.

3.2.6 Prestataire de service sur le bras robot

Fonction Critique : Assurer la maintenance spécialisée du bras robotisé pour garantir son efficacité et sa précision.

La palettiseuse, en particulier le bras robot de marque MECTRA, nécessite une maintenance annuelle effectuée par un prestataire de service. Voici les interventions typiques réalisées :

Inspection Générale :

- Vérification des composants mécaniques, électriques et électroniques.
- Contrôle des câbles et des connecteurs.
- Examen des systèmes de sécurité et des capteurs.

Lubrification :

- Graissage des joints et des roulements.
- Application d’huile sur les parties mobiles.

Calibration et Réglages :

- Ajustement des capteurs et des systèmes de positionnement.
- Calibration des systèmes de contrôle pour assurer une précision optimale.

Remplacement des Pièces Usées :

- Changement des joints, des roulements et des courroies.
- Remplacement des capteurs défectueux.

Nettoyage :

- Nettoyage complet du bras robot et des zones environnantes.
- Dégraissage des parties ayant accumulé de l’huile ou de la graisse.

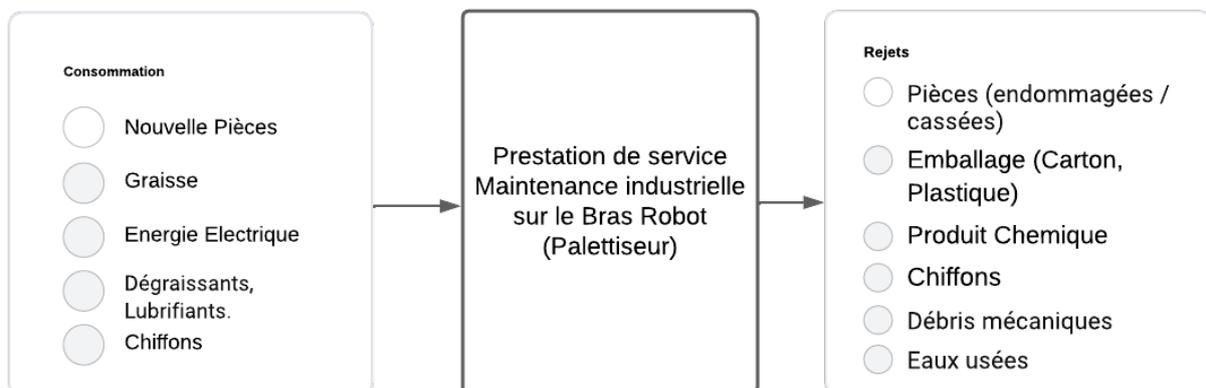


FIGURE 3.6 – Bilan de masse pour le prestataire

3.2.7 Les aspects environnementaux de la maintenance de la ligne PET

En résumé, on peut catégoriser les aspects environnementaux de la maintenance industrielle pour la ligne PET comme suit :

1. Consommation d’Énergie (les appareille de diagnostic, de mesure, de nettoyage, etc.).
2. Consommation d’Eau.
3. Consommation des Pièces de Rechange.
4. Consommation des Produits Dangereux (Graisse, Huiles, Détergents, Solvants, etc.).
5. Déchets Spéciaux (Filtres, Graisse, Batteries, etc.).
6. Déchets valorisé (Inox, Cuivre, Plastique, Emballage, pièces Cassées, etc.).
7. Eau Usées.
8. Poussières, Débris mécanique.
9. Bruit Externe.

TABLEAU 3.2 – Identification des aspects environnemental pour la maintenance industrielle

	Consommation d’énergie	Consommation d’eau	Consommation des Pièces de Rechange	Consommation des Produits Dangereux	Déchets Spécieux	Déchets valorise	Eaux usées	Poussières, Débris mécanique	Bruit
Lubrification				X	X				
Nettoyage des Machines		X		X			X	X	
Maintenance des filtres	X	X	X			X	X	X	X
Changement des pièces	X		X		X	X			X
Prestataire des services	X		X			X		X	X

3.3 Evaluation de l’impact environnemental de la maintenance industrielle

Après avoir défini les procédures de maintenance pour notre cas d’étude "ligne de production PET" et examiné les aspects environnementaux liés à ces procédures, il est essentiel d’évaluer leur impact sur l’environnement. Cela inclut généralement la consommation des ressources et la génération des déchets. La méthodologie d’Analyse du Cycle de Vie (ACV) est utilisée pour guider le calcul de l’empreinte carbone des procédures de maintenance.

3.3.1 Définir le but et champ d’étude

La première phase de l’implémentation de l’ACV consiste à définir clairement notre objectif ainsi que les limites organisationnelles et temporelles, afin de pouvoir lancer la deuxième phase.

Le But : Calculer l’empreinte carbone liée aux ressources consommées et aux déchets générés par le service de maintenance industrielle.

Champ d’Etude :

- Périmètre organisationnel : Ligne de production PET de la Société NCA-Rouiba.
- Périmètre temporel : Du 1er janvier 2023 au 31 décembre 2023 (un an)

3.3.2 L’inventaire

La deuxième phase consiste à calculer les ressources utilisées et les déchets générés par chaque procédure de maintenance au cours de l’année 2023.

3.3.2.1 Procédure de Lubrification

Le plan de graissage annuel pour la maintenance de la ligne PET implique l’utilisation d’une quantité totale de 102.12 kg de graisse.

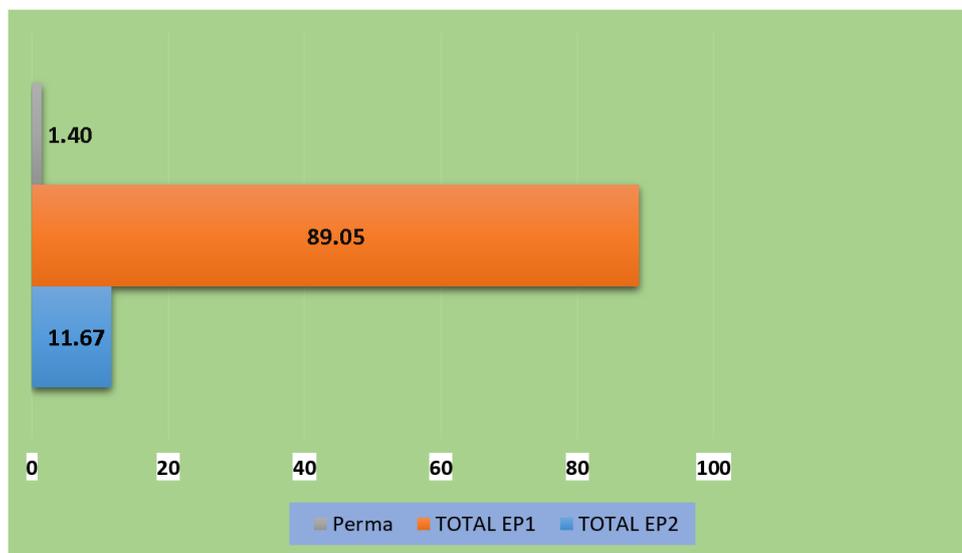


FIGURE 3.7 – Quantité annuelle de graisse consommée par la ligne PET de chaque type de graisse (en kg)

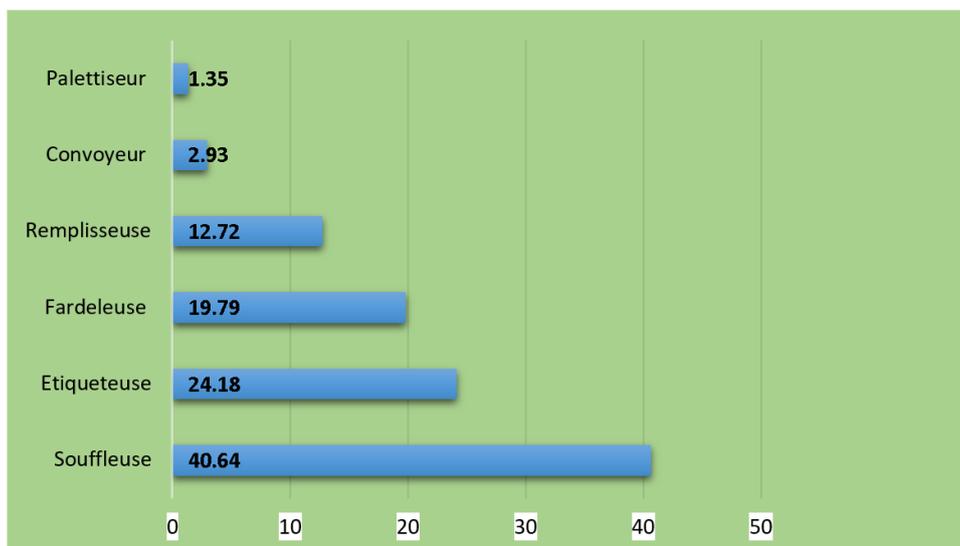


FIGURE 3.8 – Quantité annuelle de graisse consommée par chaque Machine (en kg)

De plus, le prestataire de service de maintenance pour le bras robotique de la palettiseuse utilise les quantités suivantes lors de la tâche de lubrification :

- 0.5 kg de graisse
- 1 litre de l’huile

La consommation annuelle de l’huile de lubrifiant pour la ligne de production PET est : 15.56 litres.

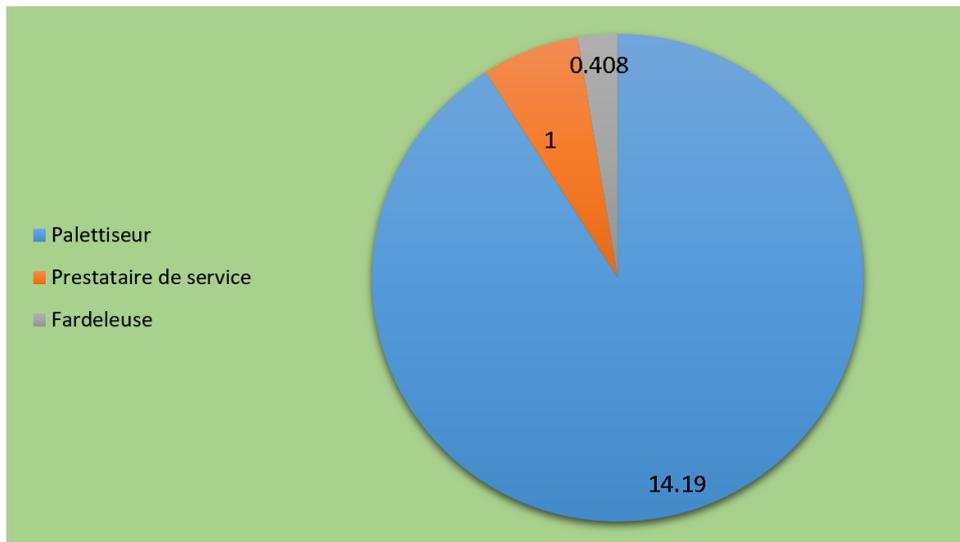


FIGURE 3.9 – Consommation Annuelle de l’Huile pour la Lubrification

Total Annuel d’autre ressource utilisé durant la procedure de lubrification :

- Total Chiffons : 435 unités.
- Total Solvants (alcool) : 20 litres
- Total gants : 450

3.3.2.2 Procédure de Nettoyage des Machines

Les quantités consommées ont été déterminées à partir des entretiens avec les agents de maintenance. La consommation annuelle des produits de nettoyage a été estimée de la manière suivante :

TABLEAU 3.3 – Consommation annuelle des produit de nettoyage

Machine	Produit	Consommation Annuelle (Litres)
Souffleuse	Alcool	50.16
Convoyeur d’air	Brille inox	8.6
Station NEP	Brille inox	26
Remplisseuse	Alcool	48.16
Remplisseuse	Acide	48.16
Remplisseuse	Lave glass	24
Diviseur	Brille inox	17.16
Sécheur	Alcool	8.6
Etiqueteuse	Brille inox	34.32
Fardeuse	Brille inox	8.6
Palettiseuse	Alcool	8.6

Total Annuel d’autre ressource utilisé durant la procedure de Nettoyage des Machines :

- Total Chiffons : 3188 unités.
- Eaux : 1760 litres
- Total gants : 1000

3.3.2.3 Procédure de Maintenance des Filters

Voici la consommation totale pour la maintenance des filtres de la ligne de production PET :

TABLEAU 3.4 – Les ressources consommé lors la maintenance des filtres sur un an

Ressource consomme	Consommation annelle
Électricité	1222.5 kWh
Eau	1100 litre
Alcool	36.3 litre
Filtres	45 unités

La Consommation annuelle d’électricité (CE) calcule comme suite :

$$CE = \sum (\text{nombre de filtres} \times (fn-fc) \times \text{puissance d’équipement} \times \text{durée d’utilisation d’équipement}) \quad (3.1)$$

tel que :

- fn = fréquence de nettoyage.
- fc = fréquence de changement.

3.3.2.4 Changement des pièces

Après consultation de l’historique des interventions périodiques sur la ligne PET pour l’année 2023, il est possible de déterminer la quantité de pièces consommées pour chaque machine.

Les interventions correctives et préventives nécessitent l’utilisation d’équipements spécifiques pour diagnostiquer les pannes et effectuer les réparations. Une liste des équipements d’intervention couramment utilisés est présentée en les annexes G et H.

La consommation électrique annuelle des équipements de maintenance lors de la procédure de changement de pièces est de 80,83 kWh.

Au cours de 100 interventions préventives réalisées en 2023, la ligne PET a consommé 1 672 unités de pièces de rechange. Cette quantité représente 81,88 % de la consommation totale des pièces de rechange.

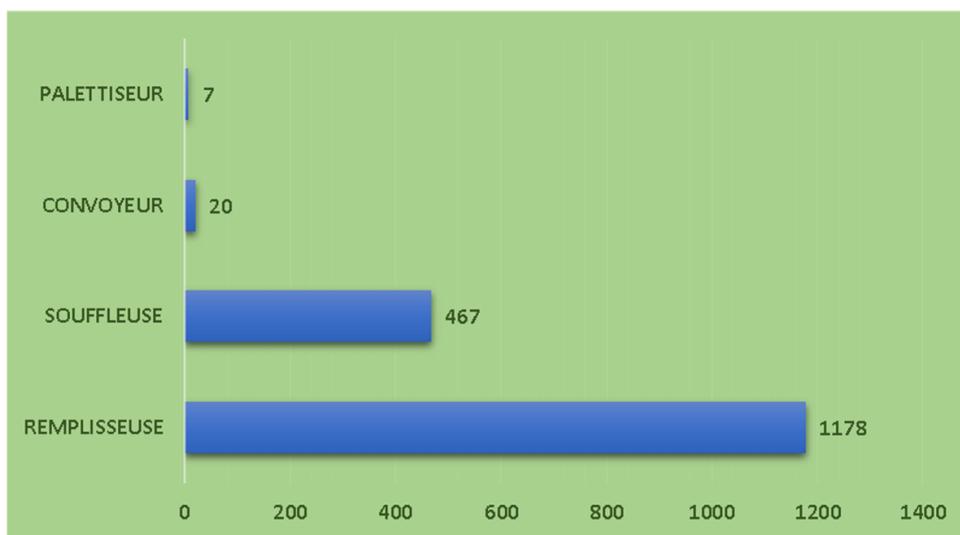


FIGURE 3.10 – Consommation des pièces de rechange pour la maintenance préventive en 2023

Durant les 132 interventions correctives réalisées en 2023, la ligne PET a consommé 370 unités de pièces de rechange. Cette quantité représente 18,12 % de la consommation totale de pièces de rechange.

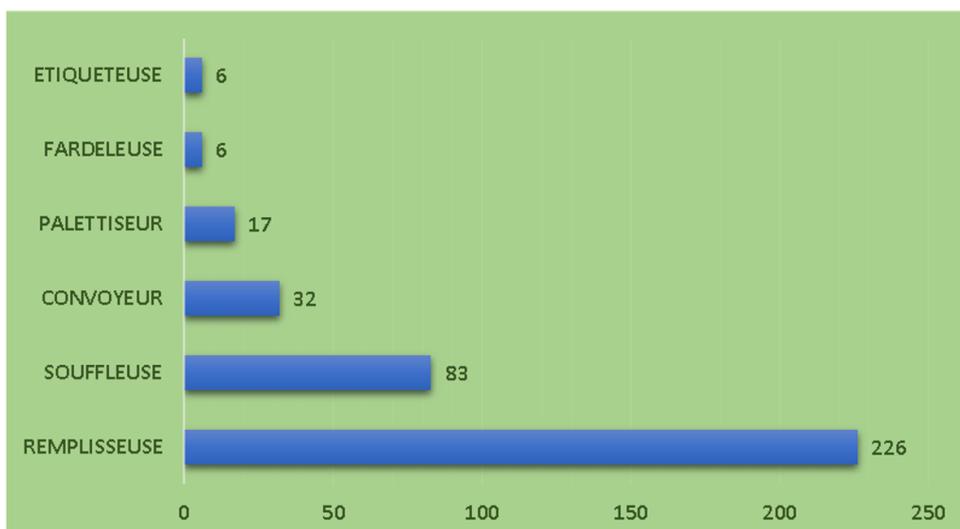


FIGURE 3.11 – Consommation des pièces de rechange pour la maintenance corrective en 2023

3.3.2.5 Prestataire des services maintenance

La consommation d’énergie durant les activités de maintenance effectuées par le prestataire de service sur le bras robot de marque MECTRA comprend. Durée totale des interventions : 24 heures (réparties sur 3 jours de travail).

Outils et équipements utilisés :

- Outils électriques : perceuse, clé dynamométrique, pompe à graisse électrique, etc.
- Éclairage de travail : lampes portatives LED.
- Ordinateur portable pour diagnostic et calibration.

Consommation Totale d’Énergie : 5,82kWh

Ci-dessous une liste des ressources utilisées lors de l’intervention du prestataire :

TABLEAU 3.5 – Liste des Ressource utilisées lors de l’intervention du prestataire

Ressources utilisées	Quantité
Graisse Lithium RBT 00	Environ 500g
Huile Fuchs Titan HYD HV 68	1 litre
Joints	12
Courroies	6
Brille inox	500 ml
Chiffons de Nettoyage	10 chiffons
Roulements	10
Capteurs	4

3.3.2.6 Rapport des résultats

La consommation annuelle d’énergie (électricité) est présentée dans le tableau suivant :

TABLEAU 3.6 – Consommation annuelle d’énergie

	Consommation annuelle (en kWh)
Nettoyage des filtres	1222.5
Changement des pièces	80.83
Prestataire de service	5.82
Total	1309.15

La consommation annuelle d’eau pour le nettoyage des machines et des filtres est : **2860 litres**.

La consommation annuelle de produits dangereux (détergents et lubrifiants industriels) est présente dans le tableau suivant :

TABLEAU 3.7 – Consommation de produit nocif

Produits dangereux	Quantité (en Kg)
Acide	48.18
Alcool	156.48
Brille inox	94.64
Huile 40/90	14.598
Lave glass	24.09
Perma	1.3968
Total EP1	89.05
Total EP2	11.169744

Les déchets générés (pièces défectueuses) sont présentés annuellement après la procédure de changement de pièce selon leur nature (en kg) :

TABLEAU 3.8 – Consommation des pièces par nature et type de maintenance

Nature de Pièces	Préventif	Correctif	Total
Plastique	54.16	19.67	73.83
Métal	134.2	35.41	169.61
Électronique	10.2	58	68.2
Total	198.56	113.08	311.64

Pour la maintenance des filtres, la quantité de filtres usagés est présentée selon leur nature comme suit :

- **Métal** : 22.6 kg.
- **Électronique** : 2.1 kg.

REMARQUE :

Un tableau de bord a été développé sur Excel pour mieux visualiser la consommation annuelle de toutes les ressources lors des procédures de maintenance de la ligne PET.

3.3.3 Evaluation d’impact : Calcul de l’empreinte carbone

La troisième phase consiste à calculer l’empreinte carbone des ressources consommées et des déchets générés par les procédures de maintenance, afin d’évaluer l’impact de la maintenance industrielle sur l’environnement.

Les données d’activité sont obtenues à partir de l’inventaire réalisé lors de la phase précédente. Nous nous basons sur les moteurs de recherche suivants pour déterminer les facteurs d’émission associés à nos besoins :

- **climatiq** [83]

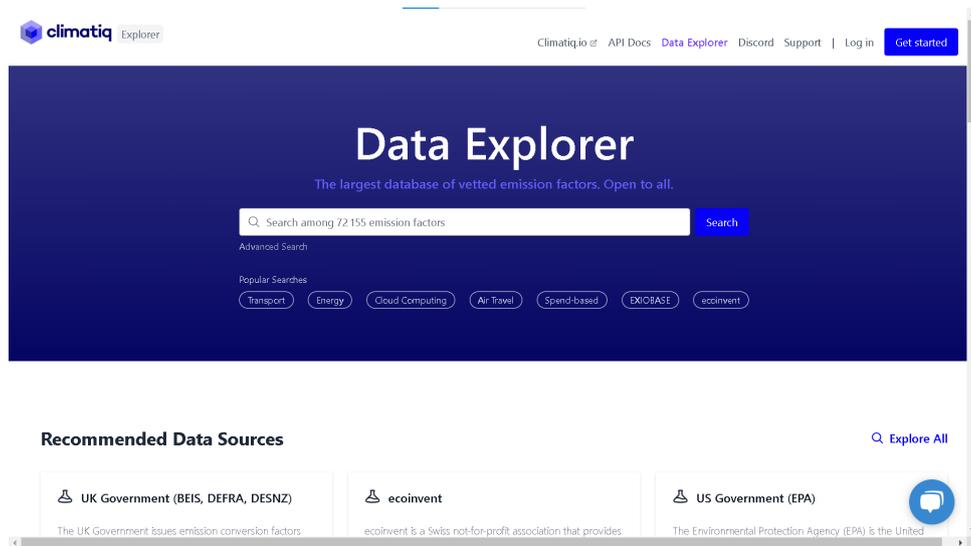


FIGURE 3.12 – Moteur de recherche : climatiq

- CarbonKit [84]

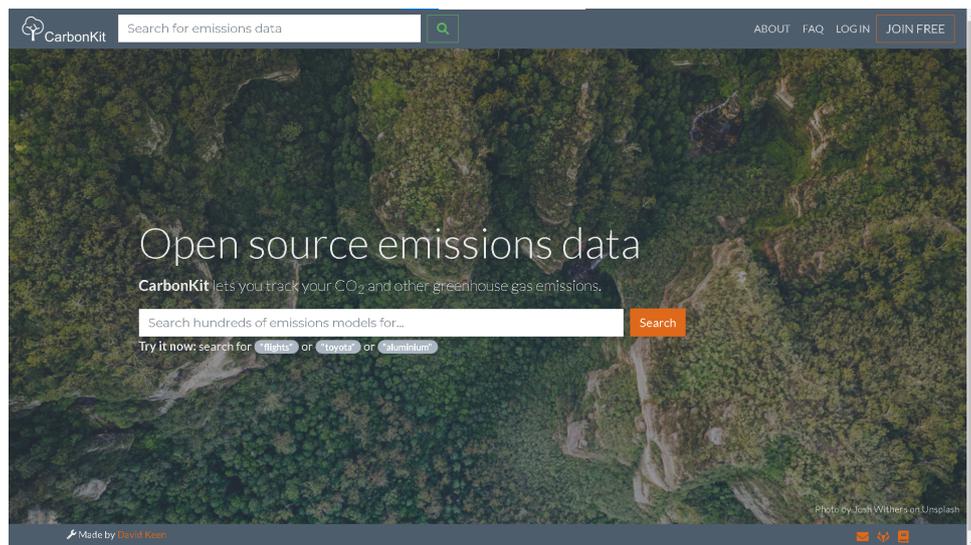


FIGURE 3.13 – Moteur de recherche : CarbonKit

Ces deux outils fournissent un accès gratuit aux facteurs d’émission de différentes sources de données, telles que : ÖKOBAUDAT, DEFRA, les facteurs d’émission du GIEC et l’U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

le calcul et les résultats sont présentés ci-dessous :

3.3.3.1 Émissions dues à la consommation de l’électricité et de l’eau

Sachant que 98% de la production d’électricité en Algérie provient de la combustion de gaz.

TABLEAU 3.9 – L’empreinte de carbone de la consommation d’électricité

	L’empreinte de carbone (en kCO ₂ e)
Nettoyage des filtres	839.8786
Changement des pièces	55.5316
Prestataire de service	3.9984
Total	899.4087 kgCO₂e

Et sachant que l’eau utilisée lors des procédures de maintenance chez NCA-Rouiba est puisée et employée sans traitement.

TABLEAU 3.10 – Consommation d’Eau annuelle et empreinte de carbone

	Consommation annuelle (en L)	L’empreinte de carbone (en kgCO ₂ e)
Nettoyage des filtres	1100	0.3740
Nettoyage Machine	1760	0.5984
Total	2860 L	0.9724 kgCO₂e

3.3.3.2 Émissions dues à l’utilisation de la graisse et de l’huile

Les lignes directrices du GIEC offrent une méthode pour calculer les émissions de CO₂ à partir des propriétés physiques des lubrifiants et des graisses. Cette méthode prend en compte leur masse, leur valeur calorifique, leur teneur en carbone et le facteur d’oxydation lors de l’utilisation [61].

- Teneur en Carbone (CC) : Quantité de carbone présente dans les lubrifiants, exprimée en kg C/GJ. La valeur par défaut est de 20 kg C/GJ.
- Facteur d’Oxydation Pendant l’Utilisation (ODU) : Fraction du lubrifiant qui est oxydée pendant son utilisation. Les valeurs par défaut sont de 0,05 pour les graisses et de 0,2 pour les lubrifiants.
- Valeur Calorifique (VC) : Contenu énergétique du lubrifiant, en GJ/tonne. On suppose 40 GJ/tonne pour les graisses et 42 GJ/tonne pour l’huile lubrifiante.
- Ratio de Masse de CO₂ au Carbone (44/12) : Convertit la quantité de carbone en CO₂. Le ratio est de 3,67.

Adaptation de la Formule à Nos Données :

$$E_{\text{graisse}} = m_{\text{graisse}} \times \left(\frac{CV_{\text{graisse}}}{1000} \right) \times CC \times ODU_{\text{graisse}} \times \frac{44}{12} \quad (3.2)$$

$$E_{\text{huile}} = m_{\text{huile}} \times \left(\frac{CV_{\text{huile}}}{1000} \right) \times CC \times ODU_{\text{huile}} \times \frac{44}{12} \quad (3.3)$$

Tel que :

- m_{graisse} = masse de graisse en kg.

- m_{huile} = masse d’huile en kg.
- CV_{graisse} = valeur calorifique en GJ/tonne pour la graisse.
- CV_{huile} = valeur calorifique en GJ/tonne pour l’huile.
- CC = teneur en carbone en kg C/GJ.
- ODU_{graisse} = facteur d’oxydation pendant l’utilisation pour la graisse.
- ODU_{huile} = facteur d’oxydation pendant l’utilisation pour l’huile.

Émissions Totales de CO2 utilisant les lignes directrices du GIEC

$$E_{\text{graisse}} = 15.0495 \text{ kgCO}_2$$

$$E_{\text{huile}} = 8.3193 \text{ kgCO}_2$$

$$E_{\text{total}} = E_{\text{graisse}} + E_{\text{huile}} = 15.0495 + 8.3193 = 23.3688 \text{ kgCO}_2$$

3.3.3.3 Catégories de Scope 3 concernant les procédures de maintenance industrielle

Les procédures de maintenance industrielle sont principalement incluses dans les catégories suivantes de Scope 3 (voir l’annexe I) :

- **Catégorie 2** : Biens et services achetés.
- **Catégorie 4** : Déchets générés par les opérations.

Catégorie 2 : Biens et services achetés.

Les émissions liées aux ressources matérielles consommées durant les activités de maintenance sont calculées à l’aide des facteurs d’émission obtenus de l’EPA (Environmental Protection Agency). Les facteurs d’émission fournis par l’EPA sont basés sur le coût économique des ressources. Cette méthode calcule les émissions par dollar dépensé, en tenant compte des émissions sur l’ensemble de la chaîne d’approvisionnement [60].

Lubrification

	Quantité (en kg)	Coûts Economique (en USD)	Empreinte Carbone (en kgCO2e)
Total EP1	89.05	4003.688	3395.127424
Huile 40/90	14.598	907.11972	1782.49025
Perma	1.3968	814.3344	690.5555712
Total EP2	11.169744	502.63848	426.237431

TABLEAU 3.11 – Empreinte carbone des produits de lubrification

Produits de nettoyage

	Quantité (en kg)	Coûts Economique (en USD)	Empreinte Carbone (en kgCO ₂ e)
Brille inox	94.64	696.5504	282.102912
Alcool	156.48	625.92	253.4976
Acide	48.18	48.18	19.5129
Lave glass	24.09	42.3984	17.171352

TABLEAU 3.12 – Empreinte carbone des produits de Nettoyage

Les Pièces de Rechange

	Quantité annuelle	Coûts Economique (en USD)	Empreinte Carbone (en kgCO ₂ e)
PdR	2042	350990.44	76375.51974
Filtres	45	194188.57	42255.43283

TABLEAU 3.13 – Empreinte carbone des Pièces de Rechange

À titre d’exemple, les pièces de rechange les plus couramment utilisées durant les interventions de maintenance corrective et préventive sont déterminées à partir de la méthode de Pareto (voir l’annexe J).

FIGURE 3.14 – les pièces de rechange les plus couramment utilisées

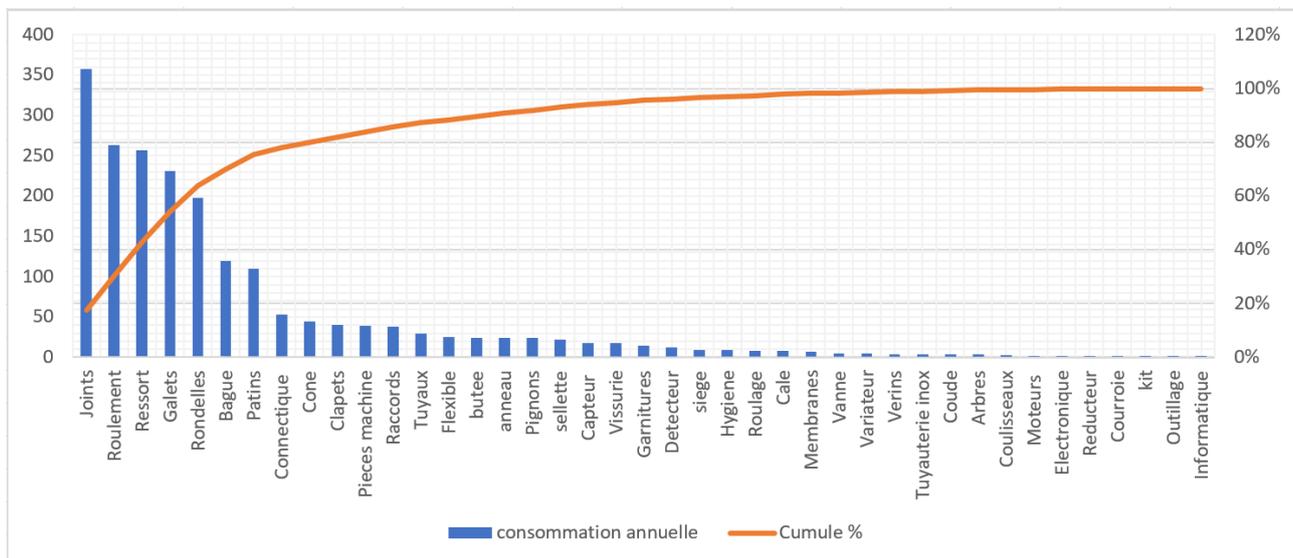


TABLEAU 3.14 – Empreinte carbone des pièces de rechange les plus couramment utilisées

	Empreinte carbone (en kgCO₂e)
Connectique	8179.54233
Cone	7227.255424
Patins	5310.54976
Galets	3559.414848
Ressort	3508.39152
Roulement	2938.68746
Joint	1920.24
Bague	631.06176
Rondelles	478.85688
Total	33754 kgCO₂e

Prestataire de service

TABLEAU 3.15 – Empreinte carbone des composants utilisés par le Prestataire

	Empreinte Carbone (en kgCO₂e)
Capteurs	1558.917
Graisse Lithium RBT 00	253.552
Huile Fuchs Titan HYD HV 68	248.90655
Courroies	128.2656
Roulement	111.73626
Joint	61.722

Catégorie 4 : Déchets générés par les opérations.

L’empreinte carbone des déchets générés par les procédures de remplacement des pièces :

TABLEAU 3.16 – Empreintes carbone des déchets par procédure

Nature des déchets	Procédure	L’empreinte de carbone (kgCO₂e)
Plastique	Préventive	170.0624
	Corrective	61.7638
Métal	Préventive	1477.5420
	Corrective	389.8641
Électronique	Préventive	5.5080
	Corrective	31.3200

L’empreinte carbone des déchets issus du remplacement des filtres :

TABLEAU 3.17 – Empreinte carbone des filtres usagés

Nature de Pièces	Point (Kg)	L’empreinte Carbone (kgCO2e)
Métal	22.6	248.8260
Électronique	2.1	1.1340

Les déchets issus du nettoyage et du dégraissage des machines et filtres comprennent principalement des textiles (chiffons, gants) et des emballages. Le tableau ci-dessous détaille leur empreinte carbone :

TABLEAU 3.18 – Empreinte carbone des déchets de textiles et d’emballages

Déchets	Empreinte Carbone (en kgCO2e)
Emballage	438.2522
Textiles	5744.7649

3.3.4 Interprétation des résultats

Les émissions indirectes liées à la consommation de l’électricité pour la maintenance de la ligne de production PET ne sont pas très élevées. Cependant, il est important de noter que ces émissions dans les procédures de maintenance industrielle, car des émissions significatives peuvent être trouvées dans d’autres études de cas.

Les émissions indirectes de scope 3 couvrent l’ensemble du cycle de vie des ressources consommées pour la maintenance de la ligne PET. Les résultats de la catégorie 2, qui calculent les émissions liées au cycle de vie des produits depuis la fabrication jusqu’à la vente du produit, montrent que les émissions dues à la maintenance des filtres et au changement des pièces sont très élevées. Le tableau suivant présente les émissions de carbone de chaque procédure de maintenance selon la catégorie 2.

TABLEAU 3.19 – Émissions de carbone de chaque procédure de maintenance

Procédure de maintenance	Empreinte Carbone en kgCO2e
Changement des filtres	42255.43283
Changement des pièces Corrective	41981.10669
Changement des pièces Préventive	34394.41306
Lubrification	6294.410676
Prestataire de service	2363.09941
Nettoyage	572.284764
Total	127860.7474

Les résultats fournissent également des informations sur les émissions de carbone de chaque machine de la ligne PET concernant la consommation de matériaux lors des procédures de maintenance.

TABLEAU 3.20 – Émissions de carbone de chaque machine de la ligne PET

Machine	Empreinte carbone (en kgCO₂e)
Remplisseuse	56175.25534
Souffleuse	30858.24567
Convoyeur d’air	15079.658794
Station NEP	11368.0608
Paletisseuse	5418.472465
Convoyeur transporteur	3839.048839
Étiqueteuse	3251.574698
Fardeleuse	1870.4807816

Les produits de maintenance les plus responsables de l’empreinte carbone :

TABLEAU 3.21 – Émissions de carbone des produits de maintenance

Produits	Empreinte Carbone en (kgCO₂e)
Pieces de Rechange	76375.51974
Filtres	42255.43283
Total EP1	3395.127424
Huile 40/90	1782.49025
Perma	690.5555712
Total EP2	426.237431
Brille inox	282.102912
Alcool	253.4976
Acide	19.5129
Lave glass	17.171352

Il est également essentiel de déterminer l’impact environnemental des déchets générés par les procédures de maintenance industrielle. Les résultats de l’empreinte carbone scope 3 - catégorie (4) montrent que le nettoyage des Machines est la principale source de déchets.

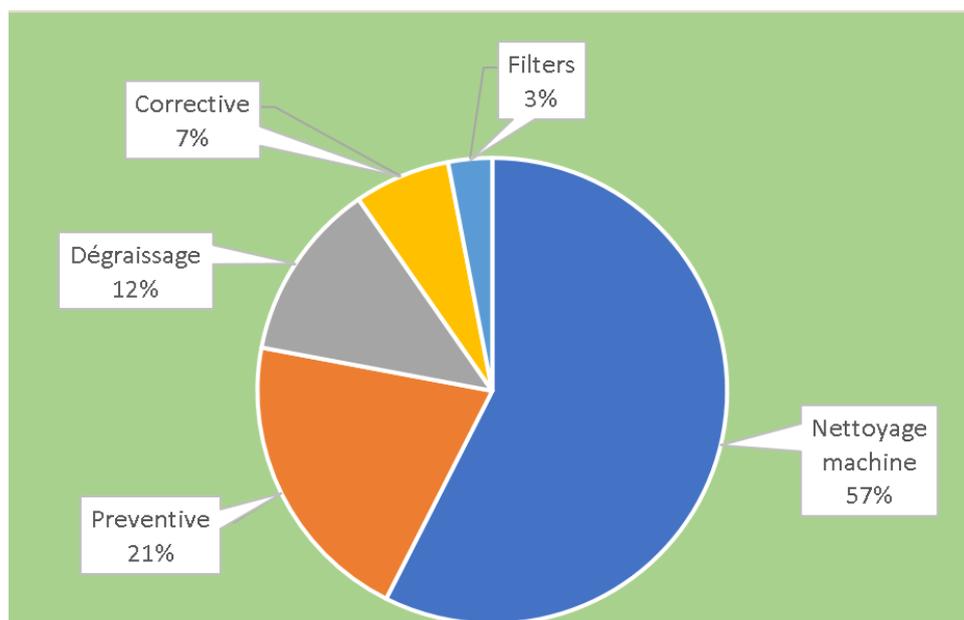


FIGURE 3.15 – Empreinte Carbone des déchets

D’après les résultats de l’empreinte carbone de la catégorie 4, les déchets textiles sont les principaux contributeurs aux déchets générés par les procédures de maintenance, avec 5744 kgCO₂e. Le tableau suivant présente les types de déchets et leur impact environnemental.

TABLEAU 3.22 – Émissions par type de déchets

Types de déchets	Empreinte Carbon (en kgCO ₂ e)
Textiles	5744.7649
Métal	2116.2321
Emballage	438.2522
Plastique	231.8262
Électronique	37.962

REMARQUE :

Un tableau de bord a été développé sur Excel pour mieux visualiser l’empreinte carbone des procédures de maintenance de la ligne PET.

3.4 Points d’amélioration

3.4.1 Quantité et durabilité des produits consommés

1. Les résultats de l’empreinte carbone montrent qu’il est impératif de définir une politique d’achat basée sur le choix de fournisseurs engagés dans des pratiques durables, utilisant des processus de production écologiques et fournissant des matériaux à faible empreinte carbone, notamment pour l’achat des pièces de rechange et des filtres.

2. Mettre en place un programme de maintenance préventive pour prolonger la durée de vie des équipements et réduire les pannes imprévues. Cela permet également d'optimiser les quantités de pièces de rechange utilisées, afin d'éviter le gaspillage et de réduire les déchets générés.
3. Acheter des lubrifiants, graisses, et produits de nettoyage biodégradables ou à faible impact environnemental pour réduire l'empreinte carbone du service de maintenance.

3.4.2 Gestion des déchets

La gestion des déchets se fait par plusieurs méthodes, chacune ayant un impact différent sur l'empreinte carbone. D'après le site web CarbonKit, les types de traitement des déchets sont les suivants :

Digestion Anaérobie "DA" :

La digestion anaérobie est un processus biologique dans lequel des microorganismes décomposent la matière organique en absence d'oxygène, produisant du biogaz (principalement du méthane et du dioxyde de carbone) et un digestat, qui peut être utilisé comme engrais.

Recyclage en Boucle Fermée "RBF" :

Le recyclage en boucle fermée consiste à recycler des matériaux usagés pour produire de nouveaux produits identiques ou similaires. Cela permet de réduire la nécessité de produire de nouveaux matériaux à partir de matières premières vierges.

Compostage :

Le compostage est un processus biologique de décomposition de la matière organique en présence d'oxygène, produisant un compost riche en nutriments, utilisé comme amendement de sol.

Mise en Décharge "MeD" :

La mise en décharge consiste à déposer les déchets dans des sites spécialement aménagés. Les déchets y sont enterrés et se décomposent lentement, produisant du méthane et d'autres gaz à effet de serre.

Incinération par Grille Mobile "IGM" :

L'incinération par grille mobile est un processus de combustion des déchets solides à haute température, réduisant le volume des déchets et produisant de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité.

TABLEAU 3.23 – Émissions de CO₂e associées aux différents types de traitement des déchets

Type de Déchet	DA (kgCO ₂ e)	RBF (kgCO ₂ e)	Compostage (kgCO ₂ e)	MeD (kgCO ₂ e)	IGM (kgCO ₂ e)
Plastiques	0.0000	-110.7450	0.0000	2.9532	132.8940
Métalliques	0.0000	-1729.8900	0.0000	1.9221	4.4208
Électroniques	0.0000	-49.9130	0.0000	37.9620	0.0000
Textiles	0.0000	-1114.1220	0.0000	87.9570	175.9140
Emballage	-22.2797	-131.2847	10.4954	101.2715	-92.0650

Raisons des Valeurs Observées :

1. La valeur négative pour la digestion anaérobie dans les déchets d’emballage indique une réduction nette des émissions grâce à la production de biogaz, une source d’énergie renouvelable qui remplace les combustibles fossiles.
2. Les valeurs négatives pour le recyclage en boucle fermée montrent des réductions significatives des émissions, car ce processus évite la production de nouveaux matériaux à partir de matières premières vierges, économisant ainsi de l’énergie et réduisant les émissions de gaz à effet de serre.
3. Le compostage génère des émissions positives de CO₂e car il s’agit d’un processus biologique qui produit du dioxyde de carbone en décomposant la matière organique.
4. Les émissions positives de CO₂e pour la mise en décharge sont dues à la décomposition lente des déchets, produisant du méthane, un gaz à effet de serre puissant.
5. Les valeurs pour l’incinération par grille mobile varient. Les valeurs négatives indiquent des réductions nettes des émissions grâce à la production d’énergie qui remplace les combustibles fossiles. Les valeurs positives montrent des émissions directes de CO₂e dues à la combustion des déchets.

Entreprises de Gestion des Déchets Industriels en Algérie

En Algérie, plusieurs entreprises sont agréées pour la collecte, le traitement et la valorisation des déchets industriels et spéciaux. Selon le rapport sur l’état de gestion des déchets en Algérie, plus de 500 entreprises opèrent dans ce domaine, couvrant une large gamme de types de déchets, des métaux ferreux aux déchets de soins.

Voici un résumé des entreprises et entités impliquées dans la gestion des déchets industriels en Algérie :

TABLEAU 3.24 – Entreprises et entités impliquées dans la gestion des déchets industriels en Algérie

Entité/Entreprise	Rôle/Responsabilité
Agence Nationale des Déchets (AND)	Accompagnement et soutien des acteurs du secteur des déchets
EPIC de collecte et de nettoyage	Collecte et transport des Déchets Ménagers et Assimilés (DMA) au niveau communal
EPIC de Gestion des CET (EPWG-CET)	Gestion des Centres d’Enfouissement Techniques (CET)
Opérateurs économiques privés	Collecte, transport, valorisation et traitement des déchets, y compris recyclage, compostage, incinération
Ministère de l’Environnement (ME)	Encadrement des politiques nationales de gestion des déchets
Assemblées Populaires Communales (APC)	Responsabilité de la gestion des déchets au niveau local, incluant financement et opérationnel

3.5 Conclusion

Le chapitre sur l’estimation de l’impact environnemental de la maintenance démontre que les pratiques de maintenance industrielle ont une empreinte carbone significative, principalement due à la consommation de ressources matérielles et à la génération de déchets. Les principaux points d’émission incluent la lubrification, le nettoyage, et le changement des pièces. L’adoption de pratiques de maintenance durable, l’optimisation de l’utilisation des ressources, et une gestion efficace des déchets peuvent considérablement réduire cet impact.

Il est essentiel pour les entreprises de s’engager dans des stratégies de maintenance verte qui non seulement optimisent l’efficacité des opérations mais également minimisent les impacts négatifs sur l’environnement. Cela inclut l’utilisation de produits biodégradables, la mise en place de programmes de recyclage, et la surveillance continue de la consommation de ressources.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études démontre l'importance d'une gestion rigoureuse et durable de la maintenance industrielle. Les pratiques décrites ici offrent des solutions concrètes pour les entreprises souhaitant réduire leur impact environnemental tout en améliorant leur efficacité opérationnelle.

Ce travail a montré que la maintenance industrielle joue un rôle crucial dans la réduction des impacts environnementaux. Les pratiques de maintenance durable, telles que l'optimisation de la consommation des ressources, la réduction des déchets et des émissions, et la gestion proactive des risques environnementaux, contribuent significativement à la performance écologique des entreprises.

Les objectifs principaux de cette étude étaient de comprendre comment la maintenance industrielle peut influencer la durabilité environnementale et identifier des stratégies concrètes pour améliorer les pratiques actuelles. Les résultats obtenus montrent que des pratiques de maintenance bien planifiées et exécutées peuvent réduire de manière significative l'empreinte carbone et optimiser l'utilisation des ressources.

Les implications de cette étude sont multiples. D'un point de vue pratique, les recommandations fournies peuvent aider l'entreprise à améliorer ses performance environnementale, tout en réduisant les coûts opérationnels et en respectant les normes environnementales internationales telles que l'ISO 14001. Théoriquement, cette étude enrichit la littérature sur la maintenance durable et offre un cadre pour des recherches futures.

Pour aller plus loin, il serait intéressant de mener des recherches supplémentaires sur l'impact de l'Internet des Objets (IoT) dans la maintenance industrielle. En utilisant des capteurs connectés et des systèmes d'analyse de données, les entreprises peuvent prévoir les pannes et optimiser les interventions de maintenance. Cela permet de minimiser l'impact environnemental (le gaspillage des ressources) en évitant les arrêts imprévus et les surconsommations d'énergie.

Un autre axe de recherche pourrait se concentrer sur l'amélioration de la gestion des déchets industriels générés par les activités de maintenance. Cela inclut le développement de méthodes de recyclage plus efficaces, l'utilisation de matériaux éco-responsables, et la mise en place de systèmes de suivi pour gérer les déchets de manière plus proactive.

Enfin, l'étude de l'adoption de nouvelles normes et certifications environnementales spécifiques à la maintenance industrielle pourrait offrir une reconnaissance officielle des efforts des entreprises en matière de durabilité. Des certifications telles que l'ISO 50001 pour la gestion de l'énergie ou des labels écologiques peuvent encourager les entreprises à maintenir des standards élevés en matière de pratiques de maintenance durable.

Annexe A

APPRUE

L'APRUE s'engage activement dans la sélection et la promotion de projets d'efficacité énergétique. Pour être éligibles, ces projets doivent répondre à des critères rigoureux. Tout d'abord, ils doivent permettre de réaliser un minimum d'économies d'énergie et de réduire les émissions de gaz à effet de serre. De plus, ils doivent respecter des normes d'efficience, telles que le ratio coûts-économies. En parallèle, l'APRUE ajuste la planification des fonds de soutien de l'État en fonction des priorités nationales en matière d'efficacité énergétique. Cette approche garantit que les ressources financières sont allouées de manière optimale pour soutenir les initiatives qui ont le plus grand impact sur la réduction de la consommation d'énergie et la préservation de l'environnement [28].

- Décret n° 85-235 du 25 août 1985 portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'énergie ;
- Décret exécutif n° 04-314 du 10 Chabane 1425 correspondant au 25 septembre 2004 modifiant et complétant le décret n° 85-235 du 25 août 1985, modifié et complété, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie ;
- Décret n° 87-08 du 6 janvier 1987 portant modification de la nature juridique et de l'organisation de l'Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (A.P.R.U.E.) ;
- Décret exécutif n° 05-16 du Aouel Dhou El Hidja 1425 correspondant au 11 janvier 2005 fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers ;

Annexe B

Roue de Deming

La roue de Deming ou PDCA est une méthode d'amélioration continue qui présente 4 phases à enchaîner de manière itérative pour améliorer un fonctionnement existant (process, organisation, produit ...). Les 4 phases à suivre successivement sont : Prévoir (Plan), Faire (Do), Vérifier (Check), Réagir (Act) d'où le nom PDCA.

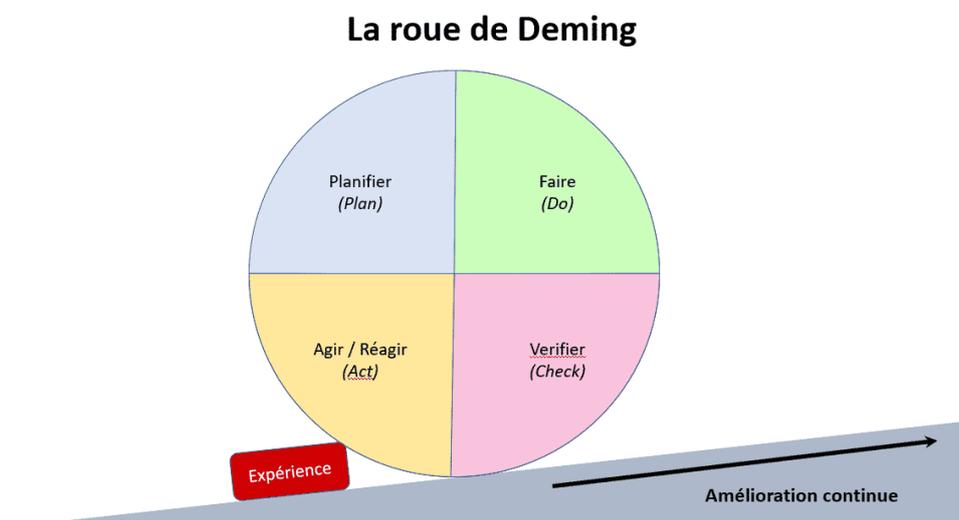


FIGURE 2.1 – Les 4 étapes de la roue de Deming [4]

Annexe C

Maîtrise des Risques

La Maîtrise des Risques est l'aptitude d'un organisme (entreprise, collectivité...) placé dans un contexte d'efficacité, à optimiser la performance de ses activités sans subir ou faire subir à ses parties prenantes et à son environnement des risques de dommages technologiques, environnementaux, économiques ou humains. Pour ce faire, l'organisme utilise un processus de prévention et de protection pour rendre tous les risques pris individuellement acceptables [85].

Annexe D

Business Process Model and Notation

Le Business Process Model and Notation (BPMN) ou norme de modélisation des processus métier en français, est une méthode de logigramme qui modélise de A à Z les étapes d'un processus métier planifié. Il permet de représenter visuellement une séquence détaillée des activités commerciales et des flux d'informations nécessaires à la réalisation d'un processus. BPMN 2.0 utilise divers éléments et symboles pour représenter les processus métier [86].

Événements

- Début : Rond, indique le commencement d'un processus.
- Intermédiaire : Rond avec double bordure, utilisé pour des événements intermédiaires dans un processus.
- Fin : Rond avec bordure épaisse, marque la fin d'un processus.

Activités

- Tâche : Rectangle avec des coins arrondis, représente une action unique ou un travail.
- Sous-processus : Rectangle avec un petit symbole "+" en bas, indique un processus détaillé à l'intérieur d'une tâche.

Passages

- Passage exclusif : Losange avec une croix ou sans symbole, pour les choix où une seule branche est suivie.
- Passage parallèle : Losange avec un symbole "+", toutes les branches sont suivies simultanément.

Objets de connexion

- Flèche de séquence : Flèche pleine, montre l'ordre des activités.
- Flèche de message : Flèche en pointillés avec un cercle ouvert, indique les messages échangés entre participants.
- Association : Ligne pointillée, relie les artefacts aux objets de flux.

Couloirs

- Piscines : Grandes boîtes, représentent des participants ou des entités majeures.
- Couloirs : Sous-divisions des piscines, décomposent les rôles ou départements.

Artefacts

- Annotations : Boîtes de texte, ajoutent des commentaires ou explications.
- Données : Icônes de documents, représentent des objets de données utilisés ou produits par les activités.

Annexe E

Produits de nettoyage

Tableau suivant présente des informations sur les produits de nettoyage utilisés, avec un accent sur leurs dangers potentiels pour l'environnement :

Produit de nettoyage	Type	Utilisation	Dangers pour l'environnement
Alcool	Alcool isopropylique ou éthanol	Désinfectant, nettoyant pour les surfaces	L'alcool s'évapore rapidement et peut contribuer à la pollution de l'air.
Acide	Acide acétique ou Acide phosphorique	Nettoyant détartrant, désinfectant	Les acides peuvent abaisser le pH de l'eau.
Brille inox	Des solvants et des acides doux	Nettoyage et polissage des surfaces en acier inoxydable	Peuvent contribuer à la pollution de l'air et être nocifs pour la faune.
Lave glass	Produits à base d'ammoniaque, de solvants comme l'alcool isopropylique	Nettoyage des vitres et des surfaces lisses	Toxique pour les poissons et autres organismes aquatiques.

Annexe F

Contrôle de la ligne PET

Équipement	Contrôle
Souffleuse	<ul style="list-style-type: none">- L'état des amortisseurs de porte de moule.- S'assurer qu'il n'y a pas de préformes sur les panneaux inférieurs du four ou dans la zone.- Tous les manomètres du circuit pneumatique et s'assurer que la pression de fonctionnement.- L'état des pinces pour la préhension des préformes de mandrin du four.- L'état d'usure des tuyaux en caoutchouc de la station de soufflage (ceux de l'eau).- L'état des ressorts des pinces.- La garniture de frein du verrou.- La compensation de moule (ressort -arbres-vis de joint torique).
Convoyeur d'air / Convoyeur transporteur	<ul style="list-style-type: none">- Vérifier la stabilité du turboventilateur du Sécheur.- S'assurer de l'intégrité des câbles électriques et de la tenue de leurs conduits (Sécheur).- Contrôler le bon fonctionnement des moteurs.- Contrôler l'absence des fuites sur le circuit pneumatique.- Contrôler les filtres des ventilateurs.- Vérifier le centrage et le fonctionnement des photocellules.- Contrôler le bon fonctionnement des électrovannes.- Contrôler le bon fonctionnement des capteurs.- Vérifier les circuits pneumatiques et électriques.

Station NEP / Remplisseuse	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler les pompes d'APV et signaler toute présence de fuite. - Veiller à la propreté de la salle.
Etiqueteuse / Dateuse	<ul style="list-style-type: none"> - État d'usure des composants (rouleau, came, courroie, dentée, etc.). - État d'usure de rouleau de traction -présence déchet. - Le rouleau de renvoi bobine (tourne librement). - Présence de fuite dans les circuits sur la partie pneumatique. - Présence de fuites de lubrifiant et l'état de la tige fileté. - État d'usure de tuyaux d'aspiration d'air et nettoyage.
Fardeleuse	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier les maillons des chaînes et déchirures des tapis. - Vérifier tous les manomètres du circuit pneumatique.
Palettiseuse	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôler/signaler l'état du transposer (intercalaires, pinces ventouse, etc.). - Contrôler/signaler le bon fonctionnement des capteurs sur la machine.

Annexe G

Équipement utilisé lors des interventions de maintenance

TABLEAU 7.1 – Équipement utilisé lors des interventions de maintenance

Équipement	Utilisation	Puissance
Analyseurs de vibrations	détecter les vibrations anormales dans les machines	50 W
Multimètres	vérifier les tensions, courants et résistances électriques	10 W
Testeurs de circuits	tester la continuité des circuits et identifier les défauts électriques	15 W
Thermomètres infrarouges	mesurer les températures de surface sans contact	5 W
Clés dynamométriques	utilisées pour appliquer un couple précis lors du serrage des boulons et écrous	30 W
Chariot électrique	soulever et déplacer les composants lourds des machines	20 kW
Tournevis électriques	utilisés pour un vissage rapide et précis	20 W

Annexe H

L'utilisation des équipement lors des interventions de maintenance

Les interventions de maintenance varient en fonction des causes des pannes et des machines concernées. A titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente les interventions les plus courantes pour chaque machine de la ligne PET, ainsi que les équipements utilisés :

TABLEAU 8.1 – L'utilisation des équipement lors des interventions de maintenance

Machine	Causes courantes	Équipements utilisés	Fréquence d'utilisation	Consommation d'énergie annuelle (kWh)
Souffleuse	Révision porte moule	Analyseurs de vibrations, Multimètres, Clés dynamométriques	1	0.09
Remplisseuse	Révision rinceuse, Défaut tête de vissage	Multimètres, Testeurs de circuits, Tournevis électriques	2	0.09
Convoyeur	Blocage tapis diviseur, Changement tapis diviseur	Multimètres, Clés dynamométriques, Tournevis électriques, Chariot électrique	2	40.12
Etiqueteuse	Défaut système courroie	Multimètres, Tournevis électriques	1	0.03
Fardeleuse	Problème fuite d'air, Défaut variateur de vitesse	Multimètres, Clés dynamométriques, Chariot électrique	2	40.38
Palettiseur	Défaut prise intercalaire, Défaut position dépalettiseur	Multimètres, Clés dynamométriques, Tournevis électriques	2	0.12

Annexe I

Scope 3

Le scope 3 regroupe toutes les « autres émissions de gaz à effet de serre liées à d'autres étapes du cycle de vie du produit (approvisionnement, transport, utilisation, fin de vie...). Le Scope 3 représente les émissions indirectes qui ne sont pas incluses dans les scopes 1 et 2.

Il comprend 16 catégories [87] :

1. Énergie non incluse dans les scopes 1 et 2
2. Achats de produits et services
3. Immobilisation des biens
4. Déchets
5. Transport de marchandises en amont
6. Déplacements professionnels
7. Actifs en leasing amont
8. Investissements
9. Transport de personnes
10. Transport des marchandises aval
11. Utilisation des produits vendus
12. Fin de vie des produits vendus
13. Franchise aval
14. Leasing aval
15. Déplacements domicile-travail
16. Autres émissions indirectes.

Annexe J

Diagramme de Pareto

Un diagramme de Pareto est un outil graphique permettant de décomposer un vaste problème en composantes et de voir celles qui sont les plus importantes [88].

Étapes pour réaliser un diagramme de Pareto

1. **Identifier les problèmes** : Listez les problèmes ou causes spécifiques à analyser.
2. **Mesurer les occurrences** : Collectez des données sur la fréquence de chaque problème.
3. **Classer les problèmes** : Classez les problèmes du plus fréquent au moins fréquent.
4. **Calculer les pourcentages** : Déterminez le pourcentage de chaque problème par rapport au total.
5. **Calculer les pourcentages cumulatifs** : Additionnez les pourcentages pour obtenir un total cumulatif.
6. **Tracer le diagramme** : Créez un graphique à barres pour les fréquences et une ligne pour les pourcentages cumulatifs.
7. **Analyser le diagramme** : Identifiez les problèmes principaux à résoudre en priorité.

Bibliographie

- [1] Stockholm Resilience Centre. The sdgs wedding cake. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html>, 2016.
- [2] Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD). Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en algérie, 2022.
- [3] ADEME. Guide ges pour le secteur tertiaire non marchand, 2012. Consulté le 11 juin 2024.
- [4] Le Blog du Dirigeant. Qu'est-ce que la roue de deming ? comment l'utiliser ?, June 2022. Accessed : 2024-06-21.
- [5] Management and Production Engineering Review. The effect of green maintenance on environmental performance : Applied research in the general company for oil products. *Management and Production Engineering Review*, 2023. DOI : 10.24425/mper.2023.147192.
- [6] Salvatore Miranda, Stefano Riemma, and Benoît Iung. Measuring maintenance impacts on sustainability of manufacturing industries : from a systematic literature review to a framework proposal. *Journal of Cleaner Production*, 260 :121065, 2020.
- [7] C. Franciosi, A. Lambiase, and S. Miranda. Sustainable maintenance : a periodic preventive maintenance model with sustainable spare parts management. *IFAC Paper-on-line*, 50(1) :13692–13697, 2017.
- [8] Youmatter. Le développement durable, c'est quoi ? définition, histoire, exemples. *Youmatter*, March 2024.
- [9] Hassiba Bouabdesselam, Abdelkrim Liazid, and Youcef Bouzidi. La politique environnementale en algérie : réalités et perspectives. *Environnement, Ingénierie & Développement*, 38(2) :29–33, 2005.
- [10] A. Catala. Les impacts environnementaux de la maintenance des équipements industriels. *HYES*, Mai 2023.
- [11] Vie publique. Qu'est-ce que le développement durable ? *Vie publique : au cœur du débat public*, Mai 2024.
- [12] United Nations. Sustainable development goals explainer. https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/SDG-Explainers-What-is-Sustainable-Development_FR.pdf, 2023.
- [13] Haut-Commissariat des Nations Unies aux droits de l'homme (HCDH). À propos du programme de développement durable à l'horizon 2030. <https://www.ohchr.org/fr/sdgs/about-2030-agenda-sustainable-development>, 2024.
- [14] 17 objectifs de développement durable - l'agenda 2030 en france. <https://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/>, 2023. Consulté le 11 mai 2023.
- [15] Nature Us. Quelles sont les raisons pour lesquelles le développement durable est essentiel. <https://blog.natureandus.org/fr/developpement-durable/quelles-sont-les-raisons-pour-lesquelles-le-developpement-durable-est-essentiel>, 2023.
- [16] Arnaud Diemer and Sylvère Labrune. L'écologie industrielle : quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable. *Développement Durable & Territoires*, Varia (2004-2010), 2007.

- [17] Fatima Zahra Mesbahi. Évolution du concept de développement durable en algérie : « stratégie et perspectives ». *Modern Economic and Sustainable Development*, 4(1) :25–39, 2021.
- [18] Saadi Felfoul. Essai d'analyse de la certification iso 14001 et son impact sur la compétitivité des entreprises en algérie : cas de l'entreprise portuaire de béjaïa (epb), 2013.
- [19] Abdelatif Kerzabi. Entreprises, développement et développement durable : Le cas de l'algérie. *Marché et organisations*, 8 :61–77, 2009.
- [20] K. Ouamane. Rapport sur l'État de la gestion des déchets en algérie. <https://and.dz/rapport-sur-letat-de-la-gestion-des-dechets-en-algerie/>, 2021.
- [21] Pica. Une ville algérienne parmi les plus polluées, l'algérie dans la moyenne en matière de qualité de l'air. <https://observalgerie.com/2023/03/16/societe/ville-algerienne-polluee-classement/>, 2023.
- [22] Agence européenne pour l'environnement. Le défi de la réduction de la pollution industrielle. <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-de-lae-2020/articles/le-defi-de-la-reduction>, 2020.
- [23] Dehbia Debbal, Amina Aissat Leghima, and Ania Dahlab. La relation entre le système de management environnemental certifié iso 14001 et la performance environnementale : Étude de cas sur une entreprise privée algérienne. *Revue Cahiers Economiques*, 12(1) :210–223, 2021.
- [24] Nations Unies. Rapport de l'algérie sur la mise en œuvre des odd, 2019.
- [25] Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en algérie, 2000.
- [26] Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables. Rapport sur la nouvelle stratégie nationale de l'environnement, 2022.
- [27] Dalila Berass. Economie verte en algérie : Quelle stratégie pour la création de nouveaux emplois? *Nom du journal ou de la conférence*, 2019.
- [28] Site web de l'agence nationale des déchets (aprue), 2021.
- [29] Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables. Plan national climat, 2020.
- [30] Ministère de l'Énergie et des Mines. Programme de développement des Énergies renouvelables, 2019.
- [31] Wassila Iguergazi Dahmoun. Energies renouvelables : l'un des pivots du développement durable en algérie. *International Journal of Advanced Research on Planning and Sustainable Development*, 4(1) :46–68, 2021.
- [32] SGS. Iso 14001 certification – environmental management systems, Année de publication.
- [33] Beliaeff, L. Analyse environnementale : exemple et mode d'emploi, 2023.
- [34] Jean-Michel Sahut, Léopold Djoutsa Wamba, and Lubica Hikkerova. La performance environnementale : déterminants et impact sur la performance financière des entreprises européennes cotées. *La Revue des Sciences de Gestion*, 311 :79–90, 2021.
- [35] Une introduction à la norme iso 14001 :2015, 2017.
- [36] Définition du système de management environnemental. <https://infonet.fr/lexique/definitions/systeme-de-management-environnemental/>. Consulté le 14 mars 2024.
- [37] Introduction au management de l'environnement. <https://www.marense.com/systemes-de-management-et-certification/introduction-au-management-de-lenvironnement/>. Consulté le 14 juin 2024.
- [38] Iso 14001 :2015 - environmental management systems — requirements with guidance for use. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:fr>. Consulté le 14 juin 2024.
- [39] Actu-Environnement. Principes et implications - la norme iso 14001. *Actu-Environnement.com*, 2005. Consulté le 14 juin 2024.

- [40] Mohamed Redha Meddour, Mohamed Amine Misseraoui, Abdelmadjid Laaref, and Abdennour Benjedah. Intérêt environnemental de l'application de la norme iso 14001 (sme) au sein des usines en algérie : Usine alzinc de ghazaouet. *ResearchGate*, 2020. Consulté le 14 juin 2024.
- [41] HelloCarbo. Analyse environnementale : Exemple, 2024. Accessed : 2024-06-15.
- [42] Anthony Deles. Guide de l'analyse environnementale selon l'iso 14001. *AD Néo Conseil*, N/A. Consulté le 14 juin 2024.
- [43] QuestionPro. Qu'est-ce que l'analyse environnementale ? Étapes, avantages et outils. *QuestionPro*, N/A. Consulté le 14 juin 2024.
- [44] Impact assessment and mitigation measures, July 2020. M190/2/4.0.
- [45] Patrick Michel and BCEOM. *L'étude d'impact sur l'environnement*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, France, 2001.
- [46] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Guide par enjeu de l'évaluation environnementale. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/documents/eie-guide-par-enjeu.pdf>, 2023.
- [47] DQS Global. Aspects environnementaux : quelles sont les exigences de la norme ?, 2024.
- [48] Strahinja Stojanovic. Iso 14001 environmental aspects – setting criteria for evaluation. *Advisera*, 2016. Consulté le 14 juin 2024.
- [49] SolutionsTRAK. Environmental aspects and impacts : 5 methods. *SolutionsTRAK*, N/A. Consulté le 14 juin 2024.
- [50] HelloCarbo. Comment calculer l'acv d'un produit ?, 2024. Accessed : 2024-06-15.
- [51] Niels Warburg, Alexander Forell, Laura Guillon, Hélène Teulon, and Benjamin Canaguier. Élaboration selon les principes des acv des bilans énergétiques, des émissions de gaz à effet de serre et des autres impacts environnementaux induits par l'ensemble des filières de véhicules électriques et de véhicules thermiques. Technical report, ADEME, Ginkgo21, PE INTERNATIONAL, France, 2012. Résumé du rapport final.
- [52] Marie Lecomte-Tilouine and Pierre Marcoux. La gouvernance environnementale en chine : entre contrôle étatique et participation citoyenne, 2018. Consulté le 1 juin 2024.
- [53] Life cycle assessment (lca). European Commission. ISO 14040 definition.
- [54] L. Jacquemin, P. V. da Silva, F. A. Tanguy, J. R. Heyen, A. Woloszyn, and A. Pierson. Life cycle assessment of a concentrated solar power plant : A case study of nooro i in morocco. *Renewable Energy*, 43 :3–12, 2012.
- [55] Eddy Bauraing, Jacques Nicolas, and Marianne von Frenckell. Les indicateurs de performances environnementales. Technical report, Ministère de la Région Wallonne, Belgium, 2000.
- [56] Karin Andersson, Selma Brynolf, Hanna Landquist, and Erik Svensson. Methods and tools for environmental assessment. Technical report, Shipping and Marine Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2016.
- [57] International Organization for Standardization. Greenhouse gases — carbon footprint of products — requirements and guidelines for quantification. Technical report, ISO, 2018. ISO 14067 :2018.
- [58] Bilan carbone® de l'entreprise : définition, obligations, étapes de calcul. <https://bigmedia.bpifrance.fr/nos-dossiers/bilan-carbone-de-lentreprise-definition-obligations-etapes-de-calcul-0>. Accessed : April 27, 2024.
- [59] Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre conformément à l'article l. 229-25 du code de l'environnement – 2016 – version 4. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/methodo_BEGES_decli_07.pdf, 2016.
- [60] Environmental protection agency. <https://www.epa.gov/>. Accessed : 2024-06-15.

- [61] Intergovernmental panel on climate change. <https://www.ipcc.ch/>. Accessed : 2024-06-15.
- [62] UK Government. Greenhouse gas reporting : Conversion factors 2023. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>. Accessed : 2024-06-15.
- [63] Ökobau.dat. <https://www.oekobaudat.de/en.html>. Accessed : 2024-06-15.
- [64] ecoinvent. <https://ecoinvent.org/>. Accessed : 2024-06-15.
- [65] U. M. Al-Turki et al. *Integrated Maintenance Planning in Manufacturing Systems*. SpringerBriefs in Manufacturing and Surface Engineering. 2014.
- [66] Malgorzata Jasiulewicz-Kaczmarek and Przemyslaw Drożyner. *Maintenance Management Initiatives towards Achieving Sustainable Development*, pages 707–721. 2011.
- [67] F. Afrinaldi, T. Taufik, A. M. Tasman, H. Zhang, and A. Hasan. Minimizing economic and environmental impacts through an optimal preventive replacement schedule : Model and application. *Journal of Cleaner Production*, 143 :882–893, 2017.
- [68] V. N. Ajukumar and O. P. Gandhi. Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. *Journal of Cleaner Production*, 51 :34–46, 2013.
- [69] University of Queensland. Maintenance waste operating procedure. https://sustainability.uq.edu.au/files/781/pro_MntncWste.pdf. Accessed : 2024-06-15.
- [70] C. Franciosi, A. Voisin, S. Miranda, S. Riemma, and B. Iung. Measuring maintenance impacts on sustainability of manufacturing industries : from a systematic literature review to a framework proposal. *Journal of Cleaner Production*, 260 :121065, 2020.
- [71] M. Jasiulewicz-Kaczmarek. Integrating lean and green paradigms in maintenance management. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3) :4471–4476, 2014.
- [72] Author’s Name. *Energy Centered Maintenance (ECM)*. River Publishers Books, Year of Publication. Accessed : 2024-06-15.
- [73] comma CMMS. What is energy centered maintenance? <https://commacmms.com/site/blog/index.php/what-is-ecm>, 2024. Accessed : 2024-06-15.
- [74] Benefits of cmms | 2024 advantages & disadvantages, 2024. Accessed : date-of-access.
- [75] MRO Magazine. Environmental footprint of maintenance. *MRO Magazine*, Oct 2018.
- [76] HYES. Les impacts environnementaux de la maintenance industrielle, May 2023.
- [77] L. Fazzo¹, F. Minichilli, M. Santoro, A. Ceccarini, M. Della Seta³, F. Bianchi, P. Comba¹, and M. Martuzzi⁴. Hazardous waste and health impact : a systematic review of the scientific evidence. *Environmental Health*, 16(119), Oct 2017.
- [78] Agence Nationale des Déchets. Rapport sur l’État de la gestion des déchets en algérie, n.d.
- [79] Greenr Cleanr. The impact of conventional cleaning products on the environment, 2024. Available online : <https://www.greenr-cleanr.com/blog/the-impact-of-conventional-cleaning-products-on-the-environment> (accessed on June 15, 2024).
- [80] InTechOpen. Title of the chapter. <https://www.intechopen.com/chapters/72766>, 2024. Accessed : 2024-06-15.
- [81] Katana MRP. Manufacturing assembly line : Understanding the set-up, 2024. Consulté le 01 juin 2024.
- [82] V.C. Panagiotopoulou, P. Stavropoulos, and G. Chryssolouris. A critical review on the environmental impact of manufacturing : a holistic perspective. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118 :603–625, 2022.
- [83] Climatiq. Open emission factors database, 2024.
- [84] CarbonKit. Carbonkit. <https://www.carbonkit.net/>. Accessed : 2024-06-17.
- [85] Institut pour la Maîtrise des Risques (IMdR). Maîtrise des risques, 2024. Consulté le 21 juin 2024.

- [86] Lucidchart. Bpmn : définition, utilisation et exemples, 2024. Consulté le 21 juin 2024.
- [87] K. Deloumeaux. Scope 3, comment le calculer ?, August 22 2023. 1km à pied.
- [88] Blog Gestion de Projet. Principe de pareto et la gestion de projet, 2024. Consulté le 21 juin 2024.