



FILIÈRE MP2ERTA

RAPPORT DE L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE DE L'USINE VEGE MOTEURS



RÉALISER PAR

JLASSI BENAMOR
WISSEM BRAHIMI

ANNÉE UNIVERSITAIRE
2025 - 2024

Table des matières

1	Présentation De La Société	4
1.1	Généralités sur l'entreprise	4
1.2	VEGE MOTEURS Tunisie	5
1.2.1	Différents départements	5
1.2.2	Les employés et les chiffres d'affaires	6
2	Collecte des Données	7
2.1	Collecte des informations	7
2.1.1	Consommation générale : Les factures mensuelles	7
2.1.2	Consommation particulière : Les fiches techniques	8
2.2	Visite préliminaire	9
2.2.1	Entretien avec des personnels	9
2.2.2	Visite la section blocs moteur	10
2.2.3	Visite la section culasse	10
2.2.4	Visite la section rectification	11
2.3	Calcule d'énergie consommé	11
2.3.1	Section bloc moteur	12
2.3.2	Section bloc culasse	12
2.3.3	Section rectification	13
2.3.4	Sous-sol	14
2.3.5	Département administratif	14
2.3.6	Éclairage	14
3	Phase de diagnostique	16
3.1	Analyse les Consommations	16
3.1.1	Analyse de répartition des consommation	16
3.1.2	Analyse de Répartition des Consommations Énergétiques selon les données de facture et la consommation total calculé	19
3.1.3	Analyse de Répartition des Consommations Énergétiques selon les Différentes Sections de l'Entreprise	22
3.1.4	Conclusion	24
3.1.5	Analyse de Répartition des Consommations Énergétiques selon la consommation en mode active et la consommation en mode veille	24
3.2	Le Benchmarking	26
3.2.1	Préparation des données du références	26
3.2.2	Le Benchmarking	28
3.3	Identifier les systèmes à améliorer	36
4	Plan de diagnostique	37
4.1	Recommandation	37
4.1.1	Recommandations sans investissement	37
4.1.2	Recommandations spécifiques pour chaque section	39
4.1.3	Recommandations avec investissement	42
4.2	Conclusion	43
4.3	Hypothèse de bénéficié	43
5	Conclusion	45

Table des figures

3.1	Évolution Mensuelle des Consommations	17
3.2	Répartition Horaire de la Consommation Énergétique	18
3.3	Comparaison des consommations mensuelles	19
3.4	Répartition des consommations journalières (E_{jour}) des différentes sections (1/2).	22
3.5	Répartition des consommations journalières (E_{jour}) des différentes sections (2/2).	22
3.6	Courbe de tendance de la consommation journalière	24
3.7	Comparaison de la consommation journalière	25
3.8	Répartition des consommations journalières (E_{jour}) par machines et section	28
3.9	Répartition des consommations journalières de toutes les sections	29
3.10	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) de toutes section	29
3.11	Écart de consommation (%) entre réelle et référence de différents section	30
3.12	Répartition des consommations journalières dans la section bloc moteur	30
3.13	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de bloc moteur	31
3.14	Écart de consommation (%) entre réelle et référence de section bloc moteur	31
3.15	Répartition des consommations journalières dans la section bloc culasse	32
3.16	Écart de consommation (%) entre réelle et référence de section bloc culasse	32
3.17	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de section bloc culasse	32
3.18	Répartition des consommations journalières dans la section rectification	33
3.19	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de section rectification	33
3.20	Écart de consommation (%) entre réelle et référence de section rectification	33
3.21	Répartition des consommations journalières dans la partie sous-sol	34
3.22	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de partie sous-sol	34
3.23	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) de l'éclairage	35
3.24	Répartition des consommations journalières dans le département administratif	35
3.25	Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) de département administratif	36
4.1	Influence de quelques recommandations sur la consommation énergétique	38
4.2	Comparaison de la consommation avant et après recommandation	41
4.3	Économies potentielles et ROI des recommandations (graphique combiné).	42

Introduction

Dans le monde d'aujourd'hui , la sécurité à domicile est L'audit énergétique , défini par la norme NF EN 16247-1 , est une démarche structurée qui vise à analyser les consommations d'énergie au sein d'un bâtiment , d'une organisation ou d'un système industriel . Il permet de repérer les inefficacités , d'identifier les opportunités d'économie d'énergie et de proposer des solutions adaptées . Dans un contexte marqué par la transition énergétique et la lutte contre le changement climatique , l'audit énergétique est un outil stratégique pour réduire les coûts d'exploitation , optimiser les performances et limiter l'impact environnemental .

Conformément aux principes de la norme 16247-1 , un audit énergétique doit être réalisé de manière rigoureuse, en suivant des étapes claires : la collecte de données , l'analyse énergétique , l'identification des axes d'amélioration et la formulation de recommandations . Ces recommandations peuvent inclure des actions immédiates , des investissements technologiques ou des modifications des processus existants .

Au-delà de l'identification des économies d'énergie , un audit énergétique permet de répondre à plusieurs enjeux . Il garantit la conformité aux exigences réglementaires , améliore le confort des occupants , renforce la responsabilité sociétale de l'entité auditée et contribue activement à la durabilité des ressources énergétiques .

Ce rapport s'inscrit dans cette logique et présente les étapes et résultats d'un audit énergétique détaillé destiné à la société VEGE Moteurs Tunisie , réalisé conformément à la norme 16247-1 . Il expose les méthodologies utilisées , les analyses menées et les recommandations proposées , en fournissant une base solide pour orienter les décisions stratégiques en matière de gestion de l'énergie .

En définitive , cet audit énergétique va au-delà du simple diagnostic : il constitue un outil opérationnel pour améliorer la performance énergétique et répondre efficacement aux enjeux environnementaux et économiques .

Chapitre 1

Présentation De La Société

1.1 Généralités sur l'entreprise

Depuis sa fondation en 1936 , date à laquelle commence l'histoire de la société **VEGE MOTEURS** , deux hommes , **Messieurs Verstege** et **Van Genderen** , garagistes de métier et observateurs par nature se lancent dans les métiers de l'automobile , conscients de la fabuleuse explosion que présente ce marché .

Aujourd'hui l'entreprise dispose d'un programme de fabrication inégalé comprenant les marques européennes , américaines et japonaise les plus connues : Volvo ; Renault ; Peugeot ; Fiat ; Citroën . Des sociétés de production existent en Tunisie et au Mexique . À l'étranger , elle dispose de ses propres filiales de vente en France ; Angleterre ; Suède ; Espagne ; Italie et Allemagne .

VEGE exerce ses activités en tant qu'entreprise indépendante , sur la base son Know- how et sur des décennies d'expérience . Les manipulations sur les pièces sont réalisées à l'aide de machines souvent développées spécialement pour et par VEGE . Les produits VEGE sont constamment améliorés , de même tous les processus sont périodiquement évalués et adaptés . La stratégie de l'entreprise est axée sur la qualité et la flexibilité, avec une approche orienté client afin de conserver et élargir sa position sur le marché .

Une plateforme unique au monde , plus de **6000** moteurs en stock . VEGE propose une ouverture de la gamme multimarques . La livraison est garantie sous 24h , les moteurs sont garantis sur 1an .

Un catalogue contient plus de 10000 références : moteurs ; culasses ; pompe à injection ; turbo ; boîte de vitesse en échange standard ; pour véhicules légers et véhicules utilitaires .

VEGE possède 4 usines partout dans le monde , dont usine en Tunisie créée en 1975 avec une zone production de 630 m^2 , située à Kalaa Kebira , et qu'elle est muni de la certification ISO 9001 en 2000 .

1.2 VEGE MOTEURS Tunisie

1.2.1 Différents départements

Section démontage moteur et nettoyage

Dans cette section VEGE reçoit des moteurs qui seront stockés par marque et type dans un dépôt réservé à cette tâche . Puis le démontage et le nettoyage des différents composants du moteur est réalisé .

Section blocs moteurs

Tout d'abord VEGE prépare les blocs , les identifie par référence et contrôle les fissures . Ensuite le surfacage est fait par des fraiseuses numériques , l'alésage du cylindre et de la ligne de vilebrequin sont brossés . En fin nettoyage de blocs .

Section culasse

À ce niveau , le travail commence par l'identification culasse , suivi par le contrôle immersion , vient après la révision du filetage et la préparation de la linge arbre à came , ensuite un dressage fini du plan du joint et un calibrage du siège soupape sont fait . Enfin le montage des différents accessoires de culasse est réalisé .

Section rectification

Cette tâche consiste à rectifier les arbres à cames , vilebrequins et bielles afin d'obtenir les diamètres de paliers recommandés par le service développement .

Section montage des moteurs

Cette section est spécialisée en l'assemblage de tous les composants moteurs .

1.2.2 Les employés et les chiffres d'affaires

Aujourd'hui VEGE Moteurs Tunisie emploie **169 employés directs** et s'étend sur plusieurs sections , avec une quantité annuelle vendue approximatives du 1^{er} Janvier 2022 à 31 Décembre 2022 illustrer dans le tableau suivant :

Moteurs	Culasses	Boîtes de vitesses	Turbocompresseurs	Pompes	Injecteurs	Freins
5400	270	1624	18789	1127	830	35759

Cette société , dont la fiche identité est donnée dans le tableau suivant , est toujours en pleine évolution : le taux des investissements de 22.500 € sont prévus et aussi elle est ciblée d'obtenir la certification ISO 140001 depuis 2008 .

Chiffre d'affaire	Investissement prévu	Capital	Chiffre d'affaire annuel
17.530.050,68 dt	74250 dt	2.500.000 dt	29.843.683,75 dt



Chapitre 2

Collecte des Données

Dans le cadre de l'audit énergétique de VEGE MOTEURS TUNISIE , la collecte des données est une étape fondamentale pour évaluer les performances énergétiques actuelles et identifier les opportunités d'amélioration . Cette phase repose sur une analyse approfondie des relevés énergétiques , des caractéristiques des équipements et des habitudes de consommation .

L'objectif principal est de fournir une base fiable pour l'analyse des données énergétiques , qui permettra de formuler des recommandations pertinentes pour optimiser les consommations .

2.1 Collecte des informations

2.1.1 Consommation générale : Les factures mensuelles

Les valeurs de consommation , extraites des factures , sont présentées sous forme de tableau .

Mois	Compteur 1 (kWh)	Compteur 2 (kWh)	Consommation Totale (kWh)
31/01/2022	72329	16006	88335
28/02/2022	71583	15947	87530
31/03/2022	77151	20304	97455
30/04/2022	71210	19033	90243
31/05/2022	62790	15470	78260
30/06/2022	68521	16597	85118
31/07/2022	58348	13344	71692
31/08/2022	62082	12920	75002
30/09/2022	61815	18770	80585
31/10/2022	67437	16434	83871
30/11/2022	75726	17895	93621
31/12/2022	88710	17987	106697
Totale	837702	200707	1038409

Tableau des consommations mensuelles des compteurs de
l'année 2022

Mois	Compteur 1 (kWh)	Compteur 2 (kWh)	Consommation Totale (kWh)
31/01/2023	80101	20427	100528
28/02/2023	89054	21919	110973
31/03/2023	80077	20909	100986
30/04/2023	58823	13937	72760
Totale	308055	77192	385247

Tableau des consommations mensuelles des compteurs du quatre 1^{er} mois de l'année 2023

Noté bien que dans le cas de la société VEGE , on dispose de deux compteurs d'électricité . Cependant , la distribution d'électricité au sein de l'entreprise n'est pas spécifique à chaque compteur . Par exemple , le compteur 1 ne se limite pas uniquement à alimenter la section de bloc moteurs , par exemple , tout comme le compteur 2 ne se limite pas au la section de rectification . Le compteur 1 peut alimenter des équipements répartis entre les sections bloc moteurs , culasses , montages , etc. De manière similaire , le compteur 2 peut également desservir des équipements de différents sections .

2.1.2 Consommation particulière : Les fiches techniques

Section blocs moteurs

Cette section du société est muni par :

N°	Nom de la Machine	Nombre	Pe (kW)	Pv (kW)	Tc (min)	Dv (m ³ /h)
1	Bain de Lavage R-11	1	16.00	1.10	20	4
2	Machine Alésage	3	5.00	1.50	20	-
3	Presseuse	1	25.25	3.30	20	-
4	Machine Honage SV30	1	4.75	0.60	10	-
5	Machine Honage CK21	1	4.75	0.60	10	-

TABLE 2.3 – Caractéristiques des machines du section bloc moteur

Section blocs culasse

Cette section du société est muni par :

N°	Nom de la Machine	Nombre	Pe (kW)	Pv (kW)	Tc (min)	Dv (m ³ /h)
1	Machine Poste Soudure	1	17.4	1.6	10	-
2	Machine Four	1	20.0	1.1	10	-
3	Machine Fraiseuse (Boujies)	1	15.5	0.8	15	-
4	Machine Fraiseuse (Soupapes)	1	30.0	1.2	25	-
5	Bain de Lavage du bloc culasse	1	20.0	1.8	25	-

TABLE 2.4 – Caractéristiques des machines du section bloc culasse

-

Section rectification

Cette section du société est muni par :

N°	Nom de la Machine	Nombre	Pe (kW)	Pv (kW)	Tc (min)	Dv (m ³ /h)
1	Machine Bande d'Arbre à Cames	1	3.00	0.37	15	-
2	Machine Bande d'Arbre Vilebrequin	1	2.00	0.30	25	-
3	Rectification Vilebrequin Beco	1	9.70	0.70	10	-
4	Machine Honage Bille	1	4.00	0.41	10	-
5	Machine Alésage Bille	1	4.42	0.41	10	-
6	Presse Hydraulique	1	5.50	0.50	5	-
7	Bain Relative Labarex	1	5.50	0.50	5	-
8	Presse Hydraulique (4 pièces/cycle)	1	14.00	0.90	15	-
9	Machine de Polissage	1	7.80	1.00	10	4.00
10	Machine de Chromage	1	9.00	1.10	10	4.00

TABLE 2.5 – Caractéristiques des machines du section réctification

Les équipements dans le sous-sol

Le sous-sol est muni par des plusieurs équipements :

N°	Nom de la Machine	Nombre	Pe (kW)	Pv (kW)	Tc (min)	Dv (m ³ /h)
1	Pompe de Bain de Lavage du bloc moteur	1	2.5	0.0	15	4.00
2	Pompe de Bain de Lavage du bloc culasse	1	2.5	0.0	15	4.00
3	Pompe pour machine Chromage	1	2.50	0.00	10	4.00
4	Pompe pour machine Polissage	1	2.50	0.00	10	4.00
5	Chaudière électrique	1	48	0.00	16(h)	-
6	Pompe pour cabine de peinture	1	2.50	0.00	10	4.00
7	Pompe pour montage/démontage	1	2.50	0.00	40.00	4.00

TABLE 2.6 – Caractéristiques des machines du sous-sol

département administratif

N°	Machine	Puissance (P) (kw)	Temps de fonctionnement (T_{active}) (h)
2	Ordinateurs de bureau	0.65	8
1	Climatiseur	3.5	8
1	Imprimante	0.06	1.5

TABLE 2.7 – Puissance et temps de fonctionnement des machines du département administratif

Éclairage

N°	Machine	Puissance (P) (kw)	Temps de fonctionnement (T_{active}) (h)
90	Lampe	0.2	16

TABLE 2.8 – Puissance et temps de fonctionnement des machines du l'éclairage

2.2 Visite préliminaire

2.2.1 Entretien avec des personnels

L'entretien réalisé avec les membres du personnel , notamment l'ingénieur en génie électrique , l'ingénieur en génie industriel et l'ingénieur en génie mécanique , a permis de relever les points suivants :

- Les machines utilisées pour le nettoyage des blocs moteurs ou des culasses , ainsi que celles destinées au resurfaçage , au brossage , au polissage et au chromage , sont entièrement automatiques .
- Les machines utilisant des produits chimiques pour le nettoyage , le polissage , le chromage ou le

brossage nécessitent un débit de produit chimique de $4 \text{ m}^3/\text{h}$.

- En moyenne , l'entreprise effectue chaque jour le traitement et le renouvellement de 18 moteurs Inline 4 cylindres .

- Lors de l'absence d'utilisation des machines pendant la période de travail, elles sont restées en mode veille, à l'exception des pompes, qui ont fonctionné toute la journée de travail (deux postes de 8 heures pour chacune) .

2.2.2 Visite la section blocs moteur

Lors de la visite de la section des blocs moteurs , on s'est concentré sur les problèmes et la mauvaise gestion de l'énergie . On a débuté notre visite dans cette section par l'observation de la tâche de nettoyage des blocs moteurs .

- On a constaté que la durée de nettoyage , réalisée à l'aide de la machine équipée de brosses métalliques , était **plus longue que celle spécifiée dans la fiche technique de l'équipement** .

- De plus , on a remarqué que les soupapes d'injection du produit chimique de nettoyage **restaient ouvertes** , entraînant une injection continue du produit de nettoyage même si que on n'a pas du bloc moteur présent dans le bain à bloc moteur .

- Nous avons procédé à la mesure du débit volumique du produit chimique de nettoyage de bloc moteur afin de déterminer la quantité de fluide transportée par unité de temps. Après avoir effectué les calculs nécessaires, nous avons obtenu un débit volumique de $2,58 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui correspond à la valeur finale observée lors de l'expérience.

2.2.3 Visite la section culasse

Par la suite , lors de la visite de la section culasse , on s'est intéressé à identifier les mauvais actions de gestion de l'énergie , qui peuvent entraîner une augmentation de la consommation énergétique .

- On a remarqué , d'une part , que la procédure de nettoyage des culasses avec la machine équipée de brosses métalliques fines présentait les mêmes problèmes que dans la section des blocs moteurs : **une durée excessive et des soupapes qui restent ouvertes** , injectant continuellement le produit de nettoyage même si on n'a pas des culasse présents dans le bain à culasse .

- D'autre part , après le nettoyage et le soudage , la culasse subit un perçage pour les trous d'injection et les bougies . Le transfert de la culasse entre le poste de soudage et celui de perçage s'effectue à l'aide d'un tapis roulant. Lorsqu'une culasse arrive sous la perceuse , un capteur infrarouge détecte sa présence , ce qui déclenche l'arrêt du moteur du tapis et abaisse la perceuse pour effectuer le perçage . Cependant , on a remarqué qu'en l'absence de culasse , le moteur du tapis **reste actif** , entraînant un fonctionnement inutile du tapis roulant à vide .

- Même pour cet section de la société , nous avons procédé à la mesure du débit volumique du produit chimique de nettoyage du bloc culasse fin de déterminer la quantité de fluide transportée par unité de temps. Après avoir effectué les calculs nécessaires, nous avons obtenu un débit volumique de $2,68 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui correspond à la valeur finale observée lors de l'expérience.

2.2.4 Visite la section rectification

Par la suite , lors de la visite de la section rectification , on s'est intéressé à trouver les problèmes mécanique et électrique , qui peuvent entraîner une augmentation de la consommation énergétique .

- Nous avons remarqué la présence de traces d'huile résiduelle à proximité du bain de machine, de la bande d'arbre à cames et de la presse hydraulique. En interrogeant l'ingénieur à ce sujet, il nous a expliqué que ces machines rencontrent des problèmes fréquents et subissent régulièrement des pannes importantes, ce qui explique leurs fuites d'huile.

- Le débit de fluide des machines de chromage et de polissage était faible, bien en dessous des valeurs indiquées dans la fiche technique de l'équipement. Cette anomalie a été signalée par l'ingénieur, ce que nous avons également constaté lors de nos observations d'où nous avons procédé à la mesure du débit volumique du produit chimique afin de déterminer la quantité de fluide transportée par unité de temps . Après avoir effectué les calculs nécessaires, nous avons obtenu un débit volumique de $2,58 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui correspond à la valeur finale observée lors de l'expérience.

2.3 Calcule d'énergie consommé

Pour calculer l'énergie consommée par jour et par mois pour chaque machine , nous utilisons les formules suivantes :

Énergie quotidienne (E_{jour}) :

$$E_{\text{jour}} = E_{\text{active}} + E_{\text{veille}}$$

avec :

$$E_{\text{active}} = P_{\text{lectrique}} \times T_{\text{cycle}} \times N$$

$$E_{\text{veille}} = P_{\text{veille}} \times (16 - T_{\text{cycle}} \times N)$$

où :

$P_{\text{lectrique}}$ et P_{veille} représentent la puissance en kilowatts (en mode actif et veille, respectivement).

T_{cycle} est la durée d'un cycle (en heures).

N est le nombre de pièce par cycle .

Énergie mensuelle (E_{mois}) : $E_{\text{mois}} = E_{\text{jour}} \times 25$

Énergie annuelle (E_{ans}) : $E_{\text{ans}} = E_{\text{mois}} \times 12$

2.3.1 Section bloc moteur

Chaque machine de ce département traite un bloc moteur à chaque cycle. La durée de ces cycles peut varier en fonction du type de machine utilisée, chaque modèle ayant des caractéristiques et des performances spécifiques qui influencent le temps nécessaire pour accomplir une opération complète.

En se basant sur la mesure pratique du débit volumique réel du liquide chimique de nettoyage, qui est de $Q_{vr} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$, on peut estimer la durée d'un cycle de nettoyage en temps réel. En effet, pour un débit volumique théorique de $Q_{th} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$, on sait que la durée du cycle de nettoyage est $T_{ct} = 20 \text{ min}$.

Grâce à une règle de trois, on peut ajuster cette durée en fonction du débit réel mesuré. Ainsi, en appliquant la proportionnalité inverse entre débit et durée (car un débit plus faible implique une durée plus longue pour la même quantité de liquide), on trouve que la durée de nettoyage associée au débit réel $Q_{vr} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$ est de $T_{cr} = 31 \text{ min}$.

Machine	T_{active} (h)	E_{active} (kWh)	T_v (h)	E_{veille} (kWh)
Machine Bain de Lavage	9.3	148.4	6.7	7.37
Machine Alésage	6	30	13×2	28.6
Machine Presseuse	6	151.5	10	33
Machine Honage SV30	3	14.25	13	7.8
Machine Honage CK21	3	14.25	13	7.8
Totale	—	358.8	—	84.54

TABLE 2.9 – Consommations journalière d'énergie en mode active et en mode veille du section bloc moteurs

Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
Machine Bain de Lavage	156.17	3904.25	46851.00
Machine Alésage	58.60	1465.00	17580.00
Machine Presseuse	184.50	4612.50	55350.00
Machine Honage SV30	22.05	551.25	6615.00
Machine Honage CK21	22.05	551.25	6615.00
Totale	443.37	11084.25	133011.00

TABLE 2.10 – Consommations d'énergie du sections bloc moteur

2.3.2 Section bloc culasse

Le four traite 4 blocs culasse à chaque cycle. Étant donné que 18 blocs culasse ont été traités au cours de la journée de travail, cela signifie qu'il y a eu 5 cycles complets, puisque chaque cycle permet de traiter 4 blocs et qu'il en faut 5 pour atteindre 18 blocs.

En se basant sur la mesure pratique du débit volumique réel du liquide chimique de nettoyage de bloc culasse, qui est de $Q_{vr} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$, on peut estimer la durée d'un cycle de nettoyage de bloc culasse en temps réel. En effet, pour un débit volumique théorique de $Q_{th} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$, on sait que la durée du cycle de nettoyage de bloc culasse est $T_{ct} = 25 \text{ min}$.

Grâce à une règle de trois, on peut ajuster cette durée en fonction du débit réel mesuré. Ainsi, en appliquant la proportionnalité inverse entre débit et durée (car un débit plus faible implique une durée plus longue pour la même quantité de liquide), on trouve que la durée de nettoyage de bloc culasse associée au débit réel $Q_{vr} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$ est de $T_{cr} = 38.75 \text{ min}$.

Machine	T_{active} (h)	E_{active} (kWh)	T_v (h)	E_{veille} (kWh)
Machine Poste Soudure	3	52.2	13	20.8
Machine Four	0.84	16.7	15.16	16.67
Fraiseuse (—)	4.5	56.25	11.5	9.2
Fraiseuse (Soupape)	7.5	225	8.5	10.2
Machine Bain de Lavage	11.625	232.5	4.735	7.875
Totale	—	582.65	—	64.745

TABLE 2.11 – Consommations journalière d'énergie en mode active et en mode veille du section bloc culasse

Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
Machine Poste Soudure	73.00	1825.00	21900.00
Machine Four	33.37	834.25	10011.00
Fraiseuse (—)	65.45	1636.25	19635.00
Fraiseuse (Soupape)	235.20	5880.00	70560.00
Machine Bain de Lavage	240.38	6009.50	72112.50
Totale	647.40	16185	194220.00

TABLE 2.12 – Consommations d’énergie du sections bloc culasse

2.3.3 Section rectification

En se basant sur la mesure pratique du débit volumique réel du liquide chimique pour la machine de polissage , qui est de $Q_{vr} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$, on peut estimer la durée d’un cycle de polissage en temps réel. En effet, pour un débit volumique théorique de $Q_{th} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$, on sait que la durée du cycle de polissage est $T_{ct} = 10 \text{ min}$.

Grâce à une règle de trois , on peut ajuster cette durée en fonction du débit réel mesuré. Ainsi, en appliquant la proportionnalité inverse entre débit et durée (car un débit plus faible implique une durée plus longue pour la même quantité de liquide), on trouve que la durée de polissage associée au débit réel $Q_{vr} = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$ est de $T_{cr} = 15.5 \text{ min}$.

Machine	T_{active} (h)	E_{active} (kWh)	T_v (h)	E_{veille} (kWh)
Machine Abande d’Arbre à Cames	4.5	13.5	11.5	4.255
Machine Abande d’Arbre Vilebrequin	7.5	15.00	8.5	17.55
Rectification Vilebrequin Berco	3.5	29.1	13	9.1
Machine d’Honage Bille	3	12	13	5.2
Machine Alésage Bille	3	13.26	13	5.33
Presse Hydraulique	1.5	8.25	14.5	7.25
Bain Rotative Laborex	1.25	17.5	14.75	13.275
Machine de Polissage	4.5	35.1	11.5	11.5
Machine de Chromage	4.50	40.50	11.5	12.65
Totale	—	184.21	—	86.11

TABLE 2.13 – Consommations journalière d’énergie en mode active et en mode veille du section de réctification

Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
Machine Abande d’Arbre à Cames	17.755	443.75	5326.5
Machine Abande d’Arbre Vilebrequin	17.55	438.75	5265
Rectification Vilebrequin Berco	38.2	955	11460
Machine d’Honage Bille	17.2	430	5160
Machine Alésage Bille	18.59	464.75	5577
Presse Hydraulique	15.5	387.5	4650
Bain Rotative Laborex	30.775	769.375	9232.5
Machine de Polissage	46.6	1140	13680
Machine de Chromage	53.15	1328.75	15945
Totale	255.32	6383.00	76596.00

TABLE 2.14 – Consommations d’énergie du sections de réctification

2.3.4 Sous-sol

Les machines du sous-sol restent en mode actif tout au long de la journée de travail, sans passer en mode veille. Ainsi, il est nécessaire de calculer d'abord la durée d'activité de chaque machine, afin d'estimer la consommation énergétique durant cette période active. Ensuite, il convient également de prendre en compte la consommation pendant les périodes où les machines ne sont pas utilisées, bien qu'elles restent constamment en mode actif.

Machine	T_{active} (h)	E_{active} (kWh)	T_v (h)	E_{veille} (kWh)
Pompe de Bain de Lavage du bloc moteur	4.5	11.25	11.5	28.75
Pompe de Bain de Lavage du bloc culasse	7.5	18.75	8.5	21.25
Pompe pour machine de Chromage	3	7.5	13	32.5
Pompe pour machine de Polissage	3	7.5	13	32.5
Chaudière électrique	16	768	0	0
Pompe pour cabine de peinture	3	14.25	13	7.8
Pompe pour montage/démontage	3	7.5	13	32.5
Totale	—	834.78	—	155.3

TABLE 2.15 – Consommations journalière d'énergie en mode active et en mode veille du partie sous-sol

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
1	Pompe de Bain de Lavage du bloc moteur	40	1000	12000
2	Pompe de Bain de Lavage du bloc culasse	40	1000	12000
3	Pompe pour machine de Chromage	40	1000	12000
4	Pompe pour machine de Polissage	40	1000	12000
5	Chaudière électrique	768	19200	230400
6	Pompe pour cabine de peinture	40	1000	12000
7	Pompe pour montage/démontage	40	1000	12000
0	Totale	1008.00	25200.00	302400.00

TABLE 2.16 – Energie consommé par les machine sous-sol

2.3.5 Dépatement administratif

Machine	T_{active} (h)	E_{active} (kWh)	T_v (h)	E_{veille} (kWh)
Deux ordinateurs bureau	8	10.4	0	0
Climatiseur	8	28	0	0
Imprimante	1.5	0.09	14.5	0.03
Totale	—	38.49	—	0.03

TABLE 2.17 – Consommations journalière d'énergie en mode active et en mode veille du département administratif

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
1	Ordinateur bureau	7.2	180	2160
2	Climatiseur	28	700	8400
3	Imprimante	0.12	3	36
0	Totale	35.32	883.00	10596.00

TABLE 2.18 – Energie consommé par le depatement administratif

2.3.6 Éclairage

Machine	T_{active} (h)	E_{active} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
Lampe	16	288	7200	86400
Totale	—	288	7200	86400

TABLE 2.19 – Consommations journalière d'énergie en mode active de Éclairage

Consommation énergétique en mode active consommé par toute la société

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
1	Section bloc moteur	358.8	8970	107640
2	Section bloc culasse	582.65	14566.25	174795
3	Section rectification	184.24	4606	55272
4	Partie sous-sol	834.78	20869.5	250434
5	Département administratif	38.49	962.25	11577
6	Éclairage	288	7200	86400
-	Totale	2287.96	57199	686380

TABLE 2.20 – Energie consommé en mode active par toute la société

Consommation énergétique en mode veille consommé par toute la société

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
1	Section bloc moteur	84.54	2113.5	25362
2	Section bloc culasse	64.475	1611.875	19342.5
3	Section rectification	86.11	2152.75	25833
4	Partie sous-sol	155.3	3882.5	46590
5	Département administratif	0.03	0.75	9
-	Totale	390.455	9761.375	117136.5

TABLE 2.21 – Energie consommé en mode veille par toute la société

Consommation réelle total

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)	E_{ans} (kWh)
1	Section bloc moteur	433.37	11084.25	133011
2	Section bloc culasse	647.4	16185	19422
3	Section rectification	255.32	6383	76596
4	Partie sous-sol	1008	25200	302400
5	Département administratif	35.32	883	10596
6	Éclairage	288	7200	86400
-	Totale	2677.41	66935.25	803223

TABLE 2.22 – Energie consommé par le departement administratif

Chapitre 3

Phase de diagnostique

La phase de diagnostic est essentielle pour déterminer les inefficacités et les opportunités d'amélioration dans le système énergétique du VEGE . Elle est divisée en deux étapes très délicats : l'analyse des consommations et l'identification des systèmes à améliorer . Cette approche permet non seulement de mieux comprendre la répartition de l'énergie mais aussi de définir les actions nécessaires pour optimiser la consommation et réduire les coûts énergétiques. Dans cette section , nous détaillons :

- **Analyse les consommations à travers des graphiques**
- **Le benchmarking**
- **Identifier les systèmes à améliorer .**

3.1 Analyse les Consommations

L'analyse des consommations consiste à examiner la répartition horaire de la consommation énergétique de l'entreprise , en s'appuyant sur les données relevées sur les différents compteurs . Cette analyse nous permet de mieux comprendre les périodes de forte consommation , d'identifier des zones potentiellement inefficaces et de comparer la performance énergétique avec des références de l'industrie **benchmarking** .

3.1.1 Analyse de répartition des consommation

L'objectif de cette sous-étape est d'analyser les données du consommation afin de déterminer les périodes de consommation maximale et minimale en fonction des horaires de travail .

Évolution Mensuelle des Consommations

Dans la suite , nous analyserons la consommation mensuelle , puis la consommation journalière , en identifiant les points de pic de consommation ainsi que les points de consommation minimale .

On commence par l'analyse des l'évolution mensuelle des consommations électriques , ce graphique illustre l'évolution mensuelle de la consommation électrique en kWh sur une période de 16 mois , ventilée entre deux compteurs principaux et une consommation totale . Il permet d'identifier les variations

saisonnnières ou opérationnelles ainsi que les périodes de consommation maximale et minimale .

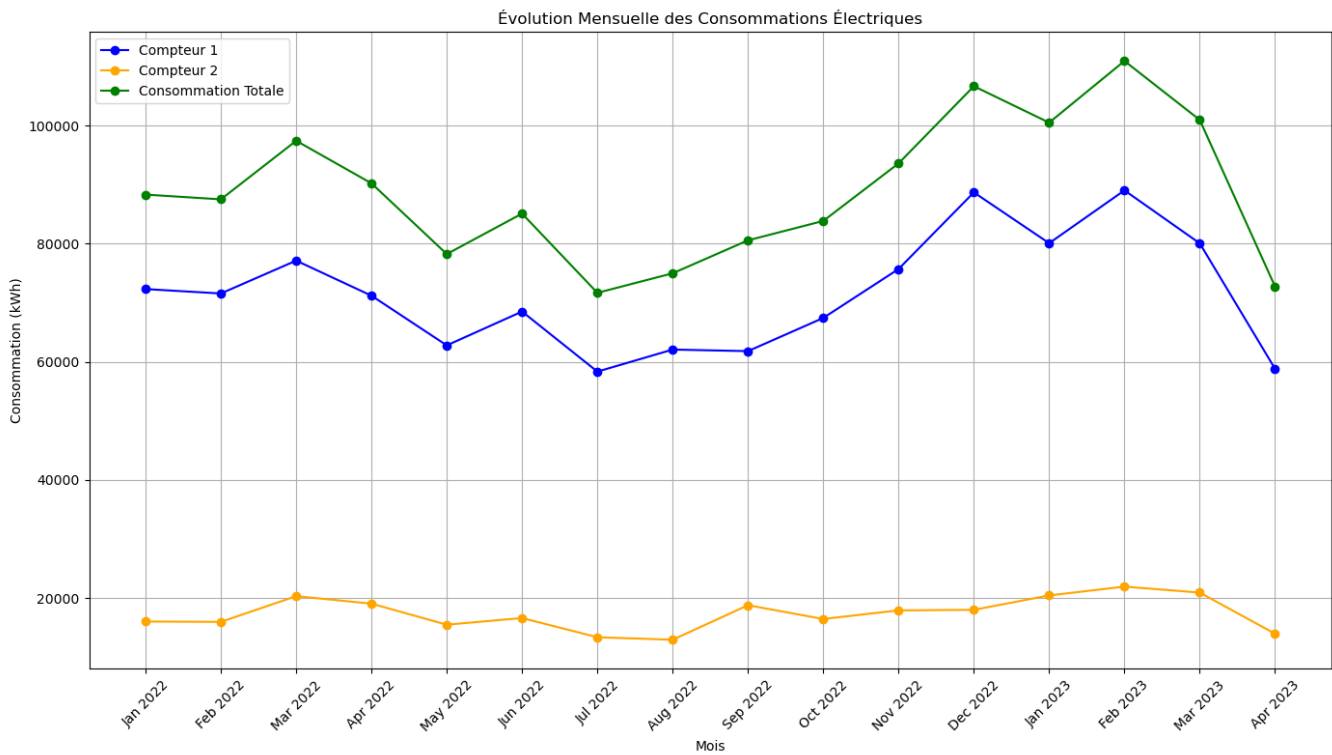


FIGURE 3.1 – Évolution Mensuelle des Consommations

Période de consommation maximale : La consommation totale atteint son pic en mars 2023, dépassant les **100 000 kWh** . Cela peut indiquer une augmentation des besoins énergétiques (activité accrue , conditions climatiques , etc.) .

Période de consommation minimale : La consommation totale est la plus basse en avril 2023 , autour de 60 000 kWh . Cela peut refléter une baisse des activités ou des efforts d’économie d’énergie .

Observations spécifiques aux compteurs :

Compteur 1 : La tendance suit généralement une consommation plus stable avec un pic similaire en mars 2023 .

Compteur 2 : La consommation est globalement plus faible , avec des variations minimales . Il contribue moins à la consommation totale .

Évaluation Horaire de la Consommation Énergétique

Dans le cadre de cette étude , la société travaille avec deux postes, le premier de 6h à 14h et le second de 14h à 22h , 6 jours par semaine . En prenant en compte ces horaires , nous pouvons établir des graphiques montrant l’évolution de la consommation d’énergie au cours de chaque journée .

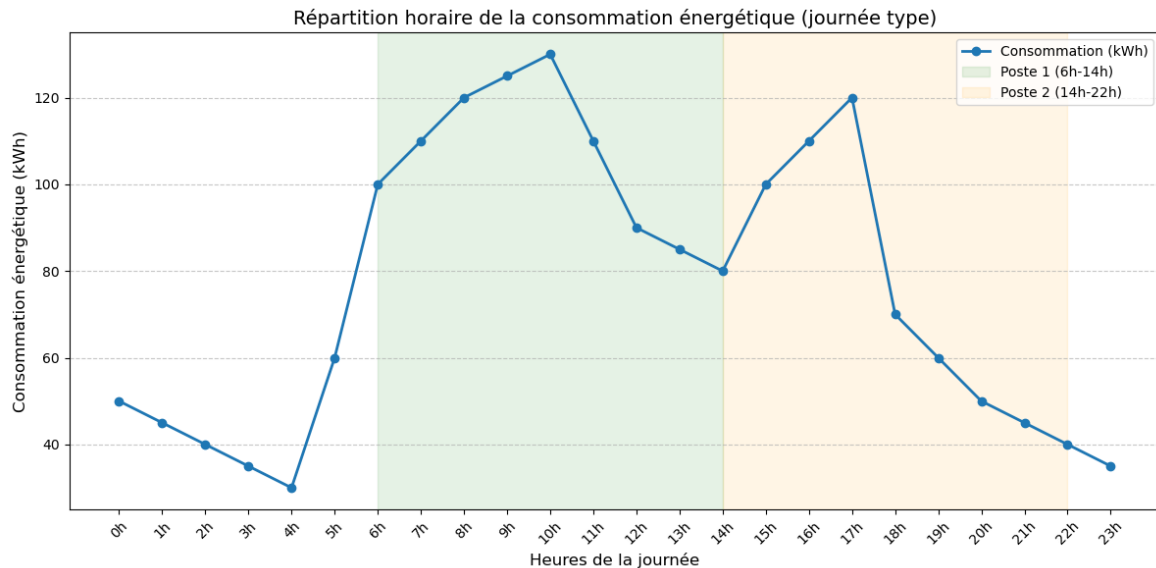


FIGURE 3.2 – Répartition Horaire de la Consommation Énergétique

Le graphique précédant illustre la consommation d'énergie sur une journée type de travail avec les deux postes . Il permet de constater que la consommation est plus élevée pendant les heures de production active (6h-14h et 14h-22h) .

Nous intéressons aux deux périodes de consommation :

- **Période de consommation maximale** : La consommation atteint un pic important à 16h environ 125 kWh , correspondant probablement à une période d'activité intense dans le poste 2 (14h-22h) . Une autre pointe est visible à 9h, dans le poste 1 (6h-14h) .

- **Période de consommation minimale** : La consommation est la plus basse entre 3h et 4h du matin environ 35-40 kWh , ce qui correspond à des heures de faible activité ou à un arrêt des activités principales .

La courbe montre aussi , selon la répartition de la consommation par poste , que :

- **Poste 1 (6h-14h)** : La consommation commence à augmenter dès 6h , atteignant un premier pic à 9h environ **120 kWh**. Cela correspond au démarrage des activités principales et à une utilisation intensive d'équipements . Après 9h, la consommation diminue progressivement jusqu'à 14h , suggérant une baisse d'activité ou un passage à des tâches moins énergivores .

- **Poste 2 (14h-22h)** : La consommation augmente rapidement après 14h pour atteindre un pic significatif à 16h environ **125 kWh** . Cette période pourrait correspondre à des opérations intensives ou au fonctionnement d'équipements énergivores . Après 16h , la consommation diminue progressivement jusqu'à 22h , témoignant de la fin des activités .

3.1.2 Analyse de Répartition des Consommations Énergétiques selon les données de facture et la consommation total calculé

Contexte et présentation générale

Soit le graphique qui compare les consommations mensuelles d'énergie (en kWh) pour une période de 16 mois (de janvier 2022 à avril 2023). Deux types de données sont représentés :

- Consommation réelle (somme des compteurs) : affichée sous forme de barres bleues.
- Consommation mensuelle calculée : affichée comme une ligne horizontale rouge en pointillés .

Ainsi , la consommation mensuelle calculée est constante sur toute la période avec une valeur de 66 935 kWh.

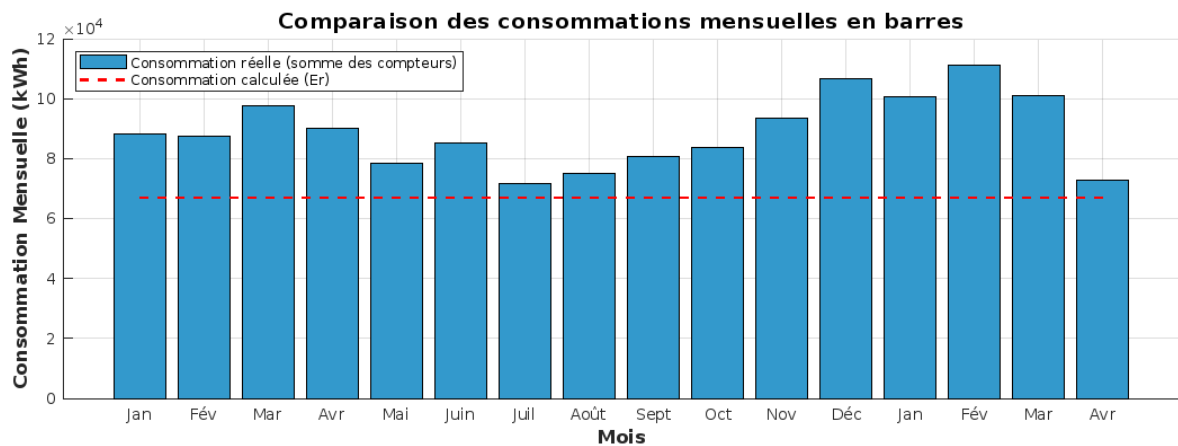


FIGURE 3.3 – Comparaison des consommations mensuelles

- Le graphique met en évidence les variations de la consommation réelle par rapport à la consommation calculée. Bien que la consommation réelle dépasse parfois significativement la valeur théorique, elle s'en rapproche globalement. Des actions ciblées pour optimiser les pics et comprendre les baisses permettraient d'améliorer l'efficacité énergétique globale.

Observation des tendances générales

- **Variabilité de la consommation réelle :**

- La consommation réelle varie significativement d'un mois à l'autre.
- Les valeurs les plus élevées dépassent largement la consommation mensuelle calculée , tandis que d'autres mois sont inférieurs.

- **Consommation calculée constante :**

- La ligne horizontale rouge représentant la consommation mensuelle calculée qui est égal à 66 935 kWh reste constante tout au long des mois.

- Cela permet de comparer facilement les mois où la consommation réelle dépasse ou est inférieure à la consommation théorique.

- **Comportement par période :**

- Janvier, mars, novembre et décembre : Les consommations réelles sont nettement supérieures à la consommation calculée.

- Mai, juillet et août : Les consommations réelles sont inférieures à la consommation calculée.

- Février, juin, septembre et octobre : Les consommations sont proches de la consommation calculée, avec de légères variations.

Analyse par périodes spécifiques

- **Périodes de forte consommation :**

- Mars 2022, Décembre 2022, Février 2023 : Ces mois enregistrent des pics de consommation.

- Décembre 2022 est le mois avec la consommation la plus élevée, atteignant environ 106 000 kWh.

- Ces pics peuvent être expliqués par des facteurs tels que :

- Augmentation de la production ou des opérations.

- Besoins énergétiques accrus en hiver (chauffage, éclairage).

- Utilisation intensive des machines pendant des périodes de forte demande.

- **Périodes de faible consommation :**

- Mai 2022, Juillet 2022, Avril 2023 : Ces mois affichent des consommations en dessous de la valeur calculée du consommation mensuelle .

- Par exemple, Juillet 2022 présente une consommation d'environ 67 000 kWh, proche du seuil calculé.

- Ces baisses peuvent être liées à :

- Réduction des activités pendant les périodes de vacances.

- Arrêt temporaire ou entretien des machines.

- Moins d'opérations énergivores.

- **Tendance annuelle :**

- En général, l'année 2022 montre une grande variabilité avec des pics marqués et des baisses notables.
- Le début de 2023 suit une tendance similaire, avec des consommations élevées en janvier et février, puis une diminution en avril.

Comparaison avec la consommation calculée

- **Analyse des écarts :**

- Supérieur à la consommation mensuelle : Les mois où la consommation réelle dépasse Er indiquent une utilisation d'énergie plus élevée que prévu, ce qui peut signaler des besoins accrus ou des inefficacités énergétiques.
- Inférieur à la consommation mensuelle : Les mois en dessous d'Er montrent des périodes de faible activité ou d'optimisation énergétique.
- Moyenne de la consommation réelle :
- Si l'on considère les fluctuations, la moyenne générale semble proche de la consommation calculée, bien que plusieurs mois présentent des écarts significatifs.

Interprétation et recommandations

- **Optimisation des mois de forte consommation :**

- Identifier les raisons des pics de consommation (ex. : surcharge de production, dysfonctionnements).
- Mettre en place des stratégies d'efficacité énergétique pour limiter les excès.

- **Exploitation des périodes de faible consommation :**

- Évaluer si les mois de faible consommation sont dus à des arrêts programmés ou des inefficacités.
- Utiliser ces périodes pour entretenir les équipements ou ajuster les calendriers de production.

- **Évaluation globale :**

- La consommation mensuelle calculée peut servir de référence pour suivre la performance énergétique.
- L'objectif serait de réduire les écarts en stabilisant la consommation autour de la valeur calculée.

3.1.3 Analyse de Répartition des Consommations Énergétiques selon les Différentes Sections de l'Entreprise

Analyse des Résultats de Consommation Journalière (E_{jour})

L'analyse des résultats de consommation énergétique journalière E_{jour} des différentes machines et équipements permet de tirer des conclusions sur les points maximaux et minimaux.

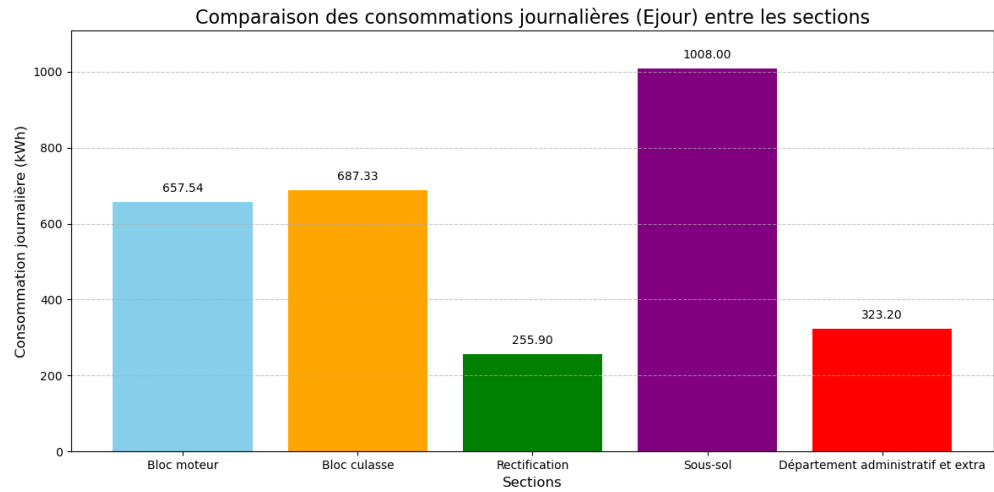


FIGURE 3.4 – Répartition des consommations journalières (E_{jour}) des différentes sections (1/2).



FIGURE 3.5 – Répartition des consommations journalières (E_{jour}) des différentes sections (2/2).

Points de Consommation Maximale

Chaudière électrique (Sous-sol) : Avec une consommation de **768 kWh** par jour, la chaudière électrique est l'équipement le plus énergivore. Cela peut être attribué à son rôle crucial dans le maintien des températures pour divers processus de production.

Machines de la Section Bloc Moteur :

Machine Presseuse : 184.50 kWh/jour.

Machine Bain de Lavage : 156.17 kWh/jour.

Pompe Bain de Lavage : 165.17 kWh/jour.

Ces consommations élevées reflètent une utilisation intensive pour des opérations essentielles telles que le nettoyage, le traitement thermique et le pressage.

Machine Bain de Lavage (Bloc Culasse) : Avec une consommation journalière de **240.38 kWh**, cette machine joue un rôle essentiel dans le processus de production.

Points de Consommation Minimale

Machines de la Section Rectification et Administrative :

Presse Hydraulique : 15.5 kWh/jour.

Machine Alésage Bille : 18.59 kWh/jour.

Machine d'Honage Bille : 17.2 kWh/jour.

Ces équipements ont une faible consommation, indiquant une utilisation moins intensive par rapport aux équipements principaux.

Équipements administratifs et extra :

Ordinateur Bureau : 7.2 kWh/jour.

Climatiseur : 28 kWh/jour.

Lampe : 288 kWh/jour.

Ces équipements consomment peu d'énergie en raison de leur fonctionnement intermittent ou de leur faible puissance.

Comparaison des Sections

Section Bloc Moteur : La consommation est élevée, principalement en raison de machines comme la *Machine Presseuse* (184.50 kWh/jour) et la *Machine Bain de Lavage* (156.17 kWh/jour).

Section Bloc Culasse : Bien que certaines machines comme la *Fraiseuse (Soupape)* consomment beaucoup (**235.20 kWh/jour**), la consommation globale reste modérée par rapport à celle du Bloc Moteur.

Section Rectification : Les consommations sont globalement faibles à modérées, avec des machines comme la *Machine de Chromage* (**53.15 kWh/jour**) et la *Machine de Polissage* (**46.6 kWh/jour**) en

tête.

Sous-sol : Dominé par des équipements à consommation régulière (**40 kWh/jour** pour chaque pompe), mais la *Chaudière électrique* (**768 kWh/jour**) est une exception notable.

Département Administratif et Extra : La consommation est la plus faible, reflétant des besoins énergétiques moindres pour des équipements comme les ordinateurs et les climatiseurs.

Observations Générales

Les machines de **production lourde** (ex. presseuse, machines de bain de lavage) consomment significativement plus d'énergie.

Les équipements **administratifs et de rectification** consomment beaucoup moins d'énergie, ce qui est attendu vu leur utilisation spécifique.

Les **pompes** ont des consommations uniformes (40 kWh/jour), reflétant une utilisation stable et bien planifiée.

3.1.4 Conclusion

Les équipements les plus énergivores (ex. *Chaudière électrique*, *Machines de production lourde*) nécessitent une attention particulière pour des **optimisations énergétiques**. À l'inverse, les machines à faible consommation montrent un potentiel limité pour des gains énergétiques. Cette analyse guide les efforts vers les processus à forte demande énergétique afin d'améliorer l'efficacité globale.

3.1.5 Analyse de Répartition des Consommations Énergétiques selon la consommation en mode active et la consommation en mode veille

L'analyse des données présentées dans les deux graphiques suivants permet de mieux comprendre la consommation énergétique d'une société en fonction des modes de fonctionnement (actif, veille, et consommation totale).

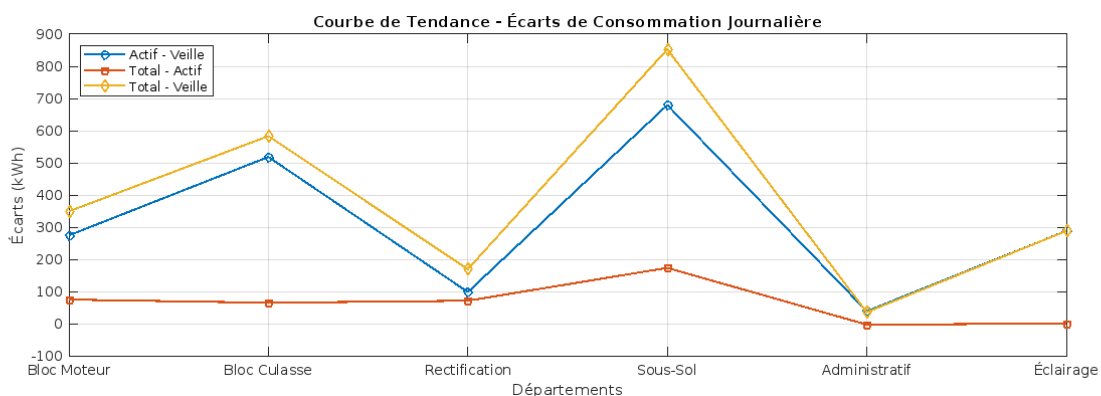


FIGURE 3.6 – Courbe de tendance de la consommation journalière

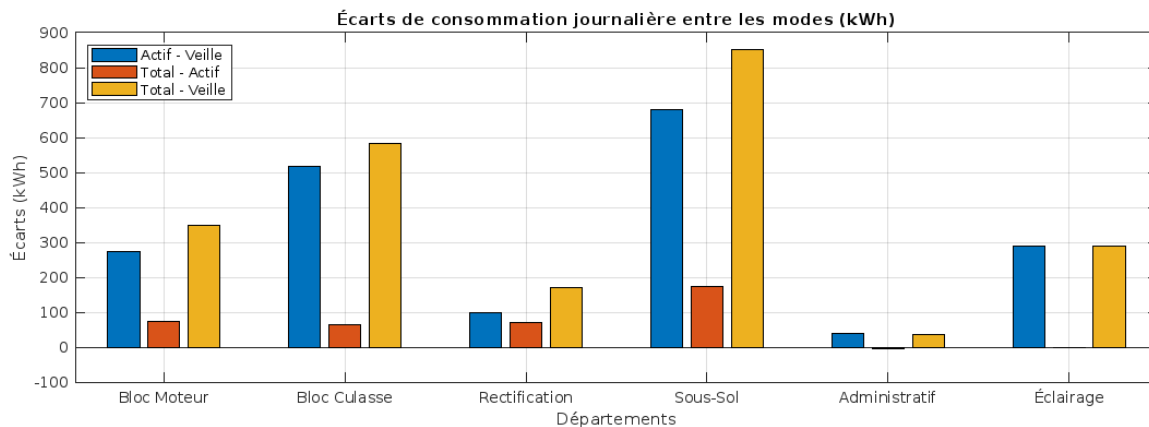


FIGURE 3.7 – Comparaison de la consommation journalière

Consommation énergétique en mode actif

La consommation totale quotidienne en mode actif est de 2287,96 kWh, avec une consommation annuelle de 686 380 kWh.

La section du sous-sol consomme le plus d'énergie en mode actif (834,78 kWh/jour, soit 36,5 % de la consommation quotidienne totale), suivie de la section bloc culasse (582,65 kWh/jour, soit environ 25,5 %).

Les départements administratifs consomment relativement peu d'énergie en mode actif (38,49 kWh/jour, soit seulement 1,7 %), ce qui est logique étant donné leur nature d'activité.

Consommation énergétique en mode veille

En mode veille, la consommation énergétique diminue de manière significative à 390,455 kWh/jour, soit une réduction de plus de 80 % par rapport au mode actif.

Là encore, la partie sous-sol est le plus grand consommateur, représentant environ 39,8 % de la consommation quotidienne en veille (155,3 kWh/jour).

La consommation énergétique annuelle en mode veille est de 117 136,5 kWh, ce qui montre que même en veille, une quantité non négligeable d'énergie est utilisée, particulièrement dans les sections techniques (bloc moteur, bloc culasse, etc.).

Consommation réelle totale

La consommation totale réelle (cumul des modes actif et veille) s'élève à 2677,41 kWh/jour, soit une consommation annuelle de 803 223 kWh.

En mode combiné, la partie sous-sol reste dominante avec 302 400 kWh/an, soit environ 37,6 % de la consommation annuelle totale.

Les départements administratifs et l'éclairage combinés représentent une faible part de la consommation totale (1,3 % pour les départements administratifs et 10,8 % pour l'éclairage).

3.2 Le Benchmarking

Dans le cadre de l'analyse des données de consommation, nous procéderons à une comparaison approfondie entre les données de consommation enregistrées et les données de référence disponibles. Cette comparaison, souvent appelée **benchmarking**, permettra d'évaluer la performance énergétique actuelle en identifiant les écarts éventuels par rapport aux normes, standards ou valeurs cibles de référence. Cette étape est essentielle pour déterminer les axes d'amélioration, optimiser les pratiques énergétiques et mettre en œuvre des stratégies adaptées pour réduire la consommation tout en maintenant l'efficacité opérationnelle.

3.2.1 Préparation des données du références

Étant donné que les données de référence ne sont pas disponibles sur Internet, nous fournirons nos propres données de référence en les construisant à partir des éléments suivants : la puissance de chaque machine, les niveaux de production mensuelle et annuelle, leur nombre, ainsi la durée des cycles de fonctionnement. Cette méthode permettra d'établir des bases de comparaison adaptées et réalistes, en prenant en compte les caractéristiques spécifiques de notre installation et de nos activités. Ces données seront utilisées pour évaluer l'efficacité énergétique et identifier les écarts entre la consommation réelle et les valeurs théoriques attendues.

Calcul de l'énergie consommée par machine

Pour calculer l'énergie consommée par jour et par mois pour chaque machine, nous utilisons les formules suivantes : **Énergie quotidienne** (E_{jour}) :

$$E_{jour} = P_{lectrique} \times T_{cycle} \times N$$

où :

$P_{lectrique}$ représente la puissance en kilowatts (seulement en mode actif).
 T_{cycle} est la durée d'un cycle (en heures).
 N est le nombre de pièce par cycle.

Énergie mensuelle (E_{mois}) : $E_{mois} = E_{jour} \times 25$

Données de référence pour section bloc moteur

La consommation de référence journalière et mensuelle pour la section bloc moteur est présentée dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit les détails des valeurs correspondantes.

Données de référence pour section bloc culasse

La consommation de référence journalière et mensuelle pour la section bloc culasse est présentée dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit les détails des valeurs correspondantes.

Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)
Machine Bain de Lavage	72.00	1800.00
Machine Alésage	30.00	750.00
Machine fresseuse	151.50	3787.50
Machine Honage SV30	14.25	356.25
Machine Honage CK21	14.25	356.25
Totale	300.75	7518.75

TABLE 3.1 – Données du référence pour le section bloc moteur

Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)
Machine Poste Soudure	52.2	1305.00
Machine Four	16.70	417.500
Fraiseuse (—)	56.25	1406.25
Fraiseuse (Soupape)	225.00	5625.00
Machine Bain de Lavage	150.00	3750.00
Totale	518.90	12972.50

TABLE 3.2 – Données du référence pour section bloc culasse

Données de référence pour section rectification

La consommation de référence journalière et mensuelle pour la section rectification est présentée dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit les détails des valeurs correspondantes.

Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)
Machine Bande d'Arbre à Cames	13.5	337.500
Machine Bande d'Arbre Vilebrequin	15	375.00
Rectification Vilebrequin Berco	29.10	727.50
Machine Honage Bille	12.00	300.00
Machine Alésage Bille	13.26	331.50
Presse Hydraulique (1 pièce/cycle)	18.25	206.25
Bain Relative Laborex	17.5	437.5
Machine de Chromage	27.00	675.00
Machine de Polissage	23.40	585.00
Pompe pour machine de polissage	7.50	187.50
Totale	174.01	4350.25

TABLE 3.3 – Données du référence pour section rectification

Sous-sol

La consommation de référence journalière et mensuelle pour la partie sous-sol de la société est présentée dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit les détails des valeurs correspondantes.

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)
1	Pompe Bain de Lavage du bloc moteur	11.25	281.25
2	Pompe Bain de Lavage du bloc culasse	18.75	468.75
3	Pompe pour machine de Chromage	7.50	187.50
4	Pompe pour machine de Polissage	7.50	187.50
5	Chaudière électrique	768	19200
6	Pompe pour cabine de peinture	7.5	187.5
7	Pompe pour montage/démontage	7.5	187.5

TABLE 3.4 – Données du référence pour les machine sous-sol

Dépatement administratif

La consommation de référence journalière et mensuelle pour le département administratif est présentée dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit les détails des valeurs correspondantes.

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)
1	Ordinateur bureau	7.2	180
2	Climatiseur	28	700
3	Imprimante	0.09	2.25

TABLE 3.5 – Données du référence pour le departement administratif

Éclairage

La consommation de référence journalière et mensuelle pour l’éclairage est présentée dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit les détails des valeurs correspondantes pour 90 lampes LED de puissance électrique égale à 0.03 kW.

N°	Machine	E_{jour} (kWh)	E_{mois} (kWh)
1	Lampe	43.2	1080

TABLE 3.6 – Données du référence pour l’éclairage

-

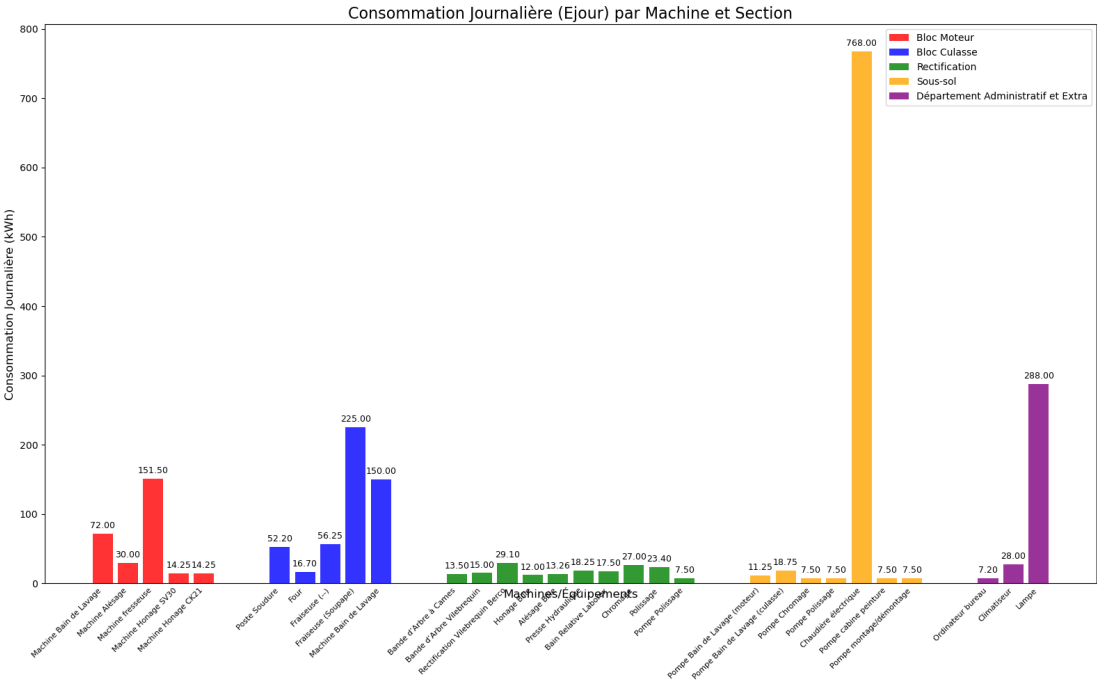


FIGURE 3.8 – Répartition des consommations journalières (E_{jour}) par machines et section

3.2.2 Le Benchmarking

Comparaison globale par sections

L’analyse suivante compare les consommations réelles et de référence pour chaque section de l’entreprise . Les écarts exprimés en pourcentage permettent d’identifier les sections où des optimisations énergétiques sont nécessaires.

Section	Consommation Réelle (kWh/jour)	Consommation Référence (kWh/jour)	Écart (%)
Bloc Moteur	443.37	300.75	+47.4 %
Bloc Culasse	647.40	518.90	+24.7 %
Rectification	255.32	174.01	+46.7 %
Sous-sol	1048.00	828.00	+26.6 %
Administratif	323.20	322.20	+0.3 %

TABLE 3.7 – Consommation réelle vs de référence (par section)

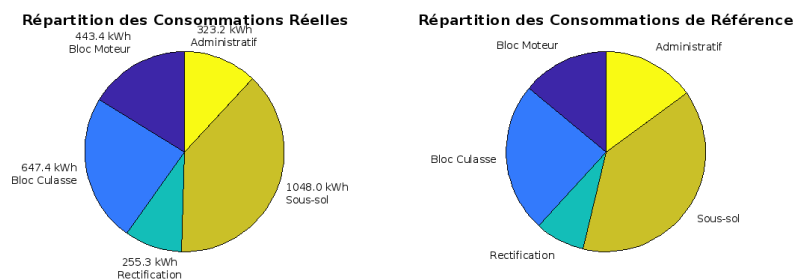


FIGURE 3.9 – Répartition des consommations journalières de toutes les sections

d'après le tableau et le graphique précédents, on peut classer le résultat suivant la comparaison avec les références selon deux sections :

- Section à forte déviation énergétique
- Section proche de référence

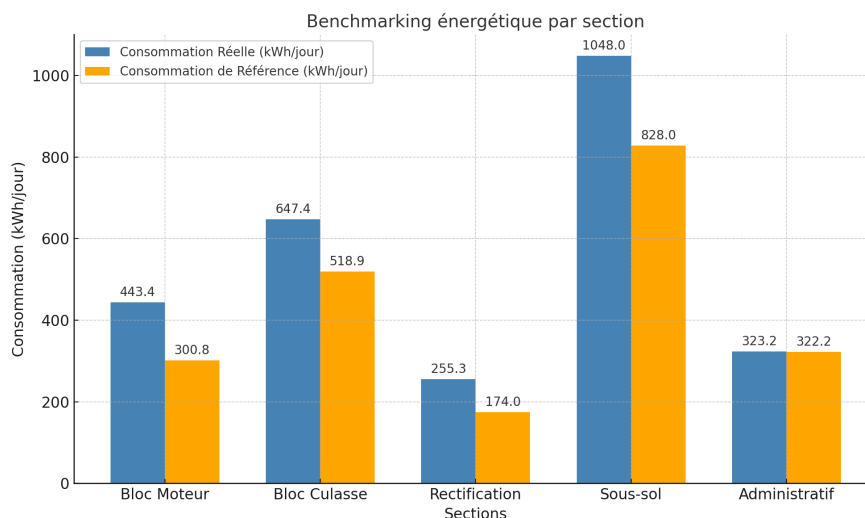


FIGURE 3.10 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) de toutes section

Sections à forte déviation énergétique :

- Bloc moteur : +47.4 % au-dessus des références. Les machines telles que la presseuse (184.50 kWh/jour) et le bain de lavage (156.17 kWh/jour) contribuent largement à cet écart.
- Rectification : +46.7 %. Les machines de polissage et de chromage consomment significativement plus que les prévisions.

- Sous-sol : +26.6 %, principalement dû à la chaudière électrique qui consomme 768 kWh/jour.

Sections proches des références :

- Administratif et extra : Les consommations sont conformes (+0.3 %), ce qui indique une bonne gestion énergétique dans cette zone.

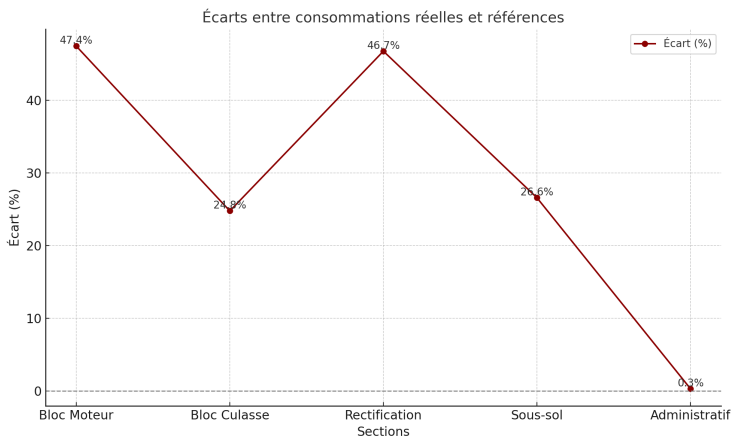


FIGURE 3.11 – Écart de consommation (%) entre réelle et référence de différents section

Comparaison détaillée par machines

Benchmarking du bloc moteur

La section Bloc Moteur présente un écart important (+47.4 %) entre la consommation réelle et celle de référence. Les machines comme le Bain de Lavage et la Presseuse contribuent largement à cet écart. Ces observations permettent d’identifier les machines à prioriser pour des actions d’amélioration énergétique.

Machine	Consommation Réelle (kWh)	Consommation Référence (kWh)	Écart (%)
Bain de Lavage	156.17	72.00	+116.9 %
Machine Alésage	58.60	30.00	+95.3 %
Presseuse	184.50	151.50	+21.8 %
Machine Honage SV30	22.05	14.25	+54.7 %
Machine Honage CK21	22.05	14.25	+54.7 %
Total Section	443.37	300.75	+47.4 %

TABLE 3.8 – Benchmark détaillé : Section Bloc Moteur

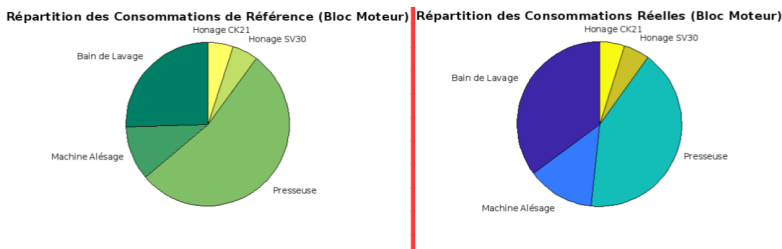


FIGURE 3.12 – Répartition des consommations journalières dans la section bloc moteur

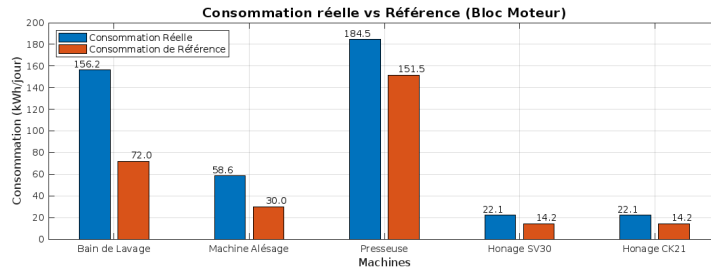


FIGURE 3.13 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de bloc moteur

Les plus grands écarts viennent du bain de lavage (+116.9 %) et de la machine alésage (+95.3 %).

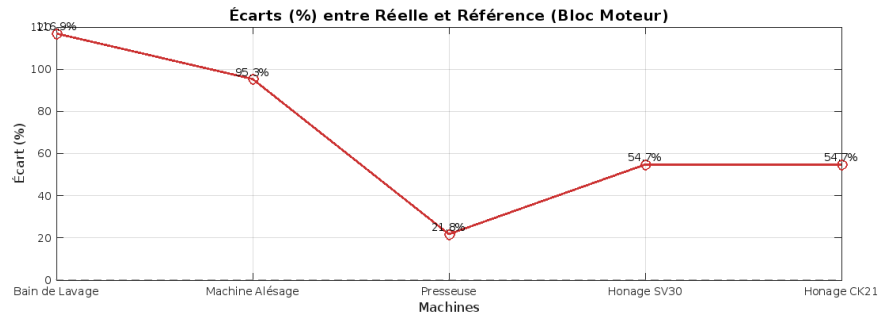


FIGURE 3.14 – Écart de consommation (%) entre réelle et référence de section bloc moteur

Ces écarts peuvent être attribués à :

- Durées de cycles plus longues que prévu , exemple le cycle réel de nettoyage ajusté à 31 min au lieu de 20 min car on a un débit inférieur à celle de fonctionnement nominale de la machine de nettoyage .
- Utilisation continue des machines même en absence de charge : baigns ouverts ou fonctionnement inutile en mode veille des beaucoup des machines .

Benchmarking section bloc culasse

Le Bloc Culasse affiche un écart de +24.7 % entre la consommation réelle et celle de référence. Cet écart est dû principalement au Bain de Lavage (+60.3 %) et au Four (+99.8 %), qui consomment davantage que prévu. Ces machines sont des cibles prioritaires pour des optimisations.

Machine	Consommation Réelle (kWh)	Consommation Référence (kWh)	Écart (%)
Poste Soudure	73.00	52.20	+39.8 %
Four	33.37	16.70	+99.8 %
Fraiseuse (Soupape)	235.20	225.00	+4.5 %
Bain de Lavage	240.38	150.00	+60.3 %
Total Section	647.40	518.90	+24.7 %

TABLE 3.9 – Benchmark détaillé : Section Bloc Culasse

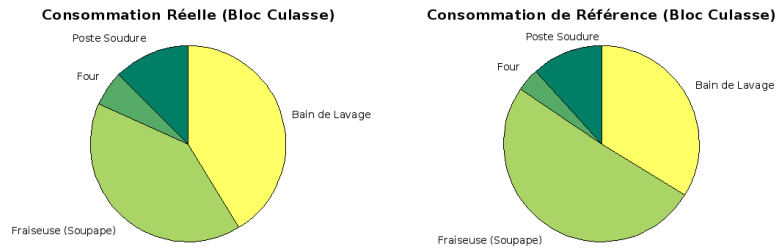


FIGURE 3.15 – Répartition des consommations journalières dans la section bloc culasse

- Les écarts significatifs proviennent du bain de lavage (+60.3 %) et du four (+99.8 %).

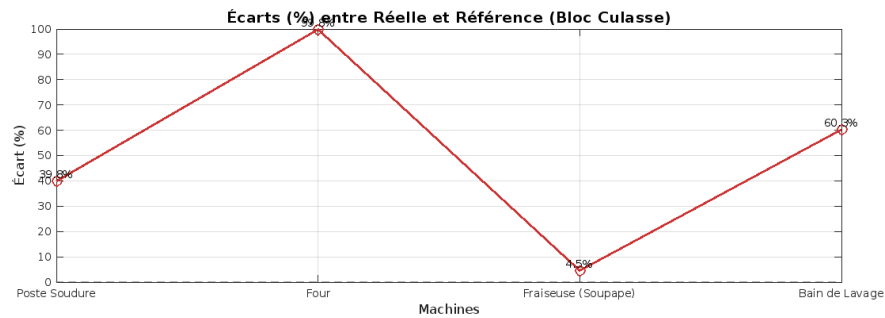


FIGURE 3.16 – Écart de consommation (%) entre réelle et référence de section bloc culasse

- Les cycles réels sont plus longs que les cycles de référence, augmentant l'énergie consommée, c'est le cas de bain de nettoyage bloc culasse, car le débit de produit nettoyant assez insuffisant au besoin nominale du machine.
- Perte énergétique due à une gestion inefficace, comme l'injection continue de produits chimiques en l'absence de pièces (observé lors de notre visites sur site).

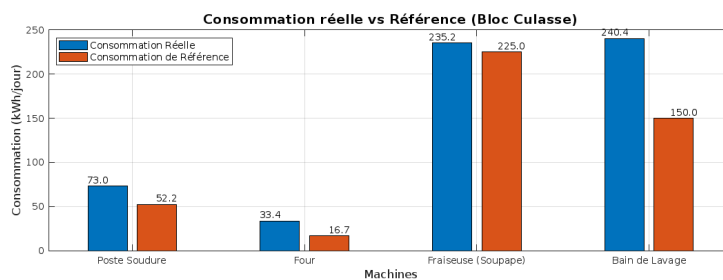


FIGURE 3.17 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de section bloc culasse

Benchmarking section rectification

La section Rectification présente un écart notable de +46.7 % entre la consommation réelle et la consommation de référence. Les machines les plus énergivores de cette section, comme le Machine de Chromage (+96.9 %) et le Polissage (+99.1 %), sont responsables de cette déviation. Une optimisation du fonctionnement de ces machines pourrait permettre de réduire considérablement la consommation.

Machine	Consommation Réelle (kWh)	Consommation Référence (kWh)	Écart (%)
Machine Chromage	53.15	27.00	+96.9 %
Machine Polissage	46.60	23.40	+99.1 %
Rectification Berco	38.20	29.10	+31.3 %
Machine Honage Bille	17.20	12.00	+43.3 %
Total Section	255.32	174.01	+46.7 %

TABLE 3.10 – Benchmark détaillé : Section Rectification

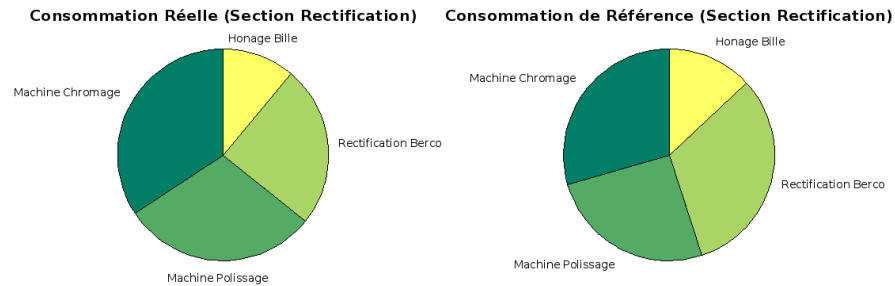


FIGURE 3.18 – Répartition des consommations journalières dans la section rectification

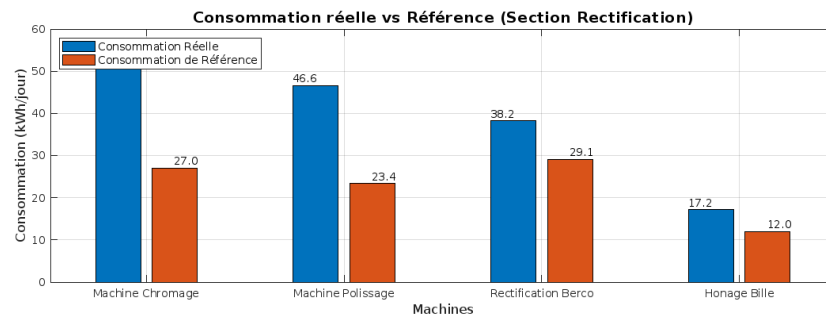


FIGURE 3.19 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de section rectification

- Les plus grands écarts sont observés sur les machines de chromage (+96.9 %) et de polissage (+99.1 %).

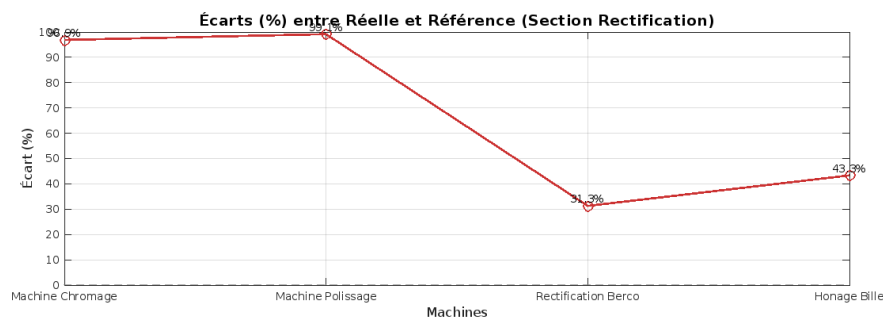


FIGURE 3.20 – Écart de consommation (%) entre réelle et référence de section rectification

- Fonctionnement inutile des équipements en dehors des périodes actives (pompes et machines non arrêtées en mode veille).

Benchmarking Détaillé : Section Sous-sol

La section Sous-sol présente un écart de +26.6 %, avec une consommation particulièrement élevée de la chaudière électrique, qui représente une grande part de cette déviation. Les pompes, bien qu'elles soient relativement efficaces, consomment également de manière régulière. Optimiser la chaudière et la gestion des pompes permettrait de réduire la consommation globale de cette section.

Machine	Consommation Réelle (kWh)	Consommation Référence (kWh)	Écart (%)
Chaudière électrique	768.00	768.00	0 %
Pompe Bain de bloc moteur	40.00	11.25	255.6 %
Pompe Bain de Culasse	40.00	18.75	113.3 %
Pompe pour Chromage	40.00	7.50	433.3 %
Pompe pour Polissage	40.00	7.5	433.3 %
Pompe pour Peinture	40.00	7.50	433.3 %
Pompe pour Montage	40.00	30.00	33.3 %
Total Section	1048.00	850.50	+23.22 %

TABLE 3.11 – Benchmark détaillé : Section Sous-sol

La **chaudière électrique** représente une grande partie de la consommation réelle, tandis que les **pompes**, bien qu'elles semblent efficaces, consomment de manière régulière.

- Le graphique circulaire montrera la répartition des consommations réelles des différents équipements dans la section Sous-sol. Chaque machine représentera une part proportionnelle à sa consommation.

FIGURE 3.21 – Répartition des consommations journalières dans la partie sous-sol

- Graphe circulaire : Il montre la répartition des consommations réelles (en kWh) entre les différentes machines. La chaudière électrique domine clairement cette répartition.
- Graphique en barres (Répartition réelle vs référence) : Un diagramme en barres côte à côte peut comparer la consommation réelle et de référence pour chaque machine afin d'identifier visuellement les écarts.

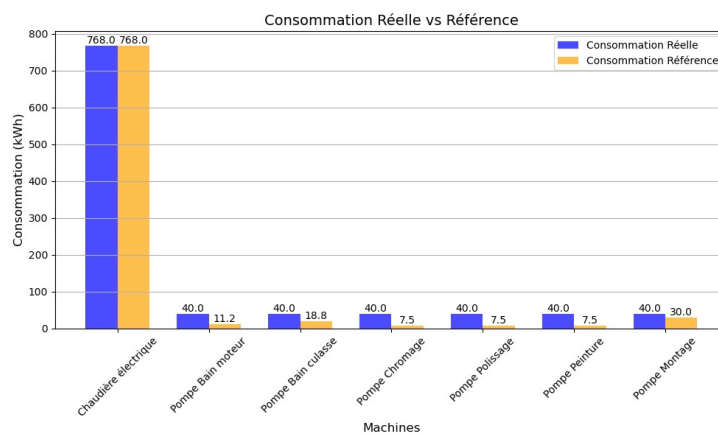


FIGURE 3.22 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) des machines de partie sous-sol

- Graphique en barres : Il compare la consommation réelle et la consommation de référence pour chaque machine. Cela met en évidence l'alignement parfait entre les deux pour toutes les pompes, tandis que l'écart global est lié à la chaudière électrique

Benchmark détaillé : Éclairage

Machine	Consommation Réelle (kWh)	Consommation Référence (kWh)	Écart (%)
Chaudière électrique	288.00	48.00	500 %
Total Section	288.00	48.00	500 %

TABLE 3.12 – Benchmark détaillé : Éclairage

Il existe un écart très très important , de 500 % , entre la consommation réelle et la consommation de référence. Les lampes utilisées dans l’usine sont de type tungstène, connues pour leur forte consommation d’énergie et leur faible efficacité lumineuse, tandis que la référence repose sur des lampes LED, qui sont économes en énergie et offrent un meilleur éclairage. Cet écart met en évidence une mauvaise gestion de l’énergie.

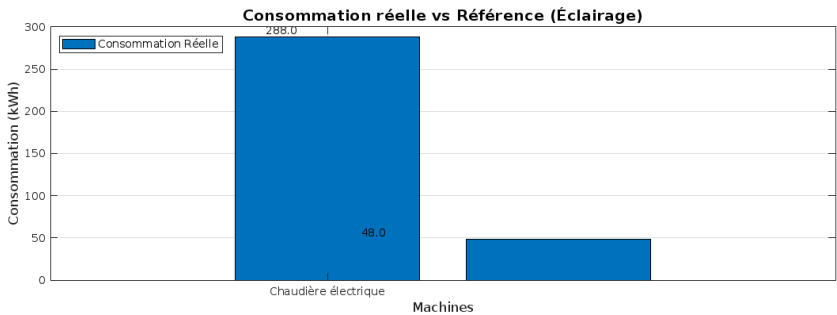


FIGURE 3.23 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) de l’éclairage

Benchmarking Détaillé : Bureau administratif

Machine	Consommation Réelle (kWh)	Consommation Référence (kWh)	Écart (%)
Ordinateur bureau	10.4	10.4	0 %
Imprimante	0.09	0.06	50.00 %
Climatisation	28.00	14	100 %
Total Section	38.49	24.46	57.36 %

TABLE 3.13 – Benchmark détaillé : département administratif

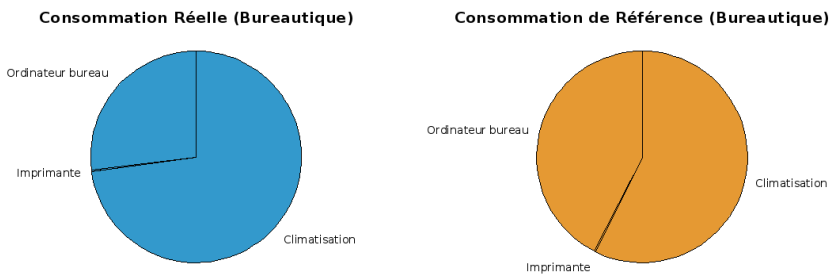


FIGURE 3.24 – Répartition des consommations journalières dans le département administratif

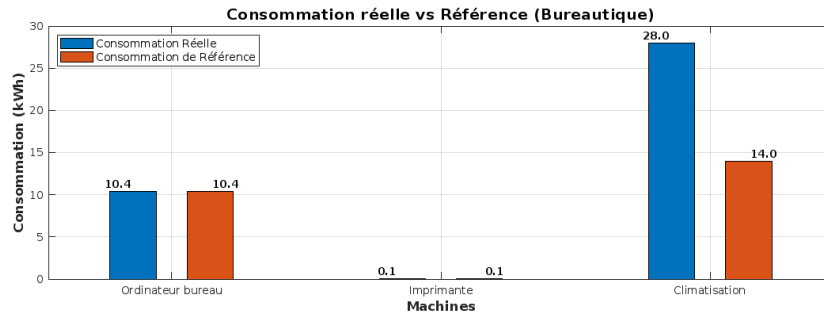


FIGURE 3.25 – Graphique comparative des consommations journalières (E_{jour}) de département administratif

- **Performance conforme :**

L'ordinateur de bureau respecte parfaitement les attentes de référence, démontrant qu'il fonctionne de manière efficace.

- **Petits écarts acceptables :**

L'écart de 50 % pour l'imprimante, bien que significatif en pourcentage, représente un faible impact absolu (0.03 kWh) sur la consommation totale. Cet écart est attribué au mode veille de l'imprimante.

- **Point critique :**

La climatisation consomme 14 kWh de plus que la référence, ce qui constitue 72.7 % de la consommation réelle totale. Cet écart indique un problème potentiel d'efficacité énergétique. En effet, cet écart indique que la puissance du climatiseur n'est pas adaptée à la surface du bureau : la surface du bureau est inférieure à 20 m², tandis que la puissance du climatiseur installé est de 3,5 kW, ce qui correspond à une surface d'environ 30 m².

Conclusion

- Aucune machine ne présente d'écart entre la consommation réelle et de référence.
- L'écart total mentionné de +26.6% dans la section globale semble erroné ou causé par une donnée manquante ailleurs. Si besoin, nous pouvons révéifier les chiffres globaux pour clarifier.

3.3 Identifier les systèmes à améliorer

Toutes les sections, ayant des niveaux de consommation relativement similaires, sont liées à notre objectif principal de proposer des recommandations qui ne requièrent pas d'investissement financier. Étant donné que l'objectif initial était de privilégier des solutions sans coût, toutes les sections sont intégrées dans le processus d'audit énergétique et d'amélioration des pratiques. Cette approche vise à analyser et à optimiser les consommations sans engager de dépenses supplémentaires. Par conséquent, l'amélioration de l'efficacité énergétique est appliquée de manière cohérente à chaque section, contribuant ainsi à une réduction globale de la consommation énergétique de l'ensemble de l'entreprise.

Chapitre 4

Plan de diagnostique

4.1 Recommandation

Cette analyse repose sur la norme ISO 16247-1, qui exige une évaluation des consommations énergétiques actuelles, une identification des opportunités d'optimisation et un calcul précis du retour sur investissement des solutions proposées. Les actions sont regroupées en deux catégories : celles qui ne nécessitent pas d'investissement et celles nécessitant un investissement initial.

4.1.1 Recommandations sans investissement

Ces mesures peuvent être mises en œuvre immédiatement sans coûts financiers directs. Elles sont axées sur une gestion optimisée de l'énergie existante.

Éteindre les machines lorsqu'elles ne sont plus utilisées (ne pas les laisser en mode veille)

La norme NF EN 16247-1 encourage l'identification des sources de consommation énergétique inutiles afin de proposer des solutions adaptées pour les réduire. Laisser les machines en mode veille génère une consommation cachée , qui contribue à une surconsommation énergétique sans réelle utilité .

Dans notre cas d'étude , cette consommation en mode veille représente en moyenne jusqu'à 12 % de la consommation totale figurant sur les factures d'électricité .

Pour pallier ce problème , il est essentiel d'**éteindre systématiquement les machines après leur utilisation** . Cette mesure simple et facile à appliquer ne nécessite pas d'investissements importants, mais elle peut avoir un impact significatif sur la réduction de la consommation énergétique globale de l'entreprise. En plus de diminuer les coûts, cette action contribue à une meilleure efficacité énergétique, s'inscrivant pleinement dans une démarche de développement durable.

Changer la position des machines nécessitant un débit de liquide

La norme NF EN 16247-1 met en avant l'importance d'optimiser les processus industriels en identifiant les pertes énergétiques, notamment celles liées au transport de fluides (eau, huiles, produits chimiques, etc.). Ces pertes, qu'elles soient singulières (causées par des coudes, vannes ou rétrécissements) ou linéaires (liées à la longueur et aux matériaux des conduites), augmentent la résistance au passage des

liquides.

Ces pertes de charge réduisent le débit effectif dans les machines, augmentent la consommation énergétique des pompes, et prolongent les cycles de fonctionnement des équipements. En conséquence, elles diminuent la productivité des machines et accroissent les coûts d'exploitation. Les études montrent que ces pertes peuvent augmenter la consommation énergétique des pompes d'environ 6 % en moyenne . Pour réduire ces pertes il faut repositionner les machines nécessitant un débit de liquide (par exemple, les machines de nettoyage de blocs moteur et culasse, les machines de chromage et de polissage) afin de réduire la longueur des tuyauteries .C'est d'optimiser la configuration des conduites en privilégiant des parcours plus directs, en réduisant le nombre de coudes ou d'obstacles .

Cette intervention permet non seulement d'améliorer le débit et d'augmenter l'efficacité des machines, mais aussi de réduire les cycles de fonctionnement et, par conséquent, la consommation énergétique globale. Cela s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue des performances énergétiques de l'entreprise. Ainsi , cette solution est mieux que d'acheter des nouvelles pompes plus puissante que celle l'ancienne.

Sensibiliser les employés aux économies d'énergie

La norme NF EN 16247-1 insiste sur l'importance d'impliquer le personnel dans les initiatives d'amélioration de l'efficacité énergétique. En effet, les comportements des employés jouent un rôle crucial dans la consommation d'énergie de l'entreprise. De simples gestes, tels que l'extinction des machines inutilisées ou une meilleure gestion des ressources, peuvent considérablement réduire les gaspillages énergétiques. Ainsi, une sensibilisation ciblée peut avoir un impact significatif sur la réduction des coûts énergétiques et sur les performances globales de l'organisation.

Pour promouvoir une culture d'économie d'énergie :

- Évaluer le niveau actuel de sensibilisation des employés :
- Mener des enquêtes ou organiser des ateliers pour identifier les lacunes en matière de connaissances énergétiques et les pratiques inefficaces.
- Former les employés sur les bonnes pratiques, telles que :
 - Éteindre systématiquement les machines inutilisées.
 - Réduire les gaspillages énergétiques dans les opérations quotidiennes.
- Réaliser l'entretien préventif des équipements pour maintenir leur efficacité .

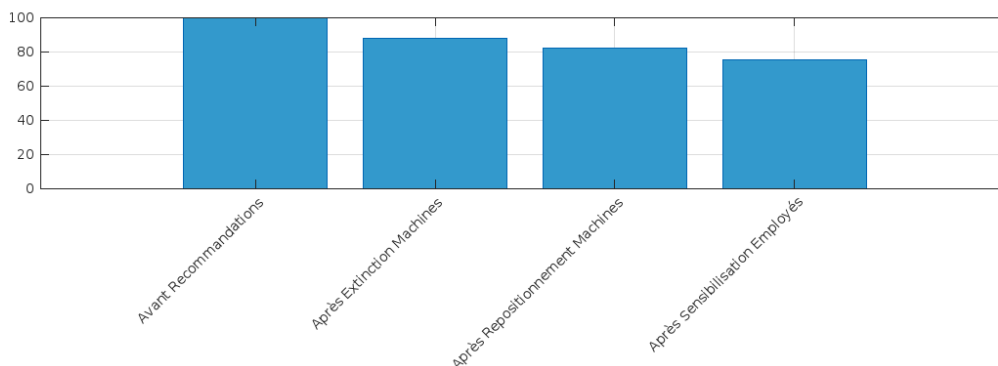


FIGURE 4.1 – Influence de quelques recommandations sur la consommation énergétique

4.1.2 Recommandations spécifiques pour chaque section

Section Bloc Moteur

En se basant sur l'analyse de la consommation, tel que la section bloc moteur présente une consommation élevée en mode actif (358,8 kWh/jour) et une consommation notable en mode veille (84,54 kWh/jour).

Ainsi, l'écart entre la consommation totale et la consommation de référence de la section bloc moteur est de 47,4 %. Dans ce contexte, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

- Optimisation de la gestion opérationnelle :

- Limiter les heures de fonctionnement à celles strictement nécessaires.
- Regrouper les tâches énergivores pour éviter des démarrages fréquents (réduction des pertes d'énergie).

- Réduction de la consommation en veille :

- Éteindre complètement les moteurs après la fin des tâches.
- Mettre en œuvre des protocoles de vérification en fin de journée pour s'assurer que les équipements sont hors tension.

- Suivi énergétique :

- Mesurer régulièrement la consommation avec des relevés manuels pour identifier les pics ou gaspillages énergétiques.

Section Bloc Culasse

La section bloc culasse affiche une consommation énergétique élevée en mode actif (582,65 kWh/jour) et significative en mode veille (64,475 kWh/jour). L'écart entre les consommations total et référence est de 24,7 %. Dans ce contexte, les recommandations suivantes peuvent être envisagées :

- Amélioration des procédures de travail :

- Planifier les opérations pour éviter les temps d'arrêt inutiles où les machines restent en veille.
- Ajuster les paramètres des machines (température, pression, etc.) pour un fonctionnement à pleine efficacité.

- Réduction des pertes énergétiques :

- Identifier et minimiser les fuites énergétiques (par exemple, l'air comprimé ou la chaleur résiduelle).
- Nettoyer et entretenir régulièrement les machines pour améliorer leur rendement.

- Système de sensibilisation : Former le personnel à optimiser l'utilisation des équipements en fonction des besoins.

Section Rectification

La section rectification présente une consommation modérée mais significative en mode actif (184,24 kWh/jour) ainsi qu'en mode veille (86,11 kWh/jour). L'écart entre la consommation totale et la référence associée à cette section est de 46,7 %. Dans ce contexte, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

- Réduction du temps d'inactivité des machines : Stopper les machines dès qu'elles ne sont pas en service pour éviter une surconsommation en veille.
- Rationalisation des tâches : Regrouper les travaux de rectification pour minimiser les cycles de démarrage/arrêt des machines.
- Suivi des équipements : Vérifier régulièrement les paramètres de fonctionnement pour s'assurer que les machines ne consomment pas d'énergie inutilement.

Partie Sous-Sol

La section sous-sol présente la consommation la plus élevée, tant en mode actif (834,78 kWh/jour) qu'en veille (155,3 kWh/jour). L'écart entre la consommation réelle et la référence associée à cette section est de 23,22 %. Dans ce contexte, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

- Éclairage et ventilation :
 - Limiter l'éclairage aux zones occupées uniquement.
 - Réduire l'utilisation des systèmes de ventilation en fonction des besoins réels (ajustement des plages horaires).
- Processus énergivores :
 - Identifier les équipements utilisant le plus d'énergie (pompes, systèmes de climatisation) et ajuster leur fonctionnement.
 - Mieux organiser les tâches pour réduire le temps total d'utilisation.
- Routines de contrôle : Mettre en place un protocole journalier de contrôle pour éteindre tout équipement non utilisé après les heures d'activité.

Département Administratif

Le département administratif présente une faible consommation en mode actif (38,49 kWh/jour) et une consommation négligeable en mode veille (0,03 kWh/jour). Cependant, l'écart entre la consommation réelle et la consommation de référence est significatif, à hauteur de 57,35 %. Dans ce contexte, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

- Ordinateurs et appareils électroniques :

- Activer les modes "économie d'énergie" sur les ordinateurs et équipements électroniques.
 - Éteindre tous les appareils (imprimantes, écrans, etc.) après les heures de travail.
- Réduction de l'éclairage :
- Encourager l'utilisation de la lumière naturelle.
 - Éteindre l'éclairage des bureaux et zones inutilisées en fin de journée.
- Sensibilisation du personnel : Organiser des campagnes internes pour inciter le personnel à adopter des pratiques économes en énergie.

Éclairage Général

La consommation est stable mais significative en mode actif (288 kWh/jour) pour le département Éclairage, tandis que l'écart entre la consommation réelle et la consommation de référence est extrêmement élevé, avec une différence proche de 500 %. Dans ce contexte, les recommandations suivantes peuvent être proposées :

- Utilisation rationnelle :
- Éteindre les lumières dans les zones non occupées (couloirs, entrepôts).
 - Limiter l'éclairage aux horaires où la lumière naturelle est insuffisante.
- Optimisation de l'intensité : Ajuster l'intensité lumineuse des espaces en fonction des besoins (par exemple, réduire la luminosité dans les zones où un éclairage fort n'est pas nécessaire).

Remarque : cette recommandation permet de réduire légèrement la consommation, mais une solution plus efficace nécessiterait un investissement.

Résumé

En résumé, le résultat des recommandations est illustré par ce graphique.

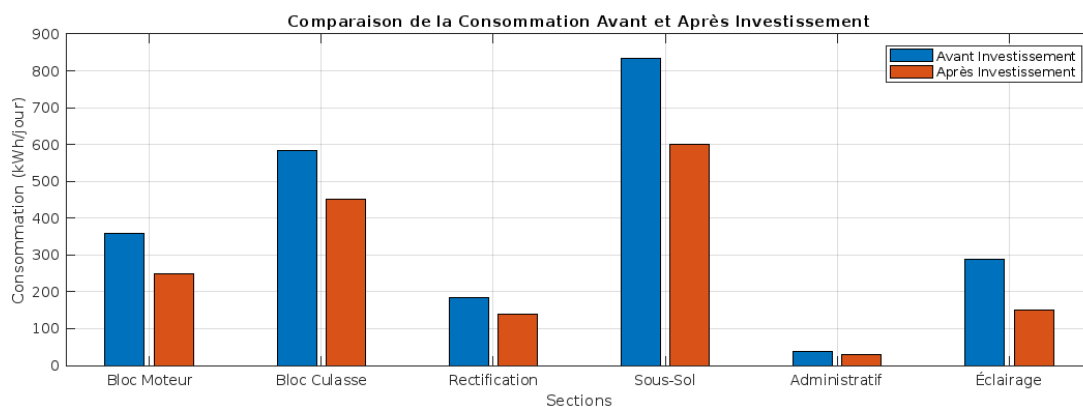


FIGURE 4.2 – Comparaison de la consommation avant et après recommandation

4.1.3 Recommandations avec investissement

Ces recommandations nécessitent un financement initial, mais elles offrent des économies substantielles à long terme. Le calcul du **ROI** permet de déterminer la rentabilité de chaque solution.

Remplacement des éclairages par des LEDs

- **Coût total d’investissement** : $288 \times 30 = 8,640\ TND$.
- **Économies annuelles** : $69,120\ kWh/an \times 0.25\ TND/kWh = 17,280\ TND/an$.
- **Temps de retour** : $ROI = \frac{8,640}{17,280} = 0.5\ an\ (6\ mois)$.

Installation de variateurs de vitesse pour les pompes

- **Coût total d’investissement** : $7 \times 2,500 = 17,500\ TND$.
- **Économies annuelles** : $3,255\ kWh/an \times 0.25\ TND/kWh = 813.75\ TND/an$.
- **Temps de retour** : $ROI = \frac{17,500}{813.75} = 21.5\ ans$.

Isolation thermique et optimisation de la chaudière électrique

- **Coût total d’investissement** : $10,000 + 50,000 = 60,000\ TND$.
- **Économies annuelles** : $76,800\ kWh/an \times 0.25\ TND/kWh = 19,200\ TND/an$.
- **Temps de retour** : $ROI = \frac{60,000}{19,200} = 3.125\ ans\ (3\ ans\ et\ 1\ mois)$.

Synthèse des recommandations avec ROI

Investissement	Coût (TND)	Économies annuelles (TND)	Temps de retour (ans)
Remplacement des lampes par LEDs	8,640	17,280	0.5
Variateurs de vitesse pour pompes	17,500	813.75	21.5
Isolation + pompe à chaleur	60,000	19,200	3.1

TABLE 4.1 – Synthèse des recommandations avec ROI

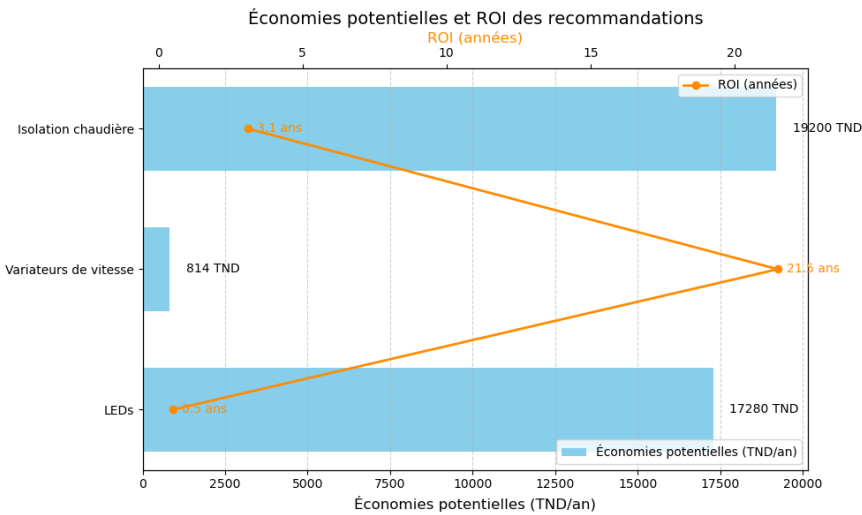


FIGURE 4.3 – Économies potentielles et ROI des recommandations (graphique combiné).

Comparaison de la consommation énergétique avant et après les recommandations avec investissement

Équipement/Action	Consommation avant (kWh/an)	Consommation après (kWh/an)	Réduction (%)
Remplacement des éclairages par des LEDs	86,400	17,280	80 %
Installation de variateurs de vitesse	16,275	13,020	20 %
Optimisation de la chaudière électrique	307,200	230,400	25 %
Total	409,875	260,700	36.4 %

TABLE 4.2 – Comparaison de la consommation énergétique avant et après les recommandations avec investissement

Explications des recommandations avec investissement

- **Remplacement des éclairages par des LEDs** : Cette mesure consiste à remplacer les lampes existantes par des LEDs à haut rendement. Les LEDs consomment beaucoup moins d'énergie tout en offrant la même luminosité, ce qui permet de réaliser des économies substantielles sur la consommation électrique.
- **Installation de variateurs de vitesse** : L'installation de variateurs de vitesse permet de moduler la vitesse des moteurs et des pompes en fonction des besoins réels. Cela réduit la consommation d'énergie en ajustant la vitesse de fonctionnement pour éviter les surconsommations lorsque la demande est faible.
- **Optimisation de la chaudière électrique** : Cette mesure comprend l'amélioration de l'isolation thermique de la chaudière et l'optimisation de son efficacité énergétique. En limitant les pertes thermiques et en améliorant le rendement de la chaudière, cette action permet de réduire la consommation d'énergie nécessaire pour atteindre la température souhaitée.

Résumé

Ce tableau présente les actions nécessitant un investissement initial. Ces mesures entraînent des économies substantielles, avec une réduction de la consommation énergétique de **36,4%**. Ces actions comprennent le remplacement des éclairages par des LEDs à haut rendement, l'installation de variateurs de vitesse pour les moteurs et la pompe, ainsi que l'optimisation de la chaudière électrique.

4.2 Conclusion

- Les **éclairages LEDs** offrent un excellent retour sur investissement rapide (**6 mois**) et doivent être priorités.
- Les **variateurs de vitesse** ont un ROI élevé mais sont adaptés à une approche plus à long terme (réduction de l'usure des équipements et amélioration des performances).
- L'**optimisation de la chaudière électrique** représente un investissement stratégique avec un ROI de **3 ans et 1 mois**, idéal pour une mise en œuvre à moyen terme.

En combinant des mesures immédiates et un investissement dans des technologies à long terme, les économies d'énergie seront maximisées, garantissant ainsi la durabilité des installations et contribuant à la transition énergétique de manière efficace.

4.3 Hypothèse de bénéficiaire

En appliquant ces différentes recommandations, il est possible d'obtenir des économies d'énergie significatives et d'améliorer l'efficacité énergétique globale de l'entreprise.

Tout d'abord, éteindre les machines non utilisées, plutôt que de les laisser en mode veille, peut entraîner une réduction d'au moins 10 % de la consommation énergétique. En effet, le mode veille génère une consommation cachée qui, bien qu'elle puisse sembler négligeable au quotidien, s'accumule sur le long terme et pèse lourdement sur la facture énergétique. Éteindre les machines après leur utilisation permet donc d'éviter cette consommation inutile et d'optimiser l'énergie disponible, sans coûts supplémentaires. Cette mesure est facile à mettre en place et ne nécessite aucun investissement, ce qui en fait une solution immédiate et très efficace pour réduire les dépenses énergétiques.

Ensuite, remplacer l'éclairage existant par des ampoules LED permettrait de réaliser une économie d'environ 7 % de la consommation énergétique. Les ampoules LED consomment beaucoup moins d'énergie que les ampoules traditionnelles tout en offrant la même intensité lumineuse. Ce changement, bien qu'il nécessite un investissement initial, offre un retour sur investissement rapide en raison de la réduction significative de la consommation d'énergie. De plus, les LEDs ont une durée de vie plus longue et nécessitent moins de maintenance, ce qui contribue également à la réduction des coûts opérationnels à long terme.

Enfin, en réajustant la position des machines, notamment celles nécessitant un débit de fluide (comme les pompes ou les machines de nettoyage), il est possible de réduire jusqu'à 6.5 % de la consommation d'énergie. Cette optimisation vise à minimiser les pertes liées à la friction dans les conduites et à améliorer l'efficacité du transport des fluides. En réduisant le nombre de coudes, de rétrécissements ou en rapprochant les machines des points de consommation, on diminue la résistance au passage des liquides et, par conséquent, la consommation énergétique des pompes. Ce type d'intervention, bien que demandant une reconfiguration des installations, peut avoir un impact majeur sur l'efficacité énergétique des machines.

En combinant ces trois actions simples mais efficaces, l'entreprise peut réaliser une réduction globale significative de sa consommation énergétique, améliorant ainsi sa performance énergétique tout en contribuant à ses objectifs de durabilité.

Pour calculer l'économie totale, on peut utiliser une méthode additive simplifiée, en supposant que ces économies sont indépendantes les unes des autres et agissent de manière cumulative.

- Première réduction : 10 % \rightarrow nouvelle consommation = 90 % de la consommation initiale
- Deuxième réduction : 7 % \rightarrow nouvelle consommation = 93 % de 90 % = 83,7 % de la consommation initiale
- Troisième réduction : 7 % \rightarrow nouvelle consommation = 93 % de 83,7 % = 78,0 % de la consommation initiale

Ainsi, la réduction totale est de $100 \% - 78 \% = 22 \%$.

En conclusion, en appliquant les trois mesures recommandées, il est possible de réduire la consommation énergétique globale de 22 %.

Chapitre 5

Conclusion

Synthèse des résultats

Cet audit énergétique réalisé au sein de VEGE Moteurs Tunisie a permis de mettre en lumière des opportunités significatives d'amélioration. Voici les principaux résultats :

Réduction des pertes énergétiques :

Des actions telles que l'optimisation des plages horaires et le remplacement d'équipements obsolètes pourraient permettre une économie estimée à 20% sur la facture énergétique annuelle.

Augmentation de l'efficacité énergétique :

L'installation de moteurs plus performants et l'amélioration des procédés industriels amélioreront le rendement global.

Engagement environnemental renforcé

Une réduction significative des émissions de CO₂, alignée avec les objectifs de développement durable de l'entreprise.