



Audit énergétique du site de production de MIT CHIMIE CAMEROUN

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Energie et Procédés industriels

Présenté et soutenu publiquement le 17 Octobre 2013 par

Edmond Alfred TALOM SIGHOM

Travaux dirigés par :

Patrice DANGANG

Ingénieur de recherche
Centre Commun de Recherche –
Energie et Habitat Durables (CCREHD)
2iE

Ceres GOUEKEM

Ingénieur du Génie industriel
chef du département maintenance
MIT CHIMIE Cameroun

Jury d'évaluation du stage :

Président : Sayon SIDIBE

Membres et correcteurs : Patrice DANGANG
Madieumbe GAYE

Promotion [2012/2013]

DEDICACES

Merci Papa.

Merci Maman.

REMERCIEMENTS

A mes parents pour tous les sacrifices consentis.

Au Responsable pédagogique du Master ENERGIE ET PROCEDES INDUSTRIELS, le Docteur SIDIBE SANYON pour tous les efforts et les encouragements reçus.

A PATRICE DANGANG, Ingénieur de recherche au Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) du Centre Commun de Recherche Energie et habitat durables de la Fondation 2iE pour avoir accepté de diriger mon travail.

A mon maitre de stage Ceres GOUEKEM, Ingénieur du génie industriel, chef du département maintenance de MIT CHIMIE Cameroun pour le conseil, le soutien et les encouragements.

A Bertrand, Emmanuel, Decroly, Pierrick, Francky et toute la communauté Camerounaise du 2iE pour la bonne ambiance qui a toujours régné entre nous.

A mes frères et sœurs Marcel, Yolande, Delphine, Leonel pour tout le soutien et les encouragements.

A tout le personnel de l'usine de production MIT CHIMIE CAMEROUN, en particulier TCHANA Rodrigue électricien à l'usine MIT CHIMIE Cameroun.

Au personnel enseignant du 2iE pour la qualité des enseignements reçus.

A Marina Stella pour le bonheur que tu m'apportes.

RESUME

Soumis à un environnement socio-économique de plus en plus instable, les industriels du plastique voient en la réduction de la consommation électrique de leur usine un moyen efficace d'accroître leur rentabilité. Le présent document traite des possibilités de réduction de la consommation d'énergie sur les sites de production de produits plastiques. Une fois que les mesures ont été réalisées et le profil énergétique des différents procédés ressorti, nous avons principalement étudié l'influence de la variabilité des paramètres de production sur la consommation électrique des différents postes de transformation. Il apparaît que la stabilité des process de production est la règle à suivre pour optimiser la consommation d'électricité dans les usines de fabrication de produits plastiques.

Mots-clés : procédés plasturgiques, économie d'énergie dans l'industrie, optimisation des procédés, système de gestion de l'énergie.

ABSTRACT

Subject to a socio-economic environment of increasingly volatile, industrial plastic see in reducing the power consumption of their plant an effective way to increase profitability. This paper discusses the potential for reducing energy on production sites plastics consumption. Once the measurements have been carried out and the energy profile of different methods emerged, we mainly studied the influence of the variability of production parameters on the power consumption of different substations. It appears that the stability of the production process is the rule to follow to optimize the power consumption in the manufacturing of plastic products.

Key-words: plasturgic process, economical energy in industry, process optimization, energy management system

LISTE DES ABREVIATIONS

AES –SONEL	:	All Energy Solution-Société National d'électricité.
ADEME	:	Agence pour le développement et la maitrise de l'énergie
CES	:	Consommation d'Energie Spécifique
LLDPE	:	Low Linear Density Polyethylene
PET	:	Polyethylene

SOMMAIRE

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
SOMMAIRE	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES PHOTOS	ix
I. INTRODUCTION	1
II. PRESENTATION, CONTEXTE ET OBJECTIFS	2
1. Présentation MIT CHIMIE CAMEROUN.....	2
2. Contexte et justification	3
3. Objectifs	5
III. METHODOLOGIE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNEES.....	6
IV. ANALYSE DES RESULTATS ET OPTIMISATION DES PROCEDES DE PRODUCTION	11
1. Optimisation de la facture électrique	11
a. État des lieux	11
b. Potentialités d'économies	12
c. Recommandations et conclusion.	16
2. Le procédé d'injection.....	16
a. Présentation du procédé.....	16
b. Présentation du matériel	17
c. Analyse énergétique du procédé.....	18
d. Optimisation énergétique du process injection.....	21

3. Le procédé d'extrusion.....	25
a. Présentation du process	25
b. Présentation du matériel	26
c. Analyse énergétique du process.	27
d. Optimisation	29
4. Le procédé d'injection soufflage.....	33
a. Présentation du process.	33
b. Présentation du matériel	34
c. Analyse énergétique du process	35
d. Optimisation énergétique du process.....	38
5. Imprimerie découpe.....	40
a. Présentation du process.	40
b. Présentation du matériel	40
c. Analyse énergétique du process.	41
d. Optimisation énergétique du process.....	41
6. Les utilités	41
a. L'air comprimé	41
b. Eclairage	45
c. La production d'eau glacée.....	47
7. Système de gestion de l'énergie	48
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	50
VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
VII. ANNEXES	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Surface occupée par les différents services de MIT CHIME CAMEROUN.	2
Tableau 2: Répartition du personnel DE MIT CHIMIE CAMEROUN.	3
Tableau 3: augmentation du coût de l'électricité de Décembre 2011 à Janvier 2012.	4
Tableau 4: Objectif global	5
Tableau 5: objectifs spécifiques.	5
Tableau 6: consommation d'énergie spécifique par procédé issue du projet RECIPE.	7
Tableau 7: puissance installée : usine, bureaux, magasins.	11
Tableau 8: Détail facturation électrique MIT CHIMIE CAMEROUN.	12
Tableau 9 : proportions des différentes composantes de la facture d'électricité.	12
Tableau 10: Appel de courant journalier sur le site de production	14
Tableau 11 : Production et consommation mensuelle pendant les heures de pointes et pendant les heures creuses.	15
Tableau 12 : Puissance installée à l'injection	17
Tableau 13 : production et consommation d'énergie du procédé d'injection	18
Tableau 14 : constantes énergétiques du procédé injection	18
Tableau 15 : Variation de la consommation électrique d'un cycle d'injection en fonction de la charge.	20
Tableau 16: correspondance presse –moule en fonction de la force de fermeture de la presse.	23
Tableau 17 : Economie d'énergie réalisable après isolation des fourreaux de presse.	24
Tableau 18 : Puissance installée extrusion	26
Tableau 19 : Production et consommation d'électricité extrusion	27
Tableau 20 : constantes énergétiques du procédé extrusion	27
Tableau 21 : Puissance installée soufflage	34
Tableau 22 : Production et consommation d'électricité au soufflage de Décembre 2012 à Juin 2013.	35
Tableau 23 : Constante énergétique du procédé de soufflage	35

<i>Tableau 24 : Appel de courant sur un cycle de soufflage en fonction du temps</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 25 : Consommation électrique du moteur de la souffleuse en fonction de la pression de soufflage</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 26 : Valeurs recommandées et valeurs réelles de production sur le procédé de soufflage.</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 27 : Puissance installée découpe imprimerie.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 28 : Puissance installée air comprimé</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 29 : Répartition des lampes sur le site de production.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 30 : Eclairage mesure à chaque poste de transformation.....</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 31 : Puissance installée production d'eau glacée.....</i>	<i>47</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : variation de la consommation d'énergie spécifique de MIT CHIMIE CAMEROUN de Décembre 2012 à Juin 2013 en kWh/kg.</i>	4
<i>Figure 2 : variation de la puissance appelée par rapport à la puissance souscrite de</i>	13
<i>Figure 3 : Etapes successives du procédé d'injection</i>	19
<i>Figure 4 : Variation de l'appel de courant en fonction du temps sur un cycle de production</i>	19
<i>Figure 5 : pourcentage de la consommation globale de chaque composante sur un cycle d'injection.....</i>	21
<i>Figure 6: Etapes successives du procédé d'extrusion</i>	28
<i>Figure 7: Proportion de la consommation globale de chaque poste à l'extrusion.....</i>	29
<i>Figure 8 : Proportion sur la consommation globale de chaque composante sur un cycle de soufflage.</i>	36

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo 1: préformes 35g.</i>	16
<i>Photo 2 : (a) Presse à injection ; (b) Moule préformes 35g.</i>	17
<i>Photo 3 : cuve de préchauffe du polymère a l'injection.....</i>	24
<i>Photo 4: extrudeuse EX1 en pleine production.</i>	26
<i>Photo 5: gaines plastiques (55mm × 25µm).</i>	28
<i>Photo 6 : Moteur extrudeuse : (a) EX 1, (b) EX 6.....</i>	30
<i>Photo 7 : Nouveau moteur pour extrudeuse sans système d'entraînement mécanique</i>	32
<i>Photo 8 : (a) système de préchauffe des préformes (b) moule bouteille PET 1 l orinaire.....</i>	34
<i>Photo 9 : Imprimeuse industrielle</i>	40
<i>Photo 10 : Compresseur à air RIBAO</i>	42
<i>Photo 11 : Le poste de soufflage avec son éclairage</i>	45

I. INTRODUCTION

Initier un projet d'audit énergétique dans une industrie peut être motivé par de multiples raisons, mais la principale pour le secteur de la plasturgie, est d'ordre économique. Avec des coûts énergétiques sans cesse croissants, le prix des matières premières qui augmente, rationaliser la consommation d'énergie sur les sites de transformation devient un impératif pour les industries du secteur. Comme pour la plupart des industries, le contrôle des coûts (matière-première et énergie consommée) est nécessaire pour la pérennité de l'activité et la rentabilité de l'entreprise.

Les coûts énergétiques peuvent être contrôlés et souvent réduits, en mettant en application des mesures ne nécessitant pas d'investissements significatifs. Dans beaucoup de cas des améliorations peuvent être apportées sans surcoût, en introduisant de légers changements au niveau d'un process ou d'un équipement afin d'en optimiser la performance.

Les opportunités d'améliorer l'efficacité énergétique offrent des avantages à court et long termes. Il revient à l'entreprise de prendre des décisions rationalisant l'utilisation de l'énergie sur son site de transformation. Ces décisions joueront un rôle important dans un contexte de plus en plus concurrentiel où de nouveaux acteurs (multinationale du plastique) arrivent sur le marché possédant des technologies et des méthodes de management plus évolués.

MIT CHIMIE CAMEROUN, PME exerçant dans le domaine de la plasturgie s'est engagée dans cette voie d'économie d'énergie en réalisant un audit énergétique complet de son site de production. Ça a été pour elle l'occasion de faire un check up de tous les postes consommateurs d'énergie et de désigner les points sensibles où des économies d'énergie sont réalisables.

La réalisation de cet audit a fait l'objet des six mois de stage que j'ai effectué au sein de l'usine de transformation de MIT CHIMIE CAMEROUN et le présent rapport en donne les résultats. Il s'articule autour de trois grands points. Dans un premier temps nous présenterons l'usine, les enjeux de notre travail et les résultats attendus. La seconde partie sera consacrée à la méthodologie employée tant au niveau de l'acquisition des données que de leur traitement. Enfin nous établirons le listing complet des différents process mis en œuvre dans l'usine avec à chaque fois nos recommandations pour réduire leur consommation d'électricité.

II. PRESENTATION, CONTEXTE ET OBJECTIFS

1. Présentation MIT CHIMIE CAMEROUN

MIT CHIMIE Cameroun est une PME au capital de 150.000.000 FCFA exerçant dans Le domaine de la production de produits plastiques (bouteilles, sachets, pots, gaines). Elle est implantée au sein de la zone industrielle de BASSA à DOUALA sur une superficie de 6000m² réparti comme suit.

Tableau 1: Surface occupée par les différents services de MIT CHIME CAMEROUN.

Usine	3000m ²
Bureaux	500m ²
Entrepôts	2500m ²

MIT CHIMIE CAMEROUN a été construite sur le site de la défunte SOGETCA (société générale de transformation du Cameroun) donc elle a entièrement repris les capacités de production. Quatre procédés de transformation sont mis en œuvre dans l'usine à savoir :

- l'injection : 600 m² de surface occupée, 4 presses à injecter, 141 kW de puissance installée, 1024 tonnes/an de capacité nominale de production.
- l'extrusion : 800 m² de surface occupée, 4 extrudeuses, 157 kW de puissance installée, 1400 tonnes/an de capacité nominale de production.
- le soufflage : 300 m² de surface occupée, 3 souffleuses, 25 kW de puissance installée, 182 tonnes/an de capacité nominale de production.
- découpe - imprimerie : 300 m² de surface occupées, trois découpeuses et une imprimante industrielle, 800 tonnes/an de capacité nominale de production.

A cela s'ajoute un poste de recyclage et tous les périphériques nécessaires à la production : air comprimé, eau glacée, éclairage.

Le site de production fonctionne 7j/7, 24h/24 avec un effectif de 90 personnes réparties comme suit :

Tableau 2: Répartition du personnel DE MIT CHIMIE CAMEROUN.

Exploitation.	Maintenance.	Commercial + Direction.	Entrepôts + Entretien.
4 équipes de 12 personnes qui s'alternent pour chaque quart de production (6h-14h, 14h-22h, 22h-6h).	1 équipe de 4 personnes qui travaillent en service régulier (8h-18h).	19 commerciaux + 4 membres du staff dirigeant qui travaillent en service régulier (8h-18h).	3 magasiniers + 9 manœuvres + 3 mécaniciens camions.

L'entreprise a à sa tête un directeur général qui définit la stratégie et veille à sa mise en applications par l'ensemble du personnel .Il a sous son autorité trois services distincts et complémentaires :

- L'usine avec à sa tête un chef d'usine dont le rôle est de coordonner les moyens humains et matériels pour atteindre les objectifs de production tout en assurant la sécurité et le bien être des équipes. Il est assisté par quatre chefs de quart et le chef du service maintenance.
- le staff commercial avec à sa tête un directeur commercial dont le rôle est de satisfaire les clients dans leur exigences, assurer l'approvisionnement de l'usine en matières premières, rechercher de nouveau clients et maintenir l'image de marque de l'entreprise auprès de ces partenaires.
- les entrepôts et magasins avec à leur tête un chef magasinier dont le rôle est d'assurer la disponibilité, la comptabilité, et la qualité des marchandises entreposées (matières premières et produits finis).

2. Contexte et justification

Il s'agit ici de faire ressortir les raisons qui ont motivées l'administration à initier et soutenir cet audit. Nous en comptons quatre principales à savoir :

- ***constante dégradation de la consommation d'énergie spécifique (CES) du site de production :***

Le graphique suivant récapitule la variation de la consommation d'énergie spécifique du site de production(en KWh/Kg). Elle est comparée pour chaque mois à celle issue du projet RECIPE.

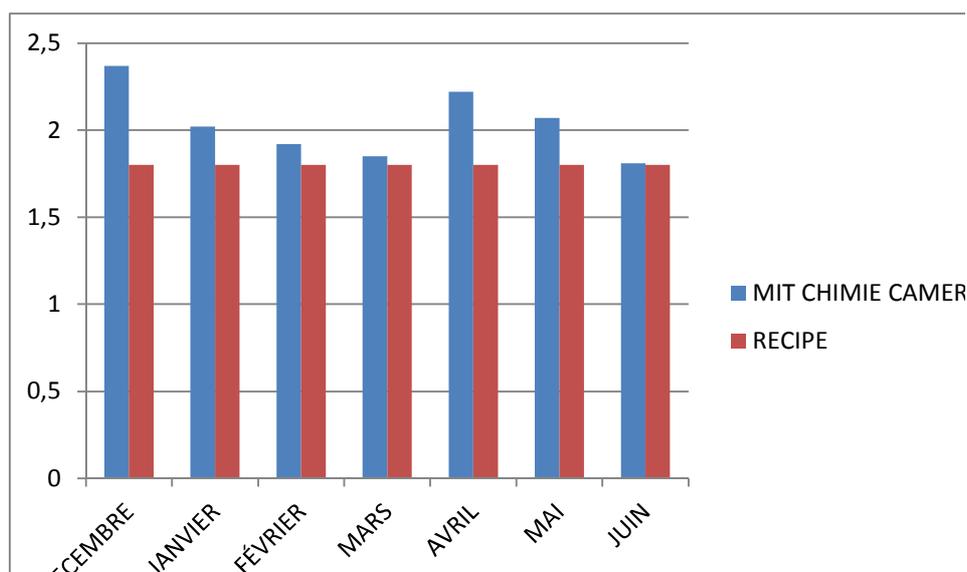


Figure 1 : variation de la consommation d'énergie spécifique de MIT CHIMIE CAMEROUN de Décembre 2012 à Juin 2013 en kWh/kg.

MIT CHIMIE CAMEROUN présente un CES moyen de 1,96 kWh/kg quand les standards internationaux sont à 1,80 kWh/kg. L'usine ayant une capacité moyenne de production de 1112 tonnes/an cette différence au niveau du CES représente une surconsommation « théorique » de 177789 kWh par an (11.378.496 FCFA avec un kWh à 64FCFA).

– **Augmentation du coût de l'électricité :**

En janvier 2012 une nouvelle tarification est entrée en vigueur pour les industriels au Cameroun faisant grimper le coût du kWh en heures creuses de 2% et celui du kWh en heures de pointe de 21%.

Tableau 3: augmentation du coût de l'électricité de Décembre 2011 à Janvier 2012.

	Décembre 2011.	à partir de Janvier 2012.	Augmentation
Heures creuses.	55 FCFA/kWh.	60FCFA/kWh.	2%
Heures de pointe.	70 FCFA/kWh.	85FCFA/kWh.	21%

– **L'arrivée de nouveaux acteurs sur le marché :**

Pour la plupart des multinationales du plastique qui possèdent un parc machine neuf et plus évolué et seront donc capables de proposer à court terme des produits de qualité élevé et à moindres coûts étant donné l'expérience qu'ils ont dans la gestion de leur ressources.

3. Objectifs

Les objectifs fixés par la direction technique de l'usine sont :

Tableau 4: Objectif global

Objectif global	Indicateurs de mesure
Diminution des coûts de production.	FCFA (d'électricité consommée)/kg (matière transformée).

Tableau 5: objectifs spécifiques.

Objectifs spécifiques.	Indicateur de mesure.
Optimisation énergétique des process.	kWh (d'électricité consommée)/kg (matière transformée) pour les différents process.
Stabilisation des process.	(valeur recommandée par le constructeur) – (valeur réelle de production).pour les différents paramètres de production.
Suivi et pérennisation des acquis de l'audit.	évolution du CES en kWh/kg à l'échelle du site.

III. METHODOLOGIE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNEES.

Nous présentons ici les différentes étapes qui vont nous permettre d'atteindre les objectifs spécifiques de notre travail. Nous réalisons un audit énergétique sur un site industriel, la méthodologie de ce type d'audit est succinctement décrite dans des ouvrages de référence (cahiers de charge des audits énergétique dans l'industrie de l'ADEME) nous avons donc suivi le protocole décrit par l'ADEME en l'adaptant aux situations concrètes que nous rencontrons sur le terrain.

Etape 1 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

L'objectif principal était d'identifier à travers le monde des projets dans le domaine des économies d'énergie dans l'industrie plastique. Le but étant d'en tirer des valeurs de référence qui nous serviront ensuite à évaluer celles que nous calculerons sur notre projet. Nous avons identifié un projet majeur :

Le projet RECIPE (Reduced Energy Consumption in Plastics Engineering).



Initié par l'union européenne, Le projet RECIPE entre dans le cadre du programme EIE (énergie intelligente en Europe).



Il a permis de mener une enquête auprès des transformateurs de plastiques européens afin d'évaluer les usages en matière de consommation d'énergie, ainsi que la gestion des problèmes énergétiques. L'enquête et l'analyse des données recueillies ont été effectuées entre avril et septembre 2005. L'objectif étant de fournir aux transformateurs les connaissances et les outils nécessaires à la réduction de la consommation d'énergie par l'adoption de bonnes pratiques et de nouvelles technologies.

Conclusion du projet :

De l'exploitation de la documentation disponible sur ce projet nous tirons les informations suivantes :

- L'indicateur de référence pour l'évaluation de l'efficacité énergétique d'un site de production de produits plastiques est la consommation d'énergie spécifique (CES) exprimée en kWh/kg. Les références en termes de CES issues du projet RECIPE sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 6: consommation d'énergie spécifique par procédé issue du projet RECIPE.

Dénomination	Usine.	Injection.	Extrusion.	Soufflage.
Valeur de la CES en kWh/kg	1,80	0,98	0,755	2,10

- L'âge et la conception des bâtiments n'ont pas d'incidence majeure sur la CES.
- La Consommation d'Energie Spécifique (CES) est plus élevée pour les petites machines et plus basse pour les grosses. Les machines électriques sont plus efficaces (par rapport aux machines hydrauliques).
- La Consommation d'Energie Spécifique (CES) est fonction du procédé, de l'âge et du rendement des machines.

Etape 2 : ETAT DES LIEUX

Ici, Il s'agit de se familiariser avec le site de production de MIT CHIMIE Cameroun. Dans un premier temps nous avons repérés les machines et leurs dispositions géographiques. Ensuite un travail de compréhension global du site a été entrepris ce qui nous a emmené à identifier les quatre principaux procédés mis en œuvre dans l'usine à savoir : l'injection, l'extrusion, le soufflage et la découpe /imprimerie à ceux-là s'associe un poste de recyclage et les différentes périphériques de production (compresseur d'air, groupe froid, déshumidificateur) et enfin nous nous sommes attelés à établir des relations amicales avec le personnel de l'usine (opérateur machines, chefs de quart) relations qui nous aideront grandement pour la suite.

Etape 3 : COMPREHENSION DES PROCESS DE PRODUCTION

Il s'est agi ici de comprendre pour chaque poste de production dans un premier temps quel est la matière première utilisée et quel est le produit fini ensuite comment se déroule la transformation, quels sont les paramètres machines qui influent sur cette transformation et enfin analyser les flux énergétiques du procédé, quel quantité d'électricité est consommée, comment est répartie cette consommation.

Etape 4 : ANALYSE DES PERIPHERIQUES DE PRODUCTION

Il fallait ici d'abord repérer tous les périphériques de production présent sur le site ensuite identifier à quel process est rattaché chaque périphériques et quel rôle il joue dans le process.

Etape 5 : CAMPAGNE DE MESURE

Notons d'abord que pour cette campagne de mesure nous avons utilisé le matériel électrique disponible à l'usine il s'agit notamment d'une pince ampérométrique et d'un multimètre. Nous avons acquis un luxmètre en location pour les mesures de luminosité sur le site.

Pour chaque machine nous avons mesuré

- Taux d'utilisation (nombre d'heures de fonctionnement par mois).
- Âge de la machine.
- Appel de courant sur chaque cycle pour les machines exécutant un procédé cyclique et appel de courant sur une heure de fonctionnement pour les machines exécutant un procédé continu.
- Tension disponible aux bornes de la machine.
- Température des résistances chauffantes chaque fois qu'un procédé comportait une phase de chauffage.
- Eclairage du poste de transformation.
- Différents paramètres de production.

Nous avons ensuite observé le comportement des différents opérateurs machines et leur façon d'analyser et de résoudre les problèmes.

Cette campagne qui s'est déroulé sur quatre mois avec des mesures journalières et étalées sur les trois quart de la journée de production (6h-14h ; 14h-22h ; 22h-6h) a été facilité par trois facteurs :

- La totale disponibilité du chef électricien de l'usine qui avec sa parfaite connaissance du réseau électrique savait où placer la pince pour mesurer l'appel de courant correspondant à chaque machine
- Le parc machine de l'usine MIT CHIMIE est en triphasés avec à chaque fois des phases bien équilibrés (ce qui rend techniquement acceptable une mesure réalisé à l'aide d'une pince ampérométrique).

- la plupart des procédés mis en œuvre dans l’usine sont cycliques (injection, soufflage, découpe) et ceux qui sont continus et ont un régime permanent stable et de longue durée.
- la forte instabilité de certains procédés nous a permis de mesurer les appels de courant avec les différents paramètres machines.

A la fin de notre campagne de mesures nous avons une banque de données consistante sur chaque machine et par ricochet sur chaque procédé en plus la direction technique de l’usine a mis à notre disposition les données de :

- Consommation de matières premières par procédés.
- Production mensuelle par procédés.
- Paramètres de productions recommandés par les constructeurs.
- Facture d’électricité.

Le tout pour une période de 7 mois (décembre 2012 à juin 2013) qui est la durée depuis laquelle l’usine est dans sa configuration actuelle.

Etape 6 : ANALYSE DES RESULTATS

Pour chaque poste de transformation (chaque procédés) nous commençons par dresser un tableau récapitulatif des données de consommation (en kWh) et de production (en kg). Cela nous permet de ressortir les constantes énergétiques du process (CES process, taux de fonctionnement mensuel, part de la puissance installée par rapport à la puissance installée totale, part de l’énergie consommée, part de la matière première transformée) et d’évaluer l’efficacité du pôle par rapport aux références RECIPE. Nous nous attaquons ensuite à la consommation d’électricité proprement dite de la machine nous essayons de comprendre qu’est ce qui consomme de l’électricité et surtout quels sont les paramètres de production qui influencent cette consommation. Nous relevons ensuite les valeurs des paramètres de production que nous comparons avec les valeurs recommandées le but étant de pouvoir expliquer d’éventuelles surconsommations. Nous finissons par une analyse du facteur humain en essayant de déceler des habitudes qui conduisent à une surconsommation énergétique. Enfin nous identifions les gisements d’économie d’énergie et formulons nos recommandations qui seront hiérarchisées. Nous commencerons toujours par les mesures zéro investissement (nécessitant juste un changement de comportement du personnel) et nous terminerons par des mesures nécessitant un investissement pour lequel nous chiffrerons à chaque fois que cela sera possible (certaines mesures étant difficilement chiffrables avant leur

mise en place) et déterminerons les temps de retour sur investissement. Ces informations seront issues des consultations menées auprès des bureaux d'études installés dans la ville de Douala ou alors tirées de la littérature spécialisée.

IV. ANALYSE DES RESULTATS ET OPTIMISATION DES PROCEDES DE PRODUCTION

Nous présentons ici les résultats de nos analyses. Nous commençons par optimiser la facture d'électricité de MIT CHIMIE CAMEROUN ensuite nous passons aux différents process mis en place dans l'usine.

1. Optimisation de la facture électrique

a. État des lieux

MIT CHIMIE Cameroun a souscrit auprès d'AES SONEL (opérateur public d'électricité) un abonnement moyenne tension de puissance maximal **200 kW** qui dessert le site de production, les bureaux, les magasins et l'éclairage extérieure le détail des puissances installées est donné dans le tableau suivant.

Tableau 7: puissance installée : usine, bureaux, magasins.

Usine	462 kW
Bureaux	25 kW
Eclairage extérieur plus magasin	8 kw

La facturation moyenne tension d'AES SONEL pour les industriels est caractérisée par un prix du kWh qui varie de 60 FCFA pour les heures creuses (21h à 18h) à 85fcfa pour les heures de pointe (18h à 21h) à cela s'ajoute une prime fixe de 3700fcfa par kW souscrit, des pénalités pour dépassement de puissance(3700FCFA par kW dépassés)et de multiples taxes sur la consommation d'électricité. Le détail de la consommation de MIT CHIMIE Cameroun sur 07 mois est donné dans le tableau suivant.

Tableau 8: Détail facturation électrique MIT CHIMIE CAMEROUN.

MOIS	Energie hors pointe (FCFA).	Energie pointe (FCFA).	Pertes transfo (FCFA).	Pénalités pour dépassement de puissance. (FCFA).	Tva + autres taxes. (FCFA).	Prime fixe. (FCFA).	Montant facture. (FCFA).
Décembre	6.506.992	2.508.371	399.263	499.079	2.063.904	740.000	12.785.485
Janvier	6.229.227	2.401.296	382.219	477.774	1.981.882	740.000	12.277.378
Février	5.358.797	2065755	328811	411013	1724852	740000	10685128
Mars	5213980	2009930	319925	399906	1682090	740000	10420220
Avril	5824469	2245266	357384	446730	1862361	740000	11536967
Mai	5277890	2034566	323844	404808	1700961	740000	10537127
Juin	5780400	2228360	413010	444000	1852634	740000	11476704

De ce tableau nous tirons les proportions des différentes composantes de la facture.

Tableau 9 : proportions des différentes composantes de la facture d'électricité.

Energie hors pointe	Energie pointe	Pertes transfo	Pénalités dépassement de puissance.	Tva	Primes fixes	Coût moyen du kWh.	Coût moyen mensuel d'électricité.
50,41%	20,45%	3,16%	3,31%	16,14%	6,50%	63,64FCFA	11388429FCFA

b. Potentialités d'économies

L'optimisation d'une facture moyenne tension se fait principalement sur trois axes :

- L'ajustement de la puissance souscrite pour annuler les pénalités pour dépassement de puissance (375000 FCFA en moyenne chaque mois dans notre cas).
- L'augmentation du facteur de puissance de l'installation pour passer la limite imposée par le distributeur et éviter les pénalités pour mauvais cos phi et profiter des bonifications (quand elles existent).
- Optimisation de la production journalière de façon à maximiser la production en heures creuses et la minimiser en heures de pointes en respectant bien entendu tous les délais imposés par les clients.

AXE1 : Ajustement de la puissance souscrite.

MIT CHIMIE Cameroun dépense en moyenne 375 000 FCFA en pénalités pour dépassement de puissance chaque mois. la puissance souscrite sur son abonnement est de 200 kW or des pics a 250, 300, 320 sont régulièrement observés.

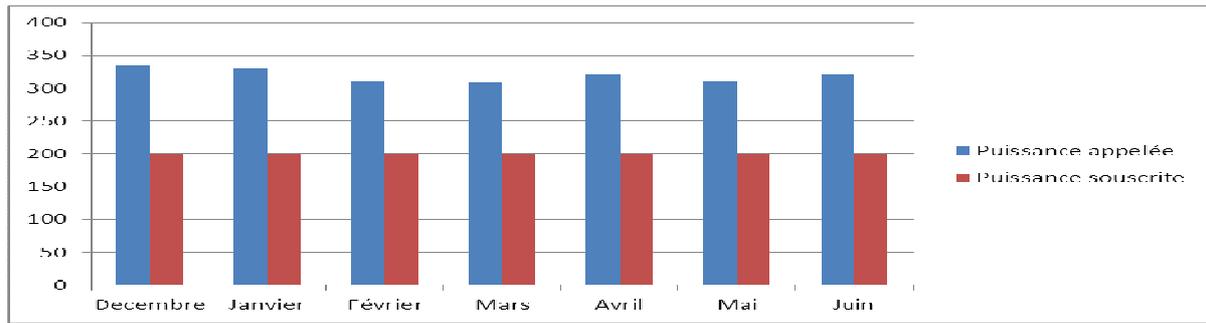


Figure 2 : variation de la puissance appelée par rapport à la puissance souscrite de Décembre 2012 à Juin 2013

De prime abord, on pourrait croire qu'un réajustement de la puissance souscrite de 200 kW à 300 kW réglerait le problème mais la législation Camerounaise en matière de tarification de l'électricité rend désuet ce raisonnement. En effet pour ces clients en moyenne tension AES SONEL applique une prime fixe par kW souscrit et non par tranche comme c'est le cas dans la plupart des pays d'Afrique francophone. Considérons le scénario le plus défavorable ou nous observons un dépassement de puissance de 135 kW qui génère une pénalité de 499.500FCFA ($135\text{kW} \times 3.700 \text{ FCFA}$). Un ajustement de la puissance souscrite de 200 kW à 300 kW générerait à son tour une prime fixe mensuelle de 1.110.000FCFA ($300\text{kW} \times 3700\text{FCFA}$) ce qui est largement supérieur au montant de la pénalité. Pour qu'un ajustement de la puissance soit valide financièrement il faudrait qu'il soit inférieur au dépassement qu'il est censé combler (puisque les deux sont multipliés par 3700 FCFA) ce qui bien évidemment est absurde. Le système de tarification de la SONEL (prime fixe par kW souscrit et non par tranche) ne permet tout simplement pas de régler le problème de dépassement de puissance dans un cas de sous dimensionnement. Il est dès lors souhaitable de payer les pénalités que de réajuster la puissance quand on applique une pure logique financière.

Une fois que ce constat a été fait la question qui se pose est que ce qui génère ce dépassement de puissance ou plutôt il est de quel nature est-ce un pic de consommation qui dure quelques secondes et disparaît et dans ce cas serait probablement causé par un départ moteur ou alors ces dépassements sont des puissances consommées en continu et correspondant à une configuration normale de production du site.

Le site de production de MIT CHIMIE Cameroun comporte un stabilisateur de tension qui à chaque moment indique sur son interface quelle quantité de courant (en kA) est appelée par la totalité du site. Nous avons effectué des relevés journaliers (toutes les deux heures) sur cette interface et les résultats sont consignés dans le tableau ci-contre (en moyenne mensuel).

Tableau 10: Appel de courant journalier sur le site de production

Mois	Intensité (kA)	Tension (V)	Cos phi	Puissance (kW)
mars	0,60	380	0,85	312,92
avril	0,56	380	0,85	312,92
mai	0,48	380	0,85	268,21
juin	0,42	380	0,85	234,69
juillet	0,52	380	0,85	290,57

Il en ressort qu'en régime normal de fonctionnement MIT CHIMIE Cameroun appelle en moyenne une puissance de 284 kW les dépassements de puissance ne sont donc pas des pics mais correspondent bel et bien à des configuration hebdomadaire de production (malgré le fait que des départs moteurs puissent augmenter encore la puissance appelée celle-ci étant déjà supérieur à la puissance souscrite) dans ce cas solutionner le problème revient à agir sur deux fronts :

- Equiper les plus gros moteurs de variateur de vitesse.
- Mettre sur pied un protocole strict de lancement des machines permettant de savoir quel puissance est déjà appelé et s'il serait plus judicieux de décaler le démarrage de la nouvelle machine à un moment ou certaine charges ne sont plus présentes.

AXE2 : Optimisation de la production.

Nous rappelons cela a déjà été dit que pour un client en moyenne tension, la journée est diviser en deux périodes : les heures de pointes où le kWh est facturer a 85fcfa et les heures creuses où il vaut 60fcfa. De là on peut se demander pourquoi ne pas minimiser la production pendant les heures creuses où l'électricité coute 25% plus cher. Pour répondre à la question analysons d'abord ce que consomme(kWh) et ce que produit MIT CHIMIE Cameroun(kg) pendant les heures de pointes. Le tableau ci-dessus récapitule les données de consommation et de production sur 07 mois nous faisons l'hypothèse que la production d'un mois (et par ricochet la consommation) est équitablement réparti sur tous les jours du mois en effet l'usine tournant 7j sur 7 et 24h/24 aucune raison ne permet de dire qu'un jour particulier ou une heure particulière de la journée est propice à un pic (ou à un ralentissement) de production toutes les machines et tous les process étant démarrables a tous moment.

Tableau 11 : Production et consommation mensuelle pendant les heures de pointes et pendant les heures creuses.

Consommation heure pointe(FCFA)	Production (kg)	Ratio (FCFA/kg)		Consommation heure creuse(FCFA)	Production (kg)	Ratio (FCFA/kg)
2228360	16616	134,11		5780400	83484	69,24
2034566	13073	155,63		5277890	65681	80,36
2245266	13982	160,58		5824469	70247	82,91
2009930	18935	106,15		5213980	95137	54,80
2065755	13370	154,51		5358797	70198	76,34
2401296	16016	149,93		6229227	84084	74,08
2508371	16227	154,58		6506992	81532	79,81
		145,07				73,94

On en déduit donc que 16,43% de la matière est transformé pendant les heures de pointes chaque jour et correspond à 28% de l'énergie (en terme de coût pas en terme de kWh consommé) de plus la consommation d'énergie spécifique du site qui est de 74FCFA/kg pendant les heures creuses passe à 145 FCFA/kg pendant les heures de pointes. la solution est donc de réduire le plus possible la consommation d'électricité pendant les heures de pointes et elle passe par deux actions :

- pour chaque commande client étudié l'étalement optimale de la production qui permettra de réduire les plus possibles toutes activités pendant les heures de pointes tous en respectant les délais fixés par le client.
- une fois que les stocks on atteint une limite permettant à l'entreprise de répondre aux appels d'offres en toute sérénité, réduire tous ce qui est production de stock (préformes, gaines) pendant les heures de pointes.
- interdire toutes activités de recyclage pendant les heures de pointes (broyage de préformes, de gaines, de bouteilles).

La mise en œuvre de ces mesures pourrait permettre de diminuer de 16% le tonnage de matière transformée pendant les heures de pointes ce qui représente une économie de 360.000FCFA par mois ($15459,85\text{kg} \times 0,16 \times 145\text{FCFA/kg}$).

AXE 3 : Augmentation du facteur de puissance pour annuler les pénalités pour mauvais cos phi.

Dans notre cas cette pénalité n'existe pas le cos phi globale de l'installation étant de 0,85. notons aussi que AES SONEL n'accorde aucune bonification en cas de cos phi excellent (supérieur à 0,9) donc un investissement en batterie de condensateur en vue d'augmenter la valeur du cos phi globale n'aurait aucun retour financier.

c. Recommandations et conclusion.

Il était question pour nous dans ce chapitre d'optimiser la facture électrique de MIT CHIMIE Cameroun. il ressort de notre étude que des trois axes sur lequel cette opération d'optimisation est possible (puissance souscrite, facteur de puissance, optimisation production) seul l'étalement optimale de la production en réduisant au juste nécessaire les activités aux heures de pointes (tous en respectant les délais) peut rapporter un gain financier considérable à l'entreprise (360000 FCFA mensuel).

2. Le procédé d'injection

a. Présentation du procédé

L'injection est l'un des principaux modes de transformation pour réaliser des pièces en plastique, c'est un procédé rapide et utilisé pour produire un grand nombre d'articles identiques. Dans le cas de MIT CHIMIE Cameroun la section injection produit des préformes qui se déclinent en plusieurs tailles 35g, 22g, 26g, 14g, 32g.

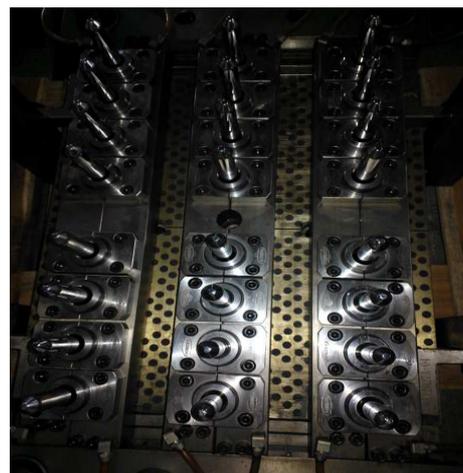


Photo 1: préformes 35g.

Le procédé consiste à maintenir deux parties d'un moule (partie mobile et partie fixe) fermées dans lequel le polymère qui a été fondu à l'avance est injecté. Des pressions très fortes (12 MPa) sont utilisées pour remplir rapidement le moule et le maintenir fermée. Une fois que le polymère fondu a pris sa forme dans les empreintes de la partie fixe du moule il est refroidi pour se solidifier, le moule est ouvert (la partie mobile se dégage) les préformes sont éjectées et le processus recommence.



(a)



(b)

Photo 2 : (a) Presse à injection ; (b) Moule préformes 35g.

Le pôle injection de MIT CHIMIE Cameroun utilise comme matière première des polyesters thermoplastique (PET) ils sont obtenus par polycondensation de l'acide téréphthalique avec l'éthylène glycol. Le PET a de bonnes propriétés de résistance en traction ainsi qu'une bonne résistance au frottement et à l'usure. Ils sont importés principalement des Etats unis et arrivent à l'usine dans des sacs de 1100kg.

b. Présentation du matériel

Le pole injection de MIT CHIMIE Cameroun représente une puissance installée de **150 kW** pour une moyenne d'âge de 5 ans dont le détail est donné dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Puissance installée à l'injection

Machine	Puissance	Année de fabrication
HMD1 2500KN	33 kW	2008
HMD2 1680KN	22 kW	2008
HMD3 2680KN	35 kW	2008
HMD3 2680KN	35 kW	2008
ASPIRATEUR	1,4×4=5,12kW	1995
MELANGEUR	3 kW	
TAPIS CONVOYEUR	0,4 kW	

c. Analyse énergétique du procédé

Nous commençons par présenter un tableau récapitulant les principales données de production et de consommation du pôle injection d MIT CHIMIE Cameroun sur 07 mois.

Tableau 13 : production et consommation d'énergie du procédé d'injection

Mois	Production (kg)	Taux d'utilisation(h)	Consommation (kWh)
Décembre	73952	432	73440
Janvier	78244	457	77690
Février	64667	378	64260
Mars	79328	464	78880
Avril	28256	165	28050
Mai	53920	315	53550
Juin	56152	328	45920

Nous ressortons de ce tableau les constatations énergétiques du pôle injection.

Tableau 14 : constantes énergétiques du procédé injection

Part de la puissance installée.	Part de l'énergie mensuelle consommée.	Part de matière première transformée.	Taux d'utilisation mensuelle.	Consommation d'énergie spécifique.
30,48%	33,53%	62,73%	70% (364h par mois)	1,006 kWh/kg Reference RECIPE 0,98 kWh/kg.

Nous avons donc une CES à 1,006 kWh/kg quand la référence RECIPE est à 0,98 kWh/kg soit une différence de 0,026 kWh/kg qui entraîne une surconsommation « théorique » de 1614 kWh par mois et génère un coût de 103296 FCFA.

Intéressons-nous à présent au procédé en lui-même nous rappelons que le produit fini est la préforme (appelé ainsi car elle doit subir un deuxième traitement destinée à lui donner la forme définitive d'une bouteille plastique tel que nous la connaissons) notre analyse s'est portée principalement sur la préforme de 35g qui représente à elle seule 70% de la production. Le procédé d'injection se déroule en 5 phases.

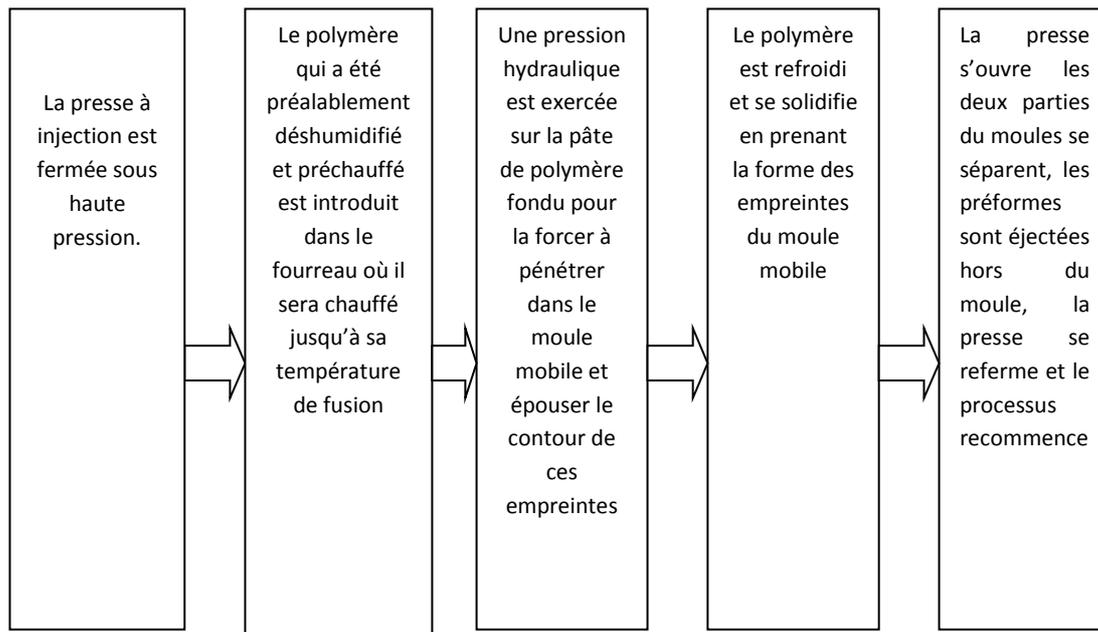


Figure 3 : Etapes successives du procédé d'injection

Le procédé étant cyclique (32s par cycle) l'analyse de la consommation sur un cycle est suffisante pour déduire le comportement global de la machine. Nous avons donc mesuré l'appel de courant sur un cycle de production nous en déduisons la courbe suivante.

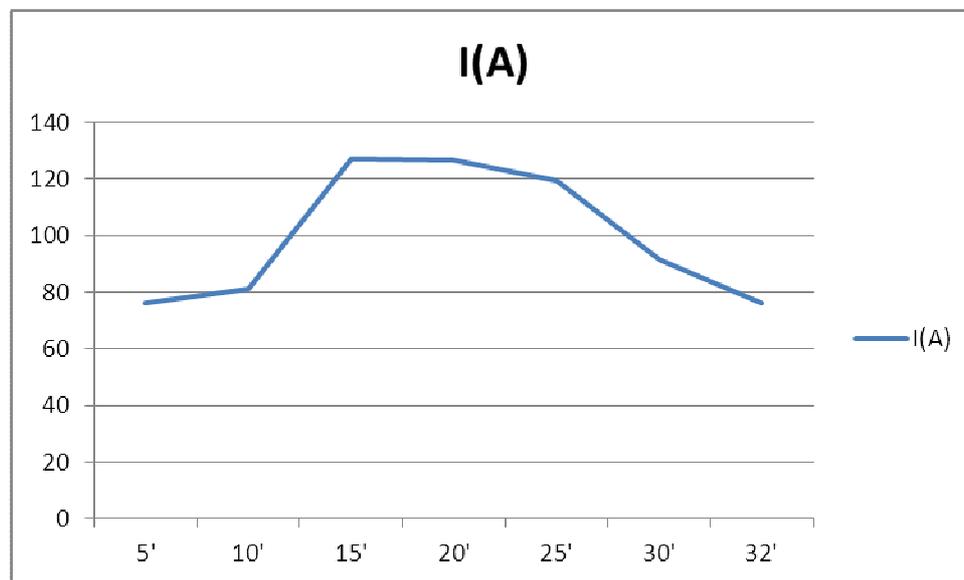


Figure 4 : Variation de l'appel de courant en fonction du temps sur un cycle de production

La courbe de consommation nous fait comprendre qu'énergétiquement parlant le processus se déroule en deux étapes : une demande élevée durant 15 s pendant lequel le polymère est injectée et une demande plus faible pendant 7s pendant lequel le polymère est refroidi.

Optimiser le process revient donc à fixer les paramètres de production permettant d’obtenir le temps d’injection le plus bas tous en assurant la qualité du produit final.

Le paramètre contrôlant le temps d’injection est la **charge** qui est défini comme la quantité de matière injectée dans les empreintes du moules fixe à chaque cycle d’injection. Cet élément commande non seulement le temps d’injection mais aussi celui du refroidissement (plus la matière est admise lors d’un cycle plus il faut du temps pour la refroidir).le process mis en œuvre dans l’usine étant assez instable nous avons pu évaluer l’effet de la variation de la charge sur la consommation d’électricité d’un cycle ces valeurs étant obtenues en intégrant les courbes de consommations par la méthode des trapèzes.

Tableau 15 : *Variation de la consommation électrique d’un cycle d’injection en fonction de la charge.*

Charge(g)	Consommation(Wh) par cycle
180	570
190	630
200	690
210	720

Nous remarquons donc qu’une augmentation de la charge augmente effectivement la consommation électrique d’un cycle car la phase d’injection s’allonge donc le moteur passe plus de temps à maintenir le moule fermée. Une augmentation de 10g provoque une surconsommation de 60 Wh sur un cycle ce qui ramenée à une journée de production représente 10045 FCFA ($60\text{Wh} \times 109\text{cycles par heure} \times 24\text{h} \times 64\text{FCFA}$).

Nous nous intéressons à présent au processus dans sa globalité en effet considérer que l’énergie nécessaire à la production d’une préforme se résume à celle consommée par le moteur de la presse est erroné, la production d’une préforme nécessite :

- système de préchauffe et de chauffe pour liquéfier le polymère.
- production d’eau glacée pour refroidir et solidifier la préforme.
- production d’air comprimé pour la découpe (la lame charger de trancher le flux de matière fondu une fois que la charge a été atteinte).
- éclairage pour le confort visuel de l’opérateur
- tapis convoyeur pour le conditionnement à la sortie de la presse.

Nous avons donc mesuré grâce à notre pince ampérométrique la consommation de chacun de ces accessoires sur un cycle de production (32s) et calculer la part que représentait chacun d'eux dans la consommation totale du cycle nous en tirons le graphique suivant.

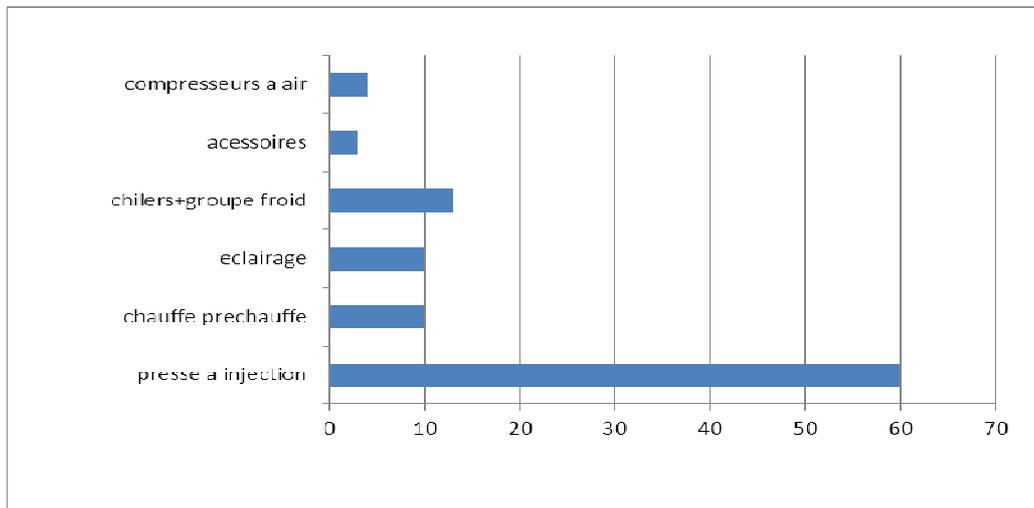


Figure 5 : pourcentage de la consommation globale de chaque composante sur un cycle d'injection

Cette répartition nous permet donc d'avoir une vision globale de tous les points de consommation nécessaire à la production d'une préforme. Optimiser énergétiquement le process dans sa globalité cette fois et pas seulement les presses d'injection revient donc à trouver pour chacun des points les paramètres model au niveau de la machine et le comportement model au niveau de l'opérateur c'est l'objet du prochain paragraphe.

d. Optimisation énergétique du process injection.

Mesure 1 : Stabilisation du process

⇒ Comportements observés

Forte instabilité des paramètres de production, la charge principalement qui change parfois plusieurs fois dans la même journée. L'opérateur étant libre de le modifier quand il estime que la qualité de la préforme n'est pas satisfaisante. On se retrouve donc avec des paramètres de production éloignés de ceux fournis par le constructeur du moule.

⇒ recommandations

Fixer les paramètres de production aux valeurs indiquées dans la documentation fournie par le constructeur du moule et corriger les problèmes de qualité en agissant directement sur les causes qui les engendrent à savoir :

- Défaut d'étanchéité du moule : le polymère fondu s'échappe par des fissures lors de l'injection ce qui amène l'opérateur à augmenter la charge pour pouvoir assurer le poids de la préforme alors qu'un entretien convenable du moule corrigerait le défaut.
- Mauvais ajustage du moule lors du montage : l'axe du moule fixe ne correspond pas à celui du moule mobile, l'injection n'est donc pas équitablement réparties dans les différentes empreintes du moule mobile l'opérateur augmente donc la charge pour corriger ce défaut alors qu'un ajustage du moule est nécessaire.
- Temps de chauffe trop court ou trop long : le polymère fondu arrive à l'injection sans avoir les propriétés de viscosité requises il s'en suit des préformes soit pas assez solides soit beaucoup trop lourdes. L'opérateur augmente donc la charge(ou la diminue) pour satisfaire aux contraintes de qualité alors qu'un ajustement des temps de chauffe et de préchauffe est nécessaire.

⇒ **estimation des économies réalisables et avantages liés.**

Comme nous l'avons montré dans le paragraphe précédent Produire avec des paramètres stables peut permettre d'économiser 301350 FCFA Sur un mois de production. En plus la stabilisation du process entrainerait d'autres avantages à savoir :

- diminution de la vitesse de rotation de la vis (augmentation de sa durée de vie).
- moins d'usure sur l'ensemble vis fourreau.
- meilleure homogénéité de la préforme à la sortie.

Mesure 2 : meilleure planification de la production en fonction du coût de l'électricité.

⇒ **comportement observés.**

Production 24 h/24 7j/7 sauf en cas de défaillance de la machine.

⇒ **recommandations.**

La production de préformes étant essentiellement une production de stock non soumis à des délais de livraisons(les clients étant servi avec de la marchandise déjà présente au magasin) nous recommandons d'arrêter les moteurs des presses lors des heures de pointe (18h-21h) ou l'électricité coûte 85 FCFA le kWh de ne laisser que les systèmes de chauffe en marche (les arrêter demande ensuite un temps très long pour qu'il atteigne les températures requises pour la production).

⇒ estimation des économies réalisables et avantages liés.

Les presses fournissent dans le meilleur des cas (les 3 presses sont en fonctionnement) 6000 préformes par heures et consomment 120 kWh qui facturés à 85 FCFA le kWh reviennent à 40800 FCFA pour les quatre heures de pointe. Le service commercial nous a assuré que dans ces conditions-là l'entreprise perdait de l'argent en commercialisant les préformes produites pendant cette période (le coût de production étant supérieur au prix de vente). MIT CHIMIE Cameroun réaliserait donc non seulement 40800 FCFA d'économie journalière sur sa consommation d'électricité mais en plus éliminerait la perte qu'elle réalise sur la vente des préformes produites aux heures de pointes.

Mesure 3 : meilleure adaptation moule/ presse pour optimiser le fonctionnement de la presse.

⇒ comportements observés.

Les moules sont montés sur les presses sans se soucier si la force de fermeture (clamping force) nécessaire à ce moule correspond au fonctionnement optimale de la presse.

⇒ recommandations.

Les presses sont conçues pour fonctionner de façon optimale lorsqu'elles sont chargées dans l'intervalle 70-80% utiliser des moules qui respectent cette plage permet à la presse de fonctionner à son rendement optimale. Le tableau ci-dessous donne pour chaque moule la presse adéquate.

Tableau 16: correspondance presse –moule en fonction de la force de fermeture de la presse.

PRESSE	CLAMPING FORCE	MOULE APPROPRIEE
HMD 265 M6	1680 kN	14g
HMD 268M6	2500 kN	22g, 26g
HMD 270M6	2680 kN	35g, 32g

⇒ estimation des économies réalisables et avantages liés.

De l'ordre de 3 à 25% d'après la littérature spécialisée ce qui représente $54351 \text{ kWh} \times 3\% \times 64 \text{ FCFA} = 103767 \text{ FCFA}$ mensuel.

Mesure 4 : isolation des systèmes de chauffe et de préchauffe.

⇒ comportements observés.

Aucune des cuves servant à la préchauffe de la matière n'est thermiquement isolées, le fourreau dans lequel la matière est fondu par les résistances chauffantes avant injection n'est pas isolé.



Photo 3 : cuve de préchauffe du polymère a l'injection

⇒ recommandations.

Isoler thermiquement les fourreaux où est fondu la matière ainsi que les cuves de chauffe et de préchauffe.

⇒ estimation des économies réalisables et avantages liés.

Un prestataire de service de la place a été retenu pour réaliser les travaux d'isolation sur les trois fourreaux des différentes presses. Le tableau ci-dessus récapitule les économies réalisées au niveau de la conso d'électricité, les investissements réalisées et le temps de retour sur investissement.

Tableau 17 : Economie d'énergie réalisable après isolation des fourreaux de presse.

RESISTANCE CHAUFFANTE SANS ISOLATION		RESISTANCE CHAUFFANTE AVEC ISOLATION	
Consommation	Température surface °C	Consommation	Température surface °C
11 kW	110	7,14	55

Nous avons donc une économie d'énergie de 22% sur les résistances chauffantes ce qui représente un gain financier de $(11-7,14) \text{ kW} \times 364\text{h} \times 64 \text{ FCFA} = 89922 \text{ FCFA}$ mensuel.

En plus de la réduction de la consommation d'électricité l'opération apporte d'autres avantages à savoir :

- Réduction des temps de mise en chauffe.
- Rôle de protection.
- Températures de fonctionnement stables.
- Amélioration de l'hygiène et la sécurité.

Conclusion

Le pole injection de MIT CHIMIE Cameroun avec ces 140 kW de puissance installés et ces 3500000 FCFA de consommation mensuelle représente le premier consommateur d'électricité du site de production.

Nous nous sommes focalisés lors de notre étude sur l'optimisation du process (les machines étant récentes elles intègrent toutes les nouvelles technologies en termes d'efficacité énergétique) il en ressort que la forte variabilité des paramètres de production qui trouve son origine dans la qualité défailante des moules est la cause première du gaspillage d'énergie au niveau du pole injection qui gagnerait en efficacité si les paramètres de production étaient fixés au plus proche des indications données par les constructeurs et les problèmes de qualité résolues en s'attaquant directement à leur cause et non en modifiant les paramètres de production.

3. Le procédé d'extrusion

a. Présentation du process

Contrairement à l'injection et au soufflage qui sont des process cycliques l'extrusion est un procédé continu. Il est utilisé pour la réalisation de produits semi fini (films plastiques, gaines) qui devront ensuite être imprimés et découpés. Le procédé se déroule comme suit : la matière première qui est ici de la LLDPE (linear low density polyethylene) est constamment chargée dans la vis via une trémie puis conduit dans le cylindre chauffé. Le long du trajet la vis permet de comprimer et de fondre le polymère (comme dans le procédé d'injection) qui est ensuite extrudé au travers d'une filière plate verticale afin de former un tube aux parois fines. L'air est introduit par un orifice placé au centre de la filière afin de souffler dans le tube pour lui donner le diamètre voulu (diamètre qui deviendra la largeur du sachet qu'on réalisera à partir

de cette gaine). En bout de filière un courant rapide d'air est créé afin de refroidir le film qui tout en refroidissant passe entre des cylindres et est aplati et plié.



Photo 4: extrudeuse EX1 en pleine production.

b. Présentation du matériel

Le pôle extrusion de MIT CHIMIE Cameroun représente une puissance installée de 200 kW dont le détail est donné dans le tableau suivant. Les machines ont une moyenne d'âge de 35 ans.

Tableau 18 : Puissance installée extrusion

Machine	Puissance(kW)	Année de fabrication
EX2	18,56	1975
EX3	42,05	1977
EX4	20,46	1975
EX6	26,11	1975
EX10	25,92	1977
EX11	51	1977
MELANGEUSE	3	1999
MACHINE DE TRAITEMENT	4,8	1975
SOMME	191,9	

c. Analyse énergétique du process.

Nous commençons par présenter un tableau qui récapitule les données de consommation et de production du pôle extrusion sur 7 mois.

Tableau 19 : Production et consommation d'électricité extrusion

DONNEES DE CONSOMMATION ET DE PRODUCTION EXTRUSION				
Mois	PRODUCTION (kg)	HEURE D'UTILISATION (h)	CONSOMMATION (kWh)	CÔUT (FCFA)
Decembre	17565	108	16848	1071869
Janvier	15523	95	14826	942848
Février	21855	134	20904	1329912
Mars	34690	214	33384	2123890
Avril	48762	301	46956	2987340
Mai	39525	243	37908	2411706
Juin	31564	194	30264	1906632
Moyenne mensuel	29926,28571	184,1428571	28727,14286	1824885,29

Nous ressortons donc les constantes énergétiques du process.

Tableau 20 : constantes énergétiques du procédé extrusion

Part de la puissance installée.	Part de l'énergie mensuelle consommée.	Part de matière première transformée.	Taux d'utilisation mensuelle.	Consommation d'énergie spécifique.
30,48%	16%	32,64%	35% (184h par mois)	1,04 kWh/kg Reference RECIPE 0,755kWh/kg

Nous avons donc une CES à 1,04 kWh/kg quand la référence RECIPE est à 0,755 kWh/kg cette différence 0,285 kWh/kg entraîne une surconsommation « théorique » de 8529 kWh ce qui génère un coût de 545850 FCFA mensuelle.

Comme la plupart des pôles de productions de MIT CHIMIE Cameroun l'extrusion réalisent de nombreux produits caractérisés par deux dimensions : la largeur (mm) et l'épaisseur (µm). Nous avons aussi des variantes au niveau des couleurs mais ce dernier paramètre n'influe pas sur la consommation énergétique du procédé. Notre étude s'est portée essentiellement sur la gaine (55mm × 25µm) qui représente 83% de la production.



Photo 5: gaines plastiques (55mm × 25µm).

L'extrusion est décomposable en six phases

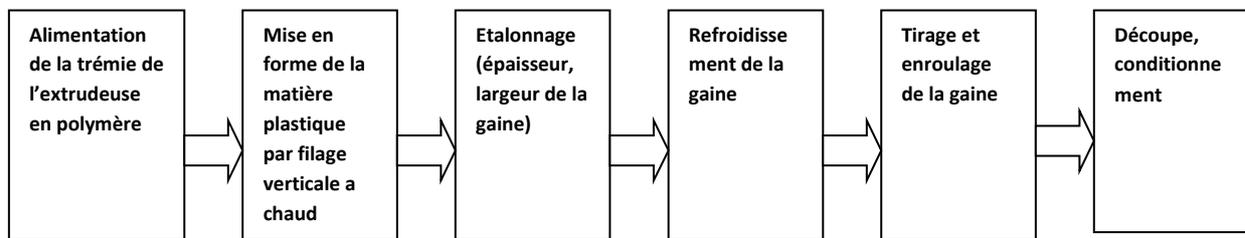


Figure 6: Etapes successives du procédé d'extrusion

Contrairement à l'injection ou l'interface de la machine permet de régler de nombreux paramètres de production l'extrudeuse n'offre à l'opérateur machine aucune possibilités de variation des paramètres une fois que la production est lancée ce qui génère un process plutôt stable les paramètres étant fixés à l'entrée par un opérateur extrêmement expérimentés (la température de chauffe des résistances, et la charge qui dans ce cas donne son épaisseur à la gaine). la consommation électrique du process n'est donc pas liée à un paramètre machine susceptible de varier en cours de production comme cela a été le cas jusqu'à présent (charge pour l'injection, temps de soufflage pour le soufflage) nous avons donc directement analyser la consommation énergétique globale extrudeuse + périphériques nous en tirons le diagramme suivant obtenue sur une heure de production en régime stable (trente minutes après le démarrage).

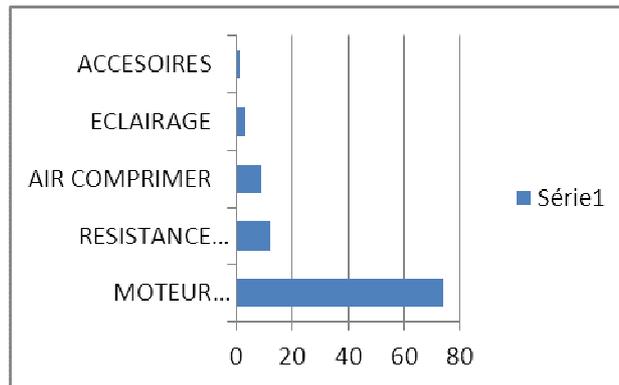


Figure 7: Proportion de la consommation globale de chaque poste à l'extrusion

De ce diagramme nous tirons nos recommandations pour optimiser le process.

d. Optimisation

Mesure 1 : Température de chauffe et isolation de la vis.

⇒ Comportements observés.

Réglage a la hausse des températures (180°C AU LIEU DE 150°C recommander par le constructeur) dû soit au mauvais entreposage de la matière première (les sacs ont été mouillés au magasin) ou au mauvais dosage matière première/ matière recycler.

⇒ Recommandations.

S'assurer que les sacs à leur arrivée à l'usine sont correctement entreposés (endroit sec et non humide), laisser le soin à une personne qualifié de réaliser le dosage mat première/ mat recycler, isoler thermiquement le fourreau où se trouve la vis de l'extrudeuse.

⇒ estimations des économies réalisables et avantages liés.

Les économies réalisables sont de l'ordre de 22% sur la consommation des résistances chauffantes d'après la littérature spécialisée ce qui représente $(1824885,29 \times 0.12 \times 0.22) = 48177 \text{ FCFA}$ chaque mois

Mesure 2 : Moteur et systèmes d'entraînement de l'extrudeuse.

⇒ Comportements observés.

Le pole extrusion est le plus ancien de l'usine avec une moyenne d'âge de 35 ans ce qui se manifeste par de moteurs vétustes qui ont été rembobinés plusieurs fois, des transmissions par courroie grande dissipatrice d'énergie et des appels de courants au démarrage cause de dépassement de puissance souscrite.



(a)



(b)

Photo 6 : Moteur extrudeuse : (a) EX 1, (b) EX 6.

⇒ Recommandations

L'Optimisation d'un parc moteur se déroule sur cinq axes :

- **Ajustement des puissances installées à celle nécessaire pour le process :** Les moteurs présents ont soit été montés par le constructeur de l'extrudeuse soit remplacés par le service maintenance de l'usine qui a chaque fois monte un moteur d'égale puissance à celui qui a été endommagé. Le problème de surdimensionnement des moteurs ne se pose donc pas dans notre cas.
- **Utilisation des moteurs à haut rendement :** Dans l'objectif de réduire la consommation énergétique des moteurs électriques, les fabricants européens ont signé une convention avec l'Union Européenne afin d'informer les acheteurs de la performance énergétique des moteurs. Les moteurs les plus économes sont ainsi labélisés EFF1 (ensuite nous avons les EFF2 et les EFF3). Les critères d'économie dépendent de la puissance des moteurs mais aussi de leur technologie.

Lors du remplacement d'un moteur par l'équipe de maintenance ce critère de performance est rarement pris en compte, le prix du moteur à l'achat étant le critère dictant le choix. Le résultat est un parc à faible rendement où sur les quatre moteurs présents un est un moteur ancien ne présentant aucune labélisation (EX3), deux sont labélisés EFF3 (EX4, EX11.) présentant donc un rendement inférieure à 90% et le plus gros moteur du parc celui de la EX6 est labélisé EFF2 (rendement supérieur à 90%). Nous recommandons donc à la direction de l'usine de privilégier à chaque fois qu'un moteur devra être remplacé un moteur à haut rendement labélisés EFF1.

- **améliorations des transmissions** : les transmissions mécaniques présentes sur les blocs moteurs du pole extrusion sont de véritables dissipatrices d'énergie. Ce sont des courroies trapézoïdales non crantés qui d'après la littérature spécialisée dissipe de 10 à 12% de l'énergie consommée par le moteur. Nous recommandons donc au service entretien de les remplacer par des systèmes d'entraînement à haute efficacité. Notons qu'il existe aujourd'hui des constructeurs qui propose des moteurs pour extrudeuse sans courroie d'entraînement le moteur étant directement monté sur la vis de l'extrudeuse et conçu pour délivrer un couple important même à basse vitesse.
- **politique de maintenance**: notons d'abord qu'aucune maintenance préventive n'est mise en place au niveau de l'usine. L'équipe se contente une fois qu'un moteur a été endommagé de faire appel à un prestataire extérieur qui emporte le moteur et le ramène une fois qu'il a été rebobiné. de simples opérations peuvent être mises en places qui permettront non seulement de réduire considérablement le taux d'arrêt pour panne du moteur mais aussi auront un impact positif sur sa consommation d'électricité à savoir :
 - lubrifier les paliers régulièrement pour gagner de 1 à 5 % sur la consommation.
 - ajuster la tension des courroies et les alignements des systèmes d'entraînement peut permettre un gain de 1 à 5 %.

Enfin, le rebobinage d'un moteur qui n'est pas réalisé dans les règles de l'art peut provoquer une perte de rendement (1% de son efficacité pour des puissances supérieurs a 30kw).

- **entraînement à vitesse variable** : Outre adapter la vitesse du moteur à l'application, la vitesse variable peut également permettre de réaliser des économies d'énergie considérables qui sont comprises entre 10 et 50 % de la Consommation électrique du moteur. Ces économies sont fonction du temps de fonctionnement annuel du moteur, de la vitesse moyenne de rotation que nécessite l'application et de la fréquence des démarrages. Lors du démarrage d'un moteur asynchrone, le courant peut atteindre 8 fois le courant nominal de la machine. Si un variateur est installé, celui-ci se chargera aussi d'adapter l'amplitude des tensions appliquées à la machine afin de limiter le courant donc la puissance active absorbée mais aussi la puissance réactive le $\cos \phi$ étant ajusté. Ensuite, pendant le fonctionnement du moteur, le variateur adapte en permanence la puissance du moteur à la charge.

Notons aussi que les variateurs de fréquence peuvent également provoquer la création d'harmoniques et d'interférences radio ou une augmentation des pertes Joules du moteur.

Toutefois, le marquage CE garantit l'absence de ces problèmes. Nous recommandons donc à la direction l'achat de variateur de vitesse pour chacun des moteurs du pole extrusion.

⇒ estimations des économies réalisables et avantages liés.

- utilisation des moteurs à haut rendement : le passage de EFF3 à EFF1 pour un kWh à 64 FCFA (0,09 EUROS) se traduit par une économie annuelle de 130.000FCFA ce qui permet d'amortir l'achat d'un moteur EFF1 (qui coûte en 15 à 20% plus cher) en 3000h de fonctionnement soit 16 mois pour notre cas (184h par mois).
- amélioration des transmissions : l'utilisation des moteurs développés par certains constructeurs (ABB, PARKER) spécialement adaptés aux extrudeuses permet de s'affranchir des transmissions mécaniques et de réaliser des économies sur la consommation électrique.

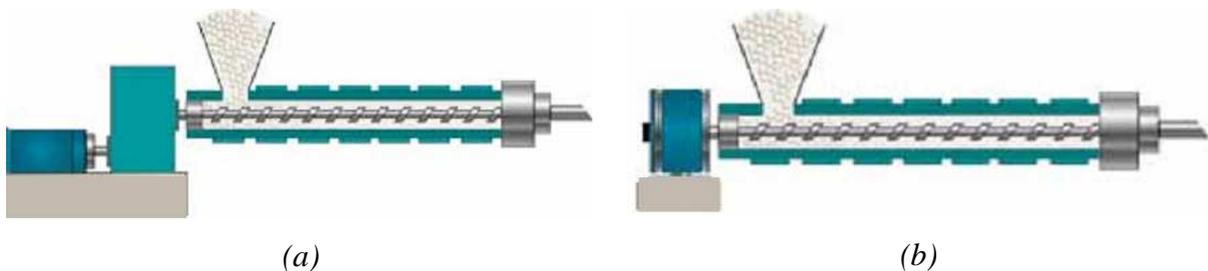


Photo 7 : Nouveau moteur pour extrudeuse sans système d'entraînement mécanique
(a) Système avec transmissions (b) système d'entraînement direct

Considérons le scénario idéal où tous le parc moteur de la section extrusion est remplacé par des moteurs à entraînement direct cela engendrerait des économies de l'ordre de :

- EF6. $((36\text{KW}/0,9) \times 184\text{h} \times 63,62 \text{ FCFA}) = 468245 \text{ FCFA}$ au lieu de 520270 FCFA pour un système avec entraînement mécanique. Économie 52000 FCFA.
- EF3. $((33\text{KW}/0,9) \times 184\text{h} \times 63,62 \text{ FCFA}) = 425000 \text{ FCFA}$ au lieu de 477000 FCFA pour un système avec entraînement mécanique. Économie 52000 FCFA.
- EF11. $((22\text{KW}/0,9) \times 184\text{h} \times 63,62 \text{ FCFA}) = 286000 \text{ FCFA}$ au lieu de 318000 FCFA pour un système avec entraînement mécanique. Economie 32000 FCFA.
- EF4 $((9,3\text{KW}/0,9) \times 184\text{h} \times 63,62 \text{ FCFA}) = 121000 \text{ FCFA}$ au lieu de 88000 FCFA pour un système avec entraînement mécanique. Economie 33000 FCFA.

Le facteur 0,9 qui apparait dans nos équations représente le rendement du système à entraînement direct il est de 0,81 $(0,9 \times 0,9)$ pour un système avec entraînement mécanique. Sur un mois de fonctionnement les systèmes avec entraînement directs permettent donc de

réaliser une économie totale de 170.000 FCFA ce qui représente un gain de 20.280.000 sur la durée de vie du moteur (10 ans).

- politique de maintenance.

Lubrifier les paliers régulièrement et Ajuster la tension des courroies et les alignements des systèmes d'entraînement peuvent permettre de gagner de 1 à 5% sur la consommation mensuelle des moteurs soit un gain de $1824000 \text{ FCFA} \times 5\% = 91000 \text{ FCFA}$.

- entraînement à vitesse variable.

Actuellement aucun des moteurs de la section extrusion n'est pourvu d'un variateur de vitesse. Les économies réalisables avec un fonctionnement à vitesse variable sont de l'ordre de 50% ce qui représente $200\text{kw} \times 50\% \times 184\text{h} \times 63,62 \text{ FCFA} = 1170608 \text{ FCFA}$ par mois.

Conclusion

Le pole extrusion avec ces **1824885.29FCFA** de consommation mensuelle et sa consommation d'énergie spécifique de **1.04KWH/KG** (la référence est 0,80KWH/KG) peut être considéré comme le plus mauvais élève de la classe en termes d'efficacité énergétique.

Contrairement aux autres postes de production ou l'instabilité des paramètres de production est la principale cause de surconsommation énergétique a l'extrusion le problème c'est le matériel. Une analyse des machines nous a permis de nous rendre compte que d'énormes économies d'énergie sont possibles sur un axe en particulier.

- **motorisation** : le remplacement progressif du parc moteur par des motrices hautes efficacités EFF1 engendrerait de substantielle économie sur les coûts de fonctionnement du parc (170000 FCFA en moyenne mensuelle), l'équipement systématique de chaque moteur du parc d'un variateur de vitesse représente certes un investissement relativement lourd mais entrainerait eux aussi des économies sur la consommation énergétique de l'ordre de 1170608 FCFA par mois.

4. Le procédé d'injection soufflage

a. Présentation du process.

Le soufflage est un procédé assez semblables à l'injection. Il est utilisé pour réaliser des corps creux (bouteilles, récipients, etc...).le process mis en œuvre dans l'usine MIT CHIMIE Cameroun est celui de l'injection soufflage : la préforme est transféré dans un système de chauffe (120°C pendant 12s) pour être ramolli et enfin envoyé dans un moule qui en se

refermant (partie fixe et partie mobile) scelle toutes les ouvertures. Une aiguille est alors insérée par laquelle se fait le soufflage de l'air permettant à la préforme ramollie de se gonfler et de prendre la forme du moule. la bouteille est alors refroidie le moule s'ouvre la bouteille tombe et le processus recommence.

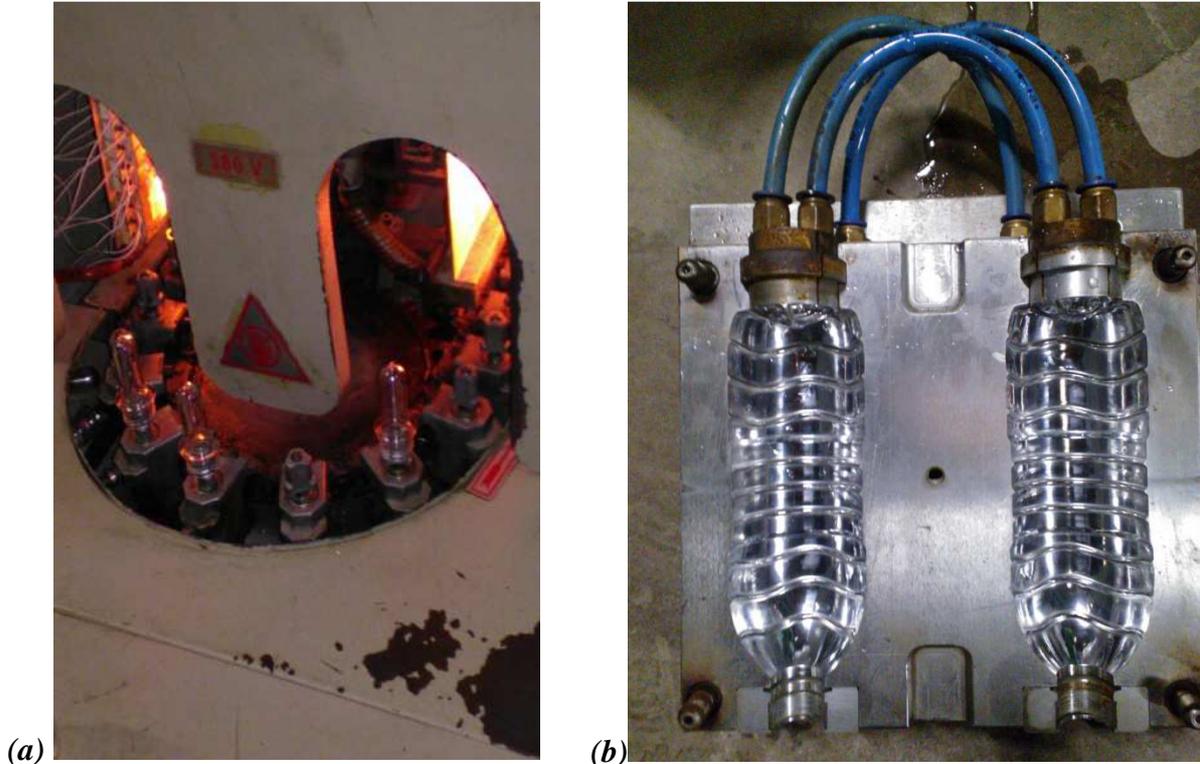


Photo 8 : (a) système de préchauffe des préformes (b) moule bouteille PET 1 l orinaire

b. Présentation du matériel

Le parc soufflage de MIT CHIMIE Cameroun est composé de deux machines avec leurs accessoires et représente une puissance installée de 48,25 kW dont le détail est donné dans le tableau suivant.

Tableau 21 : Puissance installée soufflage

Machines	Puissance (kW)
Souffleuse	12
Préchauffeur	4,5
Souffleuse DPE	11,75
Compresseur à air	20
<i>Total</i>	48,25

c. Analyse énergétique du process

Nous commençons par présenter un tableau récapitulant les données de consommation et de production du pôle soufflage sur 07 mois. Nous en déduisons les références énergétiques du process.

Tableau 22 : Production et consommation d'électricité au soufflage de Décembre 2012 à Juin 2013.

Mois	Matière transformée (kg)	Heure d'utilisation (h)	Energie consommée (kWh)	Coût (FCFA)
Décembre	79,57	5,68	165,73	10547,2445
Janvier	562,90	40,21	1172,44	74613,8347
Février	689,22	49,23	1435,55	91358,1984
Mars	2461,60	175,83	5127,167391	326292,933
Avril	6871,00	490,79	14311,31143	910771,859
Mai	403,30	28,81	840,0162857	53458,6364
Juin	534,00	38,14	1112,245714	70783,3173
	1657,37	118,3835816	3452,06524	219689,432

Nous tirons de notre tableau les constantes énergétiques du process.

Tableau 23 : Constante énergétique du procédé de soufflage

Part de la puissance installée.	Part de l'énergie consommée.	Part de mat premier transformée.	Taux d'utilisation.	Consommation d'énergie spécifique.
	1,80%	1,90%	118h.	2,08KWh/Kg. Référence RECIPE 2,10KWh/Kg.

Nous avons donc une CES a **2,08 KWh/Kg** quand la référence RECIPE est à 2,10 KWh/Kg cette différence de 0,44KWh/Kg génère une surconsommation « théorique » de 33,14 KWh pour un cout de 2121FCFA.

L'usine MIT CHIMIE Cameroun produit en tous 43 types de bouteilles différentes (correspondant à 43 moules différents) nous nous sommes concentrés pour notre étude sur la bouteille dénommé « **PET 1L ORDINAIRE** » Qui constitue le gros de la production (63%).

Lors du procédé de soufflage l'énergie est consommée à quatre niveaux :

- chauffage pour ramollir la préforme avant d'être soufflé.
- moteur qui exerce une pression pour maintenir le moule fermé pendant le soufflage.
- production d'air comprimé nécessaire au soufflage.
- production d'eau glacée pour le refroidissement.
- éclairage du poste pour le confort visuelle de l'operateur machine.

Le procédé étant cyclique (14s) nous avons pu mesurer et ensuite calculer le pourcentage de la consommation de la machine en elle-même et celui de ces accessoires sur un cycle de production. Les résultats sont illustrés dans le diagramme suivant.

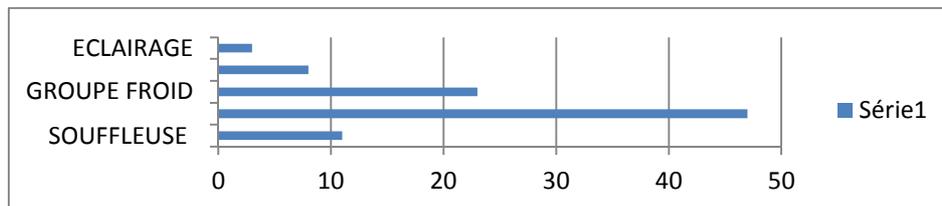


Figure 8 : *Proportion sur la consommation globale de chaque composante sur un cycle de soufflage.*

Nous remarquons donc une des principales caractéristiques du process de soufflage : les accessoires de production (air comprimé surtout) ont une consommation bien supérieure à celui de la machine en elle-même sur un cycle de production. Optimiser le process revient donc principalement à optimiser la production et l'utilisation de l'air comprimé sur le poste de soufflage. Ceci sera l'objet du chapitre consacré aux utilités. Nous nous contenterons ici d'améliorer le process en lui-même (hors air comprimé).

Une analyse plus détaillé du procédé nous a permis de mettre en évidence les paramètres de production qui influencent la consommation d'électricité sur un cycle. Nous avons :

- la température de chauffe des préformes plus elle est importante plus le cycle dure.
- temps de refroidissement.
- pression de soufflage.

De tous ces paramètres celui qui impacte le plus la consommation électrique de la machine c'est la pression de soufflage. En effet pendant le temps où cette pression est exercée dans le moule le moteur électrique de la souffleuse doit le maintenir fermé malgré l'énorme pression à laquelle elle est soumise. Nous avons donc étudié les variations de la consommation électrique de la machine au cours d'une période de soufflage (pour une pression de soufflage à 40 bar correspondant à la bouteille PET 1L ORDINAIRE). Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant.

Tableau 24 : Appel de courant sur un cycle de soufflage en fonction du temps

I(A)	34	67	72	80	86	64	47
T(s)	2	4	6	8	10	12	14

Nous observons donc que sur un cycle de production nous avons deux phases :

- une première phase à fort appel de courant (64 à 86A) pendant laquelle l'air à très forte pression est injecté dans le moule, le moteur déploie alors un couple important pour maintenir le moule fermé.
- une seconde où la consommation de courant (du moteur de la souffleuse) chute (de 86 à 47A). La bouteille est refroidie, se solidifie et est prête à sortir du moule.

Nous avons calculés la consommation électrique de la machine en fonction des différentes pressions de soufflage (pour la même bouteille PET 1L ordinaire) sur un cycle. Les résultats sont dans le tableau suivant.

Tableau 25 : Consommation électrique du moteur de la souffleuse en fonction de la pression de soufflage

Pression de soufflage (bar).	39	40	41
Consommation électrique (KWh).	0,0623	0,0739	0,0846

La pression de soufflage influence donc la consommation d'électricité sur un cycle de production celui-ci croît de 15% quand la pression augmente de 1bar.

Réduire la consommation d'électricité sur le process revient donc à trouver pour chacun de ces éléments de production en particulier la pression de soufflage et par ricochet le temps de soufflage les paramètres idéaux, et aussi corriger le comportement du facteur humain

intervenant dans le processus de production (contrôle visuelle de la qualité). C'est l'objet du prochain paragraphe.

d. Optimisation énergétique du process.

Mesure 1 : préchauffes des préformes pour leur ramollissement

⇒ Comportements observés.

Des températures de chauffe qui varie d'un jour à l'autre pour le même produit fini, un système de chauffe en fonctionnement malgré les arrêts de la production, des résistances chauffantes qui tombe en panne et sont remplacées par des éléments de fabrication artisanale très peu efficace.

⇒ Recommandation

Stabiliser le process chaque moule est livré avec ces spécifications (pression de soufflage, durée préchauffe, temps de refroidissement) utiliser ces paramètres pour produire et réglez les problèmes de qualité en remontant à la source du problème :

- défaut d'étanchéité du moule (qui conduit à une augmentation de la pression de soufflage). Améliorez l'entretien des moules bouteilles.
- mauvais entreposage de la matière première en magasin d'où sa détérioration. Mieux entreposez la marchandise au magasin.
- centrage du moule (l'aiguille d'injection n'est pas correctement ajustée d'où des défauts de soufflage qui entraînent des bouteilles déformées). Laissez le soin au personnel compétent de monter le moule.

Remplacez les résistances chauffantes défailantes par des éléments fournis par le constructeur et isoler thermiquement la machine de préchauffe des préformes pour minimiser les déperditions de chaleur.

⇒ estimations des économies et avantages liés.

Réduire le temps de préchauffe des préformes permet d'économiser de l'énergie sur la consommation électrique de la machine de chauffe. Nous n'avons pas pu mesurer les différentes consommations en fonction des temps programmés mais d'après la littérature spécialisée des économies de l'ordre de 5 à 7% peuvent être réalisés ce qui représente une économie mensuel de 16000FCFA.

Mesure 2 : Stabilisation des paramètres de production (temps de soufflage, pression de soufflage)

⇒ Comportements observés.

De nouveau, une profonde instabilité du process :

Tableau 26 : Valeurs recommandées et valeurs réelles de production sur le procédé de soufflage.

Valeurs recommandées.	Pression de soufflage 40 bar.	Temps de soufflage 300ms.
Valeurs observées.	39bar, 41bar.	400ms, 500ms, 600ms.

⇒ Recommandations.

De nouveau agir sur le moule et non sur les paramètres de production qui n'apporte qu'une solution à court terme aux problèmes de qualité et occasionnent une surconsommation énergétique.

⇒ estimations des économies et avantages liés.

Nous avons calculé à 15% la surconsommation énergétique sur un cycle de production pour une augmentation de 1bar de la pression de soufflage cela représente 17 kWh consommés en plus sur une journée de production pour un coût de 32430FCFA mensuel.

Conclusion

L'injection soufflage avec ces **1657,37kg** de matière transformée par mois pour une consommation moyenne de **3452,06 kWh** est le process le moins énergivore mis en œuvre dans l'usine.

Une fois de plus l'instabilité fonctionnelle du process est la principale cause de gaspillage d'énergie. L'incapacité de l'équipe de maintenance à trouver des solutions durables aux problèmes de moules, résistances chauffantes et autres éléments rentrant dans le processus de production amène l'opérateur machine à s'éloigner des paramètres recommandés pour satisfaire aux exigences de qualité.

Réduire la consommation d'électricité du pôle soufflage passera donc par la stabilisation du procédé de production (pression de soufflage, temps de soufflage, temps de refroidissement) ceci n'étant possible que si le matériel répond lui-même aux exigences de qualité.

5. Imprimerie découpe

a. Présentation du process.

L'imprimerie et la découpe sont des postes de finitions. Les gaines issues de l'extrusion y arrivent pour être imprimés avec des motifs propres à chaque client (nom de l'entreprise, logo, couleur) elles vont ensuite à la découpe où elles seront découpées la encore en fonction des dimensions spécifiées par le client (longueur et largeur) et prennent finalement la forme des sachets plastiques que nous connaissons tous.



Photo 9 : Imprimeuse industrielle

Notons que le trajet extrusion-imprimerie-découpe n'est pas obligatoire certaines gaines quittent directement l'extrusion pour la découpe (sachets nus sans motifs imprimés) et certains clients livrent directement des gaines et ont juste besoin d'imprimerie et de découpe.

b. Présentation du matériel

Le pôle imprimerie découpe comporte une imprimeuse industrielle et trois découpeuses (pour les différentes tailles).les puissances installées sont récapitulés dans le *Tableau 27*.

Tableau 27 : Puissance installée découpe imprimerie

Machine	ARVOR 600	ARVOR 800	ARVOR1600	Imprimeuse	Machine de traitement.
Puissance (KW)	1,5	1,5	1	2,5+3+2,5+3	2,4

c. Analyse énergétique du process.

On ne peut réellement parler d'un process qui est mis en œuvre au niveau du pôle imprimerie découpe. Le système est complètement automatisé, l'opérateur machine se charge juste de monter la gaine à imprimer, régler les différents cylindres au niveau de l'imprimerie et ajuster les mesures et la cadences au niveau de la découpe.

La consommation d'électricité du pôle imprimerie découpe est celui des multiples petits moteurs qui équipent les différentes machines et cette consommation n'est fonction d'aucun des réglages effectués par l'opérateur machine (positionnement des cylindres pour l'imprimeuse et ajustage des dimensions pour la découpe).

d. Optimisation énergétique du process.

Elle se résume ici à optimiser le fonctionnement des moteurs qui équipent l'imprimeuse et les découpeuses ce qui passe par une efficace politique de maintenance préventive et curative.

Estimations des économies et avantages liés.

L'entretien correct d'un moteur permet de gagner de 5 à 7% sur sa consommation d'énergie. Le pôle imprimerie découpe a un taux d'utilisation de 30% (216h/mois) une économie de 5% représenterait un gain de 10000FCFA mensuel sur la consommation d'électricité.

Conclusion

Le pôle imprimerie découpe représente le poste de transformation le moins énergivore de l'usine. Il n'en demeure pas moins que la mise sur pied d'une politique de maintenance (préventive surtout) permettrait de réduire de 7% sa consommation d'électricité ce qui représenterait un gain mensuel de 10000 FCFA.

6. Les utilités

a. L'air comprimé

(i) Présentation du parc

Le site de production de MIT CHIMIE Cameroun contient 5 compresseurs. Le détail des puissances installés et des modes de fonctionnement est donné dans le *Tableau 28*.

Tableau 28 : Puissance installée air comprimé

Compresseurs	Puissance (kW)	Temps (h) d'utilisation mensuelle	Energie consommée (kWh)	Coût (FCFA)	Pression délivrée (Bar)	Poste desservie
HENGDA (VEV)	18,5	540	7992	508610	30	Soufflage (40bar), injection (12bar).
SUNAIR (VEV)	20	En appoint quand le Hengda est insuffisant.			30	Soufflage (40bar), injection (12bar).
RIBAO	20	184	2944	541696	7	Extrusion (3 Bar), découpe (3 bar).
RIBAO	20	118	1888	222784	7	Soufflage bouteille LLDPE (6 Bar).
ABAC air	12	77	345	22077	6	Découpe (3 Bar).

Les compresseurs de MIT CHIMIE Cameroun représentent donc une puissance installée de 90,5 kW consomment 13169 kWh mensuel pour un cout de 842816 FCFA (7,5% de la facture globale d'électricité).



Photo 10 : Compresseur à air RIBAO

(ii) Optimisation énergétique des compresseurs

Mesure 1 : Optimisation de la gestion des compresseurs

⇒ Comportements observés

Commençons par préciser que des cinq compresseurs présent sur le site deux desservent directement une machine et sont placés au plus proche de la machine desservie (RIBAO n° 2

qui dessert la machine de soufflage LLDPE et l'ABAC qui dessert la découpeuse n° 3). Ces deux compresseurs ne sont pas concernés par notre optimisation ils sont réglés à la juste pression et placés au plus près du poste desservi. Le RIBAO n°2 dessert quant à lui deux postes qui fonctionnent à la même pression et surtout présente quasiment les mêmes taux mensuels de fonctionnement.

L'optimisation concerne donc essentiellement le couple HENGDA-SUNAIR. Les deux compresseurs desservent deux postes qui présentent des besoins et des taux d'utilisation différents :

Injection : 540h/MOIS ; 12 bar.	Soufflage : 118h/MOIS ; 40 bar.
---------------------------------	---------------------------------

Donc les souffleuses sont arrêtées en moyenne 422h par mois quand les presses tournent. Il nous est arrivé plusieurs fois de constater que malgré l'arrêt des souffleuses les deux compresseurs continuent de tourner délivrant donc 60bar d'air comprimé pour un process qui n'a besoin que de 12bar.

⇒ Optimisation et recommandations.

Vérification méthodique (3 fois/quart) de l'adéquation entre la production d'air comprimé du couple HENGDA-SUNAIR et les besoins réels. Arrêter l'un des deux compresseurs chaque fois que l'un des postes de consommation est en arrêt.

⇒ Estimations des économies et avantages liés.

Un bar en plus d'air comprimé représente 7% de surconsommation. Faire tourner les presses avec une production d'air comprimé à 60 bars représente donc une production de 46 bars en plus (avec une consigne à 14 bars pour alimenter les presses) ce qui génère un coût de 3033FCFA pour chaque heure où cette surproduction est ignorée.

Mesure 2 : Température d'entrée de l'air comprimé et généralisation des compresseurs à VEV

⇒ Comportements observés

Les compresseurs sont tous situés à l'intérieur du site de production ils aspirent donc de l'air à 39°C qui est la température ambiante de l'usine, trois compresseurs sur les cinq disponibles à l'usine ne sont pas à vitesse variable et ne peuvent donc pas adapter leur production d'air comprimé au besoin réel du process qu'ils doivent alimenter.

⇒ Recommandations

Faire sortir les compresseurs de l'usine et généraliser la technologie VEV sur le parc compresseur de l'usine.

⇒ Estimations des économies et avantages liés.

Cette mesure nécessite un gros investissement (réadaptation du réseau, surtout à l'achat des compresseurs VEV) sans compter le manque à gagner dû à l'arrêt de la production pendant la période des travaux. C'est pour cette raison qu'elle sera difficilement acceptable par la direction de l'entreprise. Nous recommandons donc de l'appliquer non pas au matériel déjà existant mais au cas où un nouveau compresseur viendrait à être installé dans l'usine. Une diminution de 10°C de la température d'entrée de l'air représente 3,5% de consommation en moins et la technologie VEV permet d'économiser de 40 à 50% sur la consommation du compresseur avec un temps de retour sur investissement de 16 mois en moyenne sur le surcoût liée à l'achat du VEV.

Mesure 3 : Recherche et élimination des fuites

⇒ Comportement observées

Une simple inspection visuelle du réseau d'air comprimé de l'usine nous a permis de nous rendre compte qu'il est complètement vétuste en plus de cela Nous avons remarqué que la plupart des compresseurs continuent de travailler même sans besoin d'air comprimé preuve qu'il y a des fuites sur le réseau. Nous n'avons pas pu acquérir le matériel nécessaire pour mesurer les fuites.

⇒ Recommandations.

Faire inspecter le réseau par un professionnel et réparer toutes les fuites présentes.

⇒ Economie d'énergie et avantage liés

De 25 à 60% sur la consommation des compresseurs ce qui représente une économie mensuelle de 210000 FCFA. L'investissement nécessaire est fonction du prestataire et difficilement estimable mais la littérature spécialisée mentionne des retours sur investissement de l'ordre de 3 à 6 mois.

Conclusion

L'air comprimé est un préalable à toute activité de production au sein de l'usine. de ce fait le parc compresseurs doit recevoir une attention particulière de la part de l'équipe de maintenance du site. Optimiser la consommation d'électricité des compresseurs au sein de l'usine revient principalement à leur faire délivrer la juste pression nécessaire au process qu'ils alimentent et aussi réguler leur fonctionnement en se rassurant à chaque fois qu'aucun

des éléments ne tourne à vide ou alors en appoint pour alimenter un process qui n'en n'a pas besoin.

Au chapitre des mesures avec investissement la détection et la suppression des fuites sur le réseau et la mise en place d'une politique de vérification/suppressions des fuites nous parait être la plus rentable. Les économies attendues étant de l'ordre de 210000 FCFA pour un temps de retour sur investissement de 6mois.

b. Eclairage

Le site de production de MIT CHIMIE Cameroun comporte 68 lampes répartit comme le présente le *Tableau 29*.

Tableau 29 : Répartition des lampes sur le site de production

<i>local</i>	Extrusion	Injection	Imprimerie	Soufflage bouteilles	Recyclage	Couloirs
<i>Nombre de lampes</i>	16	12	12	10	6	12



Photo 11 : Le poste de soufflage avec son éclairage

Les lampes présentes sur le site sont toutes des lampe De puissance unitaire 36 W avec ballast électronique ce qui fait donc une puissance installée de 2,4 kW pour une consommation (les lampes sont allumées 24h/24) de 1762 kWh mensuel et un coût de 112803 FCFA.

Nous avons mesuré grâce à un luxmètre l'éclairage(le jour J et la nuit N) de chacun des postes de travail les résultats sont récapitulés dans le *Tableau 30*.

Tableau 30 : Eclairage mesure à chaque poste de transformation.

	Injection	Extrusion	Imprimerie	Recyclage	Soufflage.
valeur réelle (Lux)	623Jours/ 336Nuits.	645Jours/ 614Nuits.	1200Jours/ 819Nuits.	1200Jours/ 900Nuits.	900Jours/ 420Nuits.
Recommandé (Lux)	300	1000	300	200	300

(i) Optimisation de l'éclairage

Notons d'abord que la gestion de l'éclairage sur le site est totalement inexistante. Les lampes sont allumées 24h/24. Les interrupteurs sont disposés de façon anarchique, aucun poste de transformation ne possède un interrupteur propre, en général un interrupteur commande un ensemble de lampe situés dans des zones distinctes. Nous recommandons donc en premier lieu de réaménager le réseau d'éclairage de l'usine pour allouer à chaque poste un interrupteur commandant son système d'éclairage.

Intéressons-nous maintenant aux différents postes de transformation :

– l'injection.

Avec un éclairage de 623 lux en journée et 336 lux la nuit pour une valeur recommandée de 300 lux le poste est beaucoup trop éclairée en journée. Nous recommandons donc d'arrêter l'éclairage artificiel en journée, l'éclairage naturel étant suffisant. Cette recommandation étant bien entendu placée sous l'autorité de l'opérateur machine qui peut décider à tous moment de la journée d'augmenter l'éclairage de son poste de travail.

– l'extrusion

Avec son éclairage de 645Jour/614Nuit ce le poste le plus mal éclairée de l'usine (parce que située très loin des ouvertures donc ne recevant quasiment aucun éclairage naturel) et c'est pourtant celui qui a le plus grand besoin de lumière. Lors de la production de gaine l'opérateur machine doit inspecter attentivement et continuellement la gaine pour détecter le moindre défaut de qualité et arrêter la production pour mener les ajustements nécessaires. Le poste nécessite 1000 lux d'éclairage selon la réglementation (poste de fabrication de petites pièces) nous recommandons donc d'installer 8 lampes supplémentaires pour porter l'éclairage du poste a 1000 lux et satisfaire à la réglementation sur l'éclairage des zones de production.

– soufflage, recyclage, imprimerie.

Trois postes beaucoup trop éclairés. Le recyclage se fait habituellement en journée et consiste à verser des préformes dans une broyeuse, l'éclairage naturel de ce poste est suffisant pour

la conduite des opérations qui s’y déroulent. Nous recommandons donc d’éteindre les lampes présentes à ce poste et de ne les allumer que quand il y a un besoin spécifique. L’imprimante est le poste recevant le plus de lumière naturel dans l’usine l’éclairage artificiel apporté par les 6 lampes du poste est totalement superflue(en journée au moins) les arrêter en journée ne nuirait pas à la bonne conduite des opérations d’imprimerie.

⇒ estimations des économies et avantages liés.

La mise en place de ces mesures diminuerait de moitié la consommation électrique de l’éclairage du site de production. Ce qui représente un gain financier mensuel de 56401FCFA.

Conclusion

L’absence d’interrupteurs propres à chaque poste de transformation rend très compliqué la gestion de l’éclairage sur le site. Remédier à cette situation est un préalable pour optimiser l’éclairage au sein de l’usine MIT CHIMIE Cameroun. Néanmoins nos différentes mesures nous ont permis de nous rendre compte que certains postes sont beaucoup trop éclairés (recyclage, imprimerie, découpe) et d’autres beaucoup moins (extrusion) un réaménagement du positionnement des lampes est donc nécessaires sur le site pour porter le niveau d’éclairage de chaque poste a la valeur requise par la réglementation et ainsi réaliser des économies sur la consommation d’électricité des postes trop éclairés.

c. La production d’eau glacée

MIT CHIMIE possède sur son site cinq groupes froid les puissances installées et les postes desservis sont récapitulés dans le *Tableau 31*.

Tableau 31 : Puissance installée production d’eau glacée

Groupe froid.	Poste desservie et température de consigne	Taux d’utilisation mensuelle (h)	Consommation (KWh)
HML 26KW	Presse à injection, 26°C.	364	9464
HML 26KW	Presse à injection, 26°C.	364	9464
HML 26 KW	Presse à injection, 26°C.	364	9464
CHILER 8, 8KW	Machine de soufflage LLDPE, 22°C.	118	1038
CHILER 8,8KW	Machine de soufflage PET, 22°C.	118	1038

La production d'eau glacée sur le site représente donc une puissance installée 95,6kW avec une consommation moyenne mensuelle de 30468kWh ce qui en fait un consommateur majeur du site.

(i) Optimisation de la production d'eau glacée.

L'optimisation d'un système de production d'eau glacée sur un site industriel se fait sur trois axes principalement :

- respect des températures de consignes.
- adéquation production/demande.
- mise à la norme du réseau de distribution d'eau glacée.

Par rapport à l'adéquation entre la production et la demande l'ensemble des groupes froid de MIT CHIMIE Cameroun présentent la particularité d'avoir été fabriqués par le concepteur des presses(machines qu'elles alimentent en eau glacée) et livrés en même temps que ces dernières .le souci de l'adéquation entre la production et la demande est donc d'office résolu vu que chaque groupe froid a été conçu pour la machine qu'elle alimente. Le respect des températures de consigne est effectif à l'échelle de l'usine chaque groupe froid est réglé à la température recommandée par le fabricant. Le réseau quant à lui est quasiment inexistant chaque groupe froid étant placé au plus proche de la machine qu'elle alimente en eau glacée.

7. Système de gestion de l'énergie

Définition et objectifs

Si l'objectif d'un audit est d'identifier et corriger les surconsommations énergétiques, les mesures et autres recommandations ne peuvent avoir d'effet à long terme que si un véritable système de gestion de l'énergie(SGE) est mis en place au niveau de l'usine.

Un SGE se définit comme un système permettant de constater et d'éliminer le gaspillage d'énergie le but étant d'améliorer l'efficacité opérationnelle d'un site de production et de réduire les coûts généraux.

Le suivi des rendements (kWh/kg) des différents postes de transformations est la composante fondamentale de tout SGE .Actuellement à MIT CHIMIE CAMEROUN les rapports de production remis par chaque chef à la fin de son quart de production ne détaille que le tonnage produit et la proportion de déchets, aucune mention n'est faite du comportement énergétique des machines. Cette carence a pour principale conséquence l'impossibilité de suivre la consommation énergétique des postes de transformation.

Nous recommandons donc qu'en plus du tonnage et de la proportion de déchets produits, les rapports remis quotidiennement par chaque chef de quart à la direction de l'usine mentionnent le rendement de chaque poste de transformation ceci permettra de dresser un profil énergétique solide de tous les postes de transformation, de comprendre et ainsi mieux solutionnées toute baisse de rendements. Le détail de cette partie est situé en annexe 3.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif principal de notre travail était de rationaliser la consommation d'énergie sur le site de production de MIT CHIMIE Cameroun .Notons d'abord que les différents process mis en œuvre dans l'usine ont chacun leur profil énergétique propre dicté le plus souvent par l'âge et la taille des machines, il est donc difficile de penser à des solutions globales a l'échelle de l'usine la seule solution pertinente est une analyse poste par poste.

L'injection et le soufflage représentent respectivement le poste de transformation le plus et le moins énergivore de l'usine. Ils présentent tous les deux des rendements qu'on peut juger satisfaisant. Ceci étant principalement dû à l'âge des machines par contre l'instabilité chronique de ces deux process qui trouve sa cause dans la qualité défailante du matériel de production (moules, colliers chauffants, canaux de refroidissements) mais aussi dans l'incapacité de l'équipe de maintenance du site à solutionner durablement les problèmes de matériels est une énorme source de gaspillage d'énergie. La solution ultime à ce problème au-delà des recommandations visant la stabilisation du process est avant tout la présence d'une expertise technique dans l'usine capable de maintenir convenablement les moules et autres éléments intervenant dans la chaine de production et cela passe par l'accès a des formations de haut niveau (souvent dispensées par les constructeurs) des membres de l'équipe de maintenance. Car il est bien beau de demander à l'opérateur machine de respecter les paramètres constructeurs pour sa production mais encore faut-il que la machine soit dans l'état dans lequel le constructeur l'a conçu.

L'extrusion est le seul poste de transformation de l'usine où le gaspillage d'énergie est dû à la vétusté du matériel. Nos recommandations ont donc été la priorité à accorder au matériel à haut rendement (motorisation EFF1, colliers chauffants constructeur) lors de l'achat de nouveaux équipements. Le poste de recyclage dont toute consommation peut être considéré comme une surconsommation reçoit la somme des défauts de production présente a tous les postes de l'usine. Réduire sa consommation revient à agir sur les différents process de façon à diminuer le flux de produits de mauvaise qualité et cela passe en plus des recommandations propres à chaque procédé par un accroissement des contrôles qualité à l'échelle de l'usine.

Nous avons finalement recommandé la mise sur pied d'un système de gestion de l'énergie(ou du moins d'un suivi des rendements machines) qui une fois implémenté rendra méthodique les processus de vérification/rectification des différents rendements à l'échelle de l'usine,

Mais aussi et surtout fournira les données de base pour la mise en place d'une véritable comptabilité énergétique dans l'entreprise.

Au-delà des travaux réalisés et des recommandations que nous avons formulées, toute démarche d'économie d'énergie ne peut être que plus efficace si elle est menée conjointement par plusieurs industries appartenant au même secteur. Des associations pourraient se mettre en place à l'image de ce qui se fait ailleurs (fédération française de la plasturgie, association canadienne des producteurs de produits plastique, pôles européen de plasturgie) le but étant de comparer (benchmarking) mais surtout de partager les techniques qui « marchent ». L'état quant à elle pourrait appuyer ces démarches par la mise en place d'une fiscalité avantageuse pour les entreprises qui témoigneraient d'une véritable volonté et présenteraient des plans d'actions concrets et chiffrés visant à économiser de l'énergie sur leur site de production. L'Etat y gagnerait car ces actions contribueraient à réduire la « tension » énergétique qui règne dans le pays, tension qui ne va certes durablement baisser que par l'accroissement des moyens de production d'électricité à l'échelle nationale mais aussi par une rationalisation de l'utilisation de l'électricité déjà produite.

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 -Pr YEZOUMA COULIBALY, *Economie d'énergie dans le bâtiment et l'industrie*. Cours dispensé à l'Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement. Décembre 2010.76p.
- 2- Pôle européen de plasturgie, *Optimisation de la consommation d'énergie en plasturgie*. Octobre 2006.76p.
- 3- Pôle européen de plasturgie, *Enquête européenne 2005 : comparaison des consommateurs d'énergie dans le secteur de la plasturgie en vue de l'adoption des meilleures pratiques*. Décembre 2005.50p.
- 4 -Institut supérieur de plasturgie d'Alençon, *Rapport final journées technique économie d'énergie dans l'industrie plastique*.2010.33p.
- 5- Byron J Landry, *Guide sur les possibilités d'accroître l'efficacité énergétique dans l'industrie de transformation de plastiques au Canada*. Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne.2010.114p.

VII. ANNEXES

<i>Annexe 1 : Le recyclage à MIT CHIMIE CAMEROUN</i>	I
<i>Annexe 2 : Système de gestion de l'énergie, détails et implémentation</i>	IV
<i>Annexe 3 : Schéma générique des différents procédés</i>	XII

Annexe 1 : Le recyclage à MIT CHIMIE CAMEROUN

PÔLE RECYCLAGE

a) Présentation du process.

Le recyclage a MIT CHIMIE CAMEROUN se fait essentiellement sur les déchets de préformes et de bouteilles issue de l'injection et les sachets issues de la découpe. Une fois que le défaut de qualité est constaté le colis est envoyé au recyclage où il passe par le concasseur –broyeur pour les bouteilles et les préformes ou alors par le densificateur pour les sachets.



Photo 1 : concasseur broyeur

b) Présentation du matériel

Le pôle recyclage de MIT CHIMIE CAMEROUN est en terme de puissance installée non négligeable .Il représente une puissance de 41,4KW dont le détail est donné dans le tableau suivant :

MACHINE	PUISSANCE (kW)	Age (années)
Broyeur	2,2 × 2	5
Concasseur	15	5
Densificateur	22	8

c) Analyse énergétique du process.

Nous commençons par présenter un tableau récapitulant la transformation (kg de déchets) et la consommation(kWh) du pôle recyclage.

Mois	Heures	Transformation (kg)	Consommation (kWh)	Coût (FCFA)
Décembre	65	780	2152,8	137 004,192
Janvier	115	1380	3808,8	242 392,032
Février	98,75	1185	3270,6	208 140,984
Mars	171,58	2059	5682,84	361 655,938
Avril	185,5	2226	6143,76	390 988,886
Mai	169,08	2029	5600,04	356 386,546
Juin	221,08	2653	7322,28	465 989,899
moyenne	146,57	1758,85	4854,44	308 936,925

Le pôle Recyclage transforme donc en moyenne 147kg de matière par mois pour une consommation de 4854kWh et un coût de 308936 FCFA.

L'électricité consommée se fait essentiellement à travers les moteurs des différentes machines de recyclage et ici aucun paramétrage n'influence la consommation électrique du processus (les déchets sont versés dans la machine et le moteur est activé).

d) optimisation énergétique du process.

-analyse qualitative et régulière de la production des préformes et sachets.

Comportements observés.

Le contrôle qualité mis en place à l'usine n'est pas assez rigoureux et régulier (surtout au niveau de l'extrusion). Il est effectué lorsque la machine est lancée et tant qu'elle produit aucune autre vérification n'est réalisée. Or il arrive fréquemment qu'en cour de production la qualité se dégrade et d'une façon assez subtile pour échapper à l'opérateur machine.

Recommandation.

-augmenter la fréquence des contrôles qualité au niveau de l'extrusion, du soufflage, et de la découpe a 3 contrôles/quart.

-former les opérateurs machines au contrôle qualité et ne plus en faire l'affaire exclusive du contrôleur (un seul pour toute l'usine) qui a par ailleurs d'autres responsabilité dans l'entreprise et peut faire des semaines entières sans entrer à l'usine.

Estimation des économies et avantages liées.

Diminution considérables de la quantité de déchets issue des différents process. Chaque Kg de déchets qui n'arrive pas au recyclage représente $2,76\text{kWh/kg} \times 64\text{FCFA} = 177\text{FCFA}$ d'économie.

-activité de recyclage aux heures de pointes.

Comportement observés.

Les activités de recyclage se déroulent à tout moment de la journée sur instruction du chef de quart qui ne se soucie en général pas de la période dans laquelle on se trouve (heures de pointe /heures creuses).

Recommandations

Interdire toute activité de recyclage pendant les heures de pointes .cette activité n'étant soumise à aucune contrainte de temps (la matière recyclé n'est pas destiné à un client mais à l'usage interne) elle est donc toujours décalable vers des heures creuses.

Estimations des économies et avantages liées.

Le pôle recyclage présente un CES de 2,76 kWh/kg. Chaque kg de déchets transformés pendant les heures de pointes représente un gaspillage (donc une potentielle économie) de

$$2,76 \text{ kWh/kg} (85\text{FCFA} - 60\text{FCFA}) = 69 \text{ FCFA/kg.}$$

Conclusion

Le poste recyclage de par la nature de l'activité qui y est menée peut paraître négligeable. Il s'avère pourtant être un grand consommateur d'énergie (**308936,925FCFA** en moyenne mensuelle).le matériel étant récent et de bonne qualité la diminution de la consommation électrique du poste passe donc par des ajustements comportementaux.

Agir en amont pour réduire la quantité de matière qui arrive au recyclage en intensifiant les contrôles qualité sur tous les postes de production est la mesure la plus efficace dans le sens des économies d'énergie (176FCFA par kg non recyclé).Une directive du chef d'usine interdisant toute activité é de recyclage pendant les heures de pointes auraient elles aussi un impact non négligeable sur la facture électrique du poste recyclage(69FCFA par kg non recyclé pendant les heures de pointes).

Annexe 2 : Système de gestion de l'énergie, détails et implémentation

1) Définition et objectifs.

Si l'objectif d'un audit est d'identifier et corriger les surconsommations énergétiques, les mesures et autres recommandations ne peuvent avoir d'effet à long terme que si un véritable système de gestion de l'énergie (SGE) est mis en place au niveau de l'usine.

Un SGE se définit comme un système permettant de constater et d'éliminer le gaspillage d'énergie le but étant d'améliorer l'efficacité opérationnelle d'un site de production et de réduire les coûts généraux. Il est caractérisé par:

- Ces produits livrables : la détection rapide d'un mauvais rendement (CES des différents pôles de production), le soutien au processus décisionnel (vérification de l'effectivité des résultats suite à la mise en œuvre des recommandations d'un audit énergétique) et un système de rapports efficace en matière d'énergie.
- Ces analyses : le stockage de données (consommation d'électricité kWh, consommation de matière première kg, débit et pression d'air comprimé, température des résistances chauffantes dans les différents process), la définition d'objectifs en matière de consommation d'énergie et la comparaison de la consommation réelle avec ces objectifs.
- Ces outils : les capteurs et les compteurs divisionnaires d'énergie.

Le SGE aura pour principaux objectifs la détermination, la justification et le suivi des projets énergétiques et le soutien à la budgétisation énergétique et à la comptabilité de gestion.

2) Acquisition des données du SGE.

Le système d'acquisition des données constitue le pilier d'un SGE il permet d'établir une comptabilité énergétique par pôle de production (injection, extrusion, soufflage) mais surtout de fournir des données importantes pour tous projets d'aménagement ou d'amélioration des équipements existants.

Pour MIT CHIMIE CAMEROUN nous avons identifiées deux groupes de données qui nous permettront de suivre le comportement énergétique du site :

- les mesures directes de consommation d'électricité des différents pôles de production et des utilités.

-les mesures des paramètres directement associées à la consommation d'énergie que nous listons dans le tableau suivant.

procédé	Paramètres
Injection	Charge(g), temps d'injection(s), temps de refroidissement(s), températures des résistances chauffantes (°C).
Extrusion	Charge(g), températures des résistances chauffantes (°C).
Soufflage	Temps de soufflage(s), pression de soufflage(Bar).

a) Emplacement des compteurs et des capteurs.

L'architecture d'un système d'acquisition des données est intimement liée à celle du réseau électrique de l'usine. il convient dans un premier temps de lister le matériel de mesure et de comptage déjà présent sur le site afin de mieux identifier ce qui pourra être acheté. Le tableau suivant liste tous ce qui existe comme outils de capture de données sur le site de production de MIT CHIMIE Cameroun.

ELECTRICITE	Compteur général AES SONEL, interface du stabilisateur de tension.
CHALEUR	Interface des différents régulateurs de température.
AIR COMPRIME	Interface des compresseurs d'air.
FROID	Interface des groupes froids.

Nous remarquons donc qu'aucun système de comptage ne permet d'avoir la consommation énergétique des pôles de production (ce qui est une donnée fondamentale de notre SGE) nous recommandons donc l'installation de compteur divisionnaires sur les départ alimentant chacune des presses d'injection, le départ extrusion et le départ soufflage. Le récapitulatif est donné dans le tableau suivant :

Procédé	Compteur
Injection	3 compteurs divisionnaires car chacune des presses possède son propre départ au niveau du TGBT.
Extrusion	1 compteur sur le départ extrusion.
Soufflage	1compteur sur le départ soufflage.
Production de froid	1 compteur sur le départ alimentant les groupes froid.
Air comprimé	1 compteur sur le départ air comprimé qui alimente les cinq compresseurs d'air du site.

Imprimerie découpe	1 compteur.
bureaux	1 compteur pour évaluer la part exacte de la consommation des bureaux.

Notons aussi que deux grands pôles de consommation de l'usine à savoir le recyclage et l'éclairage ne disposent pas de départ propre les machines servant au recyclage ayant été greffé sur le réseau électrique de l'usine sans aucun aménagement préalable en essayant simplement de les raccorder à la source de tension la plus proche. Nous recommandons donc l'aménagement du TBGT pour que ces deux pôles disposent de leur départ propre ce qui permettra de mieux quantifier leur consommation.

b) Méthodologie d'acquisition des données

Une fois le matériel d'acquisition des données acquis il est important de mettre sur pied une méthodologie de prélèvement de ces données. la règle principale à observer est que la fréquence de saisie des données doit être supérieur à la fréquence de variation de la donnée étudiée l'objectif étant de couvrir toutes les variations du paramètre sur la période d'observation. Le tableau suivant récapitule pour chaque donnée la fréquence de saisie que nous recommandons.

<i>Données</i>	<i>Fréquence de saisie</i>
Consommation électrique des pôles de production et des utilités.	A la fin de chaque quart de production.
Températures des résistances chauffantes pour les différents process.	3 fois par quart de production (Toutes les 3 heures).
Pression sur les réseaux d'air comprimé.	Toutes les 3h.
Consigne des groupes froids.	Toutes les 3h.
Charge à l'injection, temps d'injection, temps de soufflage, pression de soufflage, charge à l'extrusion	3 fois par quart de production (chaque 3 heures).

c) Centre de comptabilisation de l'énergie(CCE)

Après avoir déterminé l'emplacement des compteurs et établie une méthodologie de capture des données nous nous intéressons maintenant au CCE.

Le CCE représente une entité de production(ou une utilité) donc la variation du rendement intéresse particulièrement l'équipe technique de l'usine. Il est le plus souvent adossé à la hiérarchie organisationnelle de l'usine ce qui permet de le placer sous la responsabilité d'un membre du personnel dirigeant de l'usine qui aura donc pour tâche de surveiller et surtout comprendre les variations de rendement du dit CCE. Nous listons dans le tableau suivant les différents CCE à mettre sur pied à MIT CHIMIE CAMEROUN et la variable de rendement appropriée.

CCE.	Variable de mesure du rendement	Consommation mesurée	Responsable d'analyse
Injection, extrusion, Soufflage, découpe.	Kg de produit transformé.	Consommation électrique KWh.	Chef de section.
Air comprimé.	Kg de produit transformé.	Consommation électrique KWh.	Chef département maintenance.
Groupe froid.	Kg de produit transformé.	Consommation électrique KWh	Chef département maintenance.
Paramètres influençant directement la consommation d'énergie	Kg de produit transformé.	Charge(g), temps de refroidissement, d'injection, de soufflage(s).	Chef de section.

3) Traitement des données.

Une fois les données acquises nous devons mettre en place un processus efficace d'analyse avec pour principaux objectifs :

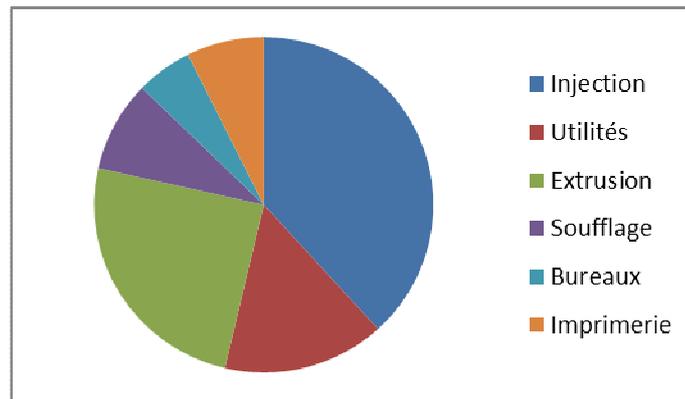
- ventiler la consommation et les coûts par pôle de production.
- calculer les niveaux de rendement.
- comprendre pourquoi la consommation et les rendements varient.
- calculer pour la consommation et l'efficacité des valeurs cibles qui permettent de repérer un rendement insuffisant.

a) Ventilation de la consommation et des coûts par pôle de production.

Il y a plusieurs avantages à diviser la consommation totale d'énergie (et les coûts correspondant) cela permet une répartition exacte des coûts de production, la mise en relief des secteurs clés et aussi une incitation à la discussion et à l'émergence de nouvelles idées.

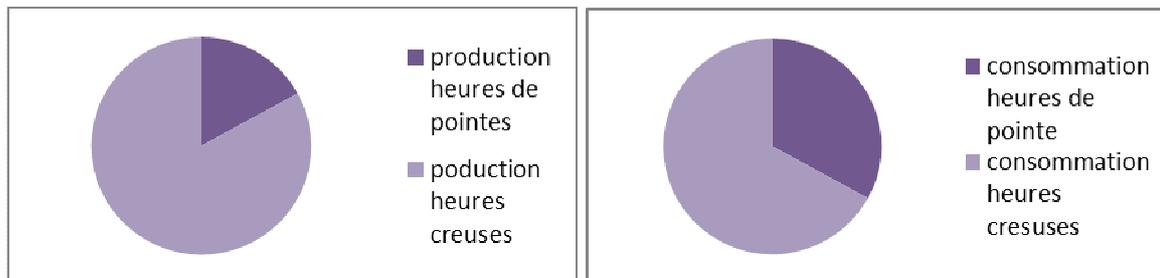
Pour MIT CHIMIE CAMEROUN nous recommandons 4 ventilations de la consommation à effectuer :

-ventilation de la consommation d'énergie par pole de production.



Graphique représentant la ventilation de la consommation d'énergie sur le site de production.

-ventilation de la consommation et de la production pendant les heures de pointes



Cette ventilation permettra de mesurer le poids de la consommation pendant les heures de pointes et une analyse croisée avec la production pendant la même période permettra de valider économiquement tout ce qui est produit pendant les heures de pointe.

-courbe journalière de consommation

Elle permettra de voir à quel moment de la journée l'appel de courant a été le plus important et d'analyser la production pendant la même période pour voir s'il y a effectivement adéquation. Dans le cas contraire cela signifierait que des facteurs non liés à la production augmentent l'appel de courant à un moment de la journée faudra donc les identifier.

b) Calcul des indicateurs de rendement.

Dans certains cas on peut mesurer le rendement de l'énergie en utilisant une mesure simple comme la consommation d'un process. toutefois dans le cas de MIT CHIMIE CAMEROUN cette consommation est fortement influencé par le taux de production et ne peut donc pas être considéré comme un indicateur fiable. Nous recommandons la

« consommation d'énergie spécifique » comme indicateur de tous les process mis en oeuvre dans l'usine. IL sera calculé à la fin de chaque quart grâce aux données de production (kg) et de consommation (kW) et consigné dans le rapport journalier de production remis au chef d'usine à la fin de chaque quart. L'objectif étant de le comparer à la valeur antérieure (quart précédent), à la valeur moyenne du CES de ce process calculée sur une période significative, et à des références extérieures (RECIPE, PEEIC).

c) Analyse des mesures directement associée à la consommation d'énergie.

Il est important que nous ayons en main les données sur les paramètres qui influencent directement la consommation d'énergie des process. Sans ces données l'analyse énergétique se limiterait à la mesure des consommations et leur comparaison avec des valeurs antérieures les économies réalisables s'en verraient fortement réduites. L'analyse de ces données permet de comprendre les causes d'une consommation variable et d'établir des objectifs auxquels on peut comparer les rendements actuels.

Pour MIT CHIMIE CAMEROUN un relevé régulier de ces mesures sera effectué et grâce à un traitement croisé avec les données de consommation et de production des corrélations pourront être dégagées entre le temps de refroidissement et la consommation d'un cycle de soufflage par exemple ou alors entre la charge à l'injection et la consommation d'un cycle d'injection. Le but étant de pouvoir expliquer les surconsommations énergétiques mais aussi de les anticiper (si un moule présente par exemple un défaut d'étanchéité la charge sera donc augmentée et une augmentation de la consommation énergétique attendue).

Présentation des rapports journaliers.

Un système efficace de rapport en matière d'énergie est un élément essentiel à la réussite d'un SGE il doit contenir de l'information pertinente et des données cohérentes. Les rapports sur l'énergie doivent constituer un sous-ensemble d'un rapport général sur la consommation et la production. L'amélioration de l'efficacité énergétique constitue rarement sinon jamais le seul objectif d'amélioration d'un site de production il faut donc l'étudier avec d'autres éléments comme la qualité, la fiabilité du matériel, la production etc... Le but de l'entreprise étant de dégager des bénéfices et non d'économiser de l'énergie.

Actuellement les rapports journaliers de production de MIT CHIMIE CAMEROUN mettent l'accent sur la production et la qualité (Kg produits, Kg de déchets).

Injection	Extrusion	Soufflage
Production(kg)	Production(kg)	Production(kg)
Dechets(kg)	Dechets(kg)	Dechets(kg)

Nous recommandons la structure suivante pour les rapports journaliers qui permettra de suivre non seulement la production et la qualité mais également la consommation d'électricité et les différents rendements.

Injection	Extrusion	Soufflage	Impimerie decoupe
Production(kg). Objectifs(kg).	Production(kg). Objectifs(kg).	Production(kg). Objectifs(kg).	Production(kg). Objectifs(kg).
Dechets(kg). Objectifs(kg).	Dechets(kg). Objectifs(kg).	Dechets(kg). Objectifs(kg).	Dechets(kg). Objectifs(kg).
Consommation(kWh). Objectifs(kWh).	Consommation(kWh). Objectifs(kWh).	Consommation(kWh). Objectifs(kWh).	Consommation(kWh). Objectifs(kWh).
CES(kWh/kg). Valeur anterieur(kWh/kg). Moyenne(kWh/kg).	CES(kWh/kg). Valeur anterieur(kWh/kg). Moyenne(kWh/kg).	CES(kWh/kg). Valeur anterieur(kWh/kg). Moyenne(kWh/kg).	CES(kWh/kg). Valeur anterieur(kWh/kg). Moyenne(kWh/kg).
Charge(g). Recommandation constructeur(g).	Temperature de chauffe (°C). Temperature recommandée(°C).	Pression de soufflage(bar). Pression recommandé(bar).	
Pression d'injection(MPa). Recommandation constructeur(Mpa).		Temps de soufflage(s). Temps recommandé(s).	
Temperature de chauffe(°C). Temperature recommandé(°C).			

4) Coût et avantages.

Le coût de la mise sur pied d'un SGE est difficilement estimable tant il est liée au niveau de sophistication du système que l'entreprise choisira. Les retombées quand a eux pour un grand consommateur d'énergie comme mit chimie Cameroun sont estimés de 3 à 5% de la consommation d'électricité ce qui représente 5390KWh pour un coût de 350000FCFA mensuelle.

Conclusion

Pour être gérable une donnée doit d'abord être quantifiable. L'objectif d'un SGE au-delà des économies d'énergie qu'il peut engendrer est donc d'aider à la mise sur pied d'une véritable comptabilité énergétique au sein de l'usine mit chimie (comme cela existe pour les flux financiers et les flux de matières premières et de produits finis).

Les données du SGE pourront ainsi en plus de l'impact sur la consommation d'électricité(3% d'économie mensuelle attendue) servir de matière première a toute activité d'amélioration, accroissements ,ou alors de simple révision des capacités de production de l'usine mit chimie Cameroun. Le but étant d'augmenter la rentabilité de l'entreprise ou du moins de comprendre pourquoi elle ne l'est pas en cas de pertes.

Annexe 3 : Schéma générique des différents procédés

(Tirés du rapport « économie d'énergie dans les industries de transformation du plastique au Canada », édités par Ressources naturelles du Canada dans le cadre du programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne)

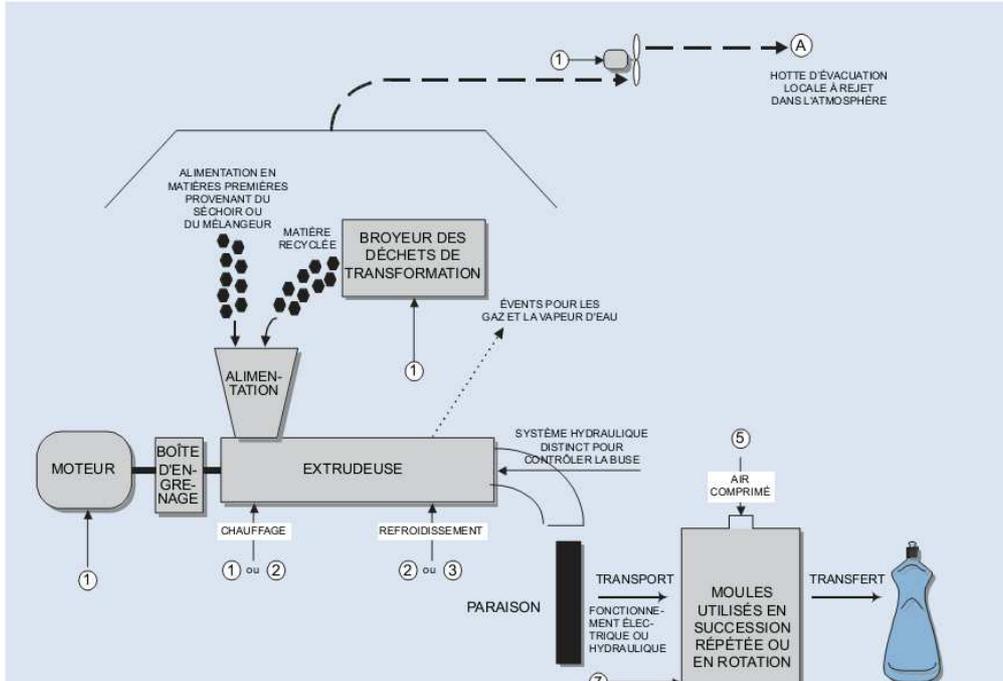


Schéma générique du procédé de soufflage.

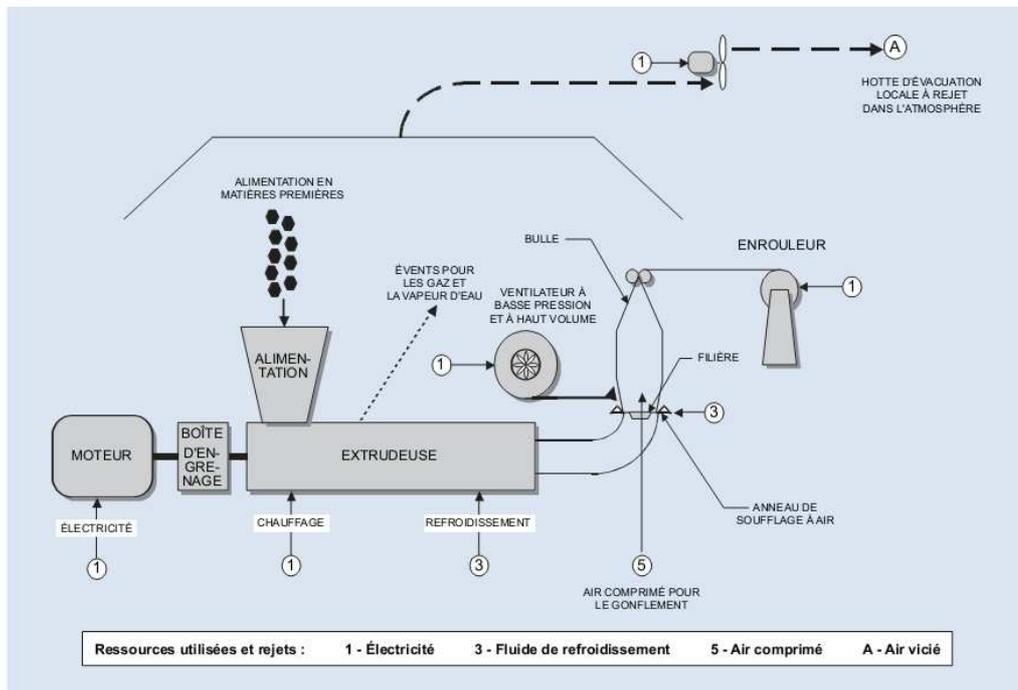


Schéma générique du procédé d'extrusion.

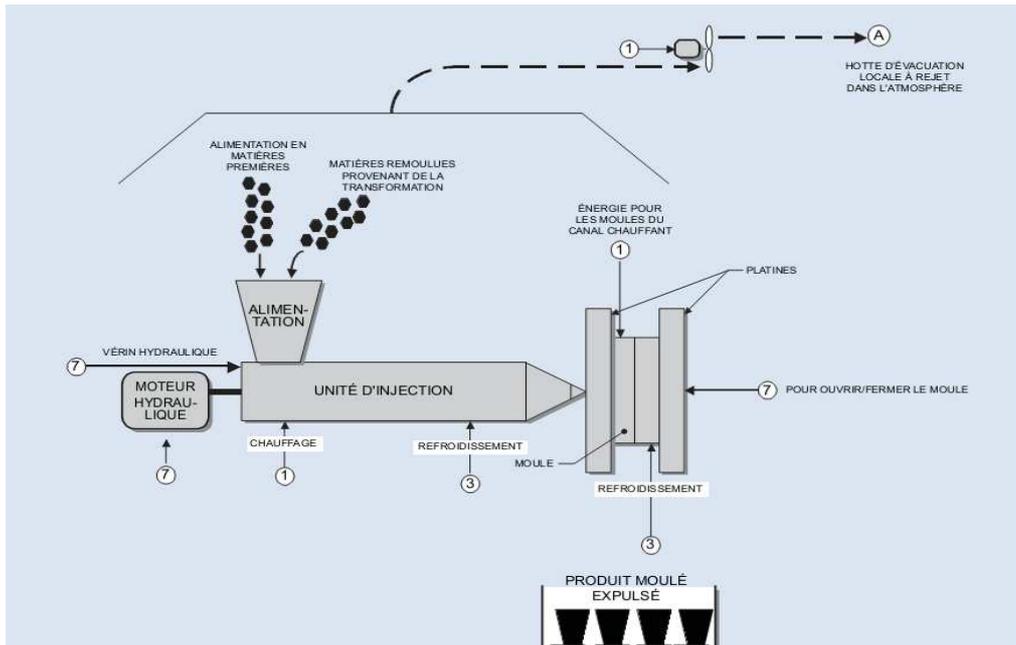


Schéma générique du procédé d'injection.