



Rapport d'audit énergétique

Département : Génie de procédés

Filière : Génie thermique et énergétique

Réalisé par :

Chama Rochd Amine Kibbou
Wissal Khaldi Houssam Bniach

Encadré par :

Pr. Fatima Zohra GARGAB

Année universitaire : 2023-2024



Table des matières

Introduction	3
Identification d'entreprise.....	4
Le procédé de fabrication	4
Nombre d'employés	5
Consommation énergétique de bureau	5
Etude de procédé de fabrication	7
La traite.....	7
La pasteurisation.....	11
La stérilisation.....	20
L'emballage.....	26
Problèmes et solutions au niveau de chauffage et climatisation.....	28
Conclusion.....	31

INTRODUCTION

La production laitière industrielle représente l'un des piliers majeurs de l'industrie agroalimentaire, jouant un rôle important dans la satisfaction des besoins mondiaux en produits laitiers. Cette industrie est confrontée à un défi au niveau de la durabilité environnementale et à l'optimisation de la consommation énergétique.

Le présent rapport d'exemple d'audit énergétique personnalisé vise à évaluer les pratiques énergétiques au niveau des étapes de production laitière, prenant en considération l'enveloppe de bâtiment industriel de Jibal comme exemple d'étude.

Cette évaluation a pour objectif de fournir une analyse tentative des processus énergétiques en place, d'identifier les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique et de recommander des mesures visant à réduire la consommation énergétique, à optimiser les ressources et à atteindre des pratiques durables.

Ce rapport est le fruit d'une étude menée par notre groupe d'étudiants de module de l'efficacité énergétique encadré par notre professeur. Les conclusions et recommandations présentées sont basées sur des données considérées et proposé lors d'inspections des bases de recherche, d'évaluations des équipements, et de relevés de consommation énergétique.

IDENTIFICATION D'ENTREPRISE

Le nom d'entreprise : Jibal

Type d'entreprise : une entreprise commerciale à caractère industrielle, concerne la production laitière sous des étapes et des procédures bien déterminées et respecte les conditions de fabrication ainsi nous procurons la sécurité du produit contre les différentes bactéries afin de protéger la santé du consommateur, plus de la qualité qui nous donne une meilleure image publique.

LE PRECESSUE DE FABRICATION

Le processus de la fabrication passe par 2 grandes étapes principales sont :

1-la traite : cette étape est réalisée par des certains agricultures qui sont spécialisé d'enlever des vaches laitières, ces vaches sont choisies pour la qualité et la quantité de leur lait, après la collection de laits va transporter vers les laiteries par des camions contiennent des citernes spéciales isothermes pour conserver sa fraîcheur.

2- La laiterie, centre de fabrication du lait : le lait transporté est gardé dans des laiteries qui contiennent un énorme système frigorifique, mais pour notre cas on exploite juste la quantité du froid positif sous une température entre 0 et 4°C. Après on passe au noyau de notre processus de fabrication concerne :

2-1) La pasteurisation : Conservé dans d'énormes tanks de stockage pouvant contenir 100 000 litres de lait cru, le lait doit passer par une première étape importante, la pasteurisation. Cette pasteurisation permet d'éliminer les micro-organismes indésirables pour l'homme.

2-2) La stérilisation : Le lait passe ensuite par une dernière étape, la stérilisation. Il est chauffé grâce à de la vapeur d'eau et atteint une température de 140°C durant 2 secondes. Tous les micro-organismes sont ainsi détruits. On parle de stérilisation UHT, c'est-à-dire Ultra Haute température.

2-3) L'emballage : cette opération est effectuée par des machines bien spécifiques afin de pas endommager le produit pendant l'exportation vers les épiceries et les supermarchés, n'oubliant pas le rôle commercial et présentatif de cette étape qui va attirer plus des clients.

Nombre d'employés :

Pour le personnel on a globalement 30 personnes, concernant :

- 5 ingénieurs; un ingénieur occuper pour la protection du lait pendant la traite et son bon transport, les quatre ingénieurs qui restent sont là pour la direction et l'orientation de chaque opération de la 2^{ème} partie ce qui concerne la pasteurisation, l'écémage, la stérilisation et l'emballage
- Un seul ingénieur occupé pour atteindre le chauffage et la climatisation du notre bureau d'étude et chaque section de cette entreprise ce qui correspond au climat et les saisons.
- Un seul ingénieur pour la direction commercial et financier du corps administratif
- 2 techniciens pour la 1^{ère} partie de processus et 8 techniciens pour la 2^{ème}.
- Dans notre entreprise contienne 30 ouvriers, chaque ouvrier a son travail
- Un directeur administratif qui préside toutes les sections et les étapes du processus de fabrication.

1-La consommation énergétique du bureau d'étude (consommation électrique):

Par l'éclairage :

Le type de lampe	L'ampoule halogène
Le domaine d'application	L'éclairage domestique
Le nombre	15
La puissance du chaque lampe (estimée)	0,5 kW
La durée de fonctionnement de chaque jour (estimée)	19 heures
La consommation totale journalière (estimée)	9,5 KWh
La durée de vie du chaque lampe	1500 heures
Le prix de chaque lampe	43 Dhs
Le prix total des lampes installé	645 Dhs

1-1-Le calcule d'énergie consommée chaque an :

les caractéristiques	Ordinateurs	Imprimantes	Scanners
Le nombre fonctionnée	17	4	4
La puissance de chaque équipement	200 W	200 W	200 W
La durée de fonctionnement dans chaque jour (estimé)	18 heures	0,45 heures	0,45 heures
L'énergie électrique consommée par chaque équipement chaque jour	3600 Wh	90 Wh	90 Wh
L'énergie électrique totale consommée chaque jour	61200 Wh	360 Wh	360 Wh
Le nombre de maintenance réalisée chaque mois (estimé)	1	1	1
L'énergie électrique consommée pour chaque maintenance (estimée)	1000Wh	1000Wh	1000Wh

$$Etotale1=9,5*365= 3467,5 \text{ KWh}$$

Par les autres machines et équipements :

Le tableau suivant représente les caractéristiques des machines principaux adoptées par les ingénieurs et les techniciens pour avoir réalisé leurs études et conceptions :

1-2-Le calcule d'énergie consommée chaque an :

-Par les ordinateurs :

$$E1=1000*12+61200*365= 22350000 \text{ Wh}= 22350 \text{ KWh}$$

-Par les imprimantes :

$$E2=1000*12+ 365*360=143,4 \text{ KWh}$$

-Par les scanners :

$$E3= 1000*12+ 365*360= 143,4 \text{ KWh}$$

$$D'où : Etotale2 = E1+E2+E3= 22636,8 \text{ KWh}$$

Les ordinateurs utilisé sont puissants équipés par des logiciels de modélisation 3D, les imprimantes 3D peuvent également être utilisées pour prototyper des concepts.

Alors d'après les données précédentes on déduit que la consommation énergétique total annuelle concernant la part d'éclairage et les équipements utilisées à l'intérieur de bureau d'étude est :

$$E_{totale} = E_{totale1} + E_{totale2} = 22636,8 + 3467,5 = 26104,3 \text{ KWh}$$

ETUDE DE PROCESSUS DE FABRICATION :

La traite :

- **Enlever les vaches laitières :** Le choix des vaches laitières repose sur plusieurs principes fondamentaux qui visent à garantir une production laitière optimale :
 - performance laitière
 - Qualité du lait
 - santé et résistance des vaches
 - adaptation des vaches à l'environnement
 - capacité et production
 - génétique et races
- La combinaison équilibrée de ces aspects contribue à maintenir une production laitière performante et durable.
- **Technologies de traite :** désigne les méthodes et équipements utilisés pour extraire le lait des vaches laitières de manière efficace et hygiénique, cette technologie inclue des diversités de types :

- **Traite manuelle :** la traite manuelle était au paravent couramment utilisée. Cette façon de traiter consiste l'utilisation des éleveurs de leurs mains pour extraire le lait des mamelles des vaches. Cependant, cette méthode est devenue moins courante avec l'avènement des systèmes de traite mécanisés.

-systèmes de traite mécanisés :

1.Traite par balles ou seaux : les seaux ou les balles sont attachés manuellement aux mamelles des vaches. Ces systèmes recueillent le lait par succion et peuvent être actionnés manuellement ou électriquement.

2.Systèmes de traite par pipeline : Ces systèmes sont plus automatisés. Les vaches sont attachées à des postes de traite fixes équipés de tuyaux sous vide. Le lait est aspiré et transporté à travers un réseau de tuyaux vers un réservoir de stockage central.

-Robots de traite : Ces technologies avancées utilisent des robots pour traire les vaches de manière entièrement automatisée. Les robots identifient les vaches, nettoient les mamelles, fixent les gobelets trayeurs, et effectuent la traite. Les données sur la quantité de lait, la qualité et d'autres informations pertinentes sont souvent collectées par ces systèmes.

Le choix du système de traite dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille de l'élevage, les préférences de l'éleveur, la technologie disponible, l'efficacité, le confort des animaux et les normes en matière de qualité du lait.

Ce tableau regroupe les estimations des différents volumes de lait produit, par les différentes techniques, pour un nombre constant de vaches :

Colonne1	Colonne2	Colonne3
type de l'elevage	durée d'elevage	quantité de lait élevé
manuel	5heurs	1500 L
mecanisé	3heurs	2000L
robot de traite	2heurs	2500L

- **Le transport du lait** : Le transport du lait vers les installations de transformation ou de traitement, se fait généralement par des moyens spécifiques pour garantir sa fraîcheur et sa sécurité. les principales méthodes de transport du lait sont :

- les camions citernes
- les trains
- les pipelines
- les conteneurs réfrigérés

Il est primordial de garder le lait à une température spécifique (entre 1 et 4 degrés Celsius) pour éviter toute contamination ou détérioration de sa qualité pendant le transport, ce que nécessite l'utilisation des matériaux particuliers. De plus, le nettoyage régulier des citernes et des équipements de transport est essentiel pour garantir la sécurité alimentaire et la qualité du lait pendant le transit vers les installations de transformation ou de traitement.

-Cas de camions citernes :

On suppose qu'on effectue le transport du lait dans notre industrie par les camions citernes, on obtient par les estimations les valeurs suivantes :

1-consomation du carburant : définir la consommation de carburant englobe savoir le type de moteur et de transmission, la charge transportée, les conditions de conduite, et la technologie embarquée.

2-entretien des équipements : c'est à dire examiner les composants du camion-citerne tel que le moteur, les pneus, les systèmes de transmission

3-identification des pertes énergétiques : ça inclus l'identification des zones des pertes tel que les fuites d'air, les systèmes de refroidissement

4-analyse de consommation CO2

On suppose qu'on utilise Volvo FMX Tanker comme camion de transport de lait, on obtient les caractéristiques suivantes :

cas de Volvo FMX Tanker	
consommation de carburant	3.5 km/L
réduction de consommation de carburant par réduction de vitesse	15%
puissance du moteur	450 ch.
émission CO2	3.5 kgCO2/L
vitesse max	85 km/h
type de moteur	DIESEL

- Les matériaux utilisés dans les citernes des camions de transport du lait :
 - Acier inoxydable
 - Aluminium
 - matériaux composites
 - revêtement interne spécifique

Il est important que les matériaux utilisés dans la construction des camions-citernes respectent les normes sanitaires strictes pour les produits alimentaires, afin de garantir que le lait transporté reste frais, propre et sûr pour la consommation humaine.
- Problèmes possibles au niveau de traite et comment les résoudre :
 - Problèmes au niveau du moteur du camion-citerne :
le moteur peut affronter plusieurs problèmes tel que :
 1. **Surchauffe de moteur** : Les camions-citernes transportent des charges lourdes sur de longues distances, ce qui peut provoquer une surchauffe du moteur si le système de refroidissement n'est pas adéquat ou s'il y a des fuites dans le système.
 2. **Problème de lubrification** : le manque d'huile ou une huile de mauvaise qualité ou des problèmes dans le système de lubrification peuvent entraîner une usure prématurée des composants du moteur.
 3. **Pannes électriques** : Des problèmes électriques, des courts-circuits ou des défaillances dans les capteurs peuvent perturber le bon fonctionnement du moteur.
 4. **Problèmes de carburant** : Des carburants de mauvaise qualité, des filtres à carburant obstrués ou des problèmes avec le système d'alimentation en carburant peuvent entraîner des problèmes de performance du moteur.
 5. **Fuites de liquides** : Les camions-citernes transportent des liquides sous pression. Des fuites dans le système de refroidissement, le système de carburant ou le système hydraulique peuvent entraîner des problèmes de fonctionnement du moteur.
 - SOLUTION** :
 - avoir un système de refroidissement adéquat
 - surveillance technique des équipements mécaniques du camion
 - entretien et contrôle régulier du système

- contrôle des systèmes électriques
- avoir un groupe technique homogène et compétant
- avoir un bon choix de carburant
 - s'assurer d'absences des fuites en utilisant les caméras thermiques
 - Respecter les intervalles de vidange d'huile recommandés
 - vérifier les connexions et les composants électroniques, et réaliser les réparations nécessaires en cas de dysfonctionnement.

-Problèmes de gestion d'énergie

1. **Pénurie d'énergie** : on peut se trouver dans le cas d'une insuffisance de production d'énergie pour répondre à la demande ce qui peut entraîner des pénuries et des coupures d'électricité
2. **-La dépendance excessive aux combustibles fossiles** tels que le pétrole, le charbon et le gaz naturel peut entraîner des problèmes en raison de leur épuisement progressif, de l'instabilité des prix et des impacts négatifs sur l'environnement (émissions de gaz à effet de serre, pollution, etc.).
3. **Instabilité des sources d'énergie renouvelable**
4. **Gestion inefficace de l'énergie**

SOLUTION :

- utilisation d'énergie renouvelable, c'est-à-dire investir massivement soit en énergie solaire, éolienne, géo électrique, ou biomasse
- Amélioration de l'efficacité énergétique
- Encouragement à l'innovation technologique
- le stockage avancé de l'énergie, l'hydrogène vert, la capture et le stockage du carbone
- Renforcement de la coopération internationale : Encourager la collaboration entre les pays pour partager les technologies, les bonnes pratiques et les ressources

-Problèmes au niveau de transport

Problèmes de distribution et de transport : Des pertes d'énergie pendant le transport et la distribution peuvent causer des pertes par résistance dans les lignes électriques ou de fuites dans les pipelines, entraînant une inefficacité énergétique.

SOLUTIONS :

- Amélioration de l'infrastructure
- Surveillance et maintenance régulières
- Recours aux énergies renouvelables et à la technologie verte

La pasteurisation:

La pasteurisation est importante parce que les bactéries naturellement présentes dans certains aliments pourraient vous rendre malade. Le fait de consommer des aliments non pasteurisés pourrait provoquer de la fièvre, des vomissements et une diarrhée. Dans certains cas, cela peut notamment entraîner une insuffisance rénale, une fausse couche et même la mort.

Les enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées et les personnes ayant un système immunitaire affaibli sont le plus à risque d'être malades après avoir consommé des aliments non pasteurisés. Il est donc préférable pour ces personnes d'éviter de consommer des aliments non pasteurisés, car elles pourraient être plus facilement malades.

Alors, nos produits laitiers sont subis cette opération après la traite concernant la collection du lait sous des conditions de qualité pré-déterminées, après il a été apporté vers les laiteries qui sont obligatoirement répondent à des règles strictes, notamment en termes d'hygiène, qui permettent de proposer un lait de qualité. Donc, la pasteurisation s'effectue grâce au contact de plaques chaudes. Le lait est ainsi chauffé à 72°C pendant 15 secondes ce qui procure sa conservation pendant quelques jours.

Machines et équipements :

Les réservoirs :

Pour le stockage du lait traité on a un grand réservoir principal où on le maintient, ce qui suit après un cycle de fabrication commencé par la pasteurisation, plus d'un réservoir secondaire comme un emplacement au cas du problème au niveau de notre réservoir principale. N'oubliant pas trois réservoirs de l'eau, un réservoir consacré pour le nettoyage de réservoirs du lait, et le 2^{ème} pour effectuer le chauffage du lait ainsi sa réfrigération avant la pasteurisation, enfin le 3^{ème} exploité pour le système de réfrigération du lait.

Le réservoir principal du lait :

le volume totale (m ³)	30
la hauteur (m)	15
le matériau de construction	L'acier inoxydable
la capacité à conserver le lait (heures)	48

Le réservoir secondaire du lait :

le volume totale (m ³)	20
la hauteur (m)	10
le matériau de construction	L'acier inoxydable
la capacité à conserver le lait (heures)	20

Les réservoirs de l'eau :

Le volume totale (m ³)	15
La hauteur (m)	10
Le matériau de construction	L'acier inoxydable

Les nettoyeurs haute pression :

l'énergie consommé (estimé) par chaque nettoyeur (KWh)	15
le nombre d'heures du fonctionnement pour chaque nettoyeur (heures/jours)	1,5
l'eau consommé pour laver le réservoir principale du lait (m ³)	10
l'eau consommé pour laver le réservoir secondaire du lait (m ³)	6
la pression du vapeur (bars)	5

La chaudière (le chauffage d'eau pour la pasteurisation) :

Les paramètres	L'unité	Les valeurs
Le débit de vapeur	Tonnes/heure	1 à 25
La température initiale de l'eau /la température de vapeur maximal à la sortie	°C	20/300
La durée du fonctionnement journalière estimé	Heures	1h15min
La puissance	KW	10
L'énergie journalière consommée	KWh	12,5
La consommation journalière du combustible (le gaz naturel)	m ³	3,84
Le rendement	80%

Colonne1
Les autres organes et équipements
Le circuit de circulation de vapeur d'eau
Le circuit de circulation de l'eau liquide
Les 3 débitmètres
Les deux sondes PT100
Les vannes
Le tableau électrique

Le système de réfrigération du lait :

Pour protéger la fraîcheur de lait et procurer sa qualité au cours de ce process, on compte sur un système de réfrigération qui constitue des quatre composants principaux : le compresseur, le condenseur, le détendeur et l'évaporateur.

Dans chaque tableau se dessous on donne les caractéristiques de chaque composant constitue ce système :

Le compresseur :

Technologie de compresseur	Hermétique à piston
Fluide frigorigène	R-404A - R-507A
Plage d'application	[-15°C ; +15°C]
Application	Moyenne pression - Haute pression
Type de tension	Triphasé
Cylindrée	90.2 cm ³
Puissance frigorifique	5457W
Puissance électrique nominale absorbé (estimé)	3000W

Le condenseur :

On adopte sur le condenseur à eau pour atteindre la condensation du réfrigérant :

Les caractéristiques	Le condenseur à eau
Le matériau de construction	Le cuivre
La température à l'entrée condenseur (°C)	25
La température à la sortie condenseur (°C)	32
La température du fluide frigorigène (°C)	38
La quantité d'eau consommé par 1 KWh dissipé (estimé)	1,5

Les avantages et les inconvénients du condenseur à eau :

Les avantages	Les inconvénients
Bon échange thermique (faible encombrement)	Forte consommation d'eau
Facile de stabiliser la température de condensation	Forte consommation d'eau
Récupération de la chaleur cédée de l'eau aisée	N'adopte pas avec toutes les réfrigérants
Moins bruyants	Protection contre le gel plus de corrosion, tartrage...

Le détendeur : ‘le détendeur thermostatique’

C’est le dispositif le plus fréquemment utilisé. Le détendeur thermostatique est une vanne qui règle le débit du réfrigérant, en maintenant une différence constante entre la température d’évaporation du réfrigérant et la température des gaz à la sortie de l’évaporateur. La différence entre ces deux températures s’appelle la “surchauffe à l’évaporateur”, typiquement 6 à 8 K. De cette façon, on est certain que tout le liquide injecté s’est évaporé. En générale, le rôle de détendeur est de chuter la pression du fluide frigorigène dans ce cycle ce qui correspond à une chute de température, l’énergie au niveau de cette organe égale 0 ($h(\text{entrée})=h(\text{sortie})$).

L’évaporateur :

Notre application nécessite une production faible du froid, alors le type le mieux adapté à notre installation est l’évaporateur de circulation naturelle s’appelle aussi l’évaporateur statique.

Colonne1	Colonne2
Les caractéristiques	Les valeurs
Le matériau de construction	Le cuivre
La température à travers l’évaporateur	Plus 2°C
Le diamètre de tube	12 mm
Le nombre total de tube	6 tubes
La géométrie	35*35

Les problèmes rencontrés :

1-la maintenance condenseur :

Le condenseur à eau représente un ensemble d’avantages mais il est besoin de maintenance plusieurs fois dans chaque mois peut arriver à 5 fois dans cette

durée, cette maintenance est très importante pour protéger cet organe contre le gel, ainsi qu'il est sensible contre la corrosion au cas d'absence d'étanchéité. Pour cela on estime la consommation électrique pour chaque maintenance plus de la quantité d'eau utilisé pour le nettoyer.

La consommation électrique : 1KWh

La consommation d'eau : 0,025 m³

Alors la consommation électrique la consommation d'eau chaque mois respectivement

$$E(\text{consommée})=1*5=5\text{KWh}$$

$$\text{Veau}(\text{consommée})=5*0,025= 0,125 \text{ m}^3$$

Les solutions proposées :

Solution 1 :

Dans ce cas on peut changer le matériau constitue les tubes de cet échangeur, le cuivre est moins adapté avec tous les types de réfrigérants, ainsi qu'il a une durée de vie moins que les autres types, le cuivre est performant dans les échanges thermiques mais l'installation des tuyaux en cuivre est complexe et ses caractéristiques peut changer selon le changement climatique et la durée de fonctionnement. Dans ce cadre on préfère à changer les tuyaux de cet échangeur par des tuyaux à la base d'acier inox qui sont plus performant, n'oubliant pas sa résistance contre la corrosion les perturbations externes, ce changement va minimiser le nombre de maintenance de trois fois dans chaque mois.

D'où les différentes consommations deviennent :

$$E(\text{consommée})=3*1=3\text{KWh}$$

$$\text{Veau}(\text{consommée})=3*0,025= 0,075 \text{ m}^3$$

Solution 2 :

On peut changer le type de condenseur complètement par un autre condenseur mieux adapté à notre système pour réduire les consommations concernant la maintenance. Pour nos besoins on propose de changer ce condenseur par un condenseur à air qui ne besoin pas à chaque fois une maintenance, comme estimation ce type de condenseur nécessite une seule maintenance pendant un mois. Il est caractérisé par une durée de vie supérieur que les autres condenseurs

aussi sa facile maintenance due à ses dimensions pour cela il est le plus adapté utilisé au niveau industriel.

Pour le grand intérêt inclus la réduction importante de la consommation d'eau concerne un des trois réservoirs, car nous avons exploiter l'air gratuit de l'atmosphère pour effectuer la condensation de fluide frigorigène.

D'où :

L'énergie électrique de maintenance consommé chaque mois est : 1KWh

La consommation d'eau de lavage chaque mois est : 0,025 m³

La consommation d'eau réduite (un seul réservoir) : 15 m³

2-problème de dégradation du rendement du système frigorifique :

La diminution de l'efficacité d'installation est un grand problème rencontré au niveau des systèmes de réfrigération et climatisation, cette phénomène dû à l'élévation de température de la sortie de compresseur, aussi le sur augmentation de rapport de compression ainsi que la durée de vie d'organes d'installation, leur étanchéités...

Mais en principe la température de sortie de compresseur (dépasse 100 °C pour notre cas) présente la cause principale de la propagation de ce problème. Pour cela, on va proposer des solutions afin d'améliorer et de stabiliser l'efficacité de notre installation en générale, et précisément le fonctionnement du compresseur.

Solution1 :

L'augmentation de température de la sortie de compresseur dû aux frottements presque directe ou directe dans quelque cas entre les pistons et les deux chemises de la chambre de compression, ces frottements dû à la nature d'huile de lubrification utilisé qui changent ses propriétés par augmentation de sa viscosité. Les huiles de lubrification hydrocarbure que nous utilisons sont très sensible contre l'élévation de température, alors après une petite durée de fonctionnement de cet organe, directement la température augmente à l'intérieur qui va provoquer une augmentation de viscosité des huiles de lubrifications et par conséquent, on va contribuer à le sur élévation de température.

Donc, on propose de changer ce type d'huile par un autre type d'huile minérale caractérisé par un faible pouvoir calorifique, avec une valeur minime de viscosité ce qui contribue à une diminution de la plage de température (température de sortie de compresseur et de sortie de condenseur). Donc, on peut

gagner une amélioration d'efficacité après cette modification si on procure l'étanchéité de notre compresseur.

Après d'avoir appliqué cette modification on étudie la fiabilité du fonctionnement de notre compresseur par mesure de température de sortie après chaque durée de fonctionnement en utilisant un thermomètre, si on trouve que cette température varie entre 60°C et 80 °C, on admet que cette amélioration contribue à atteindre notre objectif. On estime que la température dans ce cas égale 75 °C pour la plupart des mesures et efficacités avant et après la modification respectivement sont 1,15 et 1,90.

Solution 2 :

Dans cette solution on propose de changer le compresseur de simple étage par un compresseur de double étage (compresseur compound) ou deux petits compresseurs (booster), la réalisation de ce type de circuit commence par le partage de la compression sur deux compresseurs, de telle sorte que leurs taux de compression soient identiques.

Pour que le système fonctionne, il faudra aussi prévoir le refroidissement des vapeurs refoulées par l'étage BP pour limiter la température de refoulement de l'étage HP. Ce type de configuration nécessite la présence d'une bouteille de séparation entre les deux étages qui sépare le fluide liquide de la vapeur afin d'optimiser l'efficacité d'installation. La maintenance de deuxième configuration avec deux compresseurs est moins coûteuse.

Alors, le prix des deux compresseurs et la bouteille de séparation et leurs frais de transports (estimation) : 30000 Dhs

L'énergie électrique consommée pour les installer : 2KWh

En principe, on estime la différence entre l'efficacité de cycle bi-étagé et de mono-étagé, si on garde la fiabilité de cycle bi-étagé : 2

Donc l'efficacité devient : 3,15

3-la non-stabilité de besoins de l'énergie thermique produite pour pasteuriser le lait :

Après une durée de fonctionnement on observe qu'on a un sous provisionnement de chaleur chaude dans quelque point au cycle de fabrication dû par exemple à la durée de décharge de combustible ou des pannes accidentels à la fois qui nécessitent une maintenance prend un temps et par conséquent on influence

négativement sur notre chaîne de production, ce qui nécessite des solutions compatibles et bien adaptées à nos besoins.

Solution1 : (l'énergie consommée est 12,5 KWh)

Pour régler cette différence entre le besoin et la production on va faire une étude concernant une analyse très précise des pics de consommation où on a les besoins de chaleur plus hautes et les points où les besoins sont bas, donc pour cela on va calculer l'énergie consommée par la chaudière afin de savoir l'énergie captée par le fluide caloporteur après chaque opération de chauffage pendant un mois.

Alors, après l'obtention des consommations cumulées on détermine les durées du pic sur la courbe dessinée par l'Excel pendant la durée du suivi on déduit que les trois heures premières de pasteurisation caractérisées par la pointe de consommation.

Les organes utilisés :

- Un capteur de niveau et de débit dans le réservoir de stockage de combustible pour détecter et fixer la quantité utilisée par la chaudière.

- une sonde de température de haute précision pour savoir combien la température à la sortie de la chaudière, cette mesure va montrer l'efficacité et la qualité de sa production.

- une caméra thermique pour suivre la conformité des conduites où la vapeur de haute température circule.

Dans ce cadre, on propose des améliorations pour éviter ou minimiser ce problème rencontré :

- exploiter la chaleur chaude libérée par le condenseur au niveau d'installation de réfrigération, donc la valeur de cette énergie estimée est 1,2 KWh. Par conséquent, maintenant on a besoin de 11,3 KWh comme énergie captée par la chaudière.

- changer ce type de chaudière par un autre type concernant des chaudières fonctionnant avec autres types de combustibles, cette solution est attaquée le coût de combustible (gaz) qui est plus cher que les autres combustibles comme le fioul et le charbon. Afin de minimiser le prix total du chauffage.

- l'intégration d'un champ solaire thermique, le mieux adapté à ce type d'application et le plus répandu aujourd'hui, ainsi on va contribuer à minimiser la consommation d'énergie, les émissions CO₂ va être réduite aussi. La configuration du champ dépend du besoin énergétique ce qu'on est déjà étudié.

4-les émissions CO2 générés par la combustion au niveau de la chaudière :

Après une durée du fonctionnement de cet organe on savait que les émissions de combustion est très importante, et aussi nous avons dépassé les limites posées par la réglementation, la quantité maximale émis chaque jour, il ne faut pas dépasser 1,75 kg CO2e. L'énergie consommé par la chaudière est 12,5 KWh, donc pour vérifier est ce qu'on a dépassé cette valeur, on va utiliser la relation suivante :

Émissions du poste considéré= quantité consommé * facteur d'émission

-Le facteur d'émission varie selon le genre d'énergie consommé, le poste que nous intéresse dans ce cas c'est le chauffage, ce facteur est exprimé en kg CO2e/KWh. Il comme donné : 0,244 kg CO2e/KWh.

-La quantité consommée sous forme d'énergie en KWh égale : 12,5 KWh

Alors : Émission générée par ce chauffage= $12,5 * 0,244 = 3,05$ kg CO2e.

En principe, l'opération de la pasteurisation fournie chaque jours 3,05 kg CO2e.

Pour cela on propose les solutions suivantes :

Solution1 :

La récupération de la chaleur des fumées émis par la chaudière pour l'exploiter dans des autres applications ce qui minimise leurs impacts sur l'environnement. Il faut faire une deuxième analyse sur l'étanchéité de notre chaudière afin de limiter les gaspillages et les pertes correspondant à un système de suivi orienté par des ingénieurs énergéticiens très compétent au niveau d'optimisation des fonctionnalités de cet organe et le stockage et l'injection du combustible utilisé qui va générer pas mal de quantités du CO2 au cas des fuites, ce processus nécessite un ensemble d'équipements principal : un ultrasonore qui permet de repérer facilement les sources des fuites, la détection de la haute fréquence de la turbulence de débit circulé qui peut contribuer à dégrader le matériau des conduites, enregistrer les données avec nos utraprobes numériques, et enfin on passe à choisir la bonne méthode et la plus adapté à notre situation au point économique et énergétique sur la base des données récoltés dans notre analyse précédente pour réduire les émissions autant possible.

Solution2 :

L'ouverture sur les nouvelles technologies concernant l'intelligence artificielle pour avoir obtenir une solution efficace du problème d'émissions, cette solution nécessite un spécialiste de ce domaine car il est plus complexe, ainsi très cher, mais comme un avantage il prend moins de temps que les autres solutions. On

peut intégrer l'intelligence artificielle dans toutes les opérations de notre chaîne de fabrication, donc on déduit le grand intérêt de cette technologie pour développer et améliorer les processus industriels de tous les domaines.

Les procédés de traitement U .H.T (stérilisation)

La stérilisation du lait par la chaleur peut être réalisée selon plusieurs méthodes :

Le lait non stérilisé est conditionné en récipients non stériles et l'ensemble est porté ensuite à une température voisine de 120°C pendant 20 à 30 mn. Ce procédé altère très nettement le produit dont la saveur, en particulier, est notablement modifiée.

Le lait, préalablement stérilisé en flux continu, à ultra haute température, est conditionné en emballages non stériles. Il doit, en conséquence, subir une seconde stérilisation à 120°C pendant 10 mn environ. Le raccourcissement du temps de chauffage diminue beaucoup l'altération du produit, dont les qualités biochimiques et organoleptiques sont mieux préservées.

La stérilisation en flux continu suivie du conditionnement aseptique. Le lait est, dans ce dernier cas, porté à une température très élevée (1300 C à 1500C) pendant un temps très court, de l'ordre de la seconde. C'est ce dernier procédé, dit à ultra haute température, qui retiendra notre attention.

Le chauffage du lait peut être réalisé par deux procédés différents ;

Par chauffage direct

Le lait, préalablement amené à une température de 80 C, est porté instantanément à la température de stérilisation par contact direct avec de la vapeur d'eau, soit par injection du lait dans un réservoir de vapeur (procédé Laguilharre et similaires), soit par injection de vapeur dans le lait (Upérisation*). Le produit passe immédiatement dans une chambre de refroidissement à basse pression où l'eau de condensation s'évapore et est évacuée. Toute la vapeur condensée est éliminée

quand la différence de température du lait entre l'entrée et la sortie de l'appareil est réglée à une valeur définie, légèrement supérieure à zéro.

Par chauffage indirect

Dans les méthodes par chauffage indirect, une surface d'échange thermique sépare le lait du fluide chauffant. Les appareils utilisés sont généralement des appareils à plaques ou à tubes, comparables aux pasteurisateurs H.T.S.T. Notons toutefois que dans les appareils à chauffage indirect la transmission de chaleur s'effectue plus lentement que lors du contact direct entre les deux fluides.

Il en résulte nécessairement un allongement du temps de stérilisation. On utilise couramment une température de 135°C à 140°C maintenue pendant 3 à 15 s.

Dans les deux cas, le lait a été soumis à l'homogénéisation.

Installation de traitement UHT indirect à échangeurs de chaleur à plaques

Le produit à environ 4°C est pompé de la cuve de stockage dans le bac tampon (1) de l'installation UHT et, de là, dans la section de chauffage par récupération de l'échangeur à plaques (3), par la pompe d'alimentation (2). Le produit y est chauffé à environ 75°C par le lait ayant subi le traitement UHT, qui est refroidi simultanément. Le produit réchauffé est ensuite homogénéisé (4) à une pression de 18 à 25 MPa (180 à 250 bars). Le produit préchauffé homogénéisé poursuit son chemin jusqu'à la section de chauffage de l'échangeur de chaleur à plaques, où il est chauffé à 140°C. Le fluide de chauffage utilisé est de l'eau chaude en circuit fermé, dont la température est régulée par injection de vapeur (5) dans l'eau. Après chauffage, le produit passe dans le chambreur (6), dimensionné de manière à assurer un séjour de 4 secondes environ.

Enfin, le produit subit un refroidissement par récupération, en deux temps : d'abord par le circuit d'eau chaude, puis par le produit froid en entrée. En sortie du, le produit gagne directement le conditionnement aseptique.

En cas de chute de température en cours de production, le produit est dérivé dans une cuve de rejet et l'installation est rincée à l'eau. L'installation devra être nettoyée et stérilisée avant d'être remise en marche.

1. Le bac tampon :

Un bac tampon utilisé pour stocker temporairement le lait, avant d'être traitées ou dirigées vers la pompe d'alimentation

le volume totale (m ³)	15
la hauteur (m)	6
le matériau de construction	L'acier inoxydable

2. Pompe d'alimentation :

La pompe d'alimentation aspire le lait depuis le bac tampon, assurant un approvisionnement continu vers l'échangeur de chaleur à plaques. Elle exerce une pression nécessaire pour faire circuler le lait à travers les canaux du dispositif d'échange thermique.

l'énergie consommé (estimé) par chaque nettoyeur (KWh)	0,75
le nombre d'heures du fonctionnement heures/jours)	3
la pression du liquide (bars)	5

3. Echangeur de chaleur a plaque :

Un échangeur de chaleur à plaques est un dispositif permettant le transfert de chaleur entre deux fluides. Il est composé de chambres séparées en acier inoxydable par lesquels le liquide froid et le liquide chaud passent sans se toucher et où le transfert de chaleur à lieu.

Les paramètres	L'unité	Les valeurs
La durée du fonctionnement journalière estimé	heure	2
La température initiale de lait /la température de lait à la sortie	°C	4/75
La température initiale de lait /la température de lait à la sortie	°C	75/140
La puissance	KW	50
L'énergie journalière consommée	KWh	100
Le rendement	67%

4. Homogénéisateur :

L'Homogénéisateur consiste à faire passer le lait au travers d'une buse avec une pression de 180 bar pour le lait destiné à la pasteurisation et une pression allant jusqu'à 250 bar pour le lait destiné au chauffage à ultra haute température (UHT).

l'énergie consommé (KWh)	80
le nombre d'heures du fonctionnement (heures/jours)	2
Le volume (m ³)	5
la pression (bars)	180 à 250
le matériau de construction	L'acier inoxydable

5. Injecteur de vapeur :

L'objectif principal de l'injecteur de vapeur est d'introduire de la vapeur dans le système afin d'élever la température rapidement et de manière contrôlée. Cette augmentation de température contribue à détruire les micro-organismes pathogènes, assurant ainsi la stérilisation des équipements ou des produits traités. L'injecteur de vapeur optimise l'efficacité du processus de stérilisation en fournissant une source de chaleur uniforme et en maintenant les conditions nécessaires pour éliminer les agents microbiens indésirables.

La pression de vapeur (bar)	2
Le débit de vapeur (Kg/h)	500 à 1500
le matériau de construction	L'acier inoxydable
La température de vapeur (c)	140

6. Le chambreur :

Le chambreur est un tube, qui assure un temps de séjour à une température quasi constante, à un produit qui le traverse. C'est un appareil nécessaire à la pasteurisation et la stérilisation. Il est généralement compact et calorifugé. Le chambreur reçoit le produit qui vient du stérilisateur dans la chaîne de traitement thermique d'un produit alimentaire.

7. Cuve aseptique

La cuve de stockage aseptique est utilisée dans l'industrie agroalimentaire en raison de son excellente capacité à stocker pour une courte ou longue période des produits ayant été stérilisés. Les produits, tels que les jus et les purées, sont stockés à une température ambiante.

La capacité de stockage (litre)	20000
la hauteur (m)	3
le matériau de construction	L'acier inoxydable

8. Remplissage aseptique

Le remplissage aseptique du lait est une méthode de conditionnement qui vise à maintenir la stérilité du lait pendant le processus de remplissage dans les contenants d'emballage, tels que les bouteilles ou les briques cartonnées. Ce processus est crucial pour garantir la qualité et la sécurité du lait, en évitant la

contamination microbiologique qui pourrait altérer le produit ou représenter un risque pour la santé des consommateurs.

La capacité de remplissage (litre/h)	15000
La vitesse de remplissage(unité/min)	500
le rendement	95%

Des problèmes possibles au niveau de stérilisation :

- **Surchauffe ou surcuisson** : Si le lait est chauffé à des températures excessives pendant la stérilisation, cela peut altérer le goût, la texture et la qualité nutritionnelle du produit.
- **Sous-stérilisation** : Si le processus de stérilisation n'est pas effectué correctement, des micro-organismes pathogènes peuvent subsister dans le lait, ce qui peut entraîner des risques pour la santé des consommateurs.¹
- **Altération des propriétés organoleptiques** : Une stérilisation excessive peut altérer le goût, la couleur et la consistance du lait, ce qui peut affecter la satisfaction du consommateur.

Les solutions de ces problèmes :

- **Contrôle précis de la température** : il faut assurer que les équipements de stérilisation sont équipés de capteurs de température précis et bien calibrés. Effectuez des vérifications régulières pour garantir que la température est maintenue dans les limites recommandées.
- **Vérification des paramètres de stérilisation** : il faut assurer que les paramètres de stérilisation, tels que la température et le temps de traitement, sont correctement réglés et suivent les recommandations appropriées pour le type de lait que vous traitez.

- **Utilisation de techniques de stérilisation douce** : Explorez des méthodes de stérilisation moins agressives, telles que la pasteurisation à basse température, qui peuvent aider à préserver davantage les propriétés organoleptiques du lait.
- **Refroidissement rapide** : Après la stérilisation, il faut mettre en œuvre des méthodes de refroidissement efficaces pour minimiser les changements indésirables causés par une rétention de chaleur excessive.

L'emballage :

L'emballage du lait est une étape importante afin d'assurer la conservation et la qualité. Il existe des différents procédés d'emballage du lait. Voici quelques-uns des procédés d'emballage régulièrement utilisés pour le lait :

- Les bouteilles en plastiques sont considérablement exploitées pour emballer le lait. Ils sont pratiques et faciles à manipuler et durables aux chocs.
- Les briques cartons, ces emballages cartonnés sont composés de plusieurs couches de matériaux, ce qui permet de protéger le lait de la lumière et des bactéries, ils sont recyclables.
- Les bouteilles en verre, ces emballages sont moins utilisés en raison de leur poids et de leur coût mais ils préservent bien la saveur du lait, et il est recyclable.

Les objectifs

Les objectifs énergétiques liés à l'emballage du lait peuvent inclure plusieurs aspects, notamment l'efficacité énergétique dans la fabrication des emballages, le transport, la conservation et la gestion des déchets. Voici quelques points clés à considérer dans la perspective des objectifs énergétiques pour l'emballage du lait :

- Les fabricants d'emballages cherchent à réduire la consommation d'énergie tout au long du cycle de vie de l'emballage, de la production à l'élimination. Cela peut inclure l'utilisation de technologies plus efficaces sur le plan énergétique dans les processus de fabrication.
- Choix de matériaux légers : La réduction du poids des matériaux d'emballage contribue à réduire la consommation d'énergie associée au

transport. Des emballages plus légers nécessitent moins d'énergie pour être transportés depuis les sites de production jusqu'aux points de vente.

Utilisation de matériaux recyclables et renouvelables : La transition vers des matériaux d'emballage recyclables et renouvelables peut contribuer à réduire la dépendance aux ressources non renouvelables et à diminuer l'énergie nécessaire à la production de nouveaux emballages. L'économie circulaire vise à minimiser le gaspillage en favorisant la réutilisation, le recyclage et la récupération des matériaux. Les initiatives qui encouragent la collecte et le recyclage des emballages en fin de vie peuvent contribuer à réduire l'énergie nécessaire à la production de nouveaux matériaux.

Les machines d'emballage

Les machines d'emballage du lait sont conçues pour automatiser le processus d'emballage du lait, que ce soit en bouteilles, en cartons, en sachets ou autres types de contenants. Ces machines sont utilisées dans l'industrie laitière pour améliorer l'efficacité, la précision et la rapidité de l'emballage des produits laitiers. Voici quelques types de machines d'emballage couramment utilisées pour emballer le lait :

Remplisseuses de bouteilles : Ces machines remplissent les bouteilles de lait avec la quantité appropriée. Elles peuvent être automatiques, semi-automatiques ou entièrement manuelles.

Machine de capsulage : Une fois les bouteilles remplies, une machine de capsulage peut être utilisée pour sceller hermétiquement les bouteilles avec des capsules en plastique.

Ensacheuses : Pour l'emballage de lait en sachets, des ensacheuses sont utilisées. Elles mesurent, remplissent et scellent les sachets de manière automatisée.

Les pannes :

- Production de matériaux d'emballage :

Problème : L'extraction et la production de matériaux d'emballage, tels que le plastique et le verre, peuvent être énergivores.

Solution : Encourager l'utilisation de matériaux d'emballage recyclés, développer des alternatives biosourcées et promouvoir l'écoconception pour réduire l'impact énergétique.

- Impact environnemental :

Problème : Certains types d'emballages, tels que le plastique, peuvent avoir un impact environnemental important en raison de leur fabrication, de leur élimination et de leur décomposition.

Solution :

- Emballages durables et recyclables. Encourager l'utilisation d'emballages fabriqués à partir de matériaux recyclables et durables peut contribuer à réduire la dépendance à l'égard des plastiques à usage unique. Les matériaux comme le carton, le verre ou certains plastiques recyclables peuvent être préférés. Étudiez l'impact environnemental de chaque matériau d'emballage en termes d'émissions de gaz à effet de serre, de consommation d'eau et de production de déchets.
- Évaluation de l'efficacité énergétique : Analysez la quantité d'énergie nécessaire pour produire, transporter et éliminer chaque type d'emballage. Comparez ces chiffres pour évaluer l'efficacité énergétique relative.

PROBLEMES ET SOLUTIONS AU NIVEAU DE CHAUFFAGE ET CLIMATISATION :

- **La récupération de chaleur pour le chauffage de l'eau :**

En effet, la chauffe de l'eau constitue une part significative de la consommation d'énergie dans ce type d'exploitation.

La récupération de chaleur à partir du lait ou d'autres équipements, tels que le système de réfrigération, peut contribuer de manière significative aux économies d'énergie. Plus spécifiquement, les systèmes de récupération de chaleur adaptés au refroidisseur de lait sont déjà disponibles. Ces systèmes utilisent un gaz réfrigérant pour transférer la chaleur du lait vers un puits (eau ou air), et bien que la chaleur de ce gaz réfrigérant soit généralement perdue dans l'atmosphère, les systèmes de récupération de chaleur permettent de réutiliser cette chaleur perdue pour chauffer l'eau nécessaire, notamment pour le nettoyage.

Cela présente des avantages notables en termes d'efficacité énergétique et de réduction des coûts. En réutilisant la chaleur généralement perdue, les exploitations laitières peuvent optimiser leur consommation d'énergie et contribuer à des pratiques plus durables sur le plan environnemental.

L'efficacité énergétique dans la production laitière, en particulier en ce qui concerne la consommation de chauffage, est un aspect

important pour plusieurs raisons, notamment la réduction des coûts d'exploitation, la durabilité environnementale et la conformité aux normes réglementaires. Voici quelques points à considérer pour améliorer l'efficacité énergétique dans le chauffage lié à la production laitière :

- **Isolation des bâtiments** : Assurez-vous que les bâtiments utilisés pour l'élevage laitier sont correctement isolés. Une bonne isolation réduit les pertes de chaleur et minimise la nécessité de chauffer excessivement les installations.
- **Systèmes de chauffage efficaces** : Utilisez des systèmes de chauffage efficaces sur le plan énergétique, tels que des chaudières à haut rendement ou des systèmes de chauffage géothermique. Ces systèmes peuvent réduire la consommation d'énergie tout en maintenant des conditions optimales pour le bétail.
- **Régulation de la température** : Installez des systèmes de régulation de la température pour maintenir des conditions confortables pour les animaux tout en évitant le chauffage excessif. Les capteurs et les thermostats peuvent être utilisés pour ajuster automatiquement la température en fonction des besoins.
- **Utilisation de l'énergie solaire** : Explorez la possibilité d'intégrer des systèmes d'énergie solaire pour chauffer l'eau ou soutenir d'autres besoins en énergie. Les systèmes solaires thermiques peuvent être utilisés pour préchauffer l'eau nécessaire au nettoyage et à la stérilisation.
- **Gestion de la ventilation** : Une ventilation adéquate est essentielle pour éviter l'accumulation d'humidité et de gaz nuisibles. Assurez-vous que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement pour optimiser la qualité de l'air et minimiser les besoins de chauffage.
- L'efficacité énergétique de la climatisation dans la production laitière dépend de plusieurs facteurs, notamment la conception du système de climatisation, l'isolation des bâtiments, les pratiques d'élevage et les conditions climatiques locales. Voici quelques points à considérer pour améliorer l'efficacité énergétique de la climatisation dans les installations laitières :
- **Conception du système de climatisation** : Utilisez des équipements de climatisation écoénergétiques qui répondent aux normes de performance énergétique. Optez pour des systèmes de climatisation à haute efficacité qui peuvent réguler la température de manière précise.

- **Isolation des bâtiments :**
Assurez-vous que les bâtiments laitiers sont correctement isolés pour réduire les pertes de chaleur ou de froid.
Vérifiez et réparez les fuites d'air dans les bâtiments pour éviter les pertes d'énergie.
- **Gestion de l'aération :**
Mettez en œuvre des systèmes de ventilation efficaces pour assurer une circulation d'air adéquate.
Utilisez des régulateurs de ventilation pour ajuster automatiquement le débit d'air en fonction des besoins.
- **Contrôle intelligent de la température :**
Utilisez des systèmes de contrôle automatisés pour ajuster la température en fonction des besoins réels.
Programmez des plages de température appropriées en fonction des phases de production laitière.
- **Énergies renouvelables :**
Explorez la possibilité d'intégrer des sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie solaire ou éolienne, pour alimenter partiellement le système de climatisation.

CONCLUSION

L'audit énergétique réalisé sur la production laitière met en lumière plusieurs aspects d'efficacité énergétique et la durabilité. En conclusion, il est nécessaire que des mesures doivent être prises pour optimiser la consommation d'énergie tout en maintenant une productivité satisfaisante. Des recommandations telles que l'adoption de technologies plus efficaces, la gestion intelligente et sobre des ressources, l'investissement dans les énergies renouvelables et l'amélioration des pratiques de gestion sont essentielles pour réduire l'empreinte énergétique de la production laitière. En agissant de manière active et en mettant en évidence ces recommandations, il est possible de favoriser une production laitière plus durable, économiquement viable et respectueuse de l'environnement pour les années à venir.