



Année Universitaire : 2020-2021



Licence Sciences et Techniques en Génie Industriel

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Bilan énergétique des tours de refroidissement

Lieu : LESAFFRE MAROC FES

Référence : LST GI 22 / 2021

Présenté par :

HAMDANE Hamza

Soutenu Le 7 Juillet 2021 devant le jury composé de :

- Mr. CHAMAT Abderrahim (Encadrant FST)
- Mr. CHERKANI HASSANI Mohammed (Examineur FST)
- Mr. EL FALEH EL Mostapha (Encadrant Société)

DEDICACE

A mes très chers parents tant adorés,

Aucun mot ne saurait exprimer ma gratitude envers vous pour tout ce que j'ai pu réaliser de bien dans ma vie. Votre soutien, votre sacrifice et votre bienveillance à mon égard m'ont toujours donné la force pour persévérer. Que le bon Dieu tout puissant puisse vous procurer santé et sérénité.

A Mes chers frères adorés

Parce qu'il y a des gens qui s'installent dans notre vie pour compléter l'équilibre de la famille, comment vous remercier d'exister, vous êtes toujours dans mon cœur.

A mes cher(e)s ami(e)s

En témoignage de reconnaissance pour vos conseils, soutiens permanent ainsi que pour votre assistance. On vous saura gré de votre gentillesse et bienveillance.

Hamza Hamdane

REMERCIEMENTS

Il m'est agréable d'exprimer mes sentiments de reconnaissance envers Mr. le Doyen de la FST Fès et tous les professeurs chercheurs pour la qualité des études dispensées au sein de la Faculté de Sciences et Techniques de Fès.

J'exprime également ma profonde gratitude à tous les collaborateurs du groupe LESAFFRE-MAROC pour leur soutien moral et technique, et pour leur générosité et leur disponibilité permanente.

Je tiens à exprimer mes sentiments de remerciement à Mr. Abderrahim CHAMAT, Mon encadrant de la FST pour les conseils qu'il m'a prodigué, son judicieux encadrement et son assistance pour la rédaction de ce rapport.

Je remercie Mr. Mohammed CHERKANI HASSANI d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Je voudrais adresser toute ma reconnaissance à Mr. El Mostapha EL FALEH Responsable du service utilités pour son accueil, son encadrement, sa compréhension, ses conseils et remarques pertinentes.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, trouvent l'expression de mes sincères remerciements.

Liste des figures :

Figure 1 : Logo LESAFFRE

Figure 2 : Gamme de production LESAFFRE MAROC

Figure 3 : Organigramme de la société LESAFFRE-Maroc

Figure 4 : Vue microscopique d'un champignon

Figure 5 : Cellule de la levure

Figure 6 : La mélasse

Figure 7 : Betterave sucrière, canne à sucre

Figure 8 : La chaîne de production de la levure

Figure 9 : Tour de refroidissement ouverte

Figure 10 : Tour de refroidissement fermé

Figure 11 : tour de refroidissement sec sans évaporation

Figure 12 : refroidissement hybride

Figure 13 : principe de fonctionnement des tours de refroidissement ouvertes

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Fiche technique LESAFFRE

Tableau 2 : la température bulbe humide en fonction de l'humidité relative et température ambiante

Tableau 3 : description des tours de refroidissement

Tableau 4 : Résultats des bilans énergétiques des tours de refroidissement

Liste des abréviations & des symboles

ΔT : écart de température entre l'eau chaude et l'eau refroidie

μ : Efficacité

C_p : capacité thermique massique de l'eau

LP : Levure fraîche ou pressé

L_v : **La chaleur latente**

MD : Mélasse diluée.

MDC : Mélasse diluée clarifiée.

MDCS : Mélasse diluée clarifiée stérilisée.

q : le débit volumique

Q_{he} : Quantité horaire d'énergie échangée

q_m : le débit massique

SPH : Levure sèche active.

SPI : Levure sèche instantanée.

T_{air} : Température ambiante

T_{ee} : Température de l'eau chaude à l'entrée

T_{se} : Température de l'eau froide à la sortie

T_b : Température bulbe humide

P : Puissance

HR : humidité relative

C : Taux de concentration

E : Débit d'évaporation

D : Débit de purge

Table des matières :

Introduction générale

Chapitre 1 : étude bibliographique

I.	Introduction	2
II.	Présentation de l'entreprise	2
	1) LESAFFRE en quelques chiffre	2
	2) LESAFFRE MAROC	3
	3) La fiche technique	3
	4) Produits et marques de référence.....	3
	5) Organigramme LESAFFRE.....	4
III.	La levure saccharomyces cerevisiae et sa chaine de production.....	5
	1) Généralités	5
	2) Levure saccharomyces cerevisiae (LESAFFRE).....	6
	3) Préparation de la levure.....	6
IV.	Conclusion	

Chapitre 2 : Généralités sur les tours de refroidissements

I.	Introduction.....	11
II.	Historique d'un tour de refroidissement	11
III.	Quelques types des tours de refroidissement.....	11
	1) Refroidissement humide à cycle ouvert ou fermé.....	11
	2) Refroidissement sec sans évaporation.....	13
	3) Refroidissement hybride.....	14
IV.	problématique	14
V.	Conclusion.....	14

Chapitre 3 : Bilan énergétiques des tours de refroidissement ALFALAVAL & BALTIMORE

I.	Introduction	15
II.	Description de la tour de refroidissement.....	15
III.	Principe de fonctionnement	15
IV.	Bilan énergétique théorique de l'ensembles de tours.....	17

V.	Etude expérimentale.....	18
VI.	Conclusion	23

Conclusion générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce stage a été effectué au sein de la société anonyme de l'industrie alimentaire et plus précisément la production de levure « LESAFFRE Maroc » au sein du service utilité.

Mon projet intitulé « bilan thermique des tours de refroidissement »

Ce rapport est composé de trois chapitres et une conclusion :

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation de la société LESAFFRE Maroc, ainsi qu'une description du processus de fabrication de la levure.
- Dans le deuxième chapitre nous parlerons des tours de refroidissement de façon générale, leurs types et leurs principes de fonctionnement.
- Dans le troisième chapitre nous parlerons du bilan énergétique des tours de refroidissements utilisés dans la société LESAFFRE en particulier ALFALAVAL et BALTIMORE.

I. Introduction :

Avant de se lancer dans un projet au sein d'une société, il apparaît essentiel de commencer par connaître cette dernière.

Dans ce sens, j'entame la présentation de la société anonyme LESAFFRE, le leader mondial dans le domaine de la levure de panification. Ainsi que la chaîne de production de la levure.

II. Présentation de l'entreprise :

Fondé en 1853, le groupe agroalimentaire LESAFFRE est le leader mondial dans le domaine de la levure de panification, figure 1. Fort de ses connaissances approfondies de la levure et de ses compétences pointues en biotechnologies, LESAFFRE intervient également dans les domaines de la nutrition, de la santé humaine et animale.



Figure 1 : Logo LESAFFRE

L'innovation technique, la maîtrise des savoir-faire et la capacité à proposer des solutions sur-mesure ont contribué à construire le succès de LESAFFRE. Son aptitude à anticiper les besoins, à comprendre les attentes de ses clients et à fournir des produits de qualité : ont imposé le Groupe comme fournisseur incontournable des industriels, et du grand public. LESAFFRE a choisi " l'hirondelle " comme logo. Ce dernier est un symbole de proximité et de fidélité, qui traversa le temps et l'espace. C'est un logo qui identifie les produits de la société et se considère comme l'emblème fédérateur du groupe LESAFFRE dans le monde via ses 35 sites de production et sociétés commerciales et des distributions afin d'être plus proche de ses clients.

1) Lesaffre en quelques chiffres :

- Un groupe créé en 1853 est toujours détenu par la famille LESAFFRE.
- 1^{er} fabricant mondial de levure.
- Environ 1,3 milliard d'euros de chiffre d'affaires en 2010.
- 7000 collaborateurs.
- Plus de 60 implantations commerciales.

- Une présence commerciale dans plus de 170 pays.
- 35 sites de production.

2) LESAFFRE Maroc :

En 1993, la société SODERS a été majoritairement détenue par le groupe Français LESAFFRE et porte aujourd'hui comme nouvelle appellation "LESAFFRE MAROC". Elle présente le leader mondial dans la fabrication de la levure de panification grâce à ses connaissances approfondies sur la levure et ses compétences en biotechnologie. Le siège est situé à Fès, au quartier industriel SIDI BRAHIM. Elle produit environ 30.000 tonnes de levures par an, emploie 170 personnes avec une superficie de 2 hectares qui applique une politique salariale attractive et des possibilités de formation continue pour ses personnels, qui a su conserver les valeurs humaines d'une entreprise familiale. Elle est subdivisée en un site de production à Fès et un BAKING CENTER à Casablanca. Ce dernier site constitue une vitrine des produits LESAFFRE où les boulangers peuvent suivre des formations et des démonstrations applicables à leur métier.

3) La fiche technique de LESAFFRE Maroc :

La fiche technique qui contient les informations de la société est présentée dans le tableau 1 :

Raison sociale	LESAFFRE Maroc, Fès
Directeur général	Damien LESAFFRE.
Forme Juridique	société anonyme.
Date de création	1993.
Secteur d'activité	L'agroalimentaire.
Siège Sociale	Rue 806, BP 30 000, quartier industriel Sidi Brahim, Fès.
Tel	05 35 73 75 30.
Gamme de produits	Levures de panification, améliorants et correcteurs de farine.
Effectif	200 personnes (dont 20 cadres).
Capital social	30.989.300,00 DHS.

Tableau 1 : Fiche technique LESAFFRE

4) Produits et marques de référence :

LESAFFRE MAROC produit :

- ✓ **LP** : Levure fraîche ou pressée appelée « Jaouda » 500 g et « Rafiaa » 125 g emballée avec du papier paraffiné, conservée entre 0 et 8°C, et consommée avant sa date limite d'utilisation (15 jours).
- ✓ **SPI** : Levure sèche instantanée de forme allongée, conditionnée sous azote dans un emballage complexe pour les sachets de 10 g et sous vide pour les sachets de 125 g et 500g sous le nom Rafiaa et Nevada, conservée à température ambiante (environ 20°C) jusqu'à 2 ans avant ouverture.

- ✓ **SPH** : Levure sèche à hydrater de forme granulée arrondie, conditionnée sous vide dans un emballage complexe de 500 g sous le nom Jaouda, conservée à température ambiante jusqu'à 2 ans.

LESAFFRE MAROC fabrique aussi des améliorants de panification et des correcteurs commercialisés sous les marques IBIS, MAGIMIX et BLEU afin de fabriquer un pain délicieux et de texture unique qui satisfait le consommateur, il utilise sa propre gamme de production, figure 2.

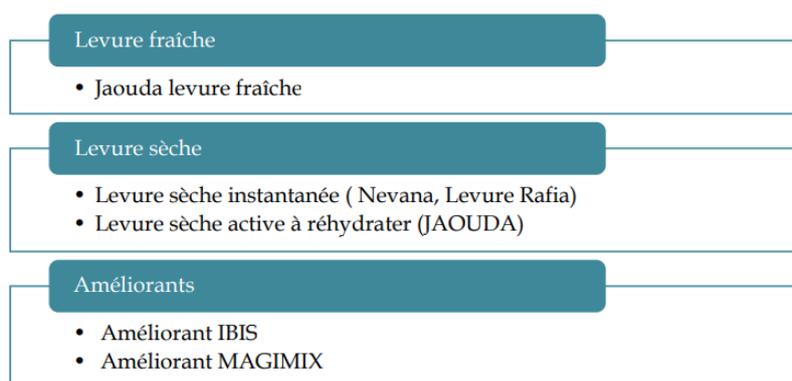


Figure 2 : Gamme de production LESAFFRE MAROC

5) Organigramme LESAFFRE :

La Société LESAFFRE MAROC divisée en plusieurs services, figure 3, dont chacun remplit des tâches bien précises et l'ensemble contribue à optimiser les conditions de production et la qualité du produit.

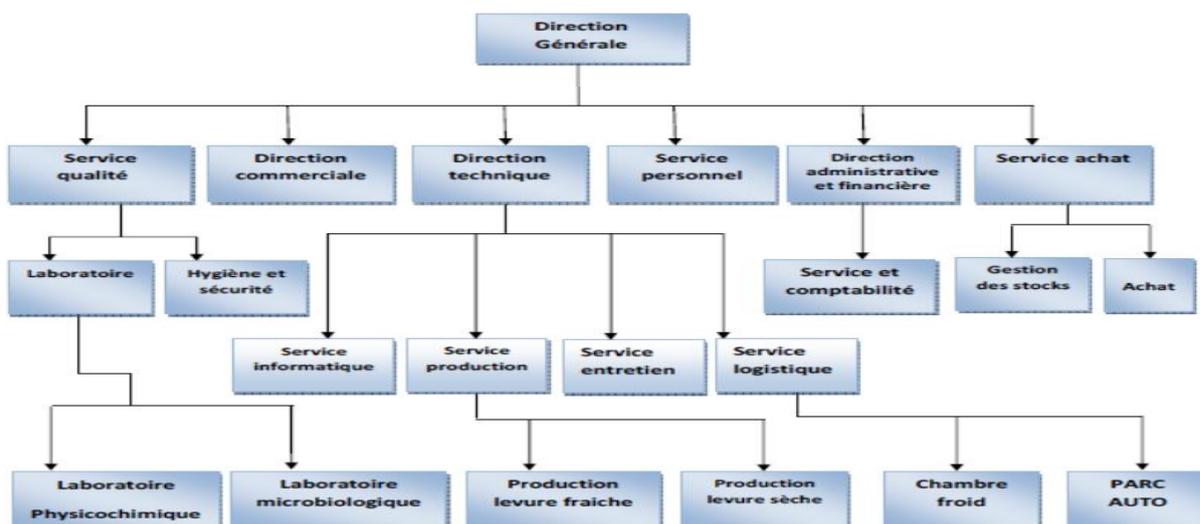


Figure 3 : Organigramme de la société LESAFFRE-Maroc

III. La levure *saccharomyces cerevisiae* et sa chaîne de production

1) Généralités :

La levure est constituée de cellules vivantes d'un champignon microscopique unicellulaire, figure 4, de diamètre compris entre 5 et 10 microns (invisible à l'œil nu) généralement de forme ovoïde ou

sphérique, elle est apte à provoquer la fermentation des matières organiques animales et végétales et joue un rôle essentiel dans la régulation de l'activité fermentaire et aromatique du pain. Ainsi, elles sont employées pour la fabrication du vin, de la bière, des alcools industriels, des pâtes levées et d'antibiotiques. La levure peut vivre aussi bien en présence qu'en l'absence d'oxygène, se multipliant dans le premier cas, provoquant une fermentation dans le second.

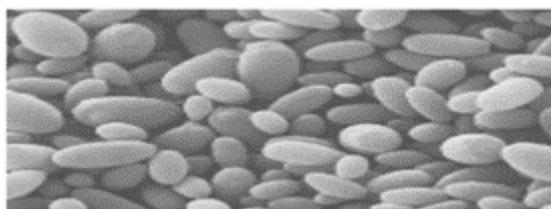


Figure 4 : Vue microscopique d'un champignon

2) La levure saccharomyces cerevisiae (LESAFFRE) :

2-1) Définition :

La levure *Saccharomyces cerevisiae* occupe une place privilégiée dans les activités industrielles. Elle est utilisée par l'homme depuis des millénaires pour la production de boissons et produits fermentés (vin, bière, pain) et joue un rôle très important dans l'industrie agroalimentaire comme agent de fermentation et pour l'élaboration de produits dérivés.

Appelé aussi levure de boulangerie ou levure de bière (car c'est lui qui permet la fermentation alcoolique de certains sucres (saccharose, lactose, maltose...), pour obtenir des alcools, notamment la bière. Cette levure naturelle est un champignon unicellulaire, figure 5, très riche en protéines de très bonne valeur biologique, mais aussi en vitamines et minéraux. C'est une des meilleures sources de protéines naturelles. Elle est également utilisée en panification pour la production de biomasse. Etymologiquement « saccharo » vient de sucre, « Myces » de champignon et « cerevisiae » signifie « brasserie » en latin.

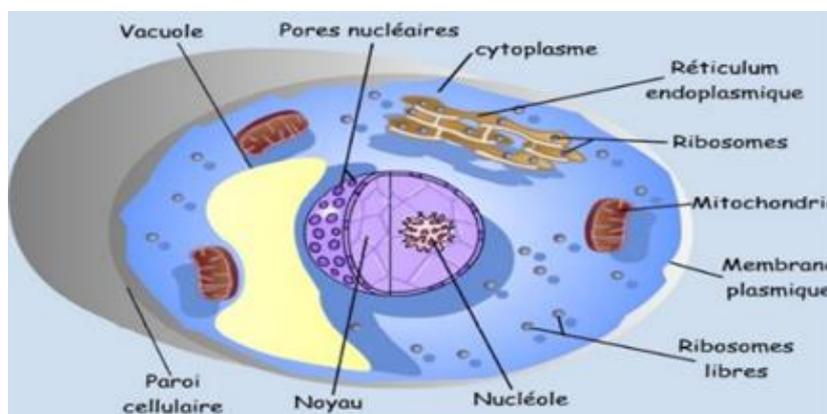


Figure 5 : Cellule de la levure

2-2) Préparation de la levure :

a) Laboratoire :

La souche pure (dans deux tubes un pour la levure fraîche et l'autre pour la levure sèche) reçue de la France. La levure est d'abordensemencée en tubes (à peu près 60 tubes) contenant les éléments nutritifs, on prend un tube par jour puis on ensemence un ballon de 250 ml contenant le milieu de culture et on incube pendant 8 h, la culture obtenue est ensemencée dans un ballon de 7 L pendant 18h puis ensemencée en une cuve de 800 L.

b) Pré-fermentation :

Le contenu de la cuve de 800 L est versé dans un pré-fermenteur et on ajoute ces éléments avec des quantités précises :

- L'eau.
- La mélasse stérile.
- L'acide sulfurique pour l'hydrolyse du saccharose en glucose et fructose présent dans la mélasse.
- Les sels minéraux.
- Les éléments de traces (oligo-éléments et vitamines).
- L'air.

c) Traitement de la mélasse :

La production de la levure dépend fortement de la mélasse, coproduit de la production de sucre, pour assurer la croissance de ce micro-organisme, donc une fermentation rentable.

Il faut une tonne de mélasse pour produire environ une tonne de levure !

La mélasse, figure 6, est un coproduit de sucre obtenue à partir de la betterave sucrière ou de la canne à sucre, sous forme d'un sirop très épais et visqueux, moins calorifique que le saccharose, contenant de la vitamine B et des minéraux (calcium, potassium, fer, cuivre...), contrairement au sucre blanc cristallisé.



Figure 6 : La mélasse

La société LESAFFRE utilise deux types de mélasse (80% de mélasse provenant de la betterave et 20% provenant de la canne à sucre) pour la nutrition (source de carbone) de la levure.

Mélasses de betterave : Elle provient de la fabrication du sucre extrait de la betterave sucrière, figure 7. Elle se présente sous la forme d'un liquide visqueux et homogène de couleur marron. Elle est produite dans les régions tempérées, principalement en Europe. Le sucre, essentiellement le saccharose, est le composant le plus important de la mélasses de betterave (de 45 à 50 %). Elle contient aussi 10 à 12 % de protéine brute dont 5 à 7 % de bétaine.

Mélasses de canne : Elle provient de la fabrication du sucre extrait de la canne à sucre. Elle se présente sous la forme d'un liquide visqueux et homogène de couleur marron foncé à noir, d'odeur et de saveur caractéristiques de la réglisse. Elle est produite dans les pays tropicaux, à climat chaud et humide. La teneur en sucres (environ 45%) est constituée de saccharose (2/3) et de sucres réducteurs comme le glucose et le fructose (1/3).



Figure 7 : Betterave sucrière (à gauche) canne à sucre (à droite)

d) Dilution :

La mélasses brute de la canne et de la betterave se mélange dans une cuve de dilution avec de l'eau et de la vapeur pour avoir de mélasses diluées (MD). Cette dernière contient environ 80 % de betterave et 20 % de canne. La température dans la cuve de MD est de 70 °C grâce à la vapeur d'eau injectée pour diminuer la viscosité de la mélasses et la diluer.

e) Clarification :

Après la dilution, la clarification élimine les bords et les matières solides indésirables par centrifugation. La mélasses diluées clarifiées (MDC), est stockée dans une cuve et transférée dans un échangeur mélasses/mélasses, qui augmente la température de la mélasses diluées clarifiées de 70 °C à 90 °C en échangeant avec une autre mélasses qui provient du stérilisateur et qui a une température de 120 °C à 130 °C.

f) Stérilisation :

On injecte de la vapeur d'eau sous pression de 6 bars, la température de la mélasses augmente de 90°C à environ 120°C à 130°C. Après la stérilisation, la mélasses diluées clarifiées stérilisées (MDCS) est stockée dans deux cuves, ensuite elle passe dans l'échangeur mélasses/eau, qui refroidit la mélasses pour qu'elle soit utilisable pour la fermentation et pour produire de l'eau chaude à 60 °C ou à 70 °C.

g) Fermentation :

A la fin de la pré-fermentation on obtient un mout qui servira à ensemercer le fermenteur avec milieu nutritif (l'urée, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate : ces sels nutritifs offrent pour

la levure les sources d'azote et du phosphate et leurs préparations comprennent seulement une dilution jusqu'à l'obtention du brix voulu) bien spécifique et après 18 à 20 heures de fermentation, on obtient la levure mère, qui va subir une séparation puis un stockage. La levure mère obtenue va encore servir à la fermentation, par un ensemencement pour donner naissance à une levure commerciale.

h) Séparation :

Le moût obtenu à la sortie des fermenteurs contient les cellules de levure et une solution liquide constituée à partir des restes du milieu nutritif. Des séparateurs fonctionnant par centrifugation, ils utilisent des assiettes tournantes à 5000 tr/min, permettent d'obtenir un liquide dense : la crème et un liquide léger (le moût délivré qui va être évacué dans les égouts).

i) Stockage de la crème :

La crème obtenue à l'issue de la séparation est acidifiée par l'acide sulfurique à pH = 2 pour éviter la contamination, et stockée à 5 °C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

j) Filtration :

La filtration s'effectue à l'aide de trois des hydrateurs rotatoires sous vide P1, P2 et P3 contenant une couche filtrante d'amidon et munis de racleurs. La levure sous forme râpée tombe dans des trémies ou elle est mélangée avec une huile végétale rendant sa couleur plus claire.

k) Séchage :

Pour la levure sèche active ou SPH : A la sortie du filtre, la levure est à l'état pâteux, elle passe alors dans un mélangeur puis dans une grille percée de trous pour avoir une granulométrie bien déterminée. La levure granulée est alors récupérée dans des bols pour passer dans des séchoirs qui fonctionnent par l'envoi d'un courant d'air sec et chaud. La durée de séchage est de 4 h et s'effectue à 45 °C. Pour la levure sèche instantanée ou SPI : Elle est sous forme de bâtonnets, elle a une durée de séchage réduite (20 min environ pour une quantité de 1000 Kg).

l) Emballage :

Il existe 2 types d'emballages selon le type de la levure :

- ❖ **LEVURE FRAICHE** : La levure sous forme de pâte tombe dans des trémies ou elle est mélangée avec une huile végétale avant de passer dans la boudineuse. Le boudin de levure pressée est découpé en pain de 500 g, qu'on enveloppe individuellement dans un papier paraffiné. Après mise en carton, la levure est conservée en chambre froide afin d'être réfrigérée avant son expédition.
- ❖ **LEVURE SECHE** : Pour la levure sèche, le gâteau provenant de la filtration sous vide est mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donner aussi la couleur blanche caractéristique de la levure.

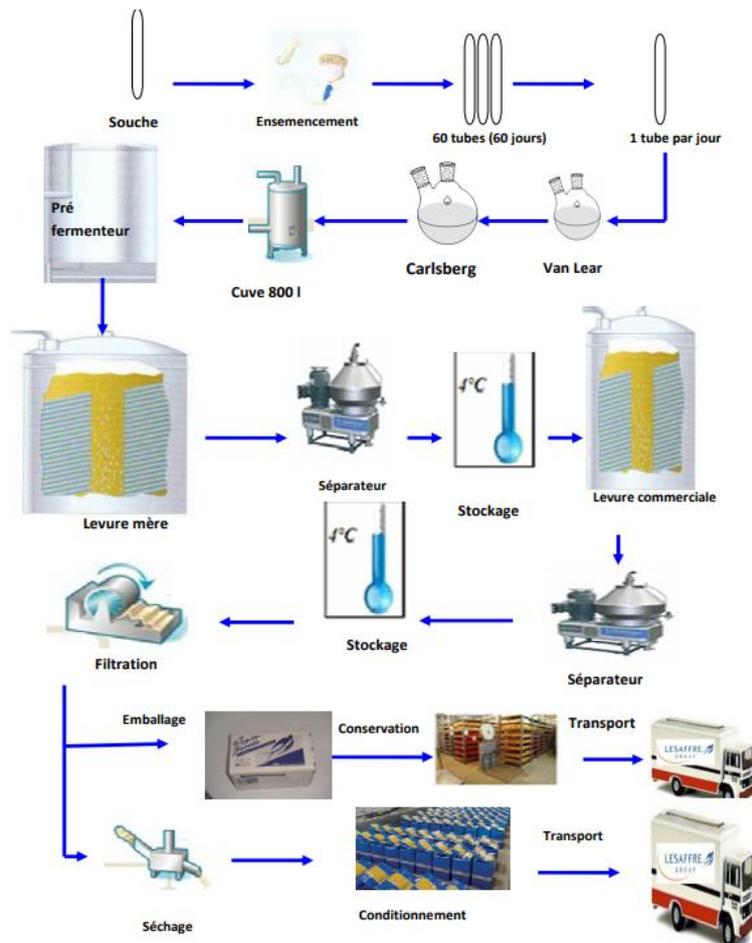


Figure 8 : La chaîne de production de la levure

IV. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons précisé la place que la société LESAFFRE détient dans le domaine de la levure de panification, grâce à sa forte connaissance de la levure et de sa compétence pointue en biotechnologie. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter une bibliographie sur les tours de refroidissement en détaillant leurs principes de fonctionnement.

Chapitre 2 : généralités sur les tours de refroidissements

I. Introduction :

Les tours de refroidissement sont utilisées pour refroidir un liquide ou un gaz. Il s'agit d'un cas particulier d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les flux. Le moyen de refroidissement de telles installations est le plus souvent l'air ambiant. Les tours de refroidissement sont des équipements présents dans des installations de climatisation, ou dans des procédés industriels et énergétiques.

II. Historique d'un tour de refroidissement :

Les noms les plus reconnus de l'industrie de refroidissement sont à l'origine de sa création : Balcke, Marley, Ceramic, Recold et Hamon Dry Cooling.

Balcke & Co. a été fondée en Allemagne en 1894 et est devenue le premier fabricant mondial de tours de refroidissement au début des années 1900.

Marley a été fondée aux États-Unis en 1922 en tant qu'équipementier de centrales électriques, avant de devenir The Marley Company en 1926.

Recold a été fondée en 1932 à Brea en Californie.

Ces entreprises ont inventé et breveté la plupart des innovations et des technologies ayant trait aux tours de refroidissement industrielles utilisées à l'heure actuelle.

Les plus grandes installations de refroidissement au monde :

En 1920 : pulvérisateurs ; tour atmosphérique ;

En 1930 : tour de refroidissement à tirage naturel hyperbolique en béton ; tour de refroidissement à tirage mécanique avec ventilateur d'extraction ;

En 1950 : condenseur à air ; tour de refroidissement avec écoulement inférieur ;

En 1960 : conception à flux transversal avec remplissage sous forme de pellicules ; échangeur de chaleur à air ; condenseur à évaporation de 100 tonnes ;

En 1970 : plus grands ventilateurs au monde ; tour de refroidissement à tirage mécanique à ventilateurs multiples ;

En 1980 : tour de refroidissement hybride à voie humide-sèche ; tour de refroidissement à voie humide à tirage naturel avec désulfuration des effluents gazeux intégrée ; système de refroidissement à voie sèche indirecte complète ;

En 1990 : construction en bois pour tours de refroidissement hybrides multi cellules ; système complet à extrémité froide ;

En 2000 : tour thermique à gaz naturel liquide ; tour de refroidissement à tirage mécanique circulaire assistée d'un tirage naturel.

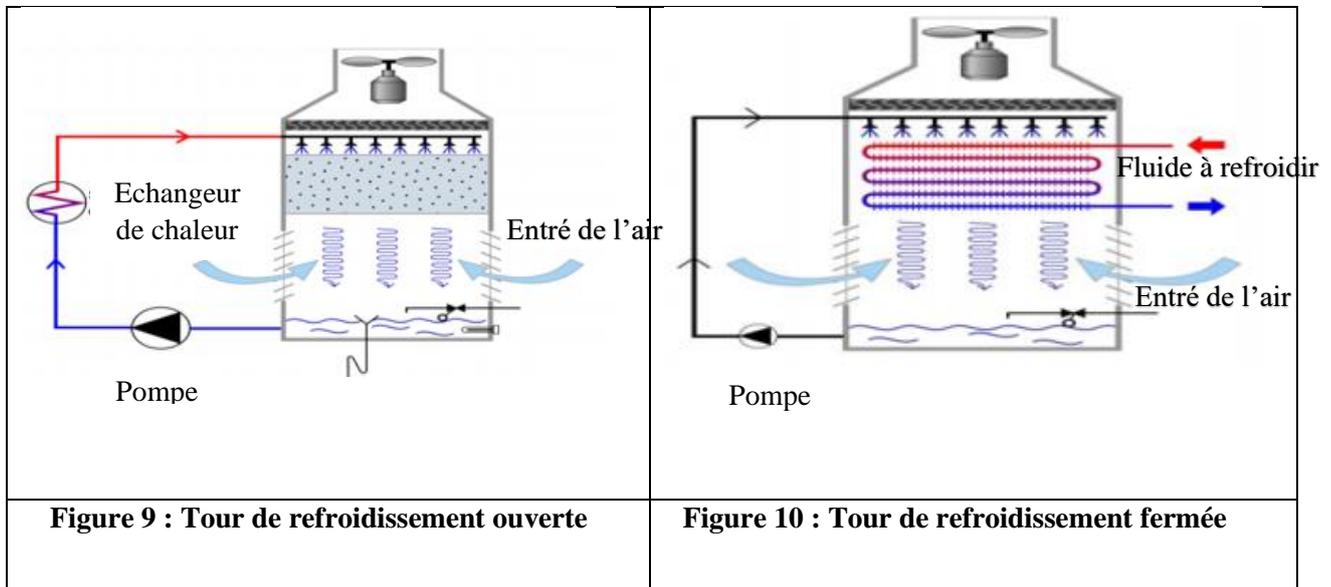
III. Quelques types des tours de refroidissement :

- ✚ Tour de refroidissement ouvert ;
- ✚ Tour de refroidissement fermé ;
- ✚ Refroidissement sec sans évaporation ;
- ✚ Refroidissement hybride.

1) Refroidissement humide à cycle ouvert ou fermé

a) Principe de fonctionnement :

La technologie de refroidissement la plus répandue pour les groupes froids thermiques est le refroidissement humide, à l'aide de tours de refroidissement ouvertes. La figure 10, illustre le principe d'une tour de refroidissement ouverte : l'eau du circuit de refroidissement est envoyée en spray au sommet de la tour sur la zone d'échange (matériau de garnissage). Le principal effet de refroidissement est obtenu par évaporation d'un faible pourcentage d'eau (typiquement <5%) ; cette perte doit être compensée par l'ajout d'eau neuve du réseau. L'eau refroidie retourne dans le circuit. Un ventilateur (horizontal en sommet de tour pour les modèles hélicoïdaux ou en partie basse de la tour pour les modèles centrifuges) extrait l'air saturé pour assurer que l'évaporation continue. Cette technologie est très efficace dans les climats appropriés (dotés d'une hygrométrie raisonnable, soit moins de 80% en moyenne) et, en principe la température limite de retour de l'eau refroidie est proche de la température de bulbe humide de l'air (3°C à 5°C au-dessus de la température humide).



b) Avantages et inconvénients :

Avantages

- Efficacité,
- Maturité technique,

- Prix (prix faible surtout pour les tours ouvertes),
- Faible consommation en électricité.

Inconvénients

- Consommation d'eau (environ 5 litres/kWh froid),
- Législation très stricte visant à lutter contre les légionelles (traitement et contrôle régulier de la qualité de l'eau sont obligatoires).

2) Refroidissement sec sans évaporation :

a) Principe de fonctionnement :

Pour éviter les problèmes de risques de prolifération de légionelles, et donc d'éviter l'application d'une législation lourde, un autre moyen de refroidissement est possible : les systèmes de refroidissements secs sans évaporation (aéroréfrigérant), également appelés « drycoolers ». Dans ce cas, l'eau du circuit de refroidissement passe par un échangeur air/eau. L'air frais extérieur mis en circulation par des ventilateurs assure le refroidissement de l'eau. La température de retour de l'eau est alors de quelques degrés plus élevés que la température de l'air ambiant. L'efficacité de ce dispositif est fortement dépendante de la température ambiante et celle-ci doit être impérativement significativement inférieure à la température de condensation de la machine à sorption. Les performances de ce système sont donc moins élevées que celle des tours de refroidissement humides, et la consommation en électricité est plus importante, mais ce système permet de s'affranchir des traitements et du contrôle régulier de l'eau, et des coûts qui lui sont associés, figure 12.

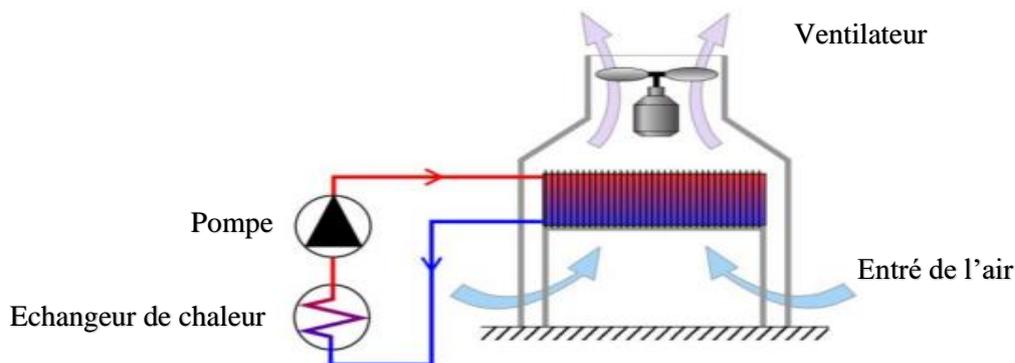


Figure 11 : Tour de refroidissement sec sans évaporation

b) Avantages et inconvénients

Avantages :

- Pas de consommation d'eau
- Pas de traitement ni de contrôle de l'eau
- Simple à mettre en œuvre (pas de circuit d'alimentation d'eau de réseau à mettre en place)

Inconvénients :

- Consommations électriques élevées
- Efficacité moins élevée
- Impossibilité de tenir une consigne de refroidissement lorsque la température extérieure est trop élevée

3) Refroidissement hybride

a) Principe de fonctionnement :

Une autre solution de refroidissement se situe entre la tour de refroidissement humide et le refroidisseur sec. Les systèmes hybrides mélangent ces deux technologies : Durant les périodes relativement fraîches que sont les intersaisons, le système fonctionne comme un simple drycooler, puis en été lorsque la température ambiante est trop élevée pour avoir un niveau de température du fluide de refroidissement suffisamment faible, le système passe alors en mode évaporatif similaire à une tour humide. Ce système peut, par exemple, être mis en place en ajoutant une rampe de spray d'eau en direction de l'échangeur air/eau d'un drycooler. La combinaison de ces deux modes permet de réaliser des économies d'eau tout au long de l'année et de limiter les risques de bactéries. De plus, un niveau correct de la température retour de l'eau du circuit de refroidissement est toujours possible, même pendant les jours très chauds d'été, figure 13.

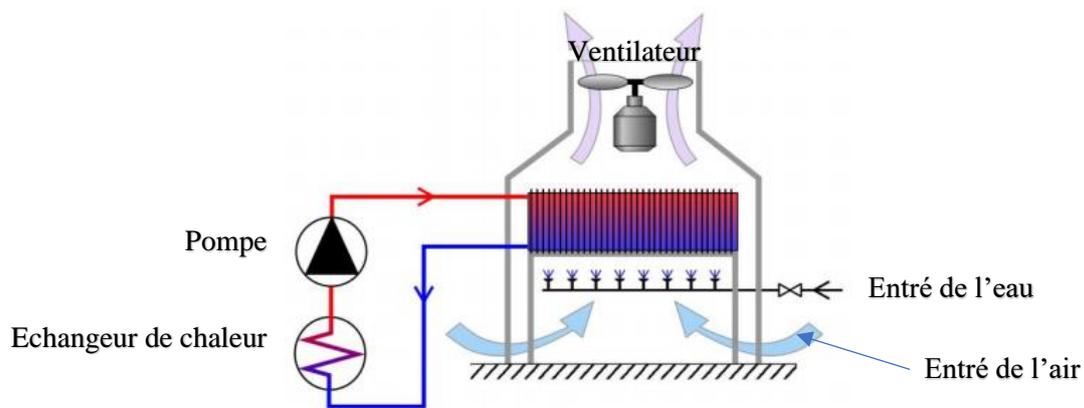


Figure 12 : Refroidissement hybride

b) Avantages et inconvénients

Avantages :

- Faible consommation en eau
- Risque de développement des légionelles quasi-inexistant
- Niveau de température assuré même lors de fortes chaleurs estivales

Inconvénients :

- Consommation en électricité toujours importante

- Traitement et contrôle régulier de la qualité de l'eau sont obligatoires.

IV. Problématique :

Toute entreprise opte pour minimiser les pertes afin de maximiser leurs profits puisque tout ralentissement de la production est une cause principale des pertes financière. Et même parfois elles coûtent des charges supplémentaires indésirables. LESAFFRE-Maroc dans cette situation voudrait faire un bilan énergétique des tours de refroidissement pour le but de savoir l'efficacité et la quantité d'eau évaporée. Ces tours ont la fonction de refroidir de l'eau, et ce dernier va refroidir de la levure en utilisant des échangeurs à plaques.

Dans ce projet on va réaliser un bilan énergétique des tours de refroidissement afin d'évaluer leurs performances et de prendre des mesures si c'est nécessaire pour rétablir le bon fonctionnement de ces tours.

V. Conclusion :

Les tours de refroidissements ont le rôle de refroidir un fluide. La société LESAFFRE utilise les tours de refroidissements pour refroidir de l'eau et ce dernier a le rôle de refroidir la levure à l'aide des échangeurs à plaques. Elle utilise 6 tours de refroidissement, 4 de marque ALFA LAVAL et deux de marque BALTIMORE.

Dans le chapitre suivant, nous allons réaliser un bilan énergétique en calculant l'efficacité des tours et de comparer ces efficacités en utilisant les mesures de la fiche technique des tours avec les mesures réelles.

Chapitre 3 : Bilan énergétique des tours de refroidissement

ALFALAVAL & BALTIMORE

I. Introduction :

Pour faire un bilan énergétique des tours de refroidissements on a besoin de quelques paramètres qu'on peut les trouver dans la fiche technique des tours, avec ces paramètres (Débit massique, débit volumique, température de sortie, température d'entrée, température bulbe humide ...) on peut calculer l'efficacité, la quantité d'eau évaporée, et la puissance thermique de l'échange de chaleur entre l'eau et l'air ambiant. Après on va mesurer expérimentalement les paramètres de calcul et comparer l'étude théorique et l'étude expérimentale.

II. Description de la Tour de refroidissement :

	ALFALAVAL	BALTIMORE
Débit volumique (m ³ /h)	300	180
Moteur électrique	18.5 kW 1450 Tr / min	15 kW 1450 Tr / min
Te / Ts	31 / 26	31 / 26
ΔT	5 °C	5 °C
Température Bulbe humide	23 °C	23 °C
Quantité d'eau évaporée	0.9 %	0.9 %
Corps d'échange	Splash	Chicanes

III. Principe de fonctionnement :

Une tour de refroidissement est un échangeur de chaleur qui permet de refroidir de l'eau par contact direct avec l'air.

Le transfert de chaleur de l'eau à l'air s'effectue en partie par transfert de chaleur sensible, mais surtout par chaleur latente (évaporation d'une partie de l'eau dans l'air), ce qui permet d'atteindre des températures de refroidissement inférieures à celles de l'air ambiant.

L'eau chaude à refroidir est amenée au sommet de la tour de refroidissement à circuit ouvert par une tuyauterie, figure 14. Cette eau est fractionnée et distribuée sur les surfaces de ruissellement par les buses de distribution d'eau.

L'air pulsé par le ventilateur pénètre par la partie inférieure de la tour de refroidissement ouverte et s'échappe par la partie supérieure après s'être échauffé et saturé, en passant entre les surfaces de ruissellement recouvertes d'eau.

Sous l'action de la tension superficielle provoquée par la surface de ruissellement, l'eau s'étale uniformément, et ruisselle sur toute leur hauteur. La surface d'échange est ainsi augmentée. L'eau refroidie grâce à la ventilation forcée, tombe en chute libre dans le bassin incliné situé sous l'appareil. Elle est ensuite aspirée à travers la crépine. Des séparateurs de gouttes sont disposés à la sortie d'air pour limiter les entraînements vésiculaires.

- 1 : Entrée de l'eau chaude
- 2 : la tuyauterie de distribution
- 3 : Buses
- 4 : Surface de ruissèlement
- 5 : Bassin
- 6 : Sortie de l'eau froide
- 7 : L'entrée de l'air ambiant
- 8 : Ventilateur
- 9 : Pare-gouttelette
- 10 : Sortie de l'air
- 11 : le flotteur

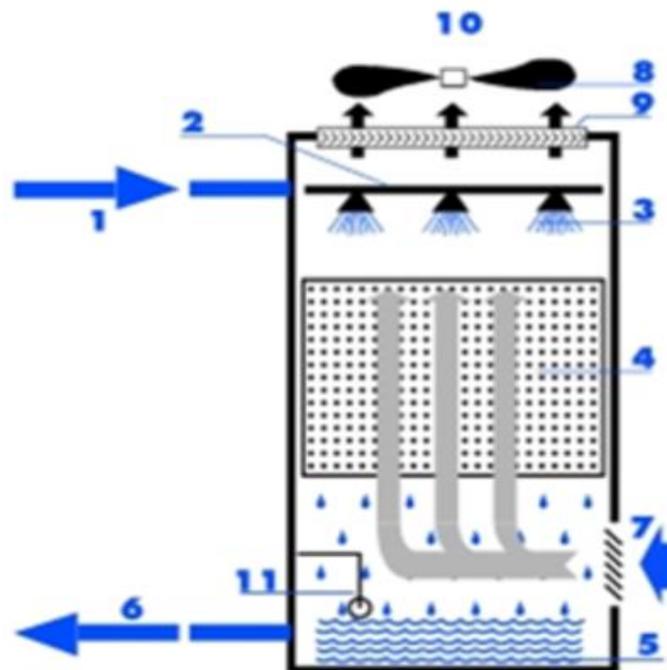


Figure 13 : Principe de fonctionnement des tours de refroidissements ouvertes

L'eau chaude venant de l'installation à refroidir entre en (1) et circule dans la tuyauterie de distribution (2). L'eau est ensuite pulvérisée en fines gouttelettes grâce aux buses (3). Ces gouttelettes ruissellent le long de l'échangeur (4), celui-ci devant avoir une surface d'échange la plus grande possible pour accroître le phénomène d'évaporation. L'eau non évaporée mais refroidie est recueillie dans le bassin de récupération (5) ou par le séparateur de gouttes (9) qui permet de récupérer les gouttelettes en suspension dans le courant d'air. Enfin l'eau est stockée et réintroduite dans l'installation en (6). L'air entre en (7). Un fort débit est obtenu grâce à la mise

en place d'un ventilateur (8), ce qui permet d'accroître le phénomène d'évaporation. Le courant d'air circule dans l'échangeur puis dans le séparateur. Il est ensuite rejeté à l'air libre avec une faible teneur en eau (10). Les pertes en eau sont compensées par une arrivée d'eau d'appoint contrôlée par le flotteur (11).

IV. Bilan énergétique théorique de l'ensembles des tours :

1) Bilan du Tour ALFA LAVAL :

L'écart de la température :

$$\Delta T = T_e - T_s$$

$$\Delta T = 31 - 26 = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Puissance thermique :

La puissance thermique d'une tour de refroidissement (en kW) est donnée par :

$$P = q_m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

NB : L'écart de température n'étant pas linéaire, et puisque nous avons un échangeur de chaleur à contre-courant on peut prendre ΔT comme la différence entre la température de sortie et la température d'entrée.

$q_m = q / 3,6$ est le débit massique en kg/s et avec :

q : débit d'eau circulant dans la tour de refroidissement (en m³/h)

C_p : capacité thermique massique de l'eau (en kJ/kg/K)

ΔT : écart de température entre l'eau chaude et l'eau refroidie (en K)

$$P = q_m \cdot C_p \cdot \Delta T ; \quad \text{avec } C_p = 4,186 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$P = (300 / 3,6) \cdot 4,186 \cdot 5 = 1744,16 \text{ kW}$$

En total : 4 Tours de refroidissement Alfa LAVAL :

$$\rightarrow P_{\text{Total 1}} = 1744,16 * 4 = 6976,66 \text{ kW}$$

2) Bilan du Tour BALTIMORE :

La puissance thermique de la tour de refroidissement (en kW) :

$$P = (180 / 3,6) \cdot 4,186 \cdot 5 = 1046,5 \text{ kW}$$

En total : 2 Tours Baltimore :

$$\rightarrow P_{\text{Total 2}} = 1046,5 * 2 = 2093 \text{ kW}$$

3) Bilan Total des Tours :

La société dispose de 2 Tours de refroidissement Baltimore et 4 tour AlfaLAVAL :

$$P_{\text{Total}} = P_{\text{Total 1}} + P_{\text{Total 2}} = 9049,66 \text{ kW}$$

V. Les paramètres de performance des tours de refroidissement :

- Variation de température ΔT (grande variation = bonne performance)
- Débit de circulation de l'eau de la RADEEF dans l'eau traité q
- Débit d'évaporation. $E \quad E = Q / L_v \quad L_v : \text{La chaleur latente}$
- Taux de concentration. C
- Débit de purge de la concentration totale (D)
- Efficacité μ (grande efficacité = bonne performance)

On note que l'évaporation entraîne une augmentation de la concentration des sels dans l'eau circulant, c'est pour cela qu'il y a des purges pour éviter que cette concentration augmente, et qui est rejeté par les égouts.

$$D = E / (C - 1)$$

1) Quantité horaire d'eau évaporée :

D'après la fiche technique des tours étudiées, la quantité d'eau évaporée est 0.9 %

$$\rightarrow E = 300 \times 0.9 \% = 2,7 \text{ m}^3 / \text{h}$$

2) Efficacité d'une tour de refroidissement :

L'efficacité d'un échangeur est le rapport de la puissance thermique réellement échangée à la puissance d'échange maximum théoriquement possible, avec les mêmes conditions d'entrées des fluides (nature, débit...) dans l'échangeur. On peut donc la représenter selon l'équation suivante :

$$\mu = 100 (T_e - T_s) / (T_e - T_b)$$

- Température du bulbe humide $T_b = 23 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T^\circ\text{C}$ Entrée eau chaude $T_e = 31^\circ\text{C}$
- $T^\circ\text{C}$ Sortie eau froide $T_s = 26^\circ\text{C}$

$$\mu = 100 (T_e - T_s) / (T_e - T_b)$$

$$\mu = 100 (31 - 26) / (31 - 23) = 62,5 \%$$

VI. Etude Expérimentale :

1) Introduction :

La détermination des performances de la tour de refroidissement dépend de plusieurs facteurs, tels que les conditions atmosphériques (humidité, vent...), la qualité et le débit d'eau à refroidir, ainsi que des conditions de fonctionnement des équipements mécaniques.

Ces performances sont reliées aux conditions de l'air à l'entrée, en particulier le taux d'humidité qu'il contient. On peut classer les paramètres influents sur ces performances comme suit :

- La vitesse du vent.
- La température du bulbe humide de l'air.
- La température de l'air sec.

- La température d'eau chaude.
- La température d'eau refroidie.
- La température du débit d'appoint.
- L'écart de température de l'eau entre l'entrée et la sortie.
- La quantité d'eau évaporée.

2) Bilan Energétique :

a) Généralité sur la température bulbe humide :

La température de bulbe humide est cruciale pour la conception et le dimensionnement d'une tour de refroidissement. Une tour de refroidissement refroidit l'eau par évaporation à des températures inférieures à la température ambiante et proches de la température de bulbe humide. Mais quelle est exactement la température de bulbe humide et comment pouvez-vous la mesurer ?

La température de bulbe humide est la température la plus basse obtenue par évaporation adiabatique de l'eau dans l'air jusqu'à saturation de l'air. La chaleur est nécessaire pour évaporer l'eau. Si cette évaporation est adiabatique, la chaleur est extraite de l'environnement (par exemple de l'air), ce qui refroidit l'air et le rend plus humide. La même chose arrive quand on sort de la douche ou de la piscine. L'eau sur notre corps s'évapore, extrait la chaleur de notre corps et nous nous refroidissons.

b) La mesure de la température de bulbe humide :

La température de bulbe humide peut être mesurée à l'aide d'un thermomètre dont le réservoir de mercure est contenu dans un bas de coton. Ce bas est maintenu humide en le reliant à un réservoir d'eau avec un fil de coton. Le thermomètre est placé dans un courant d'air. Comme l'eau s'évapore, la chaleur est extraite de l'environnement, y compris du réservoir de mercure, et la température mesurée diminue. L'eau continue à s'évaporer jusqu'à ce que l'air soit saturé ; l'humidité relative est alors de 100 %. La température atteint un équilibre. Et ça c'est la température de bulbe humide.

Lorsque l'air est sec, une quantité plus grande plus d'eau peut s'évaporer et la température de bulbe humide sera plus basse. Plus la différence entre la température de bulbe sec (ou la température normale) et la température de bulbe humide est grande, plus l'air est sec et plus l'eau peut s'évaporer. Le tableau 2 présente la température bulbe humide en fonction de l'humidité relative et de la température ambiante.

Ts	100% Hr	90% Hr	80% Hr	70% Hr	60% Hr	50% Hr	40% Hr	30% Hr	20% Hr	10% Hr	1% Hr
-10 °C	-10,00	-10,32	-10,64	-10,96	-11,30	-11,62	-11,96	-12,30	-12,62	-12,96	-13,30
-9 °C	-9,00	-9,34	-9,68	-10,02	-10,38	-10,74	-11,08	-11,44	-11,80	-12,16	-12,52
-8 °C	-8,00	-8,36	-8,72	-9,10	-9,46	-9,84	-10,22	-10,60	-10,98	-11,36	-11,74
-7 °C	-7,00	-7,38	-7,76	-8,16	-8,56	-8,96	-9,36	-9,76	-10,16	-10,58	-10,98
-6 °C	-6,00	-6,40	-6,82	-7,22	-7,64	-8,06	-8,50	-8,92	-9,36	-9,80	-10,24
-5 °C	-5,00	-5,42	-5,86	-6,30	-6,74	-7,20	-7,64	-8,10	-8,56	-9,02	-9,48
-4 °C	-4,00	-4,44	-4,90	-5,38	-5,84	-6,32	-6,80	-7,28	-7,76	-8,26	-8,76
-3 °C	-3,00	-3,48	-3,96	-4,44	-4,94	-5,44	-5,96	-6,46	-6,98	-7,50	-8,04
-2 °C	-2,00	-2,50	-3,00	-3,52	-4,04	-4,58	-5,12	-5,66	-6,20	-6,76	-7,32
-1 °C	-1,00	-1,52	-2,06	-2,60	-3,16	-3,72	-4,28	-4,86	-5,44	-6,02	-6,62
0 °C	0,00	-0,54	-1,12	-1,68	-2,26	-2,86	-3,46	-4,06	-4,68	-5,30	-5,92
1 °C	1,00	0,42	-0,16	-0,76	-1,38	-2,00	-2,62	-3,26	-3,92	-4,58	-5,24
2 °C	2,00	1,40	0,78	0,14	-0,50	-1,14	-1,80	-2,48	-3,16	-3,86	-4,56
3 °C	3,00	2,38	1,72	1,06	0,38	-0,30	-1,00	-1,70	-2,42	-3,16	-3,90
4 °C	4,00	3,34	2,66	1,98	1,26	0,56	-0,18	-0,92	-1,68	-2,46	-3,26
5 °C	5,00	4,32	3,60	2,88	2,14	1,40	0,62	-0,16	-0,96	-1,78	-2,60
6 °C	6,00	5,28	4,54	3,80	3,02	2,24	1,44	0,60	-0,24	-1,10	-1,98
7 °C	7,02	6,26	5,50	4,70	3,90	3,08	2,24	1,36	0,48	-0,42	-1,36
8 °C	8,02	7,24	6,44	5,62	4,78	3,92	3,02	2,12	1,20	0,24	-0,74
9 °C	9,02	8,20	7,38	6,52	5,64	4,74	3,82	2,88	1,90	0,90	-0,14
10 °C	10,02	9,18	8,32	7,42	6,52	5,58	4,62	3,62	2,60	1,54	0,46
11 °C	11,02	10,14	9,24	8,32	7,38	6,40	5,40	4,36	3,30	2,18	1,06
12 °C	12,02	11,12	10,18	9,24	8,24	7,24	6,18	5,10	3,98	2,82	1,62
13 °C	13,02	12,08	11,12	10,14	9,12	8,06	6,96	5,84	4,66	3,46	2,20
14 °C	14,02	13,06	12,06	11,04	9,98	8,88	7,74	6,56	5,34	4,08	2,76
15 °C	15,02	14,02	13,00	11,94	10,84	9,72	8,52	7,30	6,02	4,70	3,30
16 °C	16,02	15,00	13,94	12,86	11,72	10,54	9,30	8,02	6,70	5,30	3,86
17 °C	17,02	15,96	14,88	13,76	12,58	11,36	10,08	8,74	7,36	5,90	4,38
18 °C	18,02	16,94	15,82	14,66	13,44	12,18	10,86	9,48	8,02	6,50	4,92
19 °C	19,02	17,92	16,76	15,56	14,30	13,00	11,62	10,20	8,68	7,10	5,44
20 °C	20,02	18,88	17,70	16,46	15,18	13,82	12,40	10,90	9,34	7,68	5,94
21 °C	21,02	19,86	18,64	17,36	16,04	14,64	13,18	11,62	10,00	8,26	6,44
22 °C	22,02	20,82	19,58	18,28	16,90	15,46	13,94	12,34	10,64	8,84	6,94
23 °C	23,02	21,80	20,52	19,18	17,76	16,28	14,72	13,06	11,30	9,42	7,42
24 °C	24,02	22,76	21,46	20,08	18,64	17,10	15,48	13,76	11,94	9,98	7,90
25 °C	25,02	23,74	22,40	21,00	19,50	17,92	16,26	14,48	12,58	10,56	8,38
26 °C	26,02	24,72	23,34	21,90	20,36	18,74	17,02	15,18	13,22	11,12	8,84
27 °C	27,02	25,68	24,28	22,80	21,24	19,58	17,80	15,90	13,86	11,68	9,30
28 °C	28,02	26,66	25,22	23,72	22,10	20,40	18,56	16,60	14,50	12,22	9,76
29 °C	29,02	27,64	26,18	24,62	22,98	21,22	19,34	17,32	15,14	12,78	10,20
30 °C	30,02	28,60	27,12	25,54	23,84	22,04	20,12	18,02	15,78	13,32	10,64
31 °C	31,02	29,58	28,06	26,44	24,72	22,88	20,88	18,74	16,40	13,86	11,08
32 °C	32,02	30,56	29,00	27,36	25,60	23,70	21,66	19,44	17,04	14,40	11,50

Tableau 2 : Température bulbe humide

c) Bilan énergétique de la tour de refroidissement ALFA LAVAL N°1.

- Débit d'eau en circulation. $q = 164 \text{ m}^3/\text{h}$
- Température de l'eau chaude : $T_{ee} = 29.16^\circ\text{C}$
- Température de l'eau froide : $T_{se} = 21.65^\circ\text{C}$
- Température bulbe humide de l'air $T_b = 18.82^\circ\text{C}$
- Humidité air ambiant $45,9 \text{ \%HR}$
- Température ambiante $T_{air} = 25.2^\circ\text{C}$

L'écart de la température :

$$\Delta T = T_{ee} - T_{se}$$

$$\Delta T = 29.16 - 21.65 = \underline{7.51^\circ\text{C}}$$

Puissance thermique est de :

La puissance thermique de la tour de refroidissement (en kW) est de :

$$P = (164 / 3.6) \cdot 4.186 \cdot 7.51 = \underline{1432.12 \text{ kW}}$$

Quantité horaire d'énergie échangée est de :

$$Q_{he} = q_m C_p \Delta T ; \quad \text{avec } C_p = 1 \text{ k cal / kg. K}$$

q_m = le débit massique en kg/h

$$Q_{he} = 164 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 7.51 = 1231640 \text{ kcal / h}$$

Quantité horaire d'eau évaporée :

Quantité horaire d'eau évaporée est le rapport entre la quantité d'énergie échangée et la chaleur latente de vaporisation.

$$E = Q / L_v;$$

Avec $L_v = 560 \text{ kcal /kg}$ à la pression atmosphérique.

$$E = 123.164.10^4 / 560 = 2199.35 \text{ Kg/h}$$

$$= 2.19 \text{ m}^3/\text{h}$$

Efficacité ALFA LAVAL 1 :

L'efficacité de la tour de refroidissement est obtenue par la relation suivante :

$$\mu = 100 (T_{ee} - T_{se}) / (T_{ee} - T_{bh})$$

$$\mu = 100 (29.16 - 21.65) / (29.16 - 18.82) = 72.2\%$$

	Te / Ts (°C)	ΔT (°C)	Débit volumique	T _b (° C)	Humidité relative	Température de l'air ambiante (°C)
ALFALAVAL N°1	29.16 / 21.65	7.52	164	18.82	49.5 %	25.2 °C
ALFALAVAL N°2	29.16 / 22.16	7	270	18.63		
ALFALAVAL N°3	29.16 / 22.72	6.4	300	18.82		
ALFALAVAL N°4	29.16 / 23.5	5.66	277	17.09		
BALTIMORE 1 et 2	27.16 / 23.9	5.26	198	18.82		

Tableau 3 : description des tours de refroidissement

Le tableau 4 récapitule le bilan énergétique des résultats de 6 tours.

	Te / Ts (°C)	ΔT (°C)	Quantité d'eau Evaporée (m ³ /h)	P. Thermique (KW)	Qté horaire (m ³ /h)	Efficacité (%)
ALFALAVAL N°1	29.16 / 21.65	7.52	164	1432.12	2.19	72.6
ALFALAVAL N°2	29.16 / 22.16	7	270	2197.65	3.375	77.36
ALFALAVAL N°3	29.16 / 22.72	6.4	300	2232.53	3.4	62.28
ALFALAVAL N°4	29.16 / 23.5	5.66	277	1823.03	2.79	54.73
BALTIMORE 1 et 2	27.16 / 23.9	5.26	198	1211	1.8	50.87

Tableau 4 : Résultats des bilans énergétiques des tours de refroidissements

Analyse des résultats :

- ✓ D'après la fiche technique de la tour, la quantité horaire d'eau évaporée est 0.9%.

Mais d'après les résultats du tableau 3 :

➡ Il y a une grande quantité d'eau évaporée

- ✓ L'efficacité calculée avec les données théoriques est 62.5 %
Et pour les tours qui ont un débit de 300 m³/h l'efficacité est 62.28 %.

➡ Grande efficacité = bonne performance

- ✓ **La température du bulbe humide** de l'air pénétrant dans un tour de refroidissement conditionne la quantité d'eau évaporée.
- ✓ On a dépassé la puissance calorifique calculé en utilisant les données de la fiche technique car le ΔT a dépassé 5 °C.
- ✓ Lorsque la température ambiante augmente, la pente de variation de la température de l'eau sortant de l'échangeur thermique diminue.

On remarque que certaines efficacités sont supérieures ou égales à l'efficacité théorique c'est parce que l'étude est faite sous la condition de température ambiante 25.2 °C et d'humidité de l'air ambiant 45.9%. Par contre l'étude théorique est sous le maximum de température de l'air ambiante et le minimum de l'humidité amiante. Donc pour comparer l'étude théorique avec l'étude expérimentale on doit prendre les mesures le moment où la température ambiante est très élevée c'est-à-dire faire une étude pendant la saison de l'été.

Pour la tour ALFALAVAL 4, l'efficacité est inférieur à l'efficacité théorique, c'est à cause à l'état mauvaise des surfaces de ruissellement.

VII. Conclusion :

D'après les calculs nous avons trouvé que les tours de refroidissements ont un bon fonctionnement au niveau du refroidissement de l'eau pour qu'ils refroidissent la levure en utilisant les échangeurs à plaques.

Les conditions pour l'évaluation des performances :

Pour pouvoir calculer et déterminer les performances thermiques d'une tour de refroidissement fonctionnant à contre-courant, il faut que certaines conditions soient réunies au préalable :

- Bon état du système de distribution de l'eau.
- Bon fonctionnement des équipements mécaniques.
- La vitesse des ventilateurs et l'inclinaison de leurs pales doivent être réglées et fixées selon les valeurs de designs.
- La vérification du niveau d'huile lubrifiant des moto-ventilateurs soit continue et appropriée,
- Fonctionnement des moto-ventilateurs soit correct selon leurs spécificités techniques données par le fabricant
- La vitesse des ventilateurs et l'inclinaison de leurs pales doivent être réglées et fixées selon les valeurs de designs
- État du système de distribution de l'eau (Splash, rampes de dispersion, Séparateurs de gouttes...)

Remarque importante

La puissance thermique maximale d'une tour de refroidissement est basée sur « **un régime été** » pour lequel le refroidissement désiré est le plus difficile à obtenir. Ce « régime été » correspond à une température de bulbe humide de l'air à l'entrée de la tour, ainsi que l'humidité relative.

Lesaffre Maroc a programmé chaque année un arrêt technique usine, afin d'effectuer les différentes opérations sur les tours de refroidissement pour but d'améliorer l'efficacité de l'ensemble, et d'autre part, l'exécution de la maintenance sur différents équipements liés à la production de la levure.

Conclusion Générale :

Ce travail réalisé dans le cadre de projet de fin d'étude de la LST G.I réalisé au sein de la société LESAFFRE.

Mon travail a été inscrit généralement dans le cadre de l'étude d'un échangeur de chaleur en particulier les tours de refroidissement.

Le sujet de rapport s'intitule sur le bilan énergétique des tours de refroidissement.

Les calculs de vérification thermique nous ont permis de savoir l'état actuelle des tours de refroidissement utilisés par la société LESAFFRE.

Ces résultats réels ont été comparés aux valeurs théoriques. Nous avons constaté que certaines efficacités obtenues sont supérieures à l'efficacité théorique, car nos mesures ont été réalisées sous les conditions de température 25 °C et d'humidité relative 45.9 %. Alors que l'étude théorique a été calculé à de température ambiante 28 °C et d'humidité relative 70 % HR.

Pour améliorer l'efficacité des tours et diminuer la quantité d'eau évaporée, la société LESAFFRE va commencer la maintenance des tours par le changement des séparateurs des gouttelettes, ainsi que les surfaces de ruissellement. Apres le nettoyage du bassin et les ventilateurs.

Reference :

- <https://www.solaire-collectif.fr/photo/img/Froid%20solaire/livrables%20MeGaPICS%20a%20DL/L34%20Guide%20Maintenance.pdf>
 - https://www.baltimoreaircoil.eu/sites/BAC/files/BAC_Maintenance-PTE_MPTev09FR.pdf
 - <https://www.labenvironex.com/wp-content/uploads/doc/guide-explicatif-entretien-tours-refroidissement-eau.pdf>
 - <https://www.baltimoreaircoil.eu/fr>
 - <https://www.lenntech.fr/tours-de-refroidissement.htm>
- <https://energieplus-lesite.be/theories/enveloppe9/proprietes-materiaux/grandeurs-hygrometriques/>
- <https://almeco.eu/fr/blog/quelle-est-la-temp%C3%A9rature-de-bulbe-humide>