



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**ETUDE D'ECHANGEUR DE CHALEUR
A PLAQUE**

Présenté par :

◆ **ACHAHBOUN YASSIR**

Encadré par :

◆ **Mr AHMED LAKHDER (LCM)**

◆ **Pr ABDELLAH OULMEKKI (FST)**

Soutenu Le 07 Juin 2016 devant le jury composé de:

- **Pr Abdellah OULMEKKI**

- **Pr BOUCHAIB IHSSANE**

- **Pr ABDELLAH FARAH**

Stage effectué aux conserves de Méknes LCM

Année Universitaire 2015 / 2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À ma mère et mon père

Je vous dédie ce premier fruit en reconnaissance de vos sacrifices et en témoignage de la profondeur des sentiments que j'éprouve à votre égard.

Remerciements

Je remercie aussi mon encadrant de stage Mr. Ahmed LAKHDAR qui m'a encadré et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je tiens à remercier mon maître de stage Mr. Abdellah Oulmekki pour son soutien, sa disponibilité et son encouragement.

Mes remerciements s'adressent également au jury :

Mr Abdellah Oulmekki. ,

Mr IHSSANE Bouchaib,

et Mr FARAH Abdellah.

D'avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens enfin à remercier tous les Membres de la Société 'Les Conserves de Meknès Aïcha qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de mon stage, aussi bien par leur aide que pour leur convivialité.

Merci

Liste des tableaux :

Numéro	Titre	page
Table1	Composition chimique des huiles d'olive en acide gras	8
Table2	Composition chimique des huiles de soja en acide gras	9
Table3	Composition chimique des huiles de tournesol en acide gras	9
Table4	Les étapes de raffinage des huiles végétales	15

Les abréviations :

x : quantité de substance adsorbée.

m : quantité d'adsorbant.

c : c' est la quantité de substance résiduels dessous.

n : constante dépend de la nature de l'adsorbant.

k : constante appelé capacité d'adsorption.

ΔT_m : est appelée la différence de température logarithmique moyenne entre les deux fluides.

K/c est le coefficient surfacique de l'échangeur.

η L'efficacité d'un échangeur

NUT appelle nombre d'unité de transfert,

h_c Convection entre le fluide chaud et la face externe de la paroi solide.

$\frac{e}{\lambda}$ Conduction à travers cette paroi solide

h_f Convection entre la face interne de la paroi solide et le fluide froid.

ε : La résistance de couche formée sur la paroi à partir des dépôts.

Le nombre de NUSSELT : Nu

Le nombre de Prandtl : Pr

Le nombre de Reynolds : Re

L : la longueur de la paroi.

λ : Conductivité thermique du liquide.

ρ et ν : la masse volumique et la viscosité cinématique du liquide condensé.

ΔH : Énergie de condensation par Kg de vapeur.

$\Delta\theta$: Différence entre la température de condensation de vapeur et la température de la paroi en contact avec le film liquide.

s : est la surface d'une plaque.

n : est le nombre de plaque

Liste des figures :

Figure 1 : Huiles végétales

Figure 2 : Organigramme de "LCM"

Figure 3 : Schéma de la chaîne de dégomme.

Figure 4 : Schéma de la chaîne de neutralisation

Figure 5 : Schéma d'un séparateur centrifuge

Figure 6 : Schéma du premier stade du lavage.

Figure 6' : Schéma du deuxième stade de lavage.

Figure 7 : Description l'étape de décirage.

Figure 8: Description de la ligne de décoloration.

Figure 9: Description de la ligne de désodorisation

Figure 10 : Echangeur de chaleur à plaque

Sommaire :

<u>Introduction générale</u>	1
<u>Présentation de l'entreprise des conserves de Meknès AÏCHA</u>	3
<u>Historique</u>	4
<u>Activités et produits</u>	4
<u>Infrastructures</u>	5
<u>Organigramme de LCM</u>	5
<u>Généralité sur les huiles</u>	6
<u>Définition</u> :.....	7
<u>Les types des huiles</u> :.....	7
<u>Les huiles d'olives</u> :.....	7
<u>Huile de soja</u> :.....	8
<u>Huile de tournesol</u> :.....	8
<u>Composition chimique des corps gras</u> :.....	9
<u>Définitions et propriétés physico-chimiques des corps gras</u> :.....	9
<u>Les acides gras</u> :.....	9
<u>Propriétés physiques</u>	9
<u>Propriétés chimiques</u> :.....	10
<u>Les glycérides</u> :.....	10
<u>Propriétés physiques</u> :.....	10
<u>Propriétés chimiques</u> :.....	10
<u>Les lipides complexes</u> :.....	11
<u>Les cérides ou Les cires</u> :.....	11
<u>Propriétés</u>	11
<u>Les stérols</u> :.....	11
<u>Les tocophérols</u> :.....	12
<u>Les pigments colorés</u> :.....	12
<u>Le raffinage des huiles végétales</u>	13
<u>Introduction</u> :.....	14
<u>Les opérations de raffinage</u> :.....	14
<u>Démucilagination ou Dégommage</u> :.....	14
<u>Neutralisation</u> :.....	15
<u>Lavage</u> :.....	17
<u>Décirage</u> :.....	18

<u>Décoloration :</u>	19
<u>La désodorisation :</u>	21
<u>Fortification :</u>	22
<u>Produit finie :</u>	22
<u>Le stockage :</u>	22
<u>Conditionnement :</u>	23
<u>Etudes des échangeurs de chaleur</u>	24
<u>Introduction :</u>	25
<u>Généralité :</u>	25
<u>Transfert de chaleur :</u>	25
<u>Méthodes de calcul des échangeurs de chaleur :</u>	27
<u>Le dimensionnement d'un échangeur :</u>	30
<u>Calcul du coefficient d'échange K :</u>	30
<u>la surface d'échange globale :</u>	31
<u>le nombre de plaque :</u>	31
<u>Exemple : 1</u>	32
<u>le calcul de puissance thermique :</u>	32
<u>le calcul de la différence de température logarithmique moyenne ΔT_m :</u>	32
<u>calcul de K :</u>	32
<u>Calcul de la surface total S et le nombre de plaque :</u>	33
<u>Exemple : 2</u>	34
<u>le calcul de puissance thermique :</u>	34
<u>le calcul de la différence de température logarithmique moyenne ΔT_m :</u>	34
<u>calcul de K :</u>	34
<u>Calcul de la surface total S et le nombre de plaque :</u>	35
<u>Conclusion :</u>	36
<u>Références bibliographiques :</u>	37

Introduction générale

Introduction générale :

L'industrie agro-alimentaire joue un rôle important dans le développement d'économie du Maroc. « Les conserves de Meknès » est l'une des grandes industries dans ce domaine.

Le raffinage des huiles et les conserves soit de tomate où de confiture sont les principales activités de la société « Les conserves de Meknès LCM. »

Ces dernières m'ont offert la possibilité de vivre cette expérience pendant 45 jours, ce qui m'a permis de découvrir leur fonctionnement, en particulier l'unité de raffinage des huiles.

Grâce à sa raffinerie, la société contribue à l'autosuffisance alimentaire en huile de table et participe dans le commerce international marocain grâce à ses exportations.

Ce rapport est reparti en quatre :

La première partie consiste à définir une présentation de l'entreprise « Aïcha LCM ».

Une deuxième partie traitera des généralités sur les huiles.

Ensuite une troisième partie qui évoquera le processus de raffinage en détail.

En fin la quatrième partie sera consacré sur l'étude d'échangeur de chaleur, sujet principale de mon rapport.

Présentation de l'entreprise des conserves de Meknès

AÏCHA

Présentation de l'entreprise des conserves de Meknès aïcha

I. Historique

Entreprise conquérante, les conserves de Meknès (L.C.M), plus connue par sa marque AICHA est née en 1962 lors de la reprise de la société Paul Cibut et compagnie, l'une des anciennes sociétés au Maroc qui fut créée en 1929.

L'usine a connu un développement et sa production a été diversifiée pour mieux répondre aux besoins locaux avec notamment les confitures et le concentré de tomates Aïcha.

Le nombre d'employé varie de 300 à 400 salariés selon les saisons.

II. Activités et produits

A. Agriculture

C'est l'un des activités de la société LCM. Cette dernière investit pour avoir une matière première de qualité. (Les fruits pour la confiture, les fraises, les tomates, les olives,...)

B. Conserverie

La majorité des produits portant la marque Aïcha sont transformés à partir de matière première en (concentré de tomates, confiture,...)

C. Huilerie

Premier exportateur d'huile d'olive les conserves de Meknès s'appuyant sur huilerie moderne, pourvue de plusieurs lignes de fabrication. LCM propose des conditionnements en bouteille en verre ou en PET recyclable, garantissant la parfaite stabilité des qualités gustatives de l'huile d'olive Aïcha, dans des conditions optimales de conservation.

D. Raffinerie

L'unité de raffinage Aïcha, conçue et installée par le constructeur suédois Alfa Laval en 2000, est l'une des raffineries les plus modernes au monde. Elle garantit un traitement optimal de l'huile végétale visant à préserver des qualités organoleptiques.

Un laboratoire intégré, également à la pointe dans son domaine, assure en direct les analyses tout au long du cycle de raffinage. L'huile est ensuite stockée en citerne d'inox, sous température ambiante régulièrement contrôlée.



Figure 2 : les huiles végétales

III. Infrastructures

L'usine couvre une surface de 70.000 m² dont 35.000 couverts.

En 2000, « Les Conserves de Meknès Aïcha » a investi dans une nouvelle activité : le raffinage des huiles végétales. Pour cela, l'entreprise s'est dotée d'une des raffineries les plus modernes au monde. Véritable structure-pilote entièrement automatisée conçue et installée par le constructeur suédois Alpha Laval, sa technologie exclusive et innovante SCAL permet de préserver les qualités organoleptiques du produit mieux que tous les autres procédés industriels existants.

IV. Organigramme de LCM

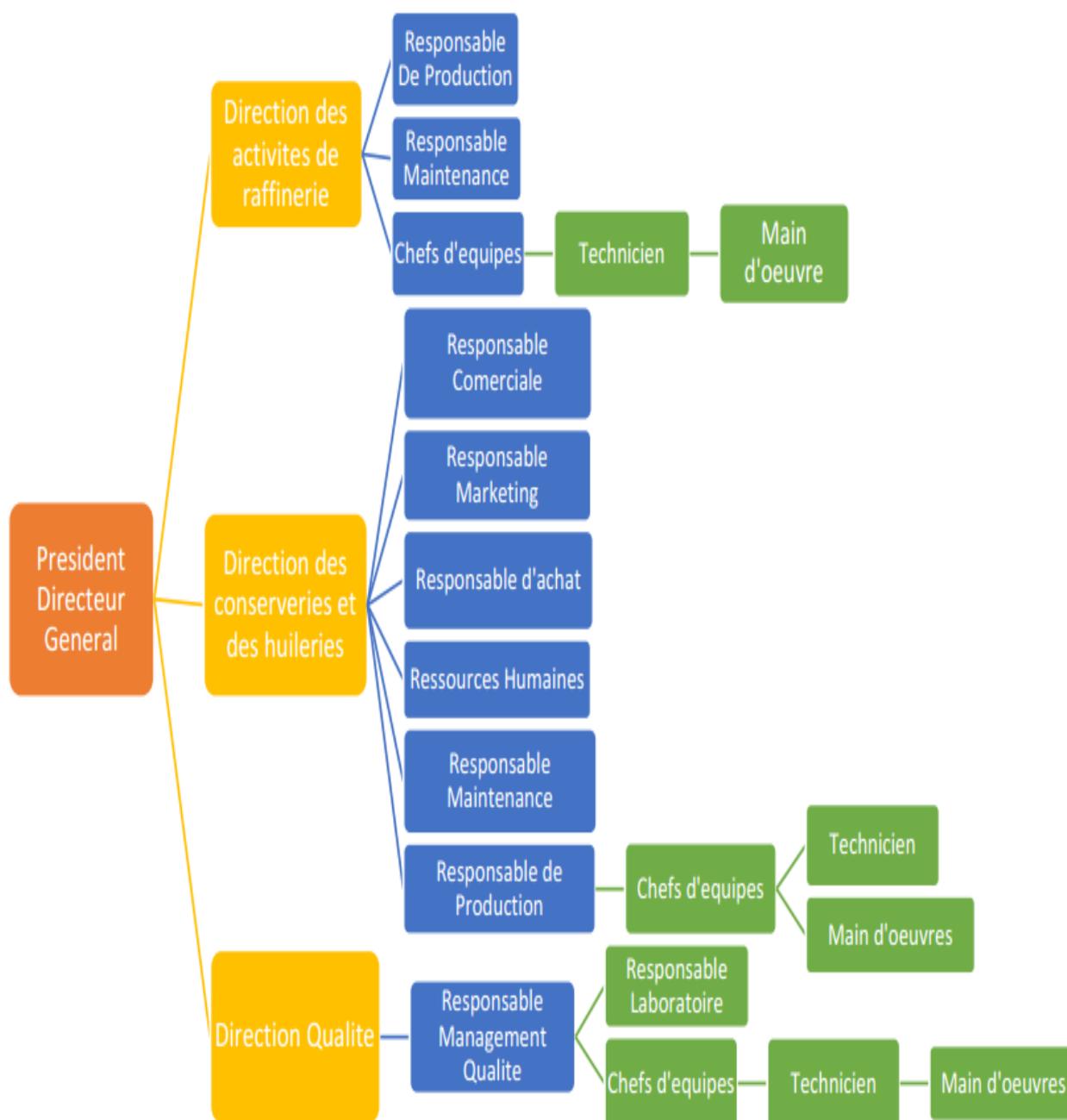


Figure 2 : Organigramme de "LCM"

Généralité sur les huiles

Généralité sur les huiles

I. Définition :

Les huiles végétales sont des corps gras fluides à la température de 15°C, Ces corps gras s'accumulent sous forme de microgouttelettes dans certains tissus dans les graines oléagineuses ou dans les fruits oléagineux et constituent ainsi des réserves énergétiques très importantes.

II. Types des huiles :

Les principales huiles végétales, en termes de production sont : l'huile d'argan, l'huile de colza, l'huile de coprah, l'huile de maïs, l'huile de noix, l'huile d'olive, l'huile de palme, l'huile de pépins de raisin, l'huile de ricin, l'huile de sésame, l'huile de soja, l'huile de tournesol, etc.

1) Huiles d'olives :

L'huile d'olive est la matière grasse extraite des olives lors de la trituration dans un moulin à huile. Elle est un des fondements de la cuisine méditerranéenne.

Elle est composée d'environ 99 % de lipides. Le 1 % restant constitue les composés mineurs ; il s'agit essentiellement : du scalène, des alcools terpéniques, des stérols (β -sitostérol), des phénols et des dérivés du tocophérol.



Composition :

Composé	Famille d'acide gras	Teneur pour 100 g
<u>Acide heptadécanoïque</u> (saturé)		0,022 g
<u>Acides gras trans</u>		0,0478 g
<u>Acide heptadécénoïque</u> (mono-insaturé)		0,125 g
<u>Acide béhénique</u> (saturé)		0,129 g
<u>Acide arachidique</u> (saturé)		0,414 g
<u>Acide stéarique</u> (saturé)		1,953 g
Total acides gras poly-insaturés		10,523 g
<u>Acide palmitique</u> (saturé)		11,29 g
Total acides gras saturés		13,808 g
<u>Vitamine E</u>		15,29 mg
<u>Vitamine K</u>		60,2 μ g
Total acides gras mono-insaturés		72,961 g
<u>Acide alpha-linolénique</u> (poly-insaturé)	ω -3	0,76 g
<u>Acide linoléique</u> (poly-insaturé)	ω -6	9,762 g
<u>Acide palmitoléique</u> (mono-insaturé)	ω -7	1,255 g
<u>Acide érucastique</u> (mono-insaturé)	ω -9	0,311 g
<u>Acide oléique</u> (mono-insaturé)	ω -9	71,269 g

Tableau 1 : composition des huiles d'olive en acide gras

2) Huile de soja :

L'huile de soja est une huile végétale extraite du soja, utilisée dans l'alimentation.

Composition :

Composé	Famille d'acide gras	Teneur pour 100g
<u>Acide palmitique</u> (saturé)		10,455 g
<u>Acide stéarique</u> (saturé)		4,435 g
<u>Acide érucastique</u> (mono-insaturé)	ω -9	0,233 g
<u>Acide oléique</u> (mono-insaturé)	ω -9	22,55 g
<u>Acide linoléique</u> (poly-insaturé)	ω -6	50,952 g
<u>Acide alpha-linolénique</u> (poly-insaturé)	ω -3	6,789 g
<u>Acides gras trans</u>		1,8 g
Total acides gras saturés		15,65 g
Total acides gras mono-insaturés		22,783 g
Total acides gras poly-insaturés		57,74 g
<u>Vitamine E</u>		8,18 mg
<u>Vitamine K</u>		183,9 μ g

Tableau 2 : composition des huiles de soja en acide gras

3) Huile de tournesol :

L'huile de tournesol est une huile végétale obtenue à partir des graines de tournesol. Elle est composée à 98 % de triesters d'acides gras. Le reste contenant entre autres des stérols (β -sitostérol) et du tocophérol (vitamine E).

Composition :

Composé	Famille d'acide gras	Teneur pour 100g
<u>Acide palmitique</u> (saturé)		5,9 g
<u>Acide stéarique</u> (saturé)		4,5 g
<u>Acide oléique</u> (mono-insaturé)	ω -9	19,5 g
<u>Acide linoléique</u> (poly-insaturé)	ω -6	65,7 g
<u>Acides gras trans</u>		0,7074 g
Total acides gras saturés		10,3 g
Total acides gras mono-insaturés		19,5 g
Total acides gras poly-insaturés		65,7 g
<u>Vitamine E</u>		41,08 mg
<u>Vitamine K</u>		5,4 μ g

Tableau 3: composition des huiles de tournesol en acide gras

III. Composition chimique des corps gras :

Les principaux constituants des corps gras sont :

- Les acides gras :
 - ✓ Acide gras saturée
 - ✓ Acide gras insaturée
- Les glycérides
- Les lipides complexes :
 - ✓ Les phospholipides
 - ✓ Les sphingolipides
- Les cires
- Les stérols
- Les tocophérols
- Les pigments colorés :
 - ✓ β -carotène
 - ✓ Chlorophylle

IV. Définitions et propriétés physico-chimiques des corps gras :

1. Les acides gras :

Les acides gras sont des hydrocarbures à long chaîne carboné avec deux fonctions acide et méthyl et ils existent se forme deux types d'acide :

A. Acides gras saturés :

Ce sont des dérivés d'hydrocarbures saturés linéaires de formule générale : $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$

B. Les acides gras insaturés :

a) Acides mono-insaturés :

Ce sont des monoacides dérivant des hydrocarbures avec l'existence d'une double liaison donne lieu à deux types d'isomères : l'isomère cis et l'isomère Trans.

Le principal composant de l'huile d'olive et l'huile de grignon d'olive est l'acide oléique. C'est un acide mono éthylénique à 18 atomes de carbone de configuration cis noté $\text{C}_{18} \Delta^9$.

b) Les acides polyinsaturés :

Ce sont des acides gras à 2, 3 ou 4 doubles liaisons qui se trouvent dans les huiles végétales avec des proportions variables. les doubles liaisons multiples ne sont pas conjuguées mais séparées par un groupe méthylène.

2. Propriétés physiques

○ Point de fusion :

Il dépend du nombre d'atome de carbone et du taux d'insaturation comme ça :

- ✓ Augmente avec le nombre de C.
- ✓ Diminue quand le nombre de doubles liaisons augmente.

○ **Solubilité :**

La solubilité des acides gras baisse progressivement et ils sont insolubles à partir de 10C. La solubilité est liée à la structure bipolaire. L'hydrophobie de la chaîne hydrocarbonée apolaire l'emporte sur le faible hydrophile du groupement COOH. Ils sont solubles dans les solvants organiques apolaires : benzène, chloroforme, ...

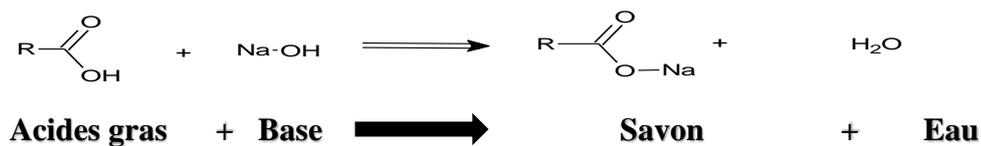
3. Propriétés chimiques :

○ **Oxydation de double liaison :**

Les oxydants puissants (ozone, ion permanganate en milieu alcalin) provoquent la scission de la molécule d'un acide gras mono-insaturé en mono et diacides.

○ **Les sels :**

Les sels de sodium et de potassium des acides gras sont des savons. On les obtient par traitement alcalin des lipides : la saponification.



4. Les glycérides :

Les hydroxyles polaires du glycérol et les carboxylates polaires des acides gras étant liés par les liaisons esters. Un, deux ou trois molécules d'AG estérifient le glycérol. (Mono-glycérides, diglycérides, et triglycérides).

5. Propriétés physiques :

Les glycérides se présentent soit à l'état liquide ou solide onctueux au toucher. Leur point de fusion dépend de leur composition en AG. En général la température de fusion s'élève avec :

- Le nombre des AG saturés,
- La longueur de leurs chaînes.

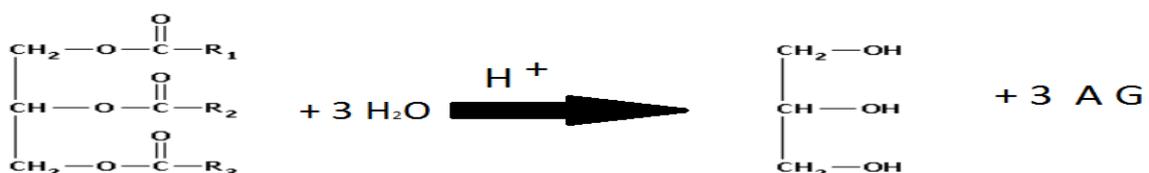
6. Propriétés chimiques :

• **La réaction d'hydrolyse :**

L'hydrolyse permet à partir de l'ester d'obtenir à nouveau l'acide carboxylique et l'alcool de départ. Pour cela il existe deux possibilités :

✓ L'hydrolyse chimique :

Le traitement acide libère les constituants : les acides gras et du glycérol



✓ L'hydrolyse enzymatique :

La lipase, enzyme du suc pancréatique, hydrolyse les triglycérides alimentaires en mono-glycéride + 2 acides gras.

7. Phospholipides :

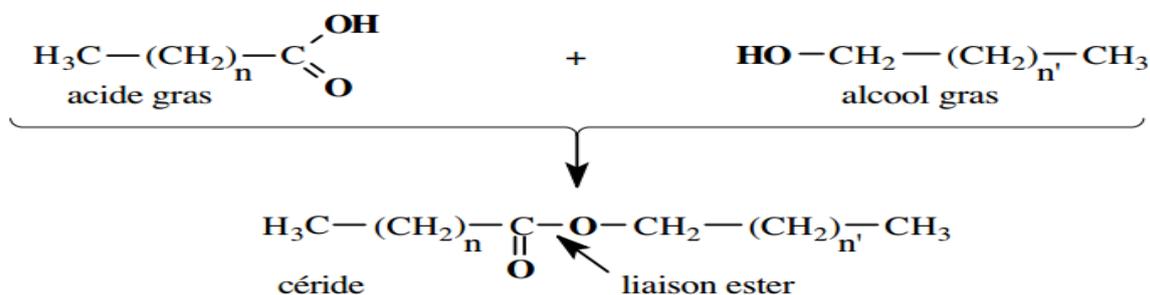
On appelle phospholipides ou lipides phosphorés les composés lipidiques contenant du phosphore. Ce sont les constituants principaux des membranes biologiques. On désigne sous le terme "phospholipides" l'ensemble des :

- Les glycérophospholipides : sont des esters de glycérol deux acides gras, un phosphate et un alcool.
- Les phosphatidylcholine (alcool = choline)

Les **phospholipides** constituent la partie essentielle des mucilages. Certains d'entre eux s'hydratent et précipitent en milieu neutre. D'autres sous l'action de réactifs comme NaCl, le phosphate de soude, ou des traces d'acides minéraux (HCl ou HNO₃), précipitent également. Ces composés sont éliminés au cours du raffinage des huiles végétales par l'opération de démucilagination.

8. Cérides ou Cires :

Les cérides sont des monoesters d'acides gras et d'alcools aliphatiques à longue chaîne qui sont en général des alcools primaires, à nombre pair de carbones, saturés et non ramifiés.



9. Propriétés

La structure à deux longues chaînes carbonées saturées fait des cérides des composés :

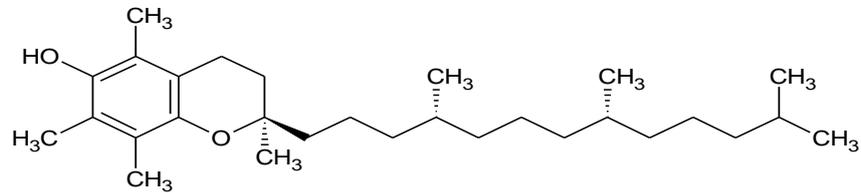
- à température de fusion élevée (60 à 100°C) et solides à température ordinaire.
- à très forte insolubilité dans l'eau (très apolaires) : ils sont seulement solubles à chaud dans les solvants organiques.
- inertes chimiquement : ils résistent aux acides et à la plupart des réactifs et sont difficilement saponifiables.

10. Stérols :

Il s'agit de molécules complexes à plusieurs cycles avec une fonction alcool, dont le principal représentant est le cholestérol. Ils sont retrouvés soit à l'état libre ou combiné avec un acide gras. Les végétaux contiennent des stérols Comme le Campesterol présent dans l'huile de soja. Une partie de ces stérols est entraînée à la vapeur lors de la désodorisation.

11. Tocophérols :

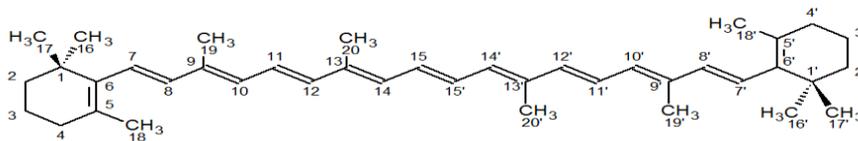
Les tocophérols sont des composés importants dans les huiles végétales en raison de leur contribution à la stabilité oxydative et aux qualités nutritionnelles de l'huile (provitamine E).



12. Pigments colorés :

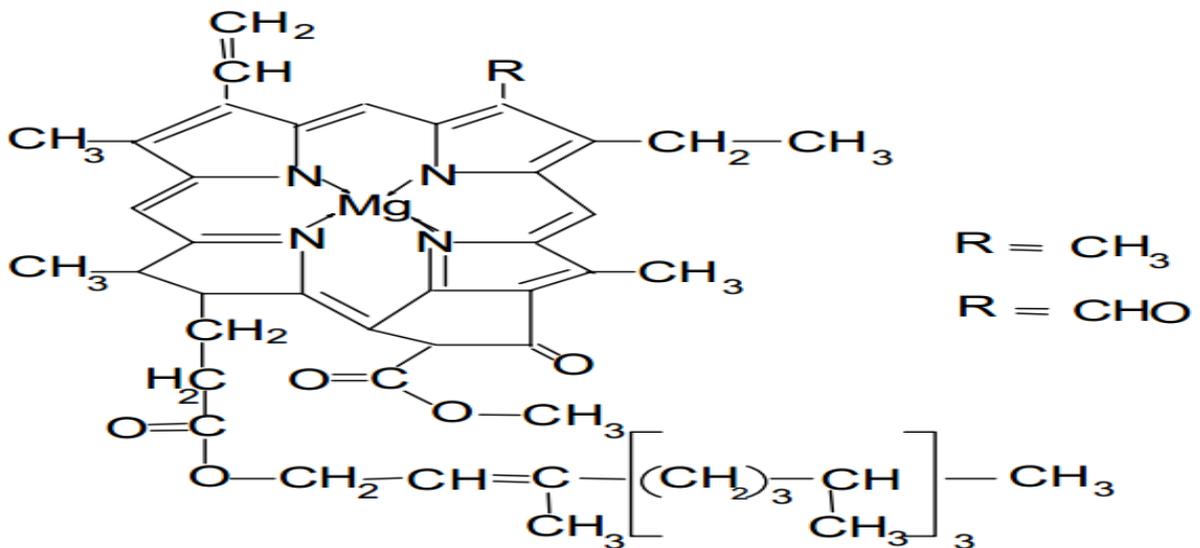
✓ β -carotène

Les caroténoïdes sont des composés terpéniques très conjugués, de formule brute $C_{40}H_{56}$.



✓ Chlorophylle

Les chlorophylles se trouvent sous les formes a et b. Elles sont constituées de quatre noyaux pyrroliques formant un système cyclique plan chélatant un atome de magnésium, responsable de la couleur verte des huiles.



Raffinage des huiles végétales

Raffinage des huiles végétales

I. Introduction :

Le raffinage constitue une étape clé de la technologie de production des huiles et corps gras d'origine végétale ou animale. Le raffinage est une opération destinée à débarrasser les huiles alimentaires des impuretés présentes les phospholipides (les gommes), les acides gras libres, les pigments colorés, les cires et... Il consiste donc à les éliminer pour d'obtenir une huile aux qualités organoleptiques et chimiques satisfaisantes.

Le raffinage est défini par la réglementation nationale : il a pour but de maintenir ou d'améliorer les caractères organoleptiques et la stabilité des corps gras alimentaires et constitue un traitement licite des graisses et huiles comestibles à l'exception des huiles vendues sous la dénomination « huile vierge ».

Pour atteindre cet objectif, différentes opérations physico-chimiques sont nécessaires, elles-mêmes définies par la réglementation qui précise les substances autorisées pour leur mise en œuvre et, pour certaines d'entre elles, une limite maximale de résidu dans les corps gras raffinés. Les Conserves de Meknès « Aïcha » raffine des huiles brutes de : Soja, tournesol, grignon d'olives et de l'huile d'olive d'acidité supérieur à 3,3%.

II. Les opérations de raffinage :

L'opération de raffinage passe par plusieurs étapes :

L'étape	L'alimentation	Composants éliminés
La démulagination	H_3PO_4 et l'eau	Les gommes (phospholipides)
La neutralisation	La soude (NaOH)	Le savon (acide gras libres)
Lavage	L'eau	Les gommes, Le savon
Décirage	$Na_2S_2O_4$	Les cires
La décoloration	La terre décolorante, le carbone actif	Les pigments colorés
La filtration	_____	Le gâteau de décoloration
La désodorisation	_____	Les hydrocarbures

Tableau 4 : les étapes de raffinage

1/ Démulagination ou Dégommage :

Cette opération consiste à éliminer de l'huile brute les phospholipides, les protéines et d'autres substances colloïdales qui sont dissoutes ou en suspension par cristallisation.

Le dégomme s'effectue Exclusivement pour les huiles de Soja, de Tournesol et de grignon d'olive.

Les inconvénients :

La présence de phospholipides dans les huiles brutes entraîne un certain nombre d'inconvénients :

- ✓ Les composés phosphorés forment des précipités dits de mucilages en présence d'eau. (une telle huile n'est pas acceptable pour la vente).

- ✓ Une huile mal débarrassée de ces gommages s'acidifie, s'oxyde et prend rapidement un goût désagréable.
- ✓ Les phospholipides sont souvent liés à des métaux lourds catalyseurs d'oxydation.
- ✓ Les composés phosphorés ont des propriétés tensioactives. Il peut se former une émulsion au lavage qui mène à des pertes anormales.
- ✓ L'huile mousse au séchage (avec des pertes dans les circuits de vide).
- ✓ Désactivation des terres décolorantes.
- ✓ Colmatage rapide des filtres.
- ✓ Inhibition de la décoloration thermique lors de la désodorisation.

Description de la ligne de la dégomolagination :

L'huile stockée dans des tanks balançoires, d'abord, traverse à un débit de 5000 l/h un échangeur à plaques qui augmente sa température aux environs de 80 à 90°C. Ensuite, une pompe doseuse injecte de l'acide phosphorique à raison de la teneur en phospholipides des huiles brutes, dans une conduite bien isolé en fibres de verre. Finalement, l'huile est acheminée vers un mixeur rapide à axe vertical, avant qu'elle soit envoyée au contacteur pendant une durée de 20 min, puis à l'opération de la neutralisation, qui se termine par une séparation centrifugeuse à l'aide d'un séparateur (S1)

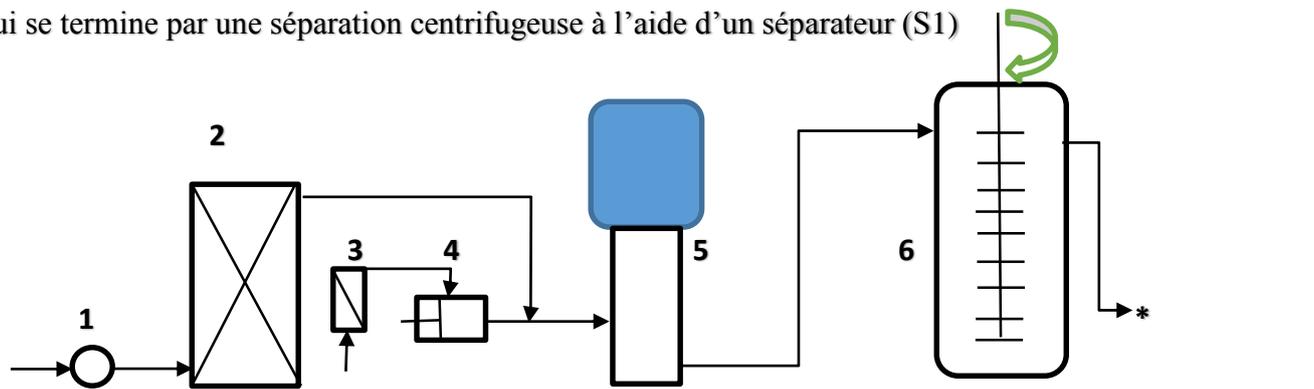


Figure 3 : Schéma de la chaîne de dégomolagination.

- | | |
|--|--|
| 1) Pompe d'alimentation (huile brute). | 4) Pompe doseuse à l'acide phosphorique. |
| 2) Echangeur thermique (80-90°C). | 5) Mélangeur rapide. |
| 3) Débitmètre à l'acide phosphorique. | 6) Contacteur lent (20 min). |

2/ Neutralisation :

Cette opération consiste à éliminer les acides gras libres sous forme des savons appelés pâtes de neutralisation, pour avoir un taux d'acidité faible <1% Qu'il s'agit d'un indicateur fiable de la qualité de l'huile puisque la teneur de ces acides gras libres dépend de plusieurs facteurs :

- La nature de l'huile,
- L'origine de l'huile,
- Les conditions de récolte,
- Les techniques de triturations ou d'extraction,
- La durée de stockage.
- Le taux des phospholipides.

La teneur des acides gras libres dans l'huile s'exprime normalement en pourcentage d'acide oléique.

La neutralisation est basée sur la réaction de saponification entre les acides gras libres et la soude NaOH. Pour avoir une neutralisation complète il faut utiliser un excès de soude (5 à 10%), qui se peut entraîner à des réactions de saponification parasites des triglycérides, c'est pour ça le temps de séjour dans le malaxeur représente un facteur d'intervention important pour empêcher toute réaction parasite. c'est à dire 3 à 10 seconde.

Description de la ligne de la neutralisation :

Huile dégommée passe par un échangeur de chaleur pour avoir une température entre 70 et 80°C, puis à l'aide d'une pompe doseuse à soude, le mélange passe dans un malaxeur rapide. Après l'étape du malaxage le mélange est envoyé directement à un séparateur centrifuge S1, pour séparer l'huile neutre et les pâtes de neutralisation et les gommes qui restent de l'étape de dégommage.

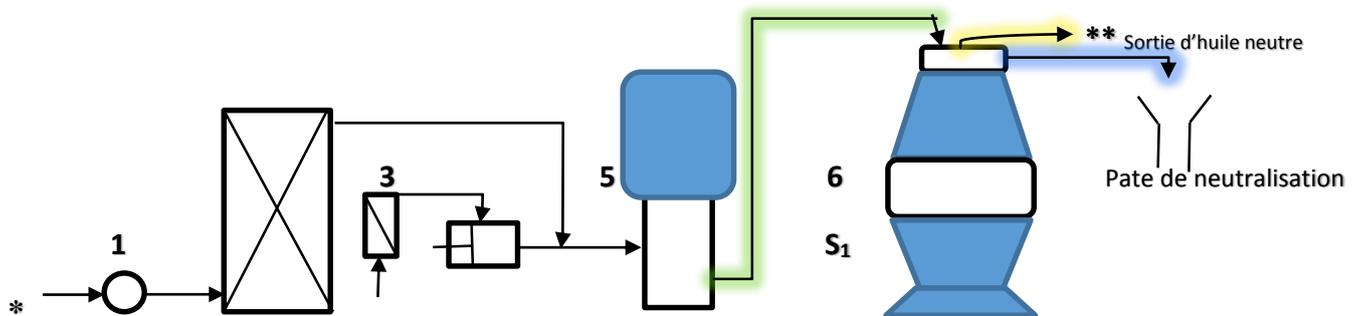


Figure 4 : Schéma de la chaîne de neutralisation

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1) Pompe d'alimentation (huile dégommée). | 4) Pompe doseuse à la soude. |
| 2) Echangeur thermique (70-80°C). | 5) Mélangeur rapide (qlq sec). |
| 3) Débitmètre à la soude. | 6) Séparateur centrifuge. |

Principe de fonctionnement d'un séparateur centrifuge à assiettes

Le principe de fonctionnement est basé sur l'effet de la force centrifuge, qui sous l'action de cette force les parties les plus denses appelées liquide lourd (les pâtes de neutralisation) sont projetées à la périphérie, alors que les parties les moins denses appelées liquide léger (huile neutre) sont récupérées dans la partie supérieure du séparateur.

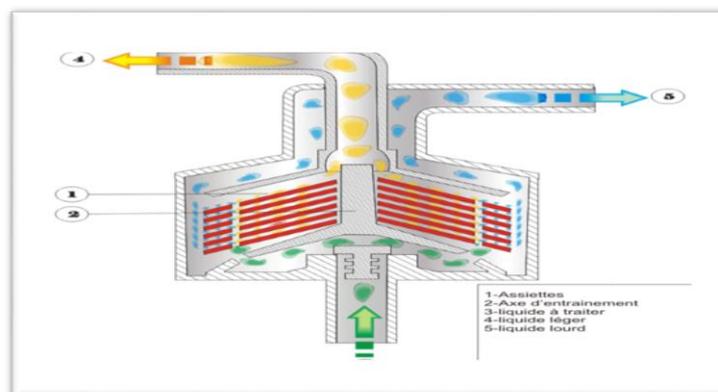


Figure 5 : schéma d'un séparateur centrifuge

3/ Lavage :

Le but de lavage est d'éliminer les savons et la soude en excès qui sont encore présents dans l'huile sortant de la centrifugeuse (séparateur), ainsi que les dernières traces de métaux, de phospholipides et autres impuretés.

Elle permet d'assurer une bonne décoloration car les terres décolorantes riches en protons produisent en contact avec les savons des acides gras libres perturbant ainsi la décoloration.

Elle permet aussi de réduire les pertes en énergie et en matière à cause de l'excès de la soude qui peut engendrer une saponification parasite.

Le principe de lavage à l'aide d'eau est d'avoir séparé les sels la phase lourd qui ont soluble dans l'eau grâce à son caractère bipolaire, et à l'aide un séparateur centrifuge on arrive à effectuer une décantation de la phase liquide lourde où l'eau de lavage, qui contient des sels de huile la phase liquide léger. Aussi, les phospholipides hydratable est lave à l'aide de l'eau.

Description de la ligne de lavage :

Généralement le lavage s'effectué en deux stades, il est préférable d'utiliser l'eau décalcifier pour éviter la formation d'un complexe (Ca^{++} , $(\text{RCOO})_2$) où le phosphore de Calcium, l'eau doit être de 90°C (plus chaude possible). Après le passage d'huile du séparateur S_1 , elle passe par un échangeur de chaleur pour avoir une température de $90-95^\circ\text{C}$, et un mélangeur rapide pour avoir un mélange d'huile avec l'eau décalcifier, puis dans un séparateur centrifuge appelé S_2 . C'est le premier lavage.

Pour le deuxième lavage c'est la même chose, seulement le séparateur est S_3 .

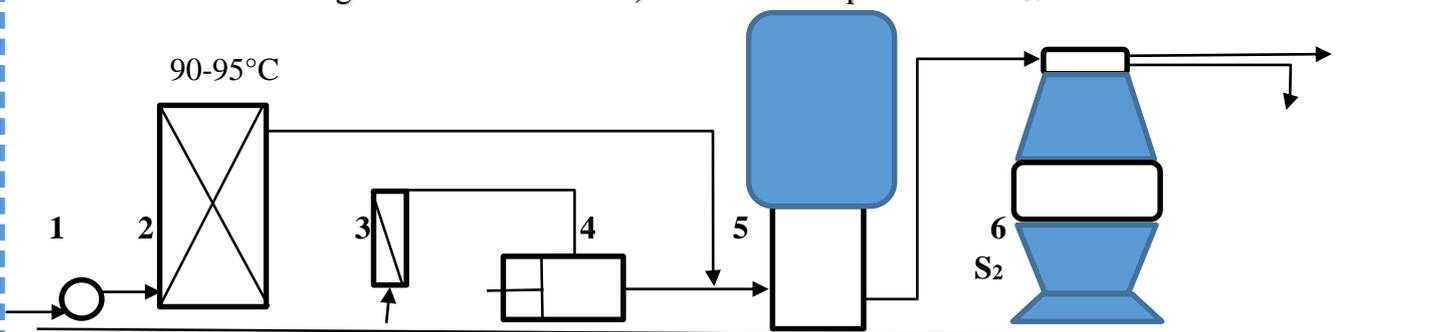


Figure 6 : Schéma du premier stade de lavage

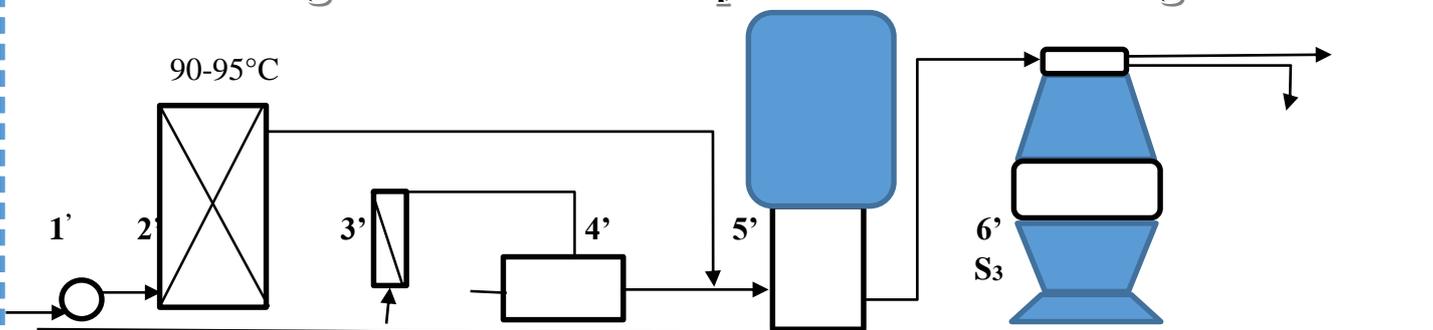


Figure 6' : Schéma du deuxième stade de lavage.

1 /1') Pompe d'alimentation.

2/2') Echangeur thermique ($90-95^\circ\text{C}$).

3/3') Débitmètre à l'eau.

4/4') Pompe doseuse à l'eau

5/5') Mélangeur rapide.

6/6') séparateur centrifuge.

4/ Décirage :

Le but de cette opération est d'éliminer les cires végétales présentes dans l'huile, seulement les huiles de tournesol et grignon d'olives qui subit le décirage car elles contiennent le plus des cires insoluble à la température ambiante.

L'élimination des cires s'effectue en deux étapes :

- Un refroidissement provoquant la cristallisation des cires à haut point de fusion,
- Une séparation en deux étapes pour les éliminer.

- **Description de la ligne de décirage :**

Le décirage s'effectue après l'étape de neutralisation, c'est-à-dire après le premier séparateur centrifuge. Huile chaude se refroidir avec un échangeur de chaleur à 20-25°C, puis en suivre les étapes suivantes :

- refroidissement de l'huile vers 8 - 10 °C par de l'eau froide.
- maturation des cristaux pendant 8 à 10 h avec l'addition de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ diluée (0,5 - 0,6%) servant comme support de cristallisation.
- Chauffage à 20°C pour faciliter la séparation des cires.
- Lavage avec de l'eau adoucie et séparation au niveau du séparateur(S₂).
- Polissage (4 heures environ)
- Filtration à l'aide d'un adjuvant récupéré après.
- Lavage avec l'eau adoucie et séparation au niveau du séparateur(S₃).

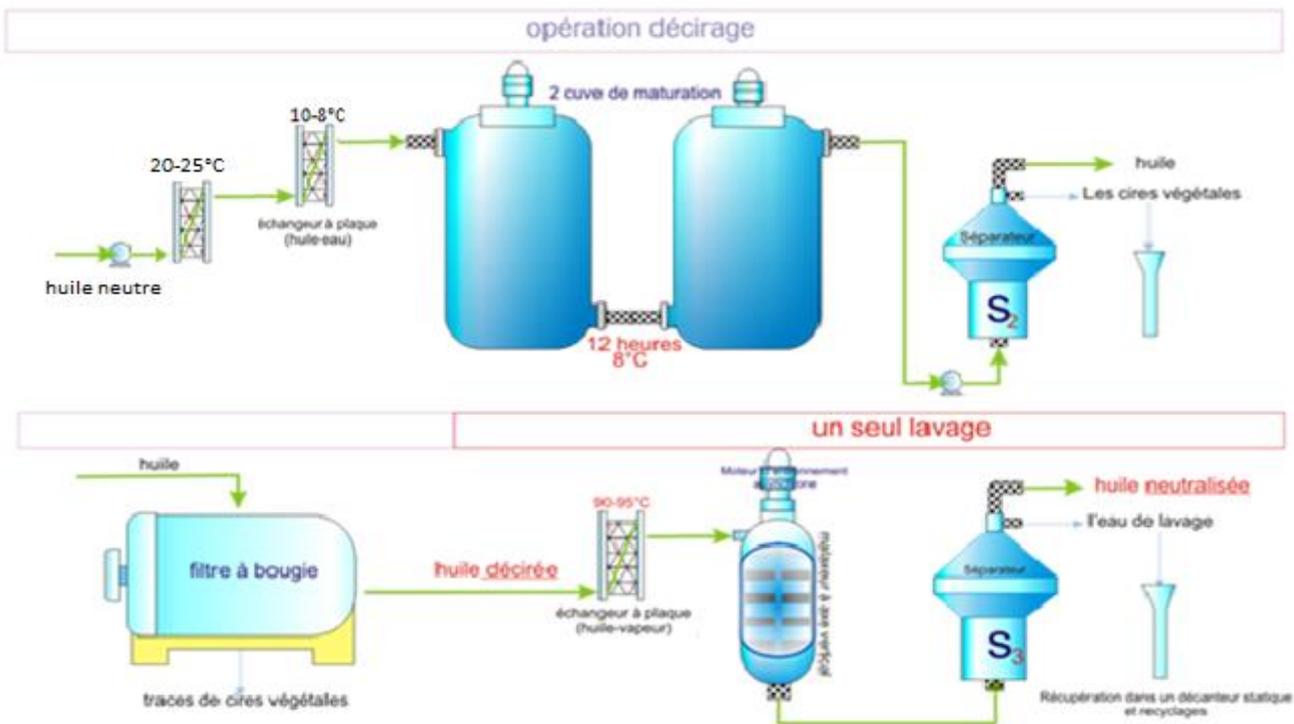


Figure 7 : description l'étape de décirage.

Après cette étape huile est appelé : **huile neutralisée.**

5/ Décoloration :

Le but de décoloration est éliminer toute les pigments colorés : (les β carotènes, les chlorophylles) et toutes corps étrangers présents dans l'huile.

L'intérêt d'éliminer les pigments colorés est :

- Après l'opération de la neutralisation certaines huiles ont des couleurs foncées, ces couleurs ne sont pas acceptables pour la plupart des applications.
- Les pigments colorés sont des catalyseurs des réactions d'oxydations (indice de peroxyde).

La décoloration fait intervenir le phénomène physique d'adsorption sur les terres décolorantes où du charbon actif une durée de temps et sous vide, la capacité d'adsorption est donnée par la relation de **freundlich** :

$$\log \frac{x}{m} = n \log C + k \quad (1)$$

D'où :

- x : quantité de substance adsorbée.
- m : quantité d'adsorbant.
- c : c'est la quantité de substance résiduels dessous.
- n : constante dépend de la nature de l'adsorbant.
- k : constante appelé capacité d'adsorption.

Les adsorbants les plus utilisés sont les terres activées et à un degré moindre les charbons actifs.

Les terres décolorantes :

Les terres activées en générale ne possèdent aucun pouvoir d'adsorption à l'état naturel, ce sont des argiles plastiques, l'activation consiste à transformer les silicates en silice colloïdale qui possède un fort pouvoir d'adsorption, l'activation est fait par voie chimie l'attaque de l'acide fort.

Les différentes marques de terres décolorantes utilisées à la raffinerie :

- **TONSIL Blanc** (importée de la Germanie) : c'est de la terre acidifiée. Utiliser à LCM.
- **TONSIL Noir** (importée de la Germanie) : c'est du TONSIL Blanc avec 10% de charbon actif.
- **Le VOLTONSIL.**

Le charbon actif :

Le charbon actif : est utilisé pour les huiles ayant une teneur élevée en hydrocarbures aromatiques, c'est le cas de l'huile de grignon d'olives, et de huile de tournesol.

Les différentes marques de charbon actif utilisé dans la décoloration :

- **DARCO** : c'est du charbon actif acidifié, elle permet d'avoir une huile très claire.
- **NORIT** : (importée de l'USA Texas) elle permet de se débarrasser des benzo-pyrannes qui sont des hydrocarbures aromatiques.

Description de la ligne de décoloration

Huiles neutralisées et lavée passe par un échangeur de chaleur à plaque 100-105°C, puis ils rentrent à un réacteur avec pulvérisation.

Mélange de l'huile chaude avec les terres décolorantes dans un réacteur :

L'huile chauffée se trouve disperser sur les terres décolorantes à l'intérieur du réacteur grâce à un système de pulvérisation. Le réacteur est équipé d'un thermo compresseur permet de créer le vide (pression <150mbar), dans ces conditions de pression et de température l'huile est séchée, c'est-à-dire, son humidité se réduit, car la présence de l'eau avec la terre provoque un colmatage rapide des filtres.

Aussi, ce vide protège l'huile de l'oxydation car ses molécules se trouvent dispersé sur les terres et en contact direct avec l'air.

Les terres décolorantes ajoutées provenant d'une trémie située en dessus de réacteur, et équipée d'un système de dosage automatisé, qui grâce à un système mécanique de vibration, les terres sont ajoutées en pourcentage, en fonction du débit de l'huile à décolorer.

Pour augmenter le temps de séjour du mélange huile/terres 25 min, des encoches sont installés, jouant le rôle d'une barrière qui affaibli la vitesse de passage, et par la suite l'augmentation du temps de séjour de l'huile.

La filtration :

L'huile mélangée avec la terre provenant de la section décoloration circule dans les filtres pour former une pré- couche (le gâteau).

Filtration de l'huile : Le mélange provenant du réacteur est envoyé pour la filtration, il s'agit de deux filtres à bougies fonctionnant en alternance qui séparent l'huile des terres décolorantes, qui ainsi contiennent les pigments de coloration. Après la première filtration sur filtre à bougies, l'huile est filtrée à nouveau sur des filtres de sécurité (filtre à poches), pour se débarrasser des particules restées, même de petites tailles.

Adjuvant de filtration : Il permet la création du gâteau filtrant, pour empêcher les terres décolorantes de passer dans l'huile filtrée. L'adjuvant empêche que les terres absorbantes des pigments de se coller entre elles, et de former le gâteau filtrant, et en même temps, l'adjuvant réduit la résistance du gâteau filtrant en augmentant sa porosité.

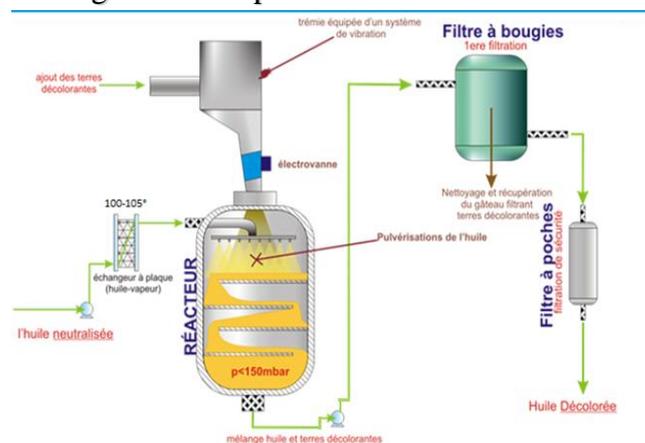


Figure 8: Description de la ligne de décoloration.

Après le passage dans toutes ces étapes huile est appelée : **huile décolorée**

6/ La désodorisation :

Le but de la désodorisation est d'éliminer les substances odorantes, les plus volatiles que l'huile, responsables des odeurs de l'huile, encore les acides gras libres libérées pendant la décoloration (neutralisation physique). A cause des critères commerciaux exigent qu'une huile bien raffinée soit exempte d'odeur et de goût.

Le principe de cette opération est une distillation simple de l'huile, l'idée est facile à saisir :

- D'abords, les substances responsables de l'odeur de l'huile (des acides gras volatiles, des pigments, les tocophérols réduites, les aldéhydes, les cétones ...) sont volatilisées par une augmentation de température de façon à ce qu'elle atteint la température de leur ébullition.
- Ensuite, à l'état volatilisé, ces substances sont aspirées, condensées et récupérées.
- Finalement, l'huile obtenue ne contient aucune substance odorante et se trouve ainsi sans odeur.

Description de la ligne de désodorisation :

La désodorisation comprend les étapes suivantes :

➤ Désaération :

L'huile décolorée passe dans un désaérateur à fin de lui éliminer l'oxygène.

Le principe est simple : l'huile est pulvérisée à l'intérieur, c'est une façon pour augmenter la surface d'échange, lorsqu'elle se trouve en contact avec une vapeur sèche à une température aux environs de 90-100°C. C'est alors ces molécules d'oxygène se trouvent entraînées à la vapeur lorsqu'un système de thermo compresseur assure l'aspiration grâce à la création d'un vide (pression <80mbar).

➤ Chauffage de l'huile :

Le but de cette étape est d'élevée la température aux environs de 230 - 240°C, pour cela l'huile désaérée passe dans un échangeur spéciale avec de la vapeur comme fluide caloporteur.

Pour arriver à ces températures extrêmement élevées, surtout pour un produit agroalimentaire, un risque se prévoit, c'est la forte oxydation (ou en d'autre terme la combustion de l'huile). D'où la nécessité de l'étape de la désaération.

➤ Distillation :

L'huile désaérée lorsqu'elle atteint la température recherchée, est envoyée dans une colonne de distillation. Les substances odorantes volatilisées sont récupérées de la colonne grâce à un système d'aspiration thermo compresseur, vers des cuves où elles se condensent.

Le thermo compresseur joue un double rôle :

- Premièrement, il crée le vide pour que ces substances odorantes passent à l'état gazeux à la température le moins possible.
- Deuxièmement, il assure l'aspiration de ces substances vers les condenseurs.

➤ Refroidissement :

L'huile récupérée à la fin de la colonne est ainsi sans odeurs, et près à passer à l'étape de refroidissement, dont le but est de stabilisé l'huile en réagissent sur sa température pour diminuer son entropie ; qui est une caractéristique thermodynamique liée au désordre de l'huile.

Pour refroidir, l'huile passe dans un échangeur à plaque économiseur, c'est-à-dire, un échangeur qui permet de refroidir cette huile en réchauffant l'huile désaérée pour que ce dernier atteint une

température de 110°C, avant qu'il passe au échangeur de 230-240°C. Après l'huile pour suit son chemin vers un autre échangeur pour diminuer sa température à 30°C.

Elle traverse des filtres à poche de sécurité.

Au terme de cette étape, l'huile présente un goût neutre ; elle est par la suite conditionnée sous azote afin de la protéger contre l'oxydation.

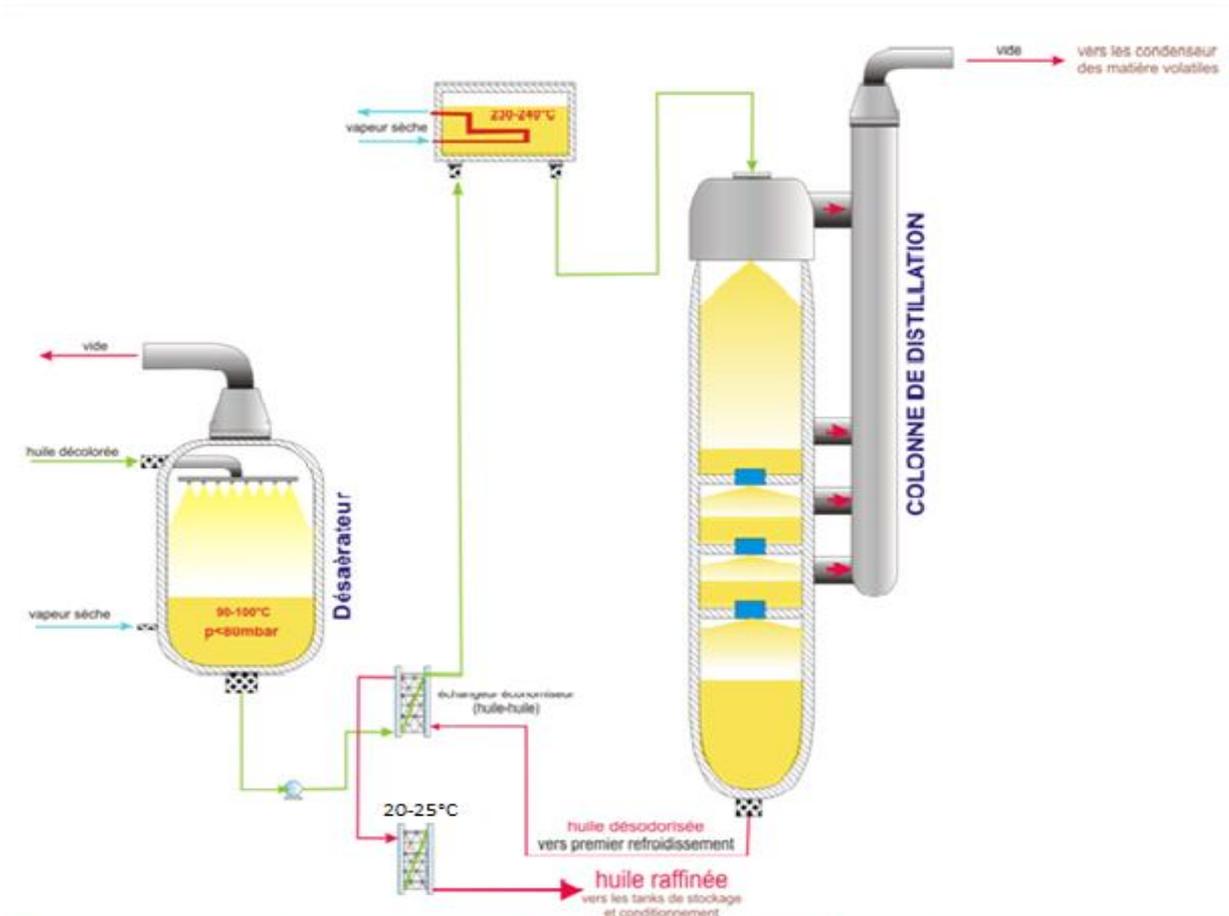


Figure 9: Description de la ligne de désodorisation.

La décoloration présente l'étape finale du raffinage. L'huile peut être appelée : **Huile Raffinée**

7/ **Fortification :**

Cette étape concerne uniquement l'huile de Soja conditionnée.

Un pré mixte des deux vitamines et de l'huile est chauffée à une température aux environs de 40-45°C avant qu'il soit dosé à l'aide d'une pompe doseuse dans l'huile raffinée.

III. **Produit finie :**

i. **Le stockage :**

Le stockage de l'huile raffinée se fait dans des cuves spéciales en inox équipées d'un système d'injection d'azote. Cette injection se fait d'une façon périodique, elle protège l'huile raffinée de l'oxydation, par la création d'une couche empêchant la pénétration et le contact de l'air aux huiles.

ii. Conditionnement :

Le conditionnement de l'huile raffinée se fait dans des bouteilles de plusieurs formats et calibres de 1l à 5l, des bouteilles faite d'une matière plastique de Polyéthylène téréphtalique (PET), une matière transparente qui laissent passer la lumière, en mettant en évidence, la clarté et le bon couleur de l'huile raffinée.

Le conditionnement de l'huile raffinée, à la société Les Conserves de Meknès AÏCHA est semi-automatique. C'est un système qui comprend 5 étapes, réalisées dans toutes les conditionneuses de l'huile raffinée, et sont les suivantes :

✓ **Soufflage, le remplissage, capsulage, l'étiquetage et la mise en carton.**

Etudes des échangeurs de chaleur

Études des échangeurs de chaleur

I Introduction :

A l'industrie agroalimentaire en des besoins à élever où baisser la température selon les procédés, par l'utilisation des chaudières, des échangeurs de chaleur,.....

Comme on a déjà signalé que la Raffinerie de « LCM » Aïcha est construite et installée par Alfa Laval, qui ont un objectif unique de fournir à ces clients, des technologies et des solutions aidant à optimiser plus encore procédés industriels.

Il est tout naturel qu'Alfa Laval se concentre fortement sur les technologies et les solutions de transfert de chaleur, car pratiquement toutes les formes de procédés industriels peuvent réchauffer ou refroidir des substances de toutes natures.

II Généralité :

A. Transfert de chaleur :

Dans l'industrie, le transfert de chaleur se fait en générale en deux fluides froid et chaude séparé par paroi solide inox.

1. Définition :

Le transfert de chaleur est un phénomène physique, due à une propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

2. Modes de transfert thermique :

On distingue entre trois modes de transfert thermique :

- **La conduction** : échange de chaleur entre deux points d'un solide ou encore d'un liquide immobile et opaque. l'énergie de la vibration se transmet d'atome à atome où de molécule à molécule.
- **La convection** : est de chaleur dans la matière avec un mouvement macroscopique de la matière il n'intervient que pour les liquides et les gaz.
- **Le rayonnement** : Cet échange de chaleur est fait d'absorber les ondes électromagnétiques par les corps, ce mode de transfert ne nécessite pas la présence d'un milieu intermédiaire matériel.

3. Echangeurs de chaleur :

Un échangeur de chaleur est un système qui permet de transférer un flux de chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid à travers une paroi sans contact direct entre les deux fluides.

a. Types d'échangeur de chaleur :

Il existe différents types d'échangeurs de chaleur que l'on peut classer en fonction de la disposition relative des deux fluides.

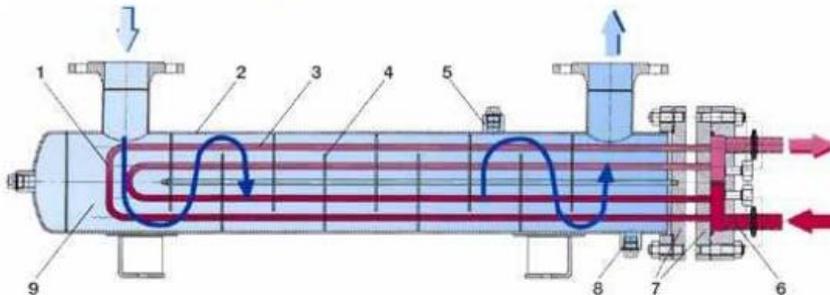
i. Echangeur tubulaire :

Ces échangeurs sont utilisés depuis de nombreuses années dans les sous-stations de chauffage urbain (eau surchauffée ou vapeur), pour la production d'eau chaude sanitaire et pour de nombreuses applications industrielles nécessitant des pressions élevées, ils sont constitués soit d'un tube unique

(serpentin), soit d'un faisceau de tubes branchés en parallèle enfermés dans une enveloppe appelée calandre (coque).

Les tubes sont en général métalliques (acier, cuivre, inox, etc.) Et le fluide chaud ou agressif passe en général dans les tubes afin de minimiser les pertes de chaleur.

Échangeur à faisceaux tubulaires



1. Faisceau tubulaire
2. Enveloppe (calandre)
3. Intérieur tube
4. Chicane
5. Raccord évent
6. Intérieur boîte à eau
7. Plaque tubulaire
8. Raccord vidange
9. Intérieur enveloppe

ii. Echangeur à plaque :

Ces échangeurs sont utilisés dans les industries agro-alimentaires depuis plus de 60 ans, mais leur développement dans le bâtiment est plus récent.

Cet échangeur est constitué par un ensemble de plaques embouties équipées de joints et maintenues serrées entre 2 plateaux reliés par des tirants des serrages.

Les plaques sont en général en forme de chevron pour augmenter la turbulence et ménager des points d'appuis pour résister à la pression. Leur faible épaisseur permet d'utiliser des matériaux de bonne qualité ayant une bonne tenue à la corrosion (acier inox, titane, etc.).

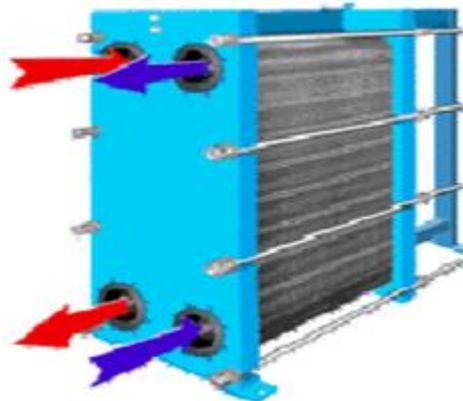


Figure 10 : échangeur de chaleur à plaque

b. Le principe d'échangeur de chaleur à plaque :

Un échangeur de chaleur à plaques consiste pour l'essentiel en une série de fines plaques cannelées assemblées et/ou soudées, en fonction des liquides qui circuleront dans les plaques et de l'éventuelle possibilité de séparer les plaques pour une raison quelconque. Les plaques sont ensuite embouties ensemble dans un bâti rigide afin de créer une circulation de flux parallèles. L'un des fluides se déplace dans les canaux impairs, l'autre fluide dans les canaux pairs.

III Méthodes de calcul des échangeurs de chaleur :

L'échange de chaleur mesuré par la puissance dépend de :

- La surface d'échange c'est la surface des plaques :(S en m²)
- Les caractères physique des plaques (la conductivité thermique, l'épaisseur des plaques).
- La nature des fluides, la viscosité, les coefficients de convection des fluides, ...
- Le débit, la présence de perte de charge.

1. Hypothèse :

On suppose qu'on a un échangeur thermique sans pertes, c'est-à-dire un échangeur dans lequel la chaleur cédée par le fluide chaud est intégralement transmise au fluide froid.

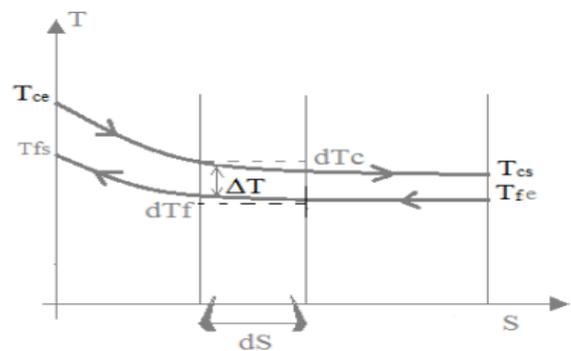
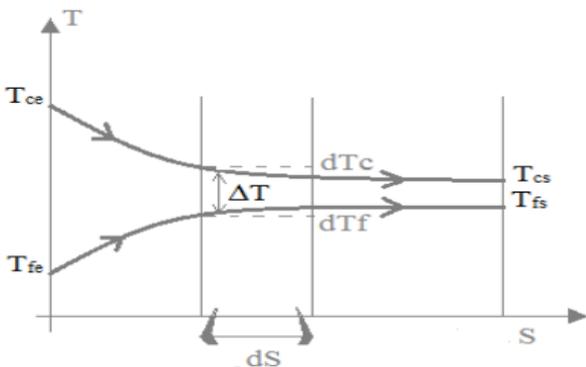
2. La distribution de température dans l'échangeur :

Les deux fluides froid (indice f) et chaud (indice c) peuvent circuler parallèlement dans le même sens (co-courant) ou en sens contraire (contre courants). La variation de température dans le fluide est alors très différente.

Avec :

- T_{fe} : température d'entrée du fluide froid
- T_{fs} : température de sortie du fluide froid
- T_{ce} : température d'entrée du fluide chaud
- T_{cs} : température de sortie du fluide chaud

Si on observe les différences de températures, on constate les courbes suivantes :



Echangeur à courant parallèle

Echangeur à contre courant

L'écart de température n'étant pas linéaire, on utilise la moyenne logarithmique à la place de la moyenne arithmétique.

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (2)$$

ΔT_m : est appelée la différence de température logarithmique moyenne entre les deux fluides.

3. Méthode de la différence logarithmique des températures moyenne (DTLM):

Pour un échangeur de chaleur à plaque et à contre-courant ou co-courant à même sens le flux échangé pour un élément s'écrit :

$$d\Phi = K dS (T_c - T_f) \quad (3)$$

K /c'est le coefficient surfacique de l'échangeur.

➤ Le cas du contre-courant :

La variation de température dT_f du fluide froid quand on augmente la surface d'échange de dS , devient négative. Dans ces conditions, la relation de flux de chaleur s'écrit :

$$d\phi = -\dot{m}_f C_{pf} d(T_{fe} - T_{fs}) = -\dot{m}_c C_{pc} d(T_{ce} - T_{cs}) \quad (4)$$

Flux gagné par le fluide froid / Flux perdu par le fluide chaud

Avec :

\dot{m}_c Et \dot{m}_f sont les débits massiques respectifs des fluides chauds et froids, en kg/s.

C_{pc} et C_{pf} sont leurs chaleurs massiques à pression constante, en J/(kg.°C).

La puissance thermique total échangé d'un échangeur de chaleur à contre-courant est:

$$\phi = K \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\text{Log} \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{cs} - T_{fe})}} S \quad (5)$$

On pose : $\Delta T = T_c - T_f$

•A l'entrée de l'échangeur à contre-courant ($x=0$) : $\Delta T_1 = T_{ce} - T_{fs}$

•À la sortie de l'échangeur à contre-courant ($x=L$) : $\Delta T_2 = T_{cs} - T_{fe}$

$$\phi = K \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\text{Log} \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} S \quad (6)$$

$$\phi = K S \Delta T_m \quad (7)$$

➤ Le cas du co-courant :

Dans ces conditions, le flux de chaleur $d\Phi$ transmis du fluide chaud au fluide froid à travers l'élément dS s'écrit, dans le cas de l'échangeur à courants parallèles :

$$d\phi = \dot{m}_f C_{pf} d(T_{fe} - T_{fs}) = -\dot{m}_c C_{pc} d(T_{ce} - T_{cs}) \quad (8)$$

Flux gagné par le fluide froid / Flux perdu par le fluide chaud

La puissance thermique total échangé d'un échangeur de chaleur à co-courant est:

$$\phi = K \frac{(T_{cs} - T_{fs}) - (T_{ce} - T_{fe})}{\text{Log} \frac{(T_{cs} - T_{fs})}{(T_{ce} - T_{fe})}} S \quad (9)$$

On pose : $\Delta T = T_c - T_f$

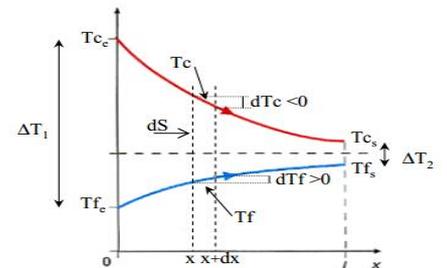
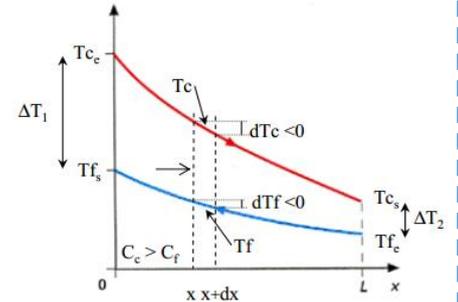
•A l'entrée de l'échangeur à co-courant ($x=0$) : $\Delta T_1 = T_c - T_{fs}$

•À la sortie de l'échangeur à co-courant ($x=L$) : $\Delta T_2 = T_{ce} - T_{fe}$

$$\phi = K \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\text{Log} \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} S \quad (6)$$

Pour pouvoir calculer la puissance thermique d'un échangeur à l'aide de la dernière relation (5), Il est encore nécessaire de connaître le coefficient global d'échange K .

$$K = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{hf} + \varepsilon} \quad (10)$$



4. Efficacité d'un échangeur de chaleur :

Définition : 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.

$$\eta = \frac{\Phi_{réel}}{\Phi_{max}} \quad 11$$

Avec :

$$\Phi_{max} = C_c(T_{ce} - T_{fe}) \quad 12$$

$$\Phi_{réel} = C_c(T_{ce} - T_{cs}) = C_f(T_{fs} - T_{fe}) \quad 13$$

Donc :

$$\eta = \frac{(T_{ce} - T_{cs})}{(T_{ce} - T_{fe})} \quad 14$$

➤ L'efficacité d'un échangeur co-courant :

$$\eta_{co-courant} = \frac{1 - e^{-(\frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_c})KS}}{1 + \frac{C_c}{C_f}} \quad 15$$

$$S \rightarrow \infty \quad \eta_{co-courant} = \frac{C_f}{C_f + C_c} \quad 16$$

➤ L'efficacité d'un échangeur contre-courant

$$\eta_{contre-courant} = \frac{1 - e^{-(\frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_c})KS}}{1 - \frac{C_c}{C_f} \left[e^{-(\frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_c})KS} \right]} \quad 17$$

$$S \rightarrow \infty \quad \eta_{contre-courant} = 1$$

5. Nombre d'unités de transfert (NUT) :

On appelle nombre d'unité de transfert, noté NUT, le rapport adimensionnel : $NUT = \frac{KS}{C_c}$

➤ Relation entre NUT et efficacité :

✓ Pour un échangeur Co-courant :

$$\eta_{co-courant} = \frac{1 - \text{EXP}\left(-NUT\left(1 + \frac{1}{Z}\right)\right)}{1 + \frac{1}{Z}} \quad 18$$

Avec :

$$Z = \frac{C_f}{C_c}$$

✓ Pour un échangeur contre-courant :

Si $Z \neq 1$:

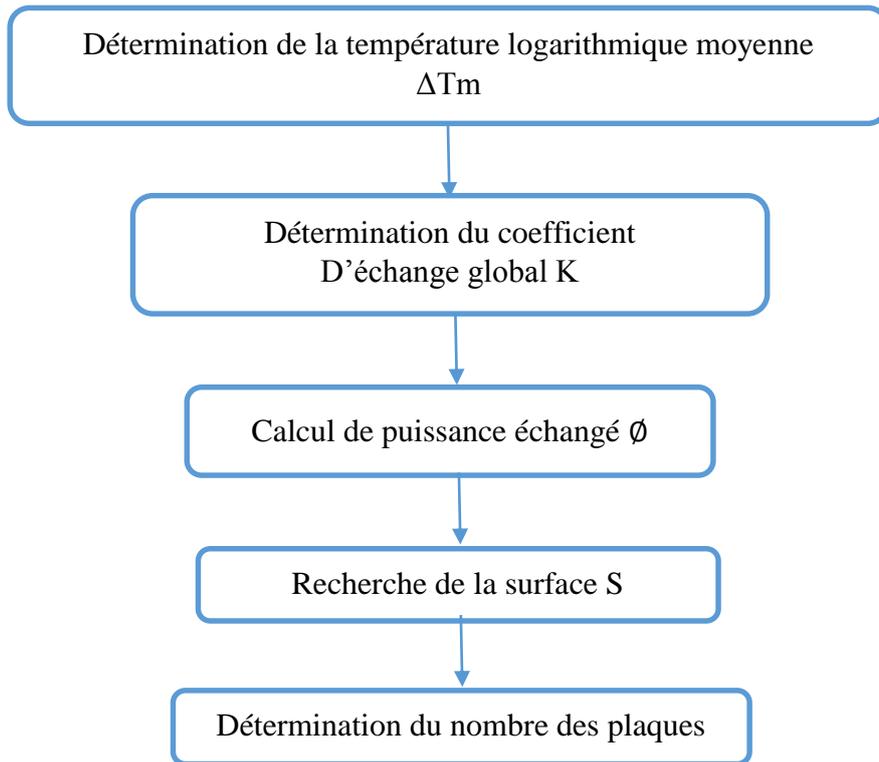
$$\eta_{contre-courant} = \frac{1 - \text{EXP}\left(-NUT\left(1 - \frac{1}{Z}\right)\right)}{1 - \frac{\text{EXP}\left(-NUT\left(1 - \frac{1}{Z}\right)\right)}{Z}} \quad 19$$

Si $Z=1$: $\eta_{\text{contre-courant}} = \frac{NUT}{1+NUT}$ 20

- ✓ Si l'échangeur à un nombre d'unité de transfert est petit $NUT < 1$: l'échange est peu efficace pour le débit, quel que soit le sens de circulation.
- ✓ Si l'échangeur à un nombre d'unité de transfert est assez grand ($NUT \approx 5-10$): l'échange est **bien** à largement **dimensionné** pour le débit de produit.

IV Le dimensionnement d'un échangeur :

Le déroulement du calcul de dimensionnement d'un échangeur peut schématiser comme ça :



1. Calcul du coefficient d'échange K :

Le transfert de chaleur du fluide chaud au fluide froid est la résultante de trois phénomènes successifs:

- Convection entre le fluide chaud et la face externe de la paroi solide $\frac{1}{h_c S}$.
- Conduction à travers cette paroi solide $\frac{e}{\lambda S}$.
- Convection entre la face interne de la paroi solide et le fluide froid $\frac{1}{h_f S}$.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + \varepsilon} \quad 10$$

- ✓ ε : La résistance de couche formée sur la paroi à partir des dépôts :
 - Vapeur d'eau : 0.0001
 - Huiles végétales : 0.0006
- ✓ h_c et h_f sont respectivement les résistances thermiques convectives des fluides chaud et froid.
 - Calcul de h_c coefficient de convection du fluide chaud-paroi :

Pour le calcul de h_c on fait intervenir les nombres suivants :

Le nombre de NUSSELT : $Nu = \frac{hD}{\lambda}$

Le nombre de Prandtl : $Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$

Le nombre de Reynolds : $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$

- Le cas de transfert de chaleur avec changement d'état :

$$Nu = 1.13 \left[\frac{L^3 \times \rho \times g \times \Delta H}{\lambda \times v \times \Delta \theta} \right]^{0.25} \quad \text{Et} \quad Nu = \frac{h_c \times L}{\lambda} \quad 21$$

L : la longueur de la paroi.

λ : Conductivité thermique du liquide.

ρ et v : la masse volumique et la viscosité cinématique du liquide condensé.

ΔH : Énergie de condensation par Kg de vapeur.

$\Delta \theta$: Différence entre la température de condensation de vapeur et la température de la paroi en contact avec le film liquide.

- Le cas de transfert de chaleur sans changement d'état :

Quand on a un échangeur à plaque le nombre de Nusselt en un point situé à une distance x du bord de la plaque est donné par la relation suivante :

$$Nux = 0.332 Re_x^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

La fonctionnalité de x indique que dans le calcul de Nu et de Re la dimension d est remplacé par x . le nombre Nusselt moyenne sur une plaque de largeur L est donné par la relation suivante :

$$Nu(L) = 0.332 \times Pr^{\frac{1}{3}} \times 2 \times Re^{0.5}$$

Avec :

$$Re = m_c \cdot L \cdot \frac{2}{\rho \cdot L \cdot e_0 \cdot (n+1)}, \quad Nu_x = h_c \cdot L / \lambda_c, \quad Pr = \mu_c \rho_c \cdot C_c / \lambda_c$$

Donc le coefficient de convection h_c devient :

$$h_c = \frac{\lambda_c}{L} \times 2 \times 0.332 \times \left(\frac{\mu_c \times \rho_c \times C_{pc}}{\lambda_c} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{2 \times m_c \times L}{\mu_c \times l \times e_0} \right)^{0.5} (1+n)^{-0.5}$$

- Calcul de h_f coefficient de convection du fluide froid-paroi :

On trouve :

$$h_f = \frac{\lambda_f}{L} \times 2 \times 0.332 \times \left(\frac{\mu_f \times \rho_f \times C_{pf}}{\lambda_f} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{2 \times m_f \times L}{\mu_f \times l \times e_0} \right)^{0.5} (1+n)^{-0.5}$$

Les valeurs de (L , l , e_0 , e) sont apporté les listes de des proportions donnée par le constructeur.

2. la surface d'échange globale :

La surface d'échange globale est donnée par la relation suivante :

$$S = \frac{\phi}{K \times \Delta T_m}$$

3. le nombre de plaque :

Le nombre de plaque est donné par la relation suivante :

$$n = S/s$$

Avec : s est la surface d'une plaque.

Exemple : 1

C'est le cas du premier échangeur dans l'étape de Démucilagination,



1) le calcul de puissance thermique :

Les données :

$$m_f = 4500 \text{ kg/h} = 1.25 \text{ kg/s}$$

$$C_{pf} = 1.9 \times 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

On a

$$\phi = m_f C_{pf} (T_{fe} - T_{fs})$$

$$\phi = 1.25 \times 1.9 \times 10^3 \times 25$$

$$\phi = 59.37 \times 10^3 \text{ W}$$

2) le calcul de la différence de température logarithmique moyenne ΔT_m :

On a :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\text{Log} \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{cs} - T_{fe})}} = \frac{(120.23 - 90) - (100 - 65)}{\text{Log} \frac{(120.23 - 90)}{(100 - 65)}}$$

$$\Delta T_m = 32.55^\circ\text{C}$$

1) calcul de K :

Le coefficient d'échange thermique est déterminé par la relation suivante :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{hf} + \varepsilon}$$

3.1) calcul de h_c :

C'est le cas d'une convection avec un changement d'état, donc :

$$Nu = 1.13 \left[\frac{L^3 \times \rho \times g \times \Delta H}{\lambda \times \nu \times \Delta \theta} \right]^{0.25}$$

Et on sait que: $\frac{\rho}{\nu} = \frac{\rho^2}{\mu}$

D'où:
$$Nu = 1.13 \left[\frac{L^3 \times \rho^2 \times g \times \Delta H}{\lambda \times \mu \times \Delta \theta} \right]^{0.25}$$

Les données : $L=0.8 \text{ m}$ $\rho = 942.9 \text{ Kg/m}^3$ $\mu = 230 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.s}$
 $\lambda = 687 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{K}$ $\Delta H = 2706.7 \times 10^3 \text{ J/Kg}$ $g = 9.82 \text{ m}^2/\text{s}$

application numerique
$$Nu = 1.13 \left(\frac{0.8^3 \times 942.9^2 \times 9.82 \times 2706.7}{687 \times 10^{-3} \times 230 \times 10^{-6} \times 30.23} \right)^{0.25}$$

$$Nu = 8016.52$$

On sait que :

$$Nu = \frac{h_c \times L}{\lambda} \rightarrow h_c = \frac{\lambda \times Nu}{L}$$

application numerique $h_c = \frac{687 \times 10^{-3} \times 8016.52}{0.8}$

$$h_c = 6884.18 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.2) calcul de h_f :

On a la relation suivante pour calculer le h_f :

$$h_f = \frac{\lambda_f}{L} \times 2 \times 0.332 \times \left(\frac{\mu_f \times \rho_f \times C_{pf}}{\lambda_f} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{2 \times m_f \times L}{\mu_f \times l \times e_0} \right)^{0.5} (1+n)^{-0.5}$$

Les données : $L=0.8$ m $\rho = 903$ Kg/m³ $\mu_f = 56.9 \times 10^{-3}$ Kg/m.s $\lambda_f = 0.176$ W/m²°K
 $l=0.25$ m $C_{pf} = 1.9 \times 10^3$ J/Kg°K $e_0 = 3.13 \times 10^{-3}$ m $m = 1.25$ Kg/s

$$h_f = \frac{0.176}{0.8} \times 2 \times 0.332 \times \left(\frac{56.9 \times 10^{-3} \times 903 \times 1.9 \times 10^3}{0.176} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{2 \times 1.25 \times 0.8}{56.9 \times 10^{-3} \times 0.25 \times 3.15 \times 10^{-3}} \right)^{0.5} (1+n)^{-0.5}$$

$$h_f = 2535.73 \times (1+n)^{-0.5}$$

3.3) calcul de $\frac{e}{\lambda}$:

$$e = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = 14 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$\frac{e}{\lambda} = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot K / W$$

3.4) calcul de ε :

$$\varepsilon = \varepsilon_{eau} + \varepsilon_{huile}$$

- ε_{eau} Vapeur d'eau : 0.0001
- ε_{huile} Huiles végétales : 0.0006 Application numérique : $\varepsilon = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot K / W$

Selon la relation $K = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + \varepsilon}$

Application numérique : $K = \frac{1}{\frac{1}{6884.18} + 3.5 \times 10^{-5} + \frac{1}{2535.73 \times (1+n)^{-0.5}} + 7 \times 10^{-4}} = \frac{1}{8.8 \times 10^{-4} + \frac{(1+n)^{0.5}}{2535.73}}$

4. Calcul de la surface total S et le nombre de plaque

On a la relation suivante : $S = \frac{\phi}{K \times \Delta T_m}$

Avec : $\phi = 59.37 \times 10^3$ W

$$\Delta T_m = 32.55^\circ C$$

D'où : $S = 1.6 + 0.72 (1+n)^{0.5}$

Et on sait que : $S = n \times s$ $s = 0.2 \text{ m}^2$

Donc : $S = 1.6 + 0.72 (1+n)^{0.5}$

$$S = n \times 0.2$$

Après la résolution de système on trouve les résultats suivantes : $S = 5.6 \text{ m}^2$
 $n = 28$ plaques

Exemple : 2

C'est le cas d'échangeur dans l'étape de Décirage,



1) le calcul de puissance thermique :

Les données :

$$m_c = 4500 \text{ kg/h} = 1.25 \text{ kg/s}$$

$$C_{pc} = 1.9 \times 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

On a

$$\phi = m_c C_{pc} (T_{ce} - T_{cs})$$

$$\phi = 1.25 \times 1.9 \times 10^3 \times 65$$

$$\phi = 154.37 \times 10^3 \text{ W}$$

2) le calcul de la différence de température logarithmique moyenne ΔT_m :

On a :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\text{Log} \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{cs} - T_{fe})}} = \frac{(90 - 25) - (25 - 15)}{\text{Log} \frac{(90 - 25)}{(25 - 15)}}$$

$$\Delta T_m = 29.38^\circ\text{C}$$

3) calcul de K :

Le coefficient d'échange thermique est calculé par la relation suivant :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{hf} + \varepsilon}$$

3.1) calcul de h_c :

C'est le cas d'une convection sans un changement d'état, donc :

$$h_c = \frac{\lambda_c}{L} \times 2 \times 0.332 \times \left(\frac{\mu_c \times \rho_c \times C_{pc}}{\lambda_c} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{2 \times m_c \times L}{\mu_c \times l \times e_0} \right)^{0.5} (1 + n)^{-0.5}$$

Les données : $L=0.8 \text{ m}$ $\rho_c = 903 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_c = 56.9 \times 10^{-3} \text{ Kg/m}$ $\lambda_c = 176 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{K}$

$l=0.25 \text{ m}$ $m_c=1.25 \text{ Kg/s}$ $C_{pc}=1.9 \times 10^3 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$ $e_0=3.15 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$h_c = 2535.73(n + 1)^{-0.5}$$

3.2) calcul de h_f :

On a la relation suivante pour calcul le h_f :

$$h_f = \frac{\lambda_f}{L} \times 2 \times 0.332 \times \left(\frac{\mu_f \times \rho_f \times C_{pf}}{\lambda_f} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{2 \times m_f \times L}{\mu_f \times l \times e_0} \right)^{0.5} (1 + n)^{-0.5}$$

Les données : $L=0.8 \text{ m}$ $\rho = 998.2 \text{ Kg/m}^3$ $\mu_f = 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$

$$\lambda_f = 0.599 \text{ W/m}^\circ\text{K} \quad l = 0.25 \text{ m} \quad C_{p_f} = 4180 \text{ J/Kg}^\circ\text{K} \quad e_0 = 3.15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\phi = m_f C_{p_f} (T_{fe} - T_{fs})$$

$$m_f = 3.69 \text{ Kg/s}$$

Donc : $h_f = 26013 \times (1+n)^{-0.5}$

3.3) calcul de $\frac{e}{\lambda}$:

$$e = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = 14 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \frac{e}{\lambda} = 3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{K/W}$$

3.4) calcul de ε :

$$\varepsilon = \varepsilon_{eau} + \varepsilon_{huile}$$

- ε_{eau} Vapeur d'eau : 0.0001
- ε_{huile} Huiles végétales : 0.0006

Application numérique : $\varepsilon = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{hc} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{hf} + \varepsilon}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2535.73(n+1)^{-0.5}} + 3.5 \times 10^{-5} + \frac{1}{26013 \times (1+n)^{-0.5}} + 7 \times 10^{-4}}$$

$$K = \frac{1}{7.35 \times 10^{-4} + 4.33 \times 10^{-4} \times (1+n)^{0.5}}$$

4. Calcul de la surface total S et le nombre de plaque :

On a : $S = \frac{\phi}{K \times \Delta T_m}$

Avec : $\phi = 154.37 \times 10^3 \text{ W}$

$$\Delta T_m = 29.38^\circ\text{C}$$

D'où : $S = 3.862 + 2.28 (1+n)^{0.5}$

Et on sait que : $S = n \times s$

$$s = 0.2 \text{ m}^2$$

Donc : $S = 3.862 + 2.28 (1+n)^{0.5}$

$$S = n \times 0.2$$

$$S = 33 \text{ m}^2$$

$$n = 165 \text{ plaques}$$

Conclusion :

Les technologies de raffinage des huiles végétales, qui ont un grand intérêt au niveau international. Notre objectif est de comprendre les principes, les buts et les modes opératoires de toutes ces opérations.

L'Etude des échangeurs de chaleur, le chauffage ou le refroidissement sont des étapes dans les opérations de raffinages des huiles alimentaires, ils reposent sur le phénomène de transfert de chaleur. Ce changement de chaleur est effectué à l'aide d'un dispositif qui s'appelle échangeur de chaleur à plaque, notre objectif est de dimensionner l'échangeur à plaque, c'est à dire déterminer le nombre de plaque par considération de la surface.

Enfin, Ce stage à la société industrielle de conserve de MEKNES m'a permit d'enrichir mes connaissances théoriques et pratiques et m'a offert une bonne préparation à mon insertion professionnelle.

Références bibliographiques :

1. www.aicha.com/Fiche publicitaire de la société.
2. LES LIPIDES Science Alimentaire/Ecole Polytechnique Fédérale/Lausanne
3. Manuel des corps gras volume 2 A. KARLESKIND
4. wikipedia.fr
5. les cahiers alfa Laval spécial thermique N° 12 – 1981
6. les cahiers alfa Laval spécial thermique N° 17 – 1987
7. Chimie industrielle R. PERRIN et J.P.SCHRFF
8. Cours Transferts thermiques 2^{ème} année Ecole des Mines Nancy
9. A. BONTEMPS A. GARRIGUE, C. GOUBIER, J. HUETZ, C. MARVILLET, P. MERCIER, R.VIDIL Échangeur de chaleur // Technique de l'Ingénieur