

Sommaire

Introduction générale	5
Partie I : Présentation de La SAMIR.....	6
1. Historique	6
2. Fiche signalétique	Erreur ! Signet non défini.
3. Organigramme du corps directorial	Erreur ! Signet non défini.
4. Description de l'activité de la raffinerie (procédé et produits).....	7
4.1 Produits et caractéristiques de production	7
4.2 Différentes entités de la SAMIR	9
4.2.1 Unités de fabrication des grands produits	9
4.2.2 Complexe de fabrication des huiles, des bitumes et des paraffines.....	9
4.2.3 Installation off sites et utilités	10
4.2.4 Laboratoire	10
4.3 Technique de raffinage	10
Partie II : Osmose et osmose inverse.....	11
1. Introduction	11
2. Propriétés de l'eau de mer	11
3. L'osmose inverse	12
3.1 Définition	12
3.2 Principe de l'osmose inverse	13
3.3 Le rôle de l'osmose inverse	14
3.4 Les membranes de l'osmose inverse	14
Partie III : Description de l'unité U70A Unité d'osmose inverse	16
1. Le rôle de l'unité U70A dans la raffinerie SAMIR	16
2. Prétraitement au niveau de l'arrivée de l'eau de mer	17
2.1 Les caractéristiques de l'eau de mer d'entrée	17
2.2 Le dessablage de l'eau.....	17
3. Description de l'unité d'osmose inverse (U70A)	18
3.1 Le clarifloculateur	20
3.1.1 La coagulation	20
3.1.2 La floculation	21
3.1.3 La décantation	21
3.2 Les filtres multimédia	21

3.2.1	Description du filtre multimédia	21
3.2.2	Phase de la production des filtres MMF	22
3.2.3	Phase de lavage des filtres MMF.....	22
3.3	Les filtres à cartouche	23
3.4	Osiose inverse	23
3.4.1	1 ^{er} étage chaines A/B/C	23
3.4.2	2 ^{ème} étage chaines D/E/F.....	23
4	La problématique	24
Partie IV : Parie expérimentale		24
1.	Principe de l'expérience	24
2.	Mode opératoire	25
2.1	Matériel et produits	Erreur ! Signet non défini.
2.2	Détermination da la vitesse de coagulation	25
2.3	Détermination de la dose optimale du coagulant	26
2.4	Détermination de la dose optimale du floculant	27
Conclusion générale		29

Introduction générale :

La gestion des ressources en eau constitue l'un des problèmes les plus cruciaux du 21^{ème} siècle. En fait, l'épuisement des réserves en eau de bonne qualité dans certaines parties du pays a déjà fait grimper les coûts de l'approvisionnement en eau industrielle et augmenter les demandes aux services hydrauliques publics pour qu'ils trouvent de nouvelles sources d'approvisionnement.

Effectivement, dans le but de contourner ce problème, La Société Anonyme Marocaine de l'Industrie de Raffinage (SAMIR) a implanté une unité de dessalement de l'eau de mer par procédé d'osiose inverse.

L'osiose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméabilité à travers des membranes semi-perméables sous l'effet d'un gradient de pression (entre 50 à 80 bars).

Cependant l'utilisation de cette technique nécessite un prétraitement chimique et physique. L'étape du prétraitement est critique car une mauvaise qualité de l'eau prétraitée peut causer la destruction des membranes osmotiques. La bonne maîtrise du prétraitement signifie une bonne maîtrise du phénomène coagulation-floculation.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité du coagulant (FeCl_3) et du floculant (polyélectrolyte) pour assurer une bonne étape coagulation-floculation afin de protéger les membranes qui représentent une part importante de l'investissement.

Ce rapport est composé de quatre parties :

- Dans la première partie, de ce rapport, nous avons présenté la SAMIR en donnant un aperçu sur son historique et son corps directorial.
- Dans la deuxième partie, nous avons présenté une étude bibliographique sur le phénomène d'osmose et osmose inverse.
- Dans la troisième partie, la description de l'unité d'osmose inverse U70A à la raffinerie SAMIR a été faite en détail, ceci nous a permis la connaissance des différentes étapes du procédé.
- Dans la quatrième partie, nous avons présenté une étude expérimentale qui nous a permis de déterminer les doses optimales du coagulant et floculant afin de maîtriser ce phénomène, ces essais ont été faits grâce à l'appareil Jar Test au sein du laboratoire SAMIR.

Partie I : Présentation de La SAMIR

1. Historique :

Le Maroc a décidé d'assurer la maîtrise de ses besoins en énergie et de créer une indépendance énergétique, par la signature d'une convention entre l'Etat représenté par le Bureau des Etudes et des Participants Industriels et par l'Office Italien des Hydrocarbures représenté par sa filiale ANIC ; cette convention est dans le but de construire une raffinerie proche du port de Mohammedia dénommée « Société Anonyme Marocaine Italienne de Raffinage ».

La « SAMIR » a connu depuis sa création un grand développement concernant la création de nouvelles unités.

- 1959 : sa majesté Mohammed V a posé la première pierre de la nouvelle raffinerie.
- 1962 : Le démarrage de l'activité de la raffinerie.
- 1973 : Le choc pétrolier induit une flambée des prix au niveau international et l'Etat marocain décide de racheter les parts de l'ANIC, ainsi la SAMIR devient « Société Anonyme Marocaine de l'industrie du Raffinage ».

- 1984 : Démarrage du complexe des huiles ; bitumes et para raffinage.
- 1999 : La fusion absorption de la Société Chérifienne des Pétroles « SCP » par la SAMIR lui permet l'augmentation de son capital.
- 2002 : Suite à un incendie, la SAMIR a enclenché un vaste programme de rénovation et de réhabilitation des installations techniques de la raffinerie de Mohammédia.
- 2004 : la convention d'investissement du projet de modernisation de la raffinerie Mohammédia, a été signée entre le Gouvernement Marocain et la SAMIR.
- 2009 : démarrage des unités UPGRADE qui fait partie du projet de modernisation de la raffinerie.
- 2011 : le démarrage de la nouvelle colonne de distillation TOPPING 4.

2. Organigramme du corps directorial :

Le corps directorial de la SAMIR, telle qu'elle est définie dans l'organigramme, peut être divisé en quatre catégories principales de directions suivant cette figure :

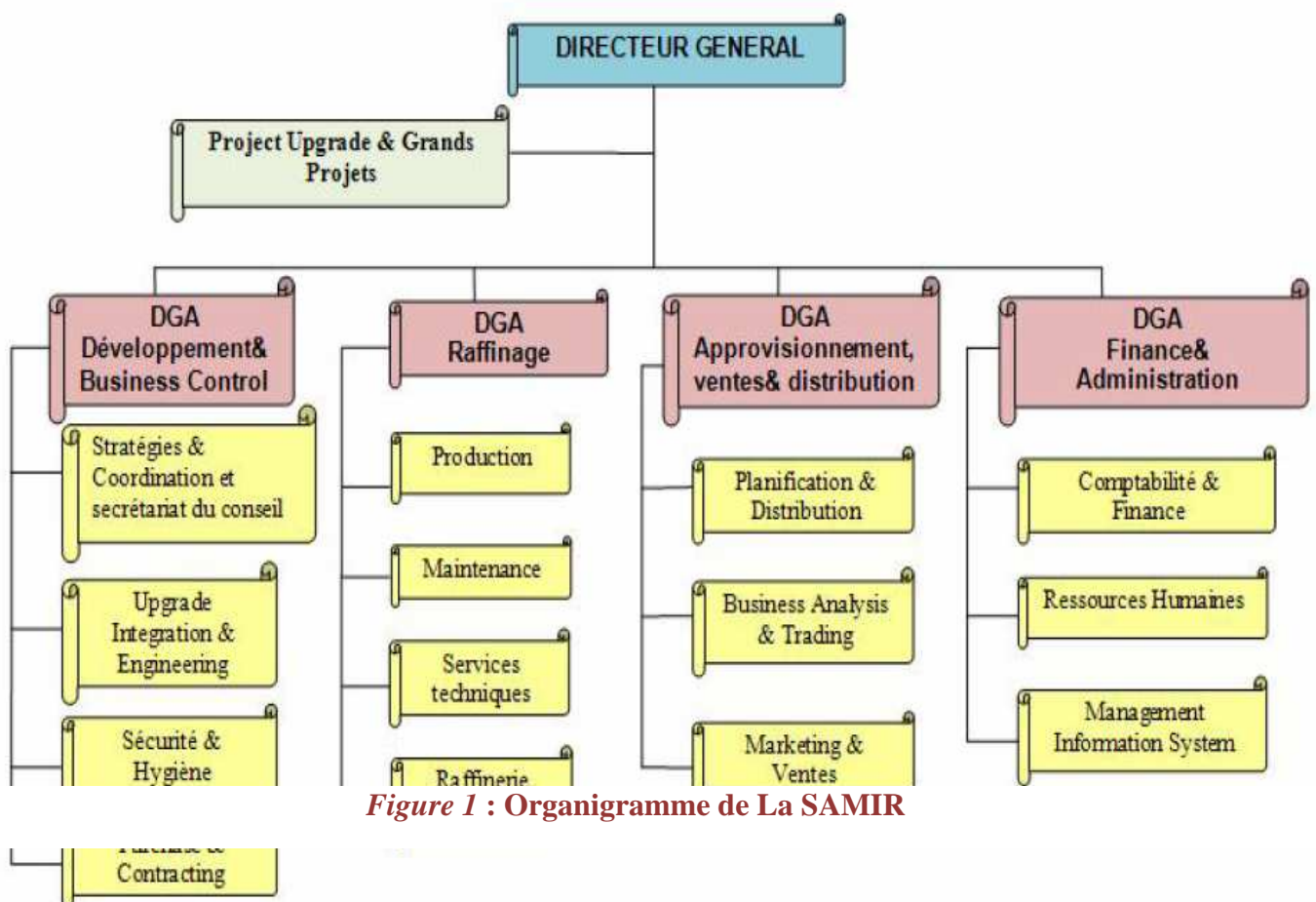


Figure 1 : Organigramme de La SAMIR

3.1 Produits et caractéristiques de production :

La raffinerie SAMIR est de type « HYDROSKIMMING » d'une capacité de traitement d'environ 6

250 000 t/an et dispose d'un complexe de lubrifiants depuis les années 1970.

Par sa taille et sa capacité de production, elle reste une importante unité industrielle au Maroc. Elle produit et commercialise une variété de produits pétroliers destinés à satisfaire les besoins internes du marché Marocain.

Les produits commercialisés sont :

- [Le super sans plomb](#) : carburant essence pour les voitures moins polluant.
- [Le gasoil 50 ppm](#) : carburant pour les moteurs diesel.
- [Le butane](#) : c'est un gaz destiné aux besoins ménagers ou domestiques.
- [Le propane](#) : gaz utilisé dans les grands centres hospitaliers et hôteliers.
- [Le Jet A1](#) : carburéacteur pour les avions.
- [Le fuel-oil](#) : combustible utilisé dans les fours et chaudières industrielles.
- [Les bitumes](#) : utilisés pour les revêtements routiers.
- [Les huiles finies](#).
- [Les paraffines](#).

De là, on constate que l'industrie pétrolière est la seule industrie à fabriquer et à vendre une grande diversité de produits aux différentes sociétés de distribution. La fabrication des produits pétroliers repose sur le processus illustré dans la figure suivante :

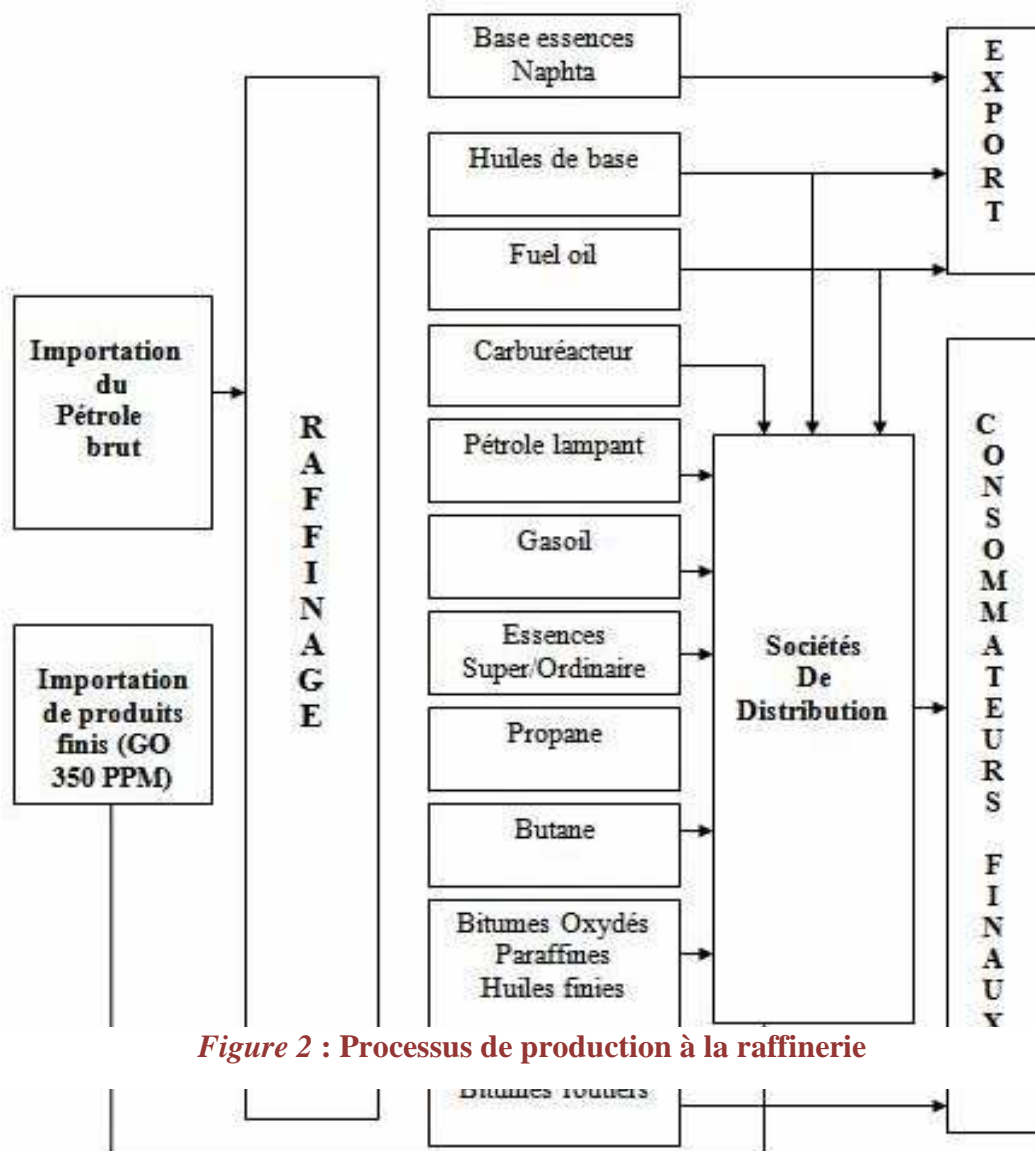


Figure 2 : Processus de production à la raffinerie

3.2 Différentes entités de la SAMIR :

Le principal objectif d'une raffinerie est de fractionner le pétrole brut, qu'il soit de provenance naturelle (formation géologique) ou dit synthétique (sable bitumineux) et de le convertir en différents produits de consommation tels les essences, le carburant diesel, les mazouts légers et lourds, les bitumes, le kérosène ou des produits intermédiaires alimentant l'industrie pétrochimique (naphta, distillat).

Les procédés unitaires du secteur du raffinage du pétrole sont nombreux. Les principaux sont le dessalage, la distillation atmosphérique, la distillation sous vide, le craquage et le reformage catalytique et l'hydrotraitement.

Au Maroc, la raffinerie de Mohammedia est simple. Dans la figure 3, on peut remarquer que la raffinerie est constituée de :

3.2.1 Unités de fabrication des grands produits :

- Unités de raffinage zone I qui comprend :
 - Deux unités de distillation atmosphérique (*Topping* I et II) ;
 - Une unité de désulfuration du kérosène ;
 - Une unité de reforming catalytique ;
 - Deux unités *MEROX* (GPL – essences légères et kérosène).
- Unités de raffinage zone II comprenant :
 - Une unité de distillation atmosphérique (*Topping* III) ;
 - Une unité d'hydrotraitement du naphta ;
 - Une unité *MEROX* GPL et essences légères ;
 - Une unité de séparation C_3/C_4 ;
 - Un reforming catalytique ;
 - Une unité d'hydrodésulfuration des gasoils et du kérosène ;
 - Une unité de lavage aux amines.
- Unités de raffinage Upgrade comprenant le *Topping* IV : c'est une nouvelle unité de distillation installée dans le but de remplacer les anciennes notamment le *Topping* I et II.

3.2.2 Complexe de fabrication des huiles, des bitumes et des paraffines:

Avant que ce complexe ne fût créé, les résidus atmosphériques furent utilisés comme combustibles, mais il s'est avéré que ces résidus sont pleins de matière lubrifiante d'où l'installation de ce complexe. Après la distillation atmosphérique, le résidu atmosphérique ou Fuel subit une distillation sous vide, permettant, ainsi, la fabrication des huiles de base.

3.2.3 Installation off sites et utilités :

- Un parc de stockage de pétrole brut, des produits finis et semi-finis ;
- Deux centrales thermoélectriques pour produire les différentes utilités : vapeur, électricité, eau déminéralisée, air comprimé, eau tempérée... ;
- Unité de traitement des eaux résiduaires.

3.2.4 Laboratoire :

Comme toutes les autres raffineries, la SAMIR dispose d'un laboratoire de contrôles et d'analyses effectués sur les différents produits pétroliers.

Les tâches du laboratoire sont réparties comme suit :

- **Analyses de contrôle des unités (Analyse de routine)**

Le laboratoire effectue le contrôle et l'analyse sur les différents produits pétroliers avant leur stockage et durant leur cycle de production et leur passage d'une unité de production à l'autre, pour s'assurer de leur qualité et le bon fonctionnement et réglage des unités de production.

- **Analyses des produits finis**

Le laboratoire a pour rôle de contrôler les produits stockés dans les bacs et prêts à l'expédition. Il réalise plus au moins les mêmes analyses que le premier laboratoire mais en plus d'autres analyses supplémentaires spéciales telles que : la chromatographie, les analyses des eaux de rejets, la détermination des mercaptans et de l'hydrogène sulfuré, la détermination des concentrations des métaux dans le fuel-oil et les huiles de base par l'appareil ICP (Induction à Coupage Plasma).

Le laboratoire, dispose d'un appareillage plus sophistiqué et plus précis vu l'importance des analyses qui y sont réalisées pour la délivrance des certificats.

Dans le cas où un produit ne conforme pas aux spécifications pour sa vente, son utilisation et son stockage, l'unité d'où provient le produit est immédiatement informée afin que les responsables effectuent les rectifications nécessaires.

3.3 Technique de raffinage :

La première étape obligatoire dans le traitement du pétrole est le dessalage, qui consiste à préchauffer le pétrole brut qui, en arrivant du bac de stockage passe à travers un premier [train d'échangeurs](#) pour être chauffé à la bonne température (vers 110°C), puis il est dessalé s'il contient beaucoup de sel dans une unité de «dessalage» où, par adjonction d'eau douce et d'un champs électrostatique, ce brut est déchargé de son sel. Différents additifs sont ajoutés afin de dissoudre les sels minéraux présents.

L'eau saline contaminée est dirigée vers le système de traitement.

Tout le pétrole brut dessalé est ensuite chauffé et dirigé dans la colonne à distillation atmosphérique. Il est ensuite séparé, par distillation et épuisement à la vapeur, en diverses fractions de plages d'ébullition différentes; les fractions sont retirées en continu de la colonne et dirigées vers d'autres unités pour traitement ultérieur.

Pour les soutirages de produits, en tête de la colonne, on trouve la sortie des gaz et des produits légers qui forment la coupe naphtha total. Sur le côté de la colonne, et de haut en bas on trouve le soutirage :

- du kérosène,
- les GPL,
- essences lourde (naphtha)
- essences légères,
- du gasoil léger,
- du gasoil lourd.

Et en fond de colonne la sortie du résidu atmosphérique.

Après ce traitement préliminaire, toutes les fractions soutirées vont servir de charge (feedstocks) pour alimenter les autres unités de traitement en aval et le résidu atmosphérique subit une distillation sous vide.

Partie II : Osmose et osmose inverse

1. Introduction :

À la surface des océans, l'eau s'évapore sous l'action du soleil, puis se condense et précipite sur des lieux privilégiés : c'est le cycle naturel de l'eau dont la reproduction industrielle dans le but d'obtenir de l'eau potable n'intervient qu'à partir des années 1950. Cinquante ans plus tard, la production mondiale d'eau douce à partir d'eaux saumâtres ou salées dépasse $25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$. Les principaux pays producteurs sont par ordre d'importance décroissante : l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %).

Les procédés de dessalement des eaux saumâtres les plus répandus actuellement sont :

- **La distillation** : C'est un procédé thermique faisant intervenir un changement de phase.
- **L'osmose inverse** : C'est un procédé basé sur la filtration de l'eau par des membranes semi-perméables sous l'action de la pression.

2. Propriétés de l'eau de mer :

L'eau de mer est caractérisée par un taux de salinité très élevé. La salinité mesure la concentration en sel dissous (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates) en g/L.

En dehors du chlorure de sodium qui représente 85 % de la salinité totale, on note la présence des ions bicarbonates, calcium et sulfates. Ces ions sont des sources potentielles d'entartement selon les conditions de température, de concentration et de pH.

Le tableau ci-dessous représente un aperçu sur la composition de l'eau de mer :

Tableau 1 – Composition standard de l'eau de mer océanique			
Cations	(mg/L)	Anions	(mg/L)
Sodium	11 035	Chlorures	19 841
Magnésium	1 330	Sulfates	2 769
Calcium	418	Bicarbonates.....	146
Potassium	397	Bromures	68
Strontium	14	Fluorures.....	1,4
Salinité totale	36,047 g/L		

Les salinité augmente au fur et à mesure de la profondeur et de la latitude. Elle est plus élevée sur la côte Est de l'Arabie Saoudite.

Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer :

- Océan Atlantique : 35 g/L ;
- Mer Méditerranée : 38 g/L ;
- Mer Rouge : 40 g/L et plus ;
- Mer morte : 270 g/L et plus.

3. L'osmose inverse:

3.1 Définition :

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméabilité à travers des membranes semi-perméables sous l'effet d'un gradient de pression. C'est un système de purification de l'eau contenant des matières en suspension par [filtrage](#) très fin qui ne laisse passer que les [molécules d'eau](#).

L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes:

- Une partie passe à travers la membrane (perméat)
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou retentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

Ci-dessous un schéma qui résume le traitement des eaux par osmose inverse :

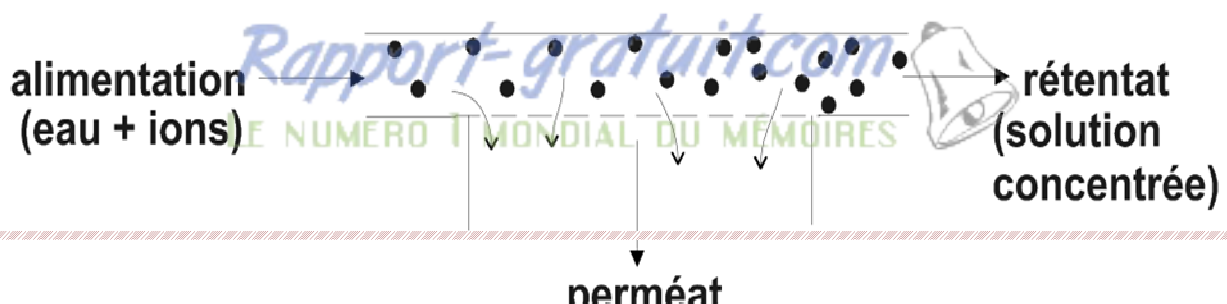


Figure 3 : Schéma explicatif du traitement des eaux par osmose inverse

3.2 Principe de l'osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. **Le dessalement par osmose inverse** est basé sur le phénomène contraire de l'osmose. Aussi, au lieu d'avoir le transfert de solvant du compartiment de plus faible concentration à celui de plus forte concentration (osmose), l'osmose inverse, sous l'action d'une pression, institue l'évolution contraire. Plus cette pression est importante et plus ce transfert est favorisé. Le solvant eau va s'écouler en continu à travers une membrane dense sans porosité (véritable barrière aux éléments) qui, en agissant sélectivement, retient les particules à la fois dissoutes et en suspension contenues dans ce solvant. L'écoulement s'effectue tangentiellement à cette membrane qui laisse passer le solvant et arrête les ions : il y a séparation entre l'eau et les sels qu'elle renferme. Ce processus de séparation s'effectue en phase liquide par perméation sous l'effet d'un gradient de pression. Autrement dit, au cours du processus, l'eau est fortement pressée contre une membrane en polymère synthétique dont les micropores ne laissent passer que les molécules d'eau et rien d'autres, pas même les microbes et virus. Suivant ce principe, des procédés sont mis en place pour débarrasser l'eau de mer de sa charge minérale : l'osmose inverse permet d'obtenir de l'eau déminéralisée. La pression osmotique étant proportionnelle à la concentration de la solution, l'énergie nécessaire à la sélection des éléments au niveau de la membrane augmente avec la quantité de sels dissous.

Considérons un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable (Fig 4) et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique P (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'osmose inverse.

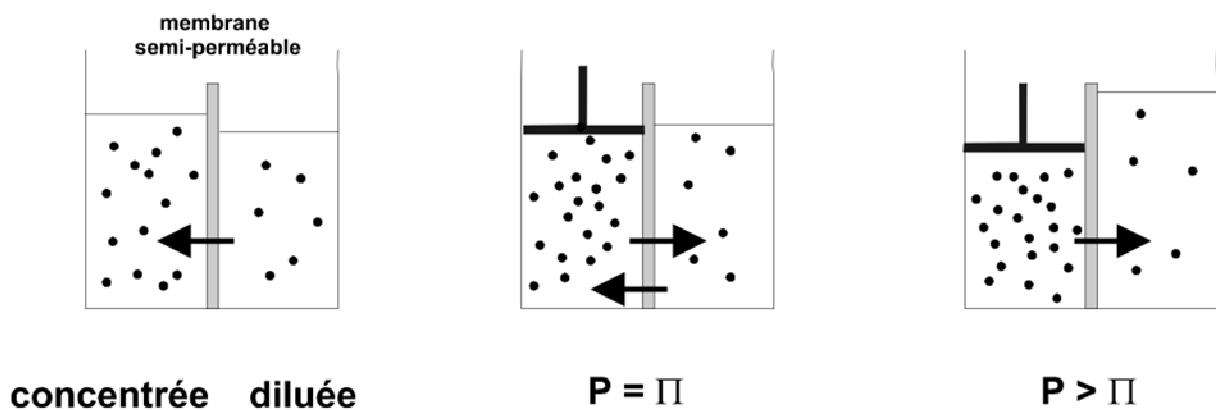


Figure 4 : Osmose et osmose inverse

La pression osmotique des électrolytes est donnée par la loi de Van't Hoff :

$$\Pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

Où :

- i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté,
- C la concentration molaire du soluté (mol.L^{-1}),
- T la température (K)
- R la constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).
- Π est exprimée en bars. Cette relation est valable pour des solutions diluées.

3.3 Rôle de l'osmose inverse :

L'osmose inverse est utilisée en dessalement des eaux de mer, l'objectif principal de cette technologie c'est l'élimination des sels et des matières en suspension présentes dans les eaux. Ce procédé, très efficace, permet d'éliminer de 95% à 99% des particules présentes dans l'eau et d'en diminuer nettement la dureté. L'osmose inverse peut être considérée comme une nanofiltration. Cette technique permet la séparation en taille de composants de l'ordre du nanomètre

3.4 Membranes de l'osmose inverse :

Les membranes sont le plus souvent fabriquées en acétate de cellulose ou en polymères de synthèse (polyamides, polysulfures).

Les membranes sont caractérisées par leur qualité de stabilité chimique de stabilité thermique (important facteur pour les utilisations biologiques où il y a stérilisation en autoclave), de stabilité microbiologique (dégradation bactérienne pour les membranes en acétate de cellulose) et de résistance mécanique. Leur coût intervient dans 40 à 50 % de l'investissement d'une unité d'osmose inverse.

Pour être mises en œuvre les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire.

On trouve trois types de modules principaux:

- 🚰 **module spiral** : Les membranes planes sont enroulées en spirale autour d'un tube creux et perforé destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage plastique de 0,8 à 1,2 mm

d'épaisseur, qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux. (Fig 5)

Le schéma ci-dessous représente le module spiral :

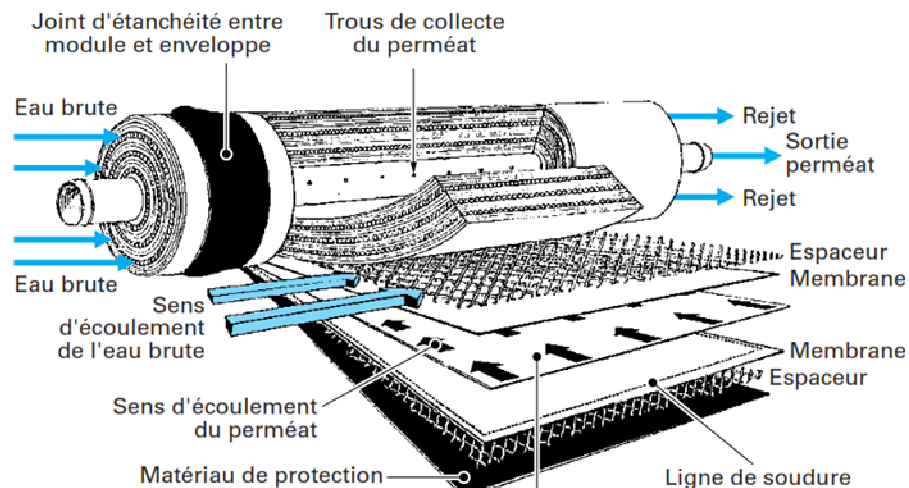


Figure 5 : Schéma d'une membrane à module spirale
de perméat

- module tubulaire:** Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. Le diamètre du tube est compris entre 7 et 25 mm et le plus souvent 12,5 mm. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Le tube est soit poreux, soit perforé de trous pour permettre l'évacuation du perméat. (Fig 6)

Le module tubulaire est représenté dans le schéma suivant :

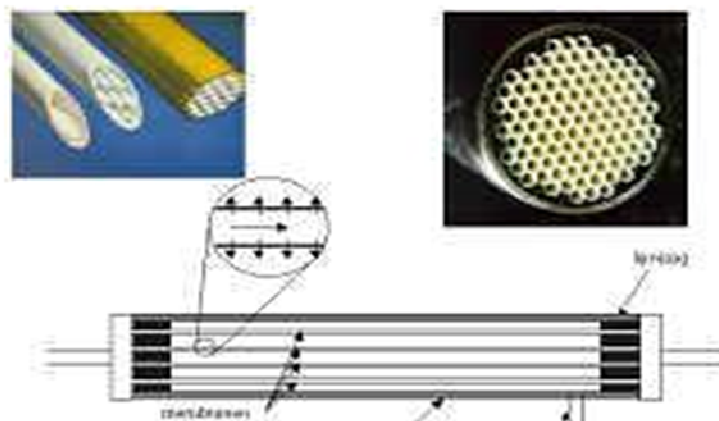
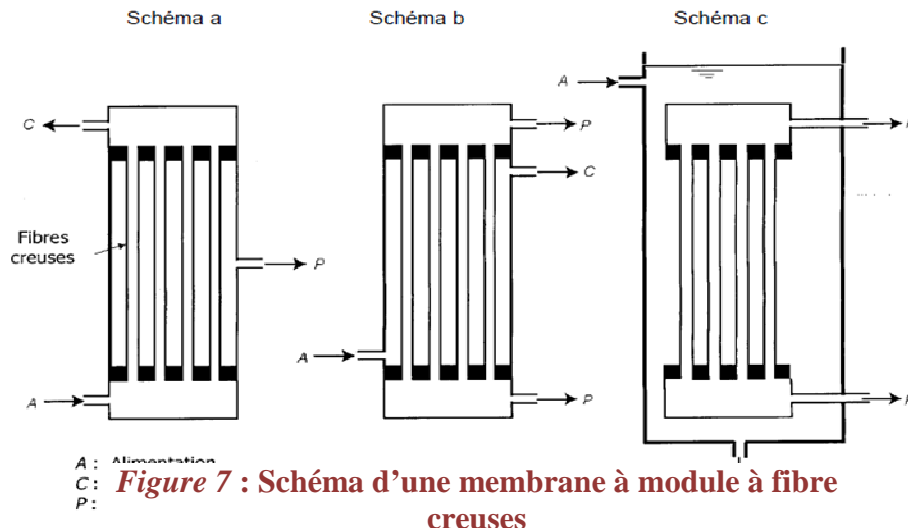


Figure 6 : Schéma d'une membrane à module tubulaire

- module à fibres creuses:** Ces modules peuvent être considérés comme des modules tubulaires composés de tubes de petit diamètre compris entre quelques millimètres et quelques dizaines de microns. Mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un

support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres tandis que le concentrât est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à une des extrémités du module. (Fig 7)

Le schéma suivant représente le module à fibre creuses :



Partie III : Description de l'unité U70A

Unité d'osmose inverse

1. Rôle de l'unité U70A dans la raffinerie SAMIR:

L'unité d'osmose inverse a été implantée par le groupe TERMOKIMIK CORPORATION dans la raffinerie pour procurer de l'eau d'appoint répondant aux caractéristiques des eaux de refroidissement des unités d'Upgrade.

L'utilisation de l'eau de mer sans traitement préalable, ou plus précisément sans la dessaler, peut avoir un impact négatif sur le matériel des unités d'Upgrade, en effet cette eau peut causer l'entartrage des échangeurs ce qui diminue leur efficacité, elle peut aussi corroder le matériel ce qui entraîne sa destruction, ceci n'est guère favorable pour la société.

La rentabilité de l'eau osmosée en comparaison avec l'utilisation de l'eau de ville a été démontrée par une étude antérieure. En effet, le coût de production d'un m³ de l'eau osmosée est de 5,15 DH contre 7 DH pour l'eau de ville, ce qui démontre le bénéfice économique de l'utilisation de la technique d'osmose inverse.

L'unité d'osmose inverse est destinée à produire un débit de 150m³/h d'eau osmosée, 40 à 50 m³ sont destinés au refroidissement des unités de l'Upgrade, le reste si sa conductivité ne dépasse pas les 4µS/cm il sera mélangé avec de l'eau déminéralisée de l'unité U90 où la déminéralisation est réalisée par des résines, cationiques et anioniques, échangeuses d'ions.

Si les membranes de l'osmose inverse subissent un colmatage et la conductivité de l'eau osmosée dépasse 5µS/cm les 100m³ restés seront mélangés avec l'eau de service pour subir une déminéralisation. L'eau déminéralisée est utilisée dans les chaudières sans laisser de trace de tartre ou de corrosion.

2. Prétraitement au niveau de l'arrivée de l'eau de mer :

2.1 Caractéristiques de l'eau de mer d'entrée:

Tableau 2 : Composition de l'eau de mer de l'entrée

<i>Composé</i>	<i>Concentration</i>
Ca ²⁺	530 mg/L
Mg ²⁺	1320 mg/L
Na ⁺	11000 mg/L
K ⁺	350 mg/L
Cl ⁻	19860 mg/L
Sulfate SO ₄ ⁻	2890 mg/L
Bicarbonate (HCO ₃)	140mg/L
Silicate (SiO ₂)	5,6 mg/L
Fe	0,12 mg/L
Oxygène dissout (O ₂)	7 mg/L
Total des solides dissouts (TSD)	36150 mg/L
Conductivité à 25°C	55700 µS/cm
Turbidité	3 NTU
pH	8,2
Température (Min/Norm/Max)	15/20/25°C

2.2 Dessablage de l'eau :

L'eau de mer avant d'être acheminée vers l'unité d'osmose inverse nécessite un prétraitement pour éliminer dans un premier temps la matière de grand diamètre et les sables existant :

- ✓ Le premier bassin c'est le casse vague qui permet de casser la vitesse des vagues arrivant de la mer,
- ✓ puis un deuxième passage par deux bassins de tranquillisation qui font diminuer la vitesse de l'eau, et qui permettent de dégager l'air.
- ✓ Deux bassins rectangulaires de dessablage chacun comporte un pont qui fait un mouvement horizontal le long du bassin. Le pont est équipé de deux pompes immergées verticalement dans le bassin de l'eau pour aspirer le sable et le refouler pour le décharger dans la mer.
- ✓ Injection d'un biocide dans les bassins de dessablage pour tuer les crustacés et les algues pour éviter leur dépôt sur le dégrilleur. Ce biocide est injecté chaque 2 jour.

- ✓ L'eau passe après dans un dégrilleur. Pour enlève les déchets les plus gros. Ces déchets sont pressés et essorés. La partie sèche tombe dans une benne.
- ✓ L'eau passe par la suite dans quatre filtres rotatifs, un système qui sépare l'eau des grains de sable restant.

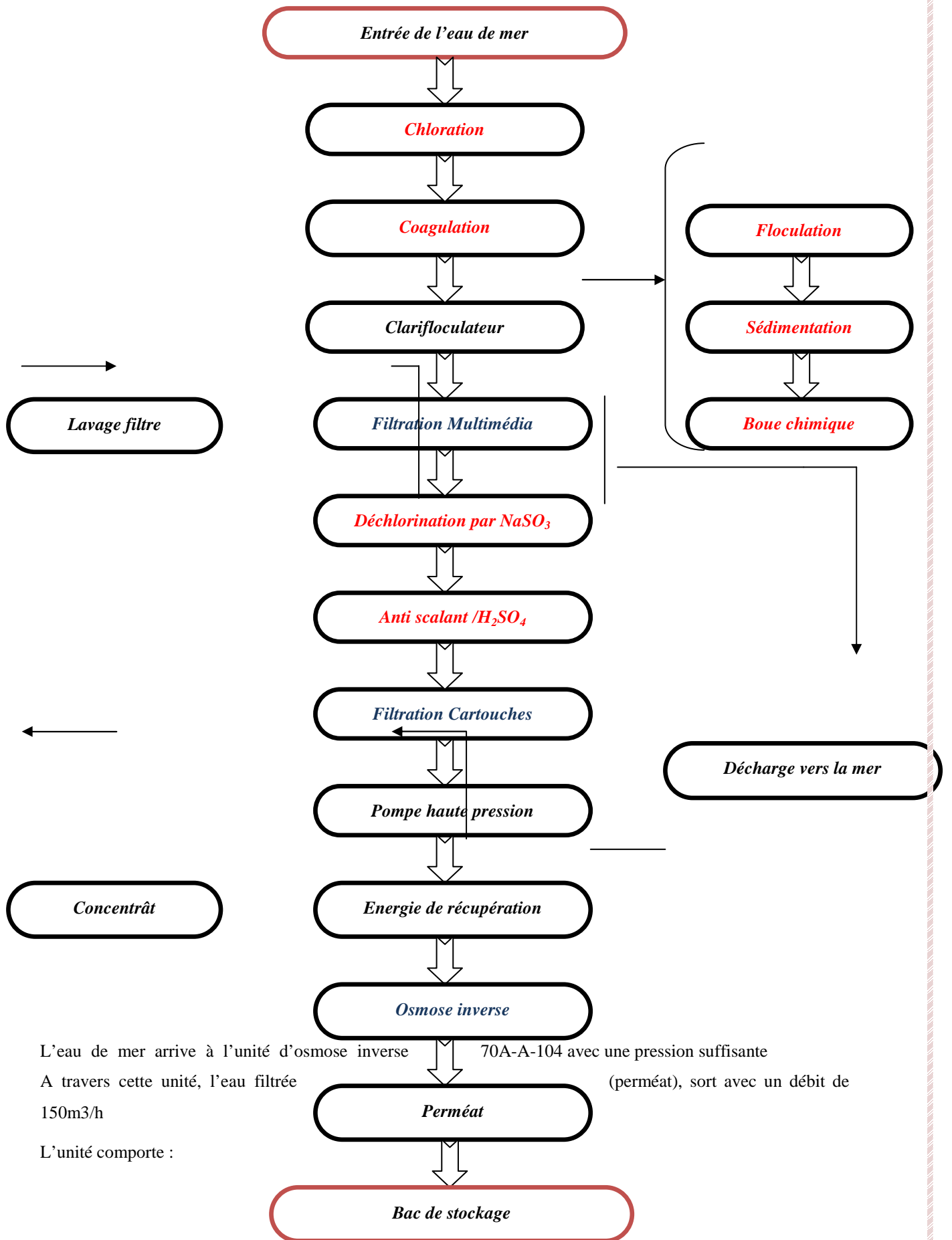
3. Description de l'unité d'osmose inverse (U70A) :

En pratique l'osmose inverse est précédée d'un prétraitement poussé de l'eau de mer pour en éliminer les matières en suspension dont le dépôt est préjudiciable à la membrane en entraînant à son niveau des chutes de débits de l'eau dessalée.

L'eau de mer avant de passer par les membranes d'osmose inverse subit deux types de traitements :

- ***Un traitement chimique*** : à son arrivée à l'unité, l'eau de mer subit une désinfection par injection de l'eau de Javel (NaClO) pour éliminer les algues qui se déposent dans les canalisations et constituent un obstacle pour la circulation de l'eau ainsi il faut éviter tout développement biologique dans l'eau d'alimentation c'est pour cela l'injection de NaClO se fait dès la prise d'eau, puis au niveau du bassin clarifloculateur cette eau subit une coagulation-floculation et une décantation pour diminuer sa turbidité.
- ***Un traitement physique*** : Passage par des filtres pour éliminer les particules les plus fines.

La figure ci- dessous rassemble les principales étapes de l'unité d'osmose inverse U70A :



L'eau de mer arrive à l'unité d'osmose inverse
 A travers cette unité, l'eau filtrée
 150m3/h

L'unité comporte :

70A-A-104 avec une pression suffisante

(perméat), sort avec un débit de

- Un clarifloculateur,
- Quatre filtres multimédia fonctionnant en parallèle,
- Trois filtres à cartouche fonctionnant en parallèle,
- Trois trains (chaines) d'osmose inverse première étage fonctionnant en parallèle,
- Trois trains (chaines) d'osmose inverse deuxième étage fonctionnant en parallèle.

Le mode de fonctionnement de l'unité peut se faire par trois modes :

- ↪ **Mode automatique** : tous les équipements de l'unité sont sous contrôle de SNCC (système numérique de contrôle-commande). L'action de l'opérateur est souvent minimisée
- ↪ **Mode étape par étape** : toutes les vannes/équipements restent en SNCC, dans ce cas l'opérateur peut démarrer ou arrêter chaque étape.
- ↪ **Mode manuel** : toutes les vannes/équipements sont commandées manuellement par l'opérateur

En principe le mode de fonctionnement de l'unité de l'osmose inverse est entièrement automatique. Le mode étape par étape ou le mode manuel sont réservés en cas du premier démarrage ou de maintenance.

3.1 Le clarifloculateur :

Le but du clarifloculateur c'est d'éliminer les matières solides en suspension (décantable et non décantable) contenues dans l'eau de mer et donc diminuer la turbidité de l'eau.

Pour ce fait, on se base sur trois processus élémentaires :

- ✓ Coagulation,
- ✓ Flocculation,
- ✓ Décantation.

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de flocculation.

3.1.1 La coagulation :

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Les particules colloïdales qui ont la particularité d'être chargées électro-négativement, engendrent des forces de répulsions inter-colloïdales alors elles sont déstabilisées par addition du chlorure ferrique (FeCl_3).

Ce coagulant, par des mécanismes d'agrégation ou d'adsorption, annule les forces répulsives ou agit sur l'hydrophilie des particules colloïdales. Ainsi, les particules neutralisées ne se repoussent plus et forment de minuscules flocs qui ont une vitesse de décantation extrêmement faible que l'on peut même considérer comme nulle.

3.1.2 La floculation :

La floculation permet de s'attaquer au problème du faible diamètre de colloïdes. Le véritable souci est en fait la masse, qui ne permet pas une sédimentation naturelle et exploitable dans le cadre d'un traitement.

La solution exploitée par la floculation est de provoquer, grâce à l'ajout de floculant, une agglomération des particules colloïdales.

Par la suite, cet agglomérat des colloïdes appelé floc dispose d'une masse suffisante pour pouvoir se décantier.

Le floculant ajouté est généralement un polymère, c'est un polyélectrolyte qui va jouer le rôle de colle entre les colloïdes.

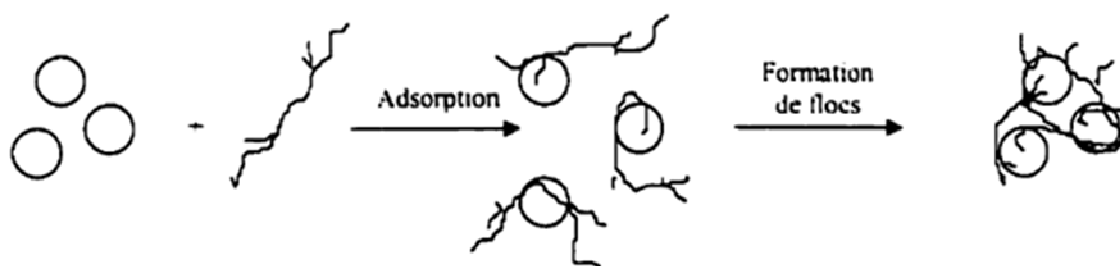


Figure 8 : Schéma représentatif du phénomène de coagulation-floculation

3.1.3 La décantation :

La décantation est une technique de séparation par gravité au moyen de laquelle des particules en suspension qui sont plus lourdes que l'eau se déposent. Ce procédé peut être appliqué lorsque la concentration des particules en suspension varie de très faible à très forte.

La boue formée par décantation dans le clarifloculateur est extraite régulièrement par des pompes et envoyée vers la station de traitement. La mise en service et l'arrêt de ces pompes sont contrôlés par le facteur temps, en effet après chaque heure les lignes d'extraction de la boue doivent être obligatoirement flashées par l'eau de service, pour ne pas boucher les conduites et par conséquent bloquer les pompes.

L'eau claire déborde du clarifloculateur sous l'effet de la gravité dans le bassin de l'eau clarifiée, cette eau passe par la suite par les filtre multimédia.

3.2 Les filtres multimédia :

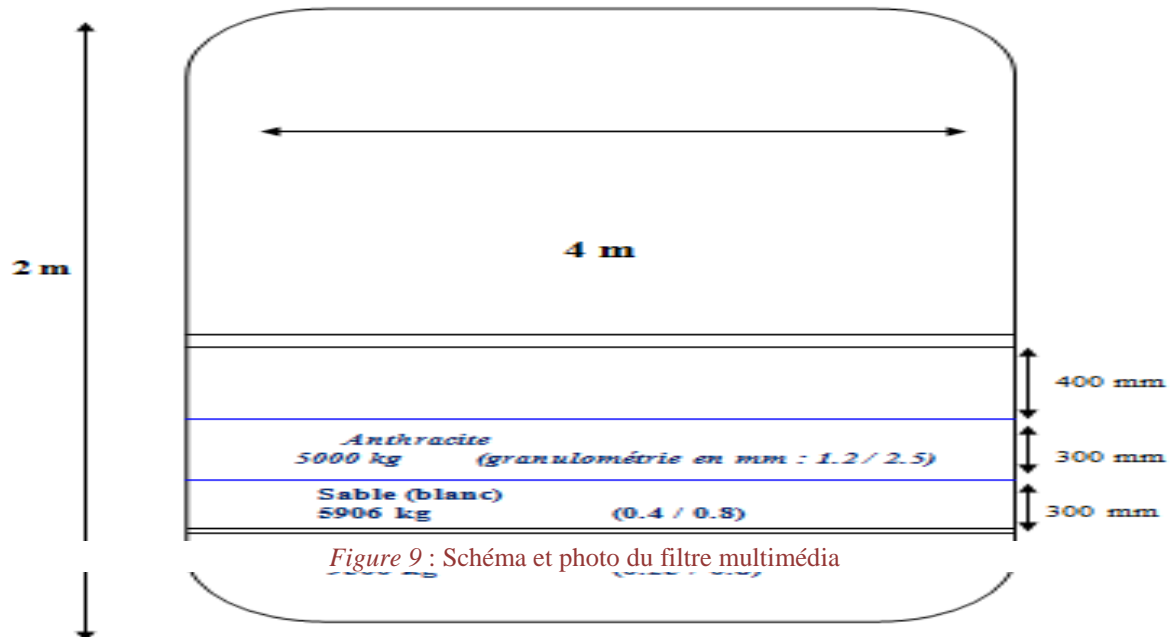
La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle a pour but d'obtenir une clarification poussée de l'eau par élimination des dernières particules en suspension, des coliformes qui n'auront pu être retenues par le décanteur, ces filtres jouent un rôle fondamental sur l'efficacité de ce procédé.

L'unité osmose inverse comporte quatre filtres multimédia connectés et travaillent en parallèle. Durant la phase de la production ces filtres retiennent les matières solides en suspension et les micro-flocs résiduels arrivés du bassin de l'eau clarifiée.

Périodiquement, il est nécessaire de faire une séquence de lavage des filtres multimédia.

3.2.1 Description du filtre multimédia :

La filtration est assurée dans la partie cylindrique du filtre d'une hauteur de 2m et de 4m de diamètre. Cette partie comporte trois couches constituées de charbon actif (anthracite), sable blanc et sable rouge. La partie inférieure du cylindre comporte un plateau en plastique où se fixent les crépines (des tamis).



Durant la phase de la production de l'eau osmosée inverse, les quatre unités multimédia (MMF) travaillent en parallèle, le débit unitaire de la sortie du clariflocculateur sera divisé par le nombre des filtres en service.

La consigne de débit de chaque filtre est commandée par une boucle de régulation comme suite :

$$F_{Iset} = [Q_{feed}(A) + Q_{feed}(B) + Q_{feed}(C)] / n$$

Avec :

- ↪ $Q_{feed}(A)$ = débit alimentaire osmose inverse de la chaîne **A**, étage 1.
- ↪ $Q_{feed}(B)$ = débit alimentaire osmose inverse de la chaîne **B**, étage 1.
- ↪ $Q_{feed}(C)$ = débit alimentaire osmose inverse de la chaîne **C**, étage 1.
- ↪ $n = 4$ c'est le nombre de filtres multimédia MMF en service.

Le débit horaire sorti du bassin eau de mer clarifiée est de l'ordre de **400 m³/h**. Donc le débit de chaque filtre est **100m³/h**. Lorsqu'un filtre entre en séquence de lavage, le débit sera divisé par les 3 filtres restant en service soit **133 m³/h** chacun on aura ainsi comme nouvelle consigne de débit : $F_{I}'set = F_{I}set / (n - 1)$

3.2.3 Phase de lavage des filtres MMF:

L'eau provenant du bassin de l'eau clarifiée passe à travers ces filtres multimédia, les grosses particules, les composés organiques et les traces du chlore libre Cl₂, sont retenues par les grains du sable (rouge et blanc) et l'anthracite (charbon actif) existant à l'intérieur de ces 4 filtres.

Donc il est impératif de lancer périodiquement une séquence de lavage pour ces filtres multimédia (MMF) si l'une des conditions est valable :

- ↪ La différence de pression du filtre = 1bar.
- ↪ Le total du volume traité = 2400m³.

On résume ainsi quatre séquences de lavage consécutives :

- Drainage ou vidange partielle du filtre.
- Détassage avec l'air.
- Détassage avec l'eau de concentrât.
- Déplacement ou rinçage final avec l'eau de mer clarifiée.

3.3 Les filtres à cartouche :

L'eau du réseau passe par la suite par les filtres à cartouches. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de plus petites tailles qui n'ont pas été retenues par les filtres multimédia. Avant ceci, trois injections sont effectués :

- ↪ Bisulfite de sodium (NaSO_3) : son rôle est la déchloration, en effet les membranes osmotique ne supportent pas la mise en contact avec le chlore, sa réduction sera donc réalisée immédiatement en amont de l'osmose.
- ↪ Anti scalant : il a pour rôle de protéger les membranes.
- ↪ L'acide sulfurique qui a pour rôle de neutraliser le pH de l'eau.

Des pompes haute pression permettent ensuite d'injecter l'eau de mer prétraitée dans le module d'osmose inverse.

3.4 Osmose inverse :

3.4.1 1^{er} étage chaines A/B/C :

L'osmose inverse 1^{er} étage chaines A/B/C inclut 3 chaines (trains d'échange contenant les membranes osmotiques) connectées en parallèle qui ont pour but de traiter l'eau de mer clarifiée et filtrée. Chaque chaine osmotique inverse 1^{er} étage est alimentée par une pompe haute pression, le perméat produit par ces 3 chaines est directement envoyé vers un bac de stockage intermédiaire, normalement 2 chaines sur 3 sont en services l'une est choisie comme chaine principale son débit de production est constant, alors que l'autre est choisie comme chaine secondaire et est contrôlée par le niveau du bac de stockage intermédiaire.

3.4.2 2^{ème} étage chaines D/E/F :

L'osmose inverse 2^{ème} étage, contient trois chaines (**trains**) connectées en parallèle **D/E/F**. Chaque chaine est alimentée par une pompe haute pression à partir du bac de stockage intermédiaire, le perméat produit par le deuxième étage osmose inverse est stocké dans un bac final. Dans la marche normale, on a deux chaines en service ; l'une est principale, l'autre est secondaire pendant que la troisième est en état d'attente de réserve.

Partie IV : Partie expérimentale

Dans cette partie, nous allons essayer de déterminer la dose optimale du coagulant et du floculant par des essais effectués au laboratoire SAMIR.

1. Problématique :

A la lecture de la description du procédé, on aura compris que le point critique de l'osmose inverse est le prétraitement. Une mauvaise qualité de l'eau prétraitée réduit la durée de vie des membranes qui représentent une part importante de l'investissement, en effet on peut considérer l'osmose inverse comme un procédé de filtration à l'échelle moléculaire. Toute particule de dimension supérieure à la molécule d'eau sera donc retenue par la membrane osmotique. C'est évidemment le cas des matières en suspension et colloïdales et les sels minéraux présents dans l'eau. Leur accumulation à la surface de la membrane provoque une baisse continue de la qualité de l'eau en terme de la salinité et donc on remarque que l'eau osmosée sort avec une conductivité relativement élevée.

Si ce phénomène est sous-estimé, il aboutit rapidement, dans le pire des cas, à un colmatage irréversible des membranes, l'objectif du prétraitement est donc de réduire autant que possible le pouvoir encrassant de l'eau.

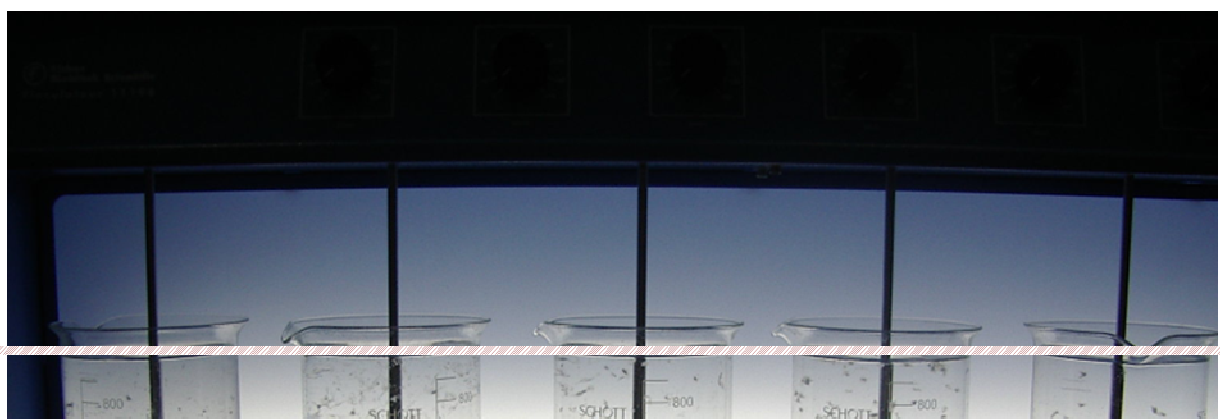
L'encrassement et entartrement des membranes sont les deux problèmes majeurs à résoudre au niveau du prétraitement pour maximiser leur durée de fonctionnement.

La maîtrise du prétraitement implique des compétences en physico-chimie, car l'étape la plus radicale et qu'il faut bien assurer sa maîtrise c'est la coagulation-floculation au niveau du clarifloculateur.

Pour ce fait, il faut déterminer la dose optimale du coagulant et du floculant ainsi que les paramètres intervenant dans ce phénomène, ceci sera développé dans la partie qui suit de ce rapport.

2. Principe de l'expérience Jar Test :

La détermination de ces grandeurs en laboratoire est réalisée par ce qu'on appelle le jar test. Il consiste en une rangée de béchers de 1L alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béchers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floccs les plus gros et les mieux décantés. Concernant les vitesses d'agitation, la seule certitude est que la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide (afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent) et que la floculation - quant à elle - nécessite une vitesse relativement lente (afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés)...



3. Matériel et méthode :

- ↪ L'appareil Jar Test composé de 5 bécher de 1L chacun.
- ↪ Turbidimètre de type

Les réactifs utilisés sont :

- ↪ L'eau de mer de l'entrée.
- ↪ Chlorure ferrique FeCl_3 (coagulant).
- ↪ Polyélectrolyte (polymère floculant).

4. Résultats et interprétation :

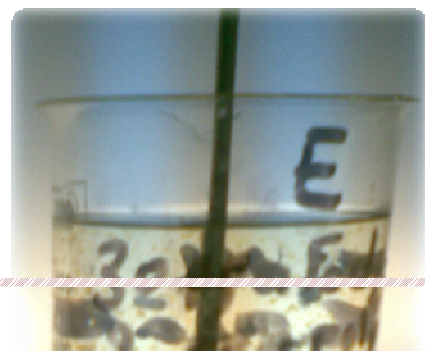
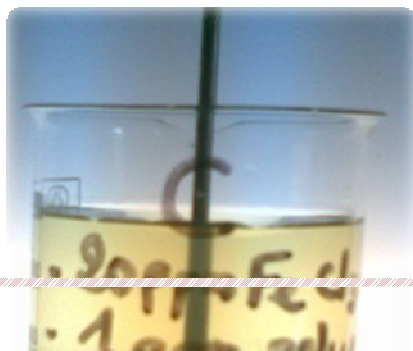
4.1 Détermination de la vitesse de coagulation :

Dans cet essai nous allons essayer de déterminer la vitesse avec laquelle on aura l'apparition de micro-flocs, c'est-à-dire la vitesse à partir de laquelle on aura le phénomène de coagulation.

La [coagulation](#) nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide, alors nous allons préparer quatre béchers avec quatre vitesses différentes que l'on va laisser sous agitation pendant 10min :

N° du bécher	1	2	3	4
Dose du FeCl_3 (ppm)	4	4	4	4
La vitesse d'agitation (tr/min)	20	40	60	80

Résultat :



On rem *Figure 12 : Vitesse d'agitation 20, 40, 60* 40 et 60
tr/min.

Figure 13 : vitesse d'agitation 80 tr/min.

qu'il n'y a pas formation de micro-flocs car il n'y a pas eu un bon contact entre les cations métalliques (Fe^{3+}) et les colloïdes.

En ce qui concerne la vitesse d'agitation 80 tr/min, on remarque qu'il ya formation de micro-flocs.

Conclusion : De cet essai on conclut que la vitesse à partir de laquelle la coagulation doit être réalisée est 80 tr/min ; à partir de cette vitesse et pendant le temps fixé à 20min les colloïdes entre en contact avec les cations métalliques Fe^{3+} et se neutralisent mutuellement pour former de micro-flocs qui grâce à la floculation vont devenir des macro-flocs.

4.2 Détermination de la dose optimale du coagulant :

Pour ce fait, nous allons procéder à trois essais de coagulation. La dose optimale est celle injectée dans le bécher où il y a formation de la plus grande quantité de micro-flocs.

Les doses injectées dans le 1^{er} essai sont aléatoires, les autres essais vont se baser sur ses résultats.

L'agitation a été fixée à 80 tr/min pendant 10min :

Essai N°1 :

N° du bécher	1	2	3	4	5
Dose du FeCl_3 (ppm)	2	3	4	5	6

Nous avons remarqué que le bécher où il y a la plus grande formation des micro-flocs est le bécher n°2 avec une dose de FeCl_3 de 3 ppm.

Essai N°2 :

N° du bécher	1	2	3	4	5
Dose du FeCl_3	3	3,5	4	4,5	5

(ppm)					
-------	--	--	--	--	--

Nous avons remarqué que le bécher où il y a la plus grande formation des micro-flocs est le bécher n°1 avec une dose de FeCl₃ de 3 ppm.

Essai N°3 :

N° du bécher	1	2	3	4	5
Dose du FeCl ₃ (ppm)	1	1,5	2	2,5	3

Nous avons remarqué que le bécher où il y a la plus grande formation des micro-flocs est le bécher n°5 avec une dose de FeCl₃ de 3 ppm.

Conclusion : Ces essais nous ont permis de déterminer la dose optimale du coagulant, or les béchers contenant une dose de 3 ppm de FeCl₃ se sont caractérisés par une formation importante de micro-flocs, ce n'est pas le cas dans les bécher contenant des doses inférieures à 3 ppm ce qui explique qu'il est important d'ajouter le coagulant en quantité suffisante pour produire le volume de floc nécessaire.

4.3 Détermination de la dose optimale du floculant :

Nous avons fixé la dose du coagulant à 3 ppm, dans ce qui suit nous allons déterminer la dose du floculant.

Pour ce fait, nous allons procéder à deux essais de floculation. La dose optimale est celle injectée dans le bécher où il y a la plus faible valeur de turbidité qui sera mesurée à l'aide d'un turbidimètre après une décantation qui va durer 20min

Les doses injectées dans le 1^{er} essai sont aléatoires, l'autre essai va se baser sur ses résultats.

L'agitation a été fixée à 10 tr/min pendant 20min, la floculation nécessite une agitation moins rapide afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les flocs déjà formés :

Essai N°1 :

N° du bécher	1	2	3	4	5
Dose du FeCl ₃ (ppm)	3	3	3	3	3
Dose du polyélectrolyte	1	2	3	4	5

(ppm)					
Turbidité (NTU)	7,3	6,4	7	8,1	8,4

Nous avons remarqué que le bécher où il y a la plus faible valeur de turbidité est le bécher n°2 avec une dose de coagulant FeCl_3 de 3 ppm et de floculant de 2 ppm.

Essai N°2 :

N° du bécher	1	2	3	4	5
Dose du FeCl_3 (ppm)	3	3	3	3	3
Dose du polyélectrolyte (ppm)	0,5	1	1,5	2	2,5
Turbidité (NTU)	8	7,3	5,1	6,4	7

Nous avons remarqué que le bécher où il y a la plus faible valeur de turbidité est le bécher n°3 avec une dose de coagulant FeCl_3 de 3 ppm et de floculant de 1,5 ppm.

Conclusion : Ces essais nous ont permis de déterminer la dose optimale du floculant, or le bécher contenant une dose de **1,5 ppm** du polyélectrolyte est caractérisé par la plus faible valeur de turbidité (5,1 Nephelometric Turbidity Unit).



Figure 14 : Photo présentant la décantation des floes formés.

Conclusion générale :

L'unité de traitement des eaux par osmose inverse U70A est bénéfique pour la société, si et seulement si, son fonctionnement se déroule dans de bonnes conditions.

En effet si le prétraitement est mal maîtrisé, la durée de vie des membranes osmotiques est réduite, or les membranes sont très onéreuses, ceci représente une perte pour la société.

D'après les essais de Jar Test effectués dans ce travail nous avons conclu que les doses optimales du coagulant et du floculant qui assurent un bon rendement du clarifloculateur sont :

- ↳ Pour le coagulant (FeCl_3) : 3 ppm.
- ↳ Pour le floculant (polyélectrolyte) : 1,5 ppm.

Effectivement, les résultats présentés dans la partie expérimentale concorde parfaitement avec le dosage effectué au sein de l'unité U70A d'osmose inverse, donc on conclut que cette unité est bénéfique pour la société car elle fournit une eau pure de conductivité faible capable de protéger les équipements contre la corrosion.

Finalement ce stage m'a permis d'acquérir plusieurs connaissances sur le raffinage du pétrole, ainsi après ma rapide intégration dans l'équipe, j'ai eu l'occasion de réaliser plusieurs tâches au sein du laboratoire de la SAMIR qui ont constitué une mission de stage globale et cela m'a permis de bien me confronter aux difficultés réelles du monde du travail.