



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : INDUSTRIES PÉTROCHIMIQUES
Option: GÉNIE PÉTROCHIMIQUE

THÈME

Intitulé du sujet

Etude de réutilisation des eaux de saumure des évaporateurs d'utilité 1
(Zone 3) comme eau d'appoint au sein du complexe RA1/Z

Présenté par

- 1- Limam Mohammed Amine
- 2- Souane Towfik

Soutenu le/06/ 2025 devant le jury composé de :

Président :

Université de Mostaganem

Examineur :

Université de Mostaganem

Rapporteur :

Université de Mostaganem

Co-rapporteur :

Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

Dédicace

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,
L'amour, le respect, la reconnaissance,
C'est tout simplement que :*

Je dédie cette mémoire de fin de formation à

Ma chère mère et mon cher père :

*« Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
L'estime et le respect que j'ai toujours pour vous ».*

A l'ensemble de toute ma famille,

Ainsi qu'à mes amis

A mes collègues de la promotion 2019.

Dédicace

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,
L'amour, le respect, la reconnaissance,
C'est tout simplement que :*

Je dédie cette mémoire de fin de formation à

Ma chère mère et mon cher père :

*« Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
L'estime et le respect que j'ai toujours pour vous ».*

A l'ensemble de toute ma famille,

Ainsi qu'à mes amis

A mes collègues de la promotion 2019.

Remerciements

En premier lieu, je remercie le bon Dieu, de nous avoir données la force de mener ce travail jusqu'à la fin, comme je tiens à adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à l'élaboration de ce mémoire.

En deuxième lieu, je tiens à remercier évidemment mes encadrant

Dr Zineb Fares

Pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail. Nous citons

Dr Feddal Imane

Dr Benotmane Saadiya

Nous ne saurions oublier de remercier vivement

Toutes les personnes du groupe Sonatrach

RA1/Z à Arzew,

Qui nous ont beaucoup aidé lors de nos stages pratiques et de notre recherche, ainsi que

Et toutes les personnes de cette unité chacun par son nom.

A la fin, nous tenons à remercier du fond de cœur tous ceux qui nous ont soutenus durant toutes la durée de le recherche et en particulier, nos chers parents, nos amis et collègues.

merci, merci...

Merci



المخلص

يعرض هذا العمل إمكانية إعادة استخدام مياه المحلول الملحي الناتجة عن المبخرين 32B101 و 32B102 كمياه تغذية إضافية، داخل مجمع مصفاة أرزيو في المنطقة 3 (مرفق 1). ولهذا الغرض، قمنا بمقارنة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه المحلول الملحي مع المياه الخام للوحدة 32 ومعايير جودة المياه المطلوبة. ولغرض خفض درجة حرارة مياه المحلول الملحي، تم تصميم مبادل حراري من نوع أنبوب-غلاف يعمل في اتجاه معاكس. حيث يتدفق السائلان (المحلول الملحي الساخن ومياه التبريد الباردة على التوالي داخل الأنبوب والغلاف. بعد ذلك، تم إجراء محاكاة لهذا المبادل الحراري باستخدام برنامج **Aspen EDR** من أجل تأكيد نتائج حسابات التصميم. كما أُجري تقييم اقتصادي بهدف تحديد كمية المياه التي يمكن توفيرها لتقليل تكلفة شراء المياه الخام. وقد أظهرت لنا هذه الدراسة أن إعادة استخدام مياه المحلول الملحي كمياه تغذية إضافية يحقق فائدة كبيرة ويقلل من تكلفة شراء المياه الخام المستخدمة حالياً.

الكلمات المفتاحية : مياه المحلول الملحي، مياه تغذية إضافية، مبخر، مبادلات حرارية، محاكاة، برنامج Aspen EDR

Résumé

Ce travail présente la possibilité de réutilisation de l'eau de saumure des évaporateurs 32B101 et 32B102 comme eau d'appoint, au sein du complexe de la raffinerie d'Arzew dans la zone 3 (utilité 1). A cet effet, nous avons réalisé une comparaison des caractéristiques physico-chimiques des eaux saumures avec l'eau brute de l'unité 32 aux normes de qualité des eaux exigées. Afin de diminuer la température des eaux saumures, on a dimensionné un échangeur de chaleur de type tube, calandre à contre-courant. Les deux fluides chauds (saumure) et froids (eau de refroidissement) circulent respectivement dans les tubes et la calandre. Ensuite, une simulation de l'échangeur a été réalisée avec le logiciel Aspen EDR pour confirmer les résultats des calculs de dimensionnement de ce dernier. Une évaluation économique a été effectuée dans le but de déterminer la quantité d'eau qui peut être économisée afin de réduire la facture d'achat en eau brute. Cette étude nous a montrées que la réutilisation des eaux saumure comme eau d'appoint apporte un gain significatif et réduit le coût d'achat de l'eau brute utilisée actuellement.

Mots clés : Eau saumure, eau d'appoint, évaporateur, échangeurs de chaleur, simulation, logiciel Aspen EDR.

Abstract

This work presents the possibility of reusing brine water from evaporators 32B101 and 32B102 as make-up water within the Arzew refinery complex, specifically in Zone 3 (Utility 1). To this end, a comparison was conducted between the physicochemical characteristics of the brine water and the raw water from Unit 32, in accordance with the required water quality standards. In order to reduce the temperature of the brine water, a counter-current shell-and-tube heat exchanger was designed. The two fluids—hot (brine) and cold (cooling water)—flow respectively through the tubes and the shell. A simulation of the heat exchanger was then carried out using **Aspen EDR** software to validate the sizing calculation results. An economic evaluation was also performed to determine the amount of water that could be saved, thereby reducing the cost of raw water procurement. This study demonstrated that reusing brine water as make-up water provides significant benefits and reduces the cost of raw water currently used.

Keywords: Brine water, make-up water, evaporator, heat exchangers, simulation, Aspen EDR software.

Liste de figures

| | |
|---|----|
| Figure I.1 :lieu de raffinerie en utilisant l'application de l'imagerie par satellite Google Earth | 3 |
| Figure I.2 : Schéma d'organisation de la raffinerie d'Arzew RA1Z..... | 9 |
| Figure I.3 : Plan de Masse de la raffinerie d'Arzew | 9 |
| Figure I.4 : Satellite utilité 1... .. | 10 |
| Figure I.5 : Tour de refroidissement 32E101..... | 12 |
| Figure I.6 : Unité de réception et distribution du fuel gaz | 14 |
| Figure I.7 : Unité 36 de production d'air service et d'air instrument | 15 |
| Figure I.8 : Principe de production d'azote | 16 |
| Figure II.1 : évaporateur 32B101 | 21 |
| Figure II.1 : évaporateur 32B102 | 22 |
| Figure II.3 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse | 23 |
| Figure II.4 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse | 24 |
| Figure III.1 : Différents modes de circulation des fluides..... | 26 |
| Figure III.2 : Différents types d'échangeurs tubulaires..... | 28 |
| Figure III.3 : Schéma typique d'un échangeur tubes calandre..... | 29 |
| Figure III.4 : La calandre d'un échangeur faisceau et calandre..... | 30 |
| Figure III.5 : Plaques tubulaires | 30 |
| Figure III.6 : Disposition des tubes | 31 |
| Figure III.7 : Type de chicane..... | 32 |
| Figure III.8 : Type de chambre de distribution | 32 |
| Figure III.9 : Plaque de protection du faisceau... .. | 33 |
| Figure III.10 : Echangeur de chaleur à tête flottante | 34 |

| | |
|--|----|
| Figure III.11 : Échangeur à boîte fixe | 34 |
| Figure III.12: Echangeurs à tubes en U..... | 35 |
| Figure IV.1: PH mètre-Sonde PH solution..... | 38 |
| Figure IV.2: Appareil de mesure conductivité Micro 800 | 38 |
| Figure IV.3: Variation du pH des eaux saumures et l'eau brute en fonction du temps..... | 42 |
| Figure IV.4: Variation de la conductivité de l'eau brute et l'eau saumure en fonction du temps | 44 |
| Figure IV.5: variation de la dureté totale de l'eau brute et les eaux saumurent en fonction du temps | 45 |
| Figure IV.6 : Variation du teneur en calcium des eaux saumures et l'eau brute en fonction du temps | 47 |
| Figure IV.7 : Variation de TAC de l'eau brute et l'eau saumure en fonction du temps | 49 |
| Figure V.1: Algorithme global de design des échangeurs de chaleur | 51 |
| Figure V.2 : Évolution des températures du fluide chaud et du fluide froid le long d'un échangeur à contre-courant | 52 |
| Figure V.3 : Récupération eau saumure des évaporateurs vers bac 32T602..... | 58 |
| Figure V.4: Schéma du procédé restitué pour simulation par EDR..... | 64 |
| Figure V.5: Données de Process | 64 |
| Figure V.6 : Composition chimique du fluide froid | 65 |
| Figure V.7 : Composition chimique du fluide chaud | 65 |
| Figure V.8: Les caractéristiques géométriques..... | 66 |
| Figure V.9 : Fiche de spécification Data sheet..... | 67 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau I.1 : les capacités annuelles de la production de la raffinerie d'Arzew | 7 |
| Tableau IV.1 : Représentant les spécifications de l'eau brut..... | 36 |
| Tableau IV.2 : Représentant les résultats de l'analyse de la conductivité des eaux (saumure et brute..... | 41 |
| Tableau IV.3 : Représentant les résultats d'analyse de la conductivité des eaux..... | 43 |
| Tableau IV.4 : Résultats de l'analyse de TH des eaux (saumure et brut) | 45 |
| Tableau IV.5 : Résultats de l'analyse de ca^{+2} des eaux (saumure et brute) | 46 |
| Tableau IV.6 : Résultats de l'analyse de TAC des eaux (saumure et brute)..... | 48 |
| Tableau V.1 : Valeurs typiques de coefficient d'échange | 53 |
| Tableau V.2 : choix de l'acier en fonction de la température | 54 |
| Tableau V.3 : choix de l'acier en fonction de l'utilisation..... | 55 |
| Tableau V.4 : Données de bases d'un nouvel échangeur | 58 |
| Tableau V.5 : les Données du dimensionnement d'échangeur avec logiciel EDR..... | 64 |
| Tableau V.6 : comparaison des résultats pour les deux méthodes | 68 |

Liste des Annexes

| | |
|---|----|
| Annexe V.1 : Caractéristique des tubes d'un échangeur | 74 |
| Annexe V.2 : choix du pas | 74 |
| Annexe V.3 : Nombre de tube pas triangulaire | 75 |
| Annexe V.4 : Le choix de l'espacement entre chicanes | 75 |
| Annexe V.5 : Facteur de correction de la différence moyenne de température | 76 |
| Annexe V.6 : L'efficacité de la différence de NUT | 76 |

Sommaire

| | |
|----------------------------|---|
| Introduction Générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA RAFFENERIE D'ARZEW (RA1/Z)

| | |
|--|----|
| I.1. Introduction..... | 3 |
| I.2. Situation géographique | 3 |
| I.3. Présentation des principales installations de RA1/Z..... | 3 |
| I.3.1. Département de production P1 | 3 |
| I.3.2. Département de production P2 | 5 |
| I.3.3. Département de production P3 | 6 |
| I.3.4. Département de production P4 | 6 |
| I.3.5. Laboratoire de contrôle..... | 6 |
| I.4. Capacité de traitement | 7 |
| I.5. Organisation de la raffinerie d'Arzew | 8 |
| I.6. Présentation de la zone 3 (utilité)..... | 9 |
| I.6.1. Unité 31 (production de la vapeur et d'électricité) | 10 |
| I.6.2. Unité 32 (unité de production d'eau distillée) | 12 |
| I.6.3. Unité 33 (tour de refroidissement)..... | 12 |
| I.6.4. Unité 35 (de réception et distribution de gaz naturel riche en méthane) | 13 |
| I.6.5. Unité 36 (Unité de production d'air service et d'air instrument)..... | 14 |
| I.6.6. Unité 37 (production du gaz inerte) | 15 |

CHAPITRE II : PROCEDES DE TRAITEMENT DE L'EAU D'APPOINT

| | |
|--------------------------------------|----|
| II.1. Introduction | 17 |
| II.2. Sources d'eau | 17 |
| II.2.1. Eaux douces de surface | 17 |
| II.2.2. Eaux souterraines..... | 18 |
| II.2.3. Eau de mer..... | 18 |
| II.3. Les eaux saumâtres..... | 19 |

| | |
|--|----|
| II.3.1. Définition..... | 19 |
| II.3.2. Salinité des eaux saumâtres | 19 |
| II.4. Différents procédés de distillation..... | 19 |
| II.4.1. Les procédés thermiques | 20 |
| II.4.1.1. Distillation à détente étagées ou multi flash (MSF)..... | 20 |
| II.4.1.2. Distillation à multiples effets (MED) | 21 |
| II.4.2. Les procédés membranaires | 22 |
| II.4.2.1. L'électrodialyse | 23 |
| II.4.2.2. L'osmose inverse..... | 23 |
| II.5. Conclusion..... | 24 |

CHAPITRE III : GENERALITE SUR LES ECHANGEURS

| | |
|--|----|
| III.1. Introduction..... | 25 |
| III.2. Classification des échangeurs..... | 25 |
| III.2.1. Type de contact | 25 |
| III.2.2. Classement suivant les types d'échange..... | 25 |
| III.2.2.1. Échangeur sans changement de phase..... | 25 |
| III.2.2.2. Échangeur avec changement de phase | 25 |
| III.2.3. Classement suivant la disposition des écoulements | 26 |
| III.3. Les modes de transfert de chaleur..... | 26 |
| III.3.1. La conduction..... | 27 |
| III.3.2. La convection | 27 |
| III.3.3. Le rayonnement..... | 27 |
| III.4. Définition type d'échangeur | 27 |
| III.4.1. Echangeurs à plaques | 27 |
| III.4.2. Echangeurs à tubes | 28 |
| III.5. Échangeur à faisceau et calandre | 29 |
| III.5.1. Les élément échangeur tubes et calandre | 29 |
| III.5.1.1. La calandre..... | 29 |
| III.5.1.2. Les Plaques tubulaires | 30 |
| III.5.1.3. Le Faisceau..... | 30 |
| III.5.1.4. Les chicane | 31 |

| | |
|---|----|
| III.5.1.5. Boîtes de distribution ou chambres de distribution | 32 |
| III.5.1.6. Déflecteurs ou plaque de protection du faisceau..... | 32 |
| III.5.1.7. Les passe | 33 |
| III.5.2. Les types des échangeurs à tubes et calandre..... | 33 |
| III.5.2.1. Echangeur de chaleur à tête flottante | 33 |
| III.5.2.2. Echangeur à plaque tubulaires fixes..... | 34 |
| III.5.2.3. Echangeur à tubes en U..... | 34 |
| III.6. Conclusion | 35 |

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE IV : RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRETATION

| | |
|--|----|
| IV.1. Introduction..... | 36 |
| IV.2. Spécifications techniques de l'eau brut..... | 36 |
| IV.3. Traitement au niveau de laboratoire..... | 37 |
| IV.4. Les méthodes d'Analyse physico-chimique | 37 |
| IV.4.1. Détermination du pH | 37 |
| IV.4.2. Détermination de la Conductivité | 38 |
| IV.4.3. Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH..... | 39 |
| IV.4.4. Détermination du calcium Ca^{2+} | 40 |
| IV.4.5. Dosage de l'alcalinité de l'eau TAC..... | 40 |
| IV.5. Résultats et interprétations | 41 |
| IV.6. Conclusion | 49 |

CHAPITRE V : CONCEPTION D'UN NOUVEL ECHANGEUR

| | |
|---|----|
| V.1. Introduction | 50 |
| V.2 Méthodologie de calcul ε -KERN | 50 |
| V.2.1 Hypothèses de calcul | 50 |
| V.3 Dimensionnement d'un nouvel échangeur de chaleur..... | 51 |
| V.3.1 Méthodologie de design des échangeurs de chaleur..... | 51 |
| V.3.2 Etapes de calcul | 51 |
| V.3.2.1 Données de calcul | 51 |

| | |
|---|----|
| V.3.2.2 Procédure de calcul..... | 52 |
| V.4 Sélection d'un échangeur | 54 |
| V.4.1 Choix de la longueur | 54 |
| V.4.2 Choix du matériau utilisé | 54 |
| V.4.3 Choix du diamètre et d'épaisseur | 55 |
| V. 4. 4 Choix de la disposition | 56 |
| V. 4. 5 Choix de l'orientation du faisceau par rapport à la circulation du fluide côté Calandre | 56 |
| V. 4. 6 Choix du pas..... | 56 |
| V. 4. 7 Estimation du nombre de tubes par calandre..... | 56 |
| V. 4. 8 Nombre de passes coté tubes | 57 |
| V. 4. 9 Choix du pas des chicanes..... | 57 |
| V. 4. 10 Choix des fluides à l'intérieur du faisceau et dans la calandre..... | 57 |
| V. 4. 11 Nombre des unités de transfert NUT..... | 57 |
| V. 4. 12 Rapport des capacités C | 58 |
| V.5 Calcul de conception d'un nouvel échangeur | 58 |
| V.5.1. Etude de la proposition | 58 |
| V.5.2. Données de départ..... | 58 |
| V. 5. 3. Application de la méthode KERN | 59 |
| V. 5. 3. 1. Calcul de la puissance | 59 |
| V. 5. 3 .3 Calcul Différence Logarithmique Moyenne de Température ΔTLM | 59 |
| V. 5. 3 .4 Calcul le Facteur de correction | 59 |
| V.5.3 .5 Calcul $\Delta TLM_{corrigé}$ | 60 |
| V.5.3 .6 Choix de la géométrie de l'appareil..... | 60 |
| V.5.4. Calcul de l'échangeur par le logiciel Aspen EDR..... | 62 |
| V. 5. 4. 1 Calcul d'un échangeur de chaleur par le simulateur ASPEN EDR | 63 |
| V. 5. 4. 2 Vérification de l'échangeur par le logiciel de simulation ASPEN EDR | 63 |
| V. 5. 4 .2. 1. Donnée du dimensionnement | 63 |
| V.5.4.2.2 Les étapes de simulation..... | 64 |
| V. 5. 4 .3 Résultats de la simulation sous forme de data sheet et plan mécanique | 67 |
| V.6 Conclusion..... | 68 |
| V.7 Évaluation économique | 69 |
| V.7.1 Estimation de la quantité d'eau économisé..... | 69 |
| V.8 Conclusion | 70 |

| | |
|--|----|
| Conclusion Générale et Recommandations | 71 |
| Bibliographie | 72 |
| Annexes | 74 |

Liste des abréviations

| | |
|--------------|--|
| JCG | Japan Gazoline Company |
| NAFTEC | Société nationale du raffinage du pétrole |
| SONATRACH | Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures |
| GPL | Gaz de pétrole léquifié |
| LSRN | Naphta léger |
| HSRN | Naphta lourd |
| LGO | Gasoil léger |
| HGO | Gasoil lourd |
| BRA | Brut réduit atmosphérique |
| BRI | Brut réduit importé |
| MEC | Méthyl éthyle cétone |
| MSF | Multi Stages Flash |
| MED | Multi-Effect Distillation |
| pH | Potentiel d'hydrogène. |
| RTO | Région transport ouest |
| GNL | Gaz Natural liquéfié |
| TEMA | Tubular - Exchanger -Manufacture Association |
| BWG | Birmingham Wire Gauge |
| u | Vitesse du fluide |
| ρ | Masse volumique |
| EDR | Exchanger design and rating |
| NUT | Nombre d'unités de transfert |
| ΔTLM | Différence-Logarithmique-Moyenne de température |
| C | Rapport des capacités |
| ΔT | Ecart de température |
| \emptyset | Puissance d'un échangeur |
| N_c | Nombre de chicane |

| | |
|-------|------------------------------|
| C_c | Capacité chaude d'échangeur |
| C_f | Capacité froide d'échangeur |
| S | Surface d'échange |
| TAC | titre alcalimétrique complet |
| TH | titre hydrométrique(dureté) |

Introduction Générale

L'eau est un élément essentiel dans l'industrie du raffinage et de la pétrochimie. Les industriels sont soumis à une pression accrue pour optimiser les coûts et minimiser leur consommation d'eau, tout en réduisant les investissements et en respectant des normes environnementales de plus en plus strictes. Les données les plus récentes sur l'utilisation de l'eau indiquent que le prélèvement total d'eau croît de façon régulière. Les incertitudes que soulève l'avenir des ressources en eau accentuent ce défi en raison d'épisodes climatique extrêmes et des changements du climat, d'une concurrence accrue pour l'accès à des ressources limitées en eau à l'échelle mondiale l'une des solutions réside dans la réutilisation de l'eau, ce qui facilite l'utilisation des effluents industriels traités comme nouvelle source d'approvisionnement tout en réduisant l'évacuation d'effluents pollués dans les eaux réceptrices (mers, océans, rivières, nappes phréatiques...etc). Dans certains cas, la réutilisation de l'eau peut présenter des avantages économiques découlant en partie des économies réalisables sur l'expansion des infrastructures d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées.

Notre stage a été réalisé dans la Zone 3 (Utilité 1) de la raffinerie d'Arzew qui assure le bon fonctionnement des installations de production, en les fournissant de vapeur, électricité, eau de refroidissement, eau distillée, air instrument et air service.

Les évaporateurs 32B101/32B102 produisent l'eau distillée à partir d'eau brute (eau KAHRAMA), l'eau qui reste à l'issue des procédés de distillation appelée eau de saumure est acheminée soit vers égout, soit vers tour de refroidissement. L'objectif dans ce mémoire est d'étudier, la possibilité de réutilisation d'eau saumure comme étant une eau d'appoint dans le bac 32T602.

Pour atteindre cet objectif, outre l'introduction générale, la conclusion, les recommandations et la bibliographie, notre travail se compose de deux parties ; théorique et pratique.

La partie théorique contient les chapitres suivants :

Le premier chapitre : est consacré à une présentation générale de la raffinerie d'Arzew et leur déférent installations, les capacités de traitement et de la production de la raffinerie et une présentation de la zone utilité

Le deuxième chapitre : contient les sources d'eau et les déférents Procédés de de traitement de l'eau d'appoint.

Le troisième chapitre : Explique les déférents types d'échangeur et les modes de transferts.

La partie pratique contient les chapitres suivants :

Le quatrième chapitre : noter les méthodes d'analyse physico-chimique et les résultats avec interprétations.

Le cinquième chapitre : contient une conception d'un nouvel échangeur avec la méthode Kern et une vérification par logiciel ASPEN EDR

Et en termine avec conclusion et recommandation.

Introduction

La raffinerie d'Arzew est l'une des unités la plus productives participant au développement du pays, étant donné que le traitement et la transformation locale des richesses de notre sous-sol apparaissent plus rentables que leur exploitation à l'état brut. RA1Z a été construite dans le cadre du premier plan quinquennal 1970-1973, sa construction a été confiée à la Société japonaise JAPAN GASOLINE CORPORATION (JGC).

- Le démarrage des unités a été lancé à partir du mois de juillet 1972.
- L'ensemble des unités de la raffinerie était en service en mars 1973 [1].

I.2. Situation géographique

La raffinerie d'Arzew est implantée dans la zone industrielle à 2 km d'Arzew, elle occupe une superficie de 170 hectares de la zone industrielle sur le plateau de la localité d'El Mohgoun au carrefour de la route nationale N° 11 (Oran – Arzew) et la route Nationale N°13 (Arzew- Telelat) et à environ 40 km d'Oran



Figure I.1 : lieu de raffinerie en utilisant l'application de l'imagerie par satellite Google Earth.

I.3. Présentation des principales installations de RA1/Z

I.3.1. Département de production P1

Les installations du département P1 sont celles construites en 1970. Elles produisent les carburants, les lubrifiants et les bitumes. Ces installations sont constituées de :

1. **Zone 03 (Utilités)** : Source d'énergie, ses unités approvisionnent la raffinerie en : eau distillée, vapeur, électricité, eau de refroidissement, gaz inerte, air services et instruments. Il comprend les unités suivantes :

- **Unité 31** : Production de la vapeur et de l'électricité [31H1 (60 t/h), 31H2 (60 t/h), 31H3 (120 t/h), 31GTG01 (25 MW)]
- **Unité 32** : Production de l'eau distillée
- **Unité 33** : Circuit d'eau de refroidissement
- **Unité 34** : Station de pompage
- **Unité 35** : Réception et distribution du gaz combustible
- **Unité 36** : Production de l'air instrument et de l'air service
- **Unité 37** : Générateur du gaz inerte (azote)

2. **Zone 04 (Carburants)** : Elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 11** : Unité de distillation atmosphérique « Topping »

Cette unité à une capacité de 3,8 millions de tonnes est calculée pour produire ce qui suit à partir du brut de Hassi-Messaoud (GPL, LSRN, HSRN, LGO, HGO, BRA).

- **Unité 12** : Unité de platforming.
- **Unité 13** : Séparation des gaz « Gas Plant »
- **Unité 17** : Isomérisation des paraffines légères.
- **Unité 65** : La torche

3. **Zone 07 (Production des huiles de base)** :

Elle a pour objectif de produire les huiles de base à partir du brut réduit atmosphérique provenant de l'unité 11 de la zone 4. Elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 21** : Distillation sous vide
- **Unité 22** : Désasphaltage au propane
- **Unité 23** : Extraction au furfural des aromatiques
- **Unité 24** : Déparaffinage au MEC-Toluène
- **Unité 25** : Hydrofinishing

4. **Zone 10 (Production des bitumes)**

Production de bitumes routiers et bitumes d'étanchéité (bitumes oxydé). Cette zone est composée de deux ensembles :

➤ **Unité 14** : Bitumes routiers

Le BRI et l'asphalte récupérés des unités de désasphaltage au propane, sont fractionnés en gasoils sous vide, et en un résidu sous vide obtenu en fond de colonne, lequel est traité dans la section soufflage à l'air pur, pour obtenir du bitume routier (avec contrôle de sa pénétrabilité et son point de ramollissement).

➤ **Unité 15** : Semi-blowing (bitume oxydé)

Cette unité est destinée à produire du bitume à point de ramollissement élevé. Elle traite une charge composée du résidu sous vide et de gazole sous vide lourd venant de l'unité 14, par oxydation poussée avec l'air on obtient du bitume oxydé.

I.3.2. Département de production P2

En 1978, suite aux besoins importants en lubrifiants, la réalisation d'un ensemble de production de 120 000 tonnes/an d'huile de base fut lancée. Il comprend deux Zones :

1. Zone 19 (Utilités) :

Elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 1100** : Production de la vapeur
- **Unité 1200** : Production de l'électricité.
- **Unité 1300** : Tour de refroidissement
- **Unité 1400** : Fuel gaz
- **Unité 1500** : Unité d'air comprimé
- **Unité 1600** : Production de l'eau distillée
- **Unité 1700** : La torche
- **Unité 280** : Production de gaz inerte (azote)

2. Zone 05 (Lubrifiants) : Elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 100** : Distillation sous vide
- **Unité 200** : Désasphaltage au propane
- **Unité 300** : Extraction des aromatiques
- **Unité 150** : HOT OIL
- **Unité 160** : Traitement des eaux acide
- **Unité 400** : Déparaffinage au MEC-Toluène
- **Unité 500** : Hydrofinishing
- **Unité 600** : Hydrotraitement de la paraffine

I.3.3. Département de production P3

Une nouvelle réorganisation des départements de production a ajouté un troisième département qui comprend les zones suivantes :

1. **Zone 06 (Production des huiles finies)** : elle est destinée aux mélanges et conditionnements des huiles finies à partir des huiles de base des unités des lubrifiants et les additifs chimiques importés. Les huiles fabriquées sont des huiles motrices et industrielles. Elle comprend les unités suivantes :
 - **Unité 3000 (les huiles finies)** : Cette unité a pour objectif de fabriquer les huiles finies.
 - **Unité 3100 (Production des huiles finies)** : A pour rôle la fabrication des huiles finies à partir des huiles de base et les additifs chimiques.
 - **Unité 3200** : Préparation et conditionnement des graisses.
 - **Unité 3300** : Conditionnement des paraffines.
 - **Unité 3400, 3500, 3600** : Assurent le conditionnement des huiles finies.
 - **Unité 3900 (Production des huiles finies)** : Conditionnement des huiles et des graisses

I.3.4. Département de production P4

1. Zone 28 (stockage et expédition)

C'est une zone de stockage des matières premières, des mélanges d'expéditions et des produits semi-finis et finis, ainsi que le pétrole brut.

2. Zone 30 (chargement de produits finis)

Cette zone est spécialisée dans le chargement des carburants (essences, gazole...) dans les camions.

3. Zone 27 (Unité 1800) (Station de traitement des effluents)

Le rôle de cette zone est récupérer les eaux usées et les traiter.

I.3.5. Laboratoire de contrôle

Durant toutes les étapes de raffinage au niveau des différentes unités, les produits semi-finis et finis sont soumis selon un programme bien défini à un contrôle de qualité rigoureux au niveau du laboratoire.

Avant tout transfert ou expédition des produits finis, un certificat de qualité attestant la conformité de ce produit aux spécifications arrêtées est établi. Le laboratoire contrôle aussi la qualité des eaux, les rejets et procède aux analyses des différents échantillons spéciaux.

I.4. Capacité de traitement

La raffinerie d'Arzew, après réhabilitation, traite 3,75 millions tonnes par an de pétrole brut de Hassi-Messaoud et 190 960 tonnes par an de Brut réduit importé (BRI) pour la fabrication des bitumes [1].

Les capacités annuelles de production des différentes unités sont représentées dans le tableau (I-1).

Tableau I.1 : les capacités annuelles de la production de la raffinerie d'Arzew.

| Produit | Tonnes/an |
|-----------------|-----------|
| Propane | 26 762 |
| Butane | 121 581 |
| Essence normale | 72 000 |
| Essence super | 392 184 |
| Naphta | 428 361 |
| Fuel | 865 099 |
| Kérosène | 153 569 |
| Gazole | 1 422 139 |
| Huiles de base | 14 605 |
| Huiles finies | 127 100 |
| Graisses | 3 600 |
| Bitumes | 149 113 |

I.5. Organisation de la raffinerie d'Arzew

La raffinerie est organisée et structurée en différents niveaux de responsabilité hiérarchisés selon le schéma d'organisation ci-dessous.

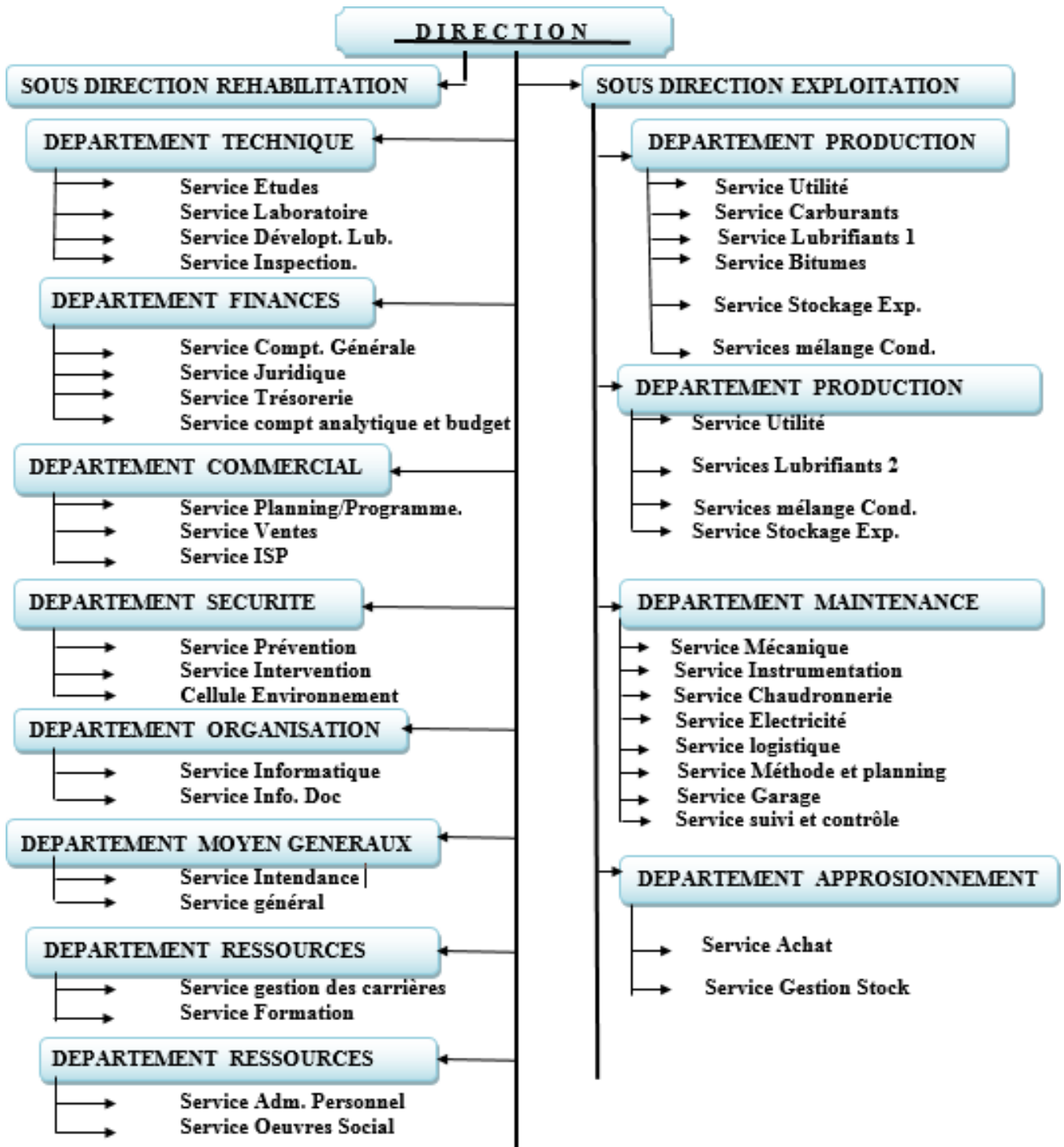


Figure I.2 schéma d'organisation de la raffinerie d'Arzew RA1Z



Figure I.3 : Plan de Masse de la raffinerie d'Arzew.

I.6. Présentation de la zone 3 (utilité)

Pour le bon fonctionnement d'une raffinerie de pétrole, les installations de production ont fourni de vapeur, électricité, eau de refroidissement, eau distillée, air instrument et air service. Ainsi pour assurer ces besoins, on utilise l'eau brute qui arrive de KAHRAMA, il est acheminé à la zone 3 dans laquelle il sera stocké dans le bac T602 d'un volume de 12000 m³ et d'une hauteur de 15 m, en cas de coupure d'eau une réserve de capacité de 30000 m³ est assurée par le bac T603.



Figure I.4: Satellite utilité 1.

Les bacs T602 et T603 alimentent le réseau anti incendie et l'appoint des évaporateurs 32B101 et 32B102 par les pompes 32G1B et 32G2 A/B pour la production d'eau distillée.

La zone 3 comporte 7 unités principales :

- **Unité 31** : unité de production de vapeur, d'électricité et récupération des condensats.
- **Unité 32** : unité de production d'eau distillée.
- **Unité 33** : unité de conditionnement et distribution de l'eau de refroidissement.
- **Unité 34** : station de pompage
- **Unité 35** : unité de réception et distribution de gaz naturel riche en méthane.
- **Unité 36** : unité de production d'air service et d'air instrument.
- **Unité 37** : Générateur du gaz inerte (Azote)

I.6.1. Unité 31 (production de la vapeur et d'électricité)

C'est l'unité de production des utilités motrices pour l'ensemble des installations des zones de production de la raffinerie (P1), elle comporte trois chaudières pour la production de la vapeur 50 kg/cm^2 , une génératrice turbine à gaz d'une puissance 25 MW, et un circuit de récupération des condensats vers le bac d'eau distillée.

L'unité 31 comporte 3 chaudières H1, H2, H3 dont deux sont identiques H1 et H2, elles produisent chacune 62 t/h max de vapeur à une pression de 50 Kg/cm² à une température de 430 °C, la troisième chaudière H3 produit une capacité maximale de 124 t/h, elle est prévue pour remplacer les deux anciennes chaudières. Les chaudières utilisent le fioul gaz comme combustible. Une des principales propriétés de l'eau à l'état liquide, c'est son pouvoir solvant élever vis-à-vis des éléments minéraux et organiques et des gaz, ainsi elle se charge de toutes sortes de substances au cours de son cycle dans la nature.

Le problème de l'alimentation en eau d'appoint des chaudières consiste à étudier deux éléments essentiels pour déterminer le mode de traitement envisagé :

- **L'alcalinité** : elle conditionne le phénomène de primage qui se traduit par un entraînement des gouttelettes d'eau avec la vapeur au-delà de la chaudière.
- **La salinité** : elle est liée aux conséquences du primage, elle doit être limitée pour diminuer au maximum les risques d'entraînement des sels dans la vapeur.

En conclusion un mauvais traitement d'eau d'alimentation de chaudière crée des perturbations causées par les phénomènes de l'entartrage, le primage et la corrosion suivant la composition des impuretés. Actuellement la raffinerie utilise de l'eau distillée qui est obtenue par condensation de la vapeur produite par ébullition d'eau brute dans les évaporateurs. Bien que l'eau distillée ne contienne pas d'impuretés dans la plupart des cas, elle contient des gaz dissous.

Afin d'éliminer ses gaz dissous cause majeurs de la corrosion dans la chaudière, l'eau distillée doit être conditionnée avant d'alimenter cette dernière.

Le conditionnement se fait suivant les étapes suivantes :

- **Traitement thermique** : consiste en un dégazage thermique pour éliminer CO₂ et O₂ en présence de la vapeur à basse pression.
- **Traitement chimique** : c'est un complément du dégazage thermique, il consiste à injecter un réducteur d'O₂ le (Na₂SO₃) dans le but d'éliminer les traces d'oxygène qui en reste après le traitement thermique.

I.6.2. Unité 32 (unité de production d'eau distillée)

L'eau brute véhiculée par les pompes 32-G2A /B et / ou 32-G1 01 B, est traitée respectivement au niveau des évaporateurs 32-B101 et/ ou 32-B102 pour la production d'eau distillée, stockée au niveau du bac 32T602 [2].

I.6.3. Unité 33 (tour de refroidissement)

Le circuit d'eau de refroidissement de la raffinerie d'ARZEW est de type semi-ouvert.

L'eau de refroidissement sert à extraire la chaleur du procédé (échange thermique), à refroidir les équipements.

L'air atmosphérique sert de fluide de refroidissement aspiré par cinq grands ventilateurs dans une tour de refroidissement à assure en béton armé.

L'eau refroidie par l'air est aspirée dans un grand bassin pour être envoyée vers les unités de production.



Figure I.5 : Tour de refroidissement 33E101.

L'unité 33 de la raffinerie d'Arzew dispose d'une tour de refroidissement 33E101 d'une capacité de circulation de 5200m³/h ou l'eau chaude arrive à une température de 42°C et part à une température de 27°C. Cette dernière comporte les éléments suivants :

- 5 cellules à 5 ventilateurs aspirants fonctionnement selon le principe à contre-courant.
- Un bassin qui recueille l'eau froide.
- Un garnissage qui comprend un système de distribution d'eau.

Le débit de circulation est assuré par deux pompes, cette eau rencontre en tombant le garnissage, ce qui augmente la surface de contact entre l'eau et l'air aspiré cela permet un meilleur échange thermique, ensuite l'eau refroidit est refoulée à l'aide de la pompe 33G102 vers un ensemble de trois filtres (33k102 A/B/C) à sable ou seulement deux filtres sont en fonctionnement, ce filtrage concerne 10% du volume de bassin et il permet d'éliminer la boue au fond [3].

Le débit de circulation est assuré par deux pompes, cette eau rencontre en tombant le l'eau qui retourne au bassin subit une injection des produits suivants :

- **Hypochlorite de sodium (eau de javel) en injection-choc** : ce type de traitement oxydant est très efficace contre la totalité des constituants organique (algues et bactérie).
- **Traitement avec un biocide de synthèse non oxydant (NALCO 7330)** : les traitements biocide de synthèse sont utilisés en complément du traitement oxydant. Ils permettent de maîtriser le développement bactérien.
- **Traitement bio détergent (NALCO 73550)** : le bio détergent utilisé dans ce traitement est un tensioactif non ionique qui a pour but d'éliminer les dépôts de surfaces encrassées et ainsi renforcer l'action du biocide.
- **Inhibiteur de corrosion (NALCO 3DT227C)** : le principe global du traitement repose sur la combinaison d'inhibiteurs de corrosion cathodique et anodique, d'une action antitartre et de la dispersion des autres minéraux qui pourraient se former [4].

I.6.4. Unité 35 (de réception et distribution de gaz naturel riche en méthane)

L'unité 35 est destinée à réceptionner le gaz naturel riche en méthane en provenance de RTO et le gaz de raffinerie à partir de la zone 04. Les deux gaz sont mélangés dans le ballon 35D1 et distribués à travers les zones de production.

Le gaz naturel arrive à la raffinerie à une pression de 24 kg/cm^2 , après avoir subi une première détente de 45 à 25 kg/cm^2 au niveau du SKID GAZ situé à proximité de la CAMEL.

La température est portée à 50°C dans un réchauffeur à vapeur le 35 E1, avant son entrée au ballon, le gaz est détendu à 3,5 kg/cm².

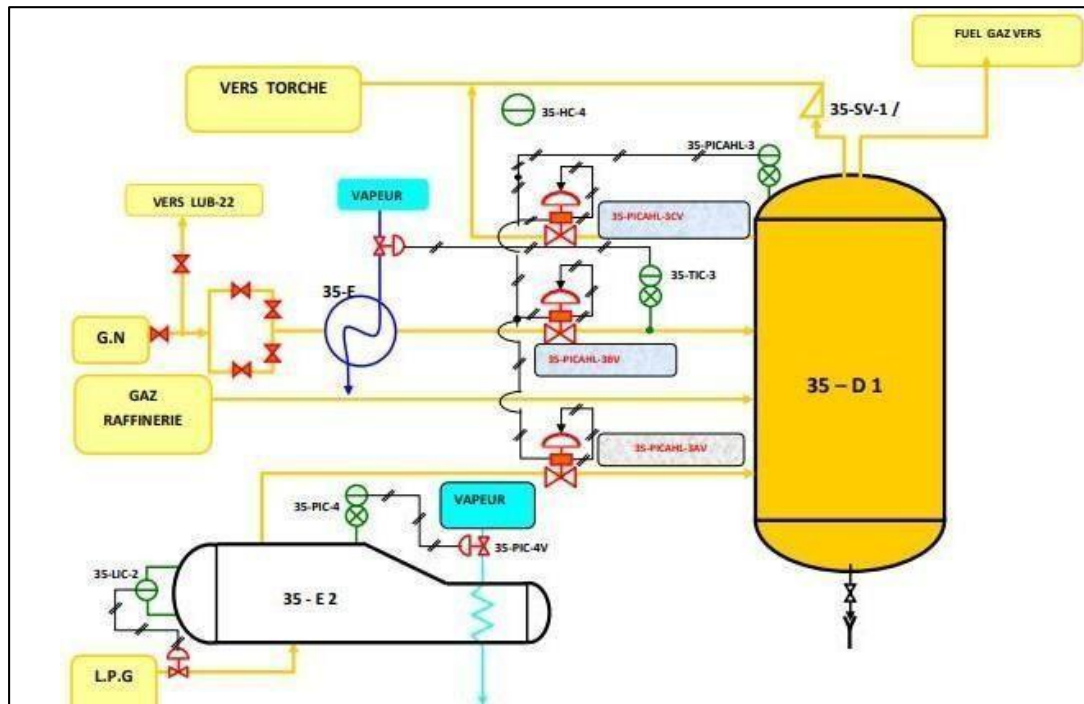


Figure I.6 : Unité de réception et distribution du fuel gaz.

Le gaz en provenance des zones 4 et riche en hydrogène et en propane est introduit directement au ballon.

I.6.5. Unité 36 (Unité de production d'air service et d'air instrument)

La production de l'air se fait à l'aide d'un ensemble des compresseurs à différents types (centrifuges, à piston, à vis).

- L'air service est fourni directement à partir du ballon tampon 36D1.
- L'air instrument pour les organes de contrôles passe à travers un sécheur à base de silicate d'aluminium Al_2SiO_3 dans le but d'éliminer l'humidité qui se trouve dans ce dernier afin d'éviter une condensation dans les instruments à toute température.

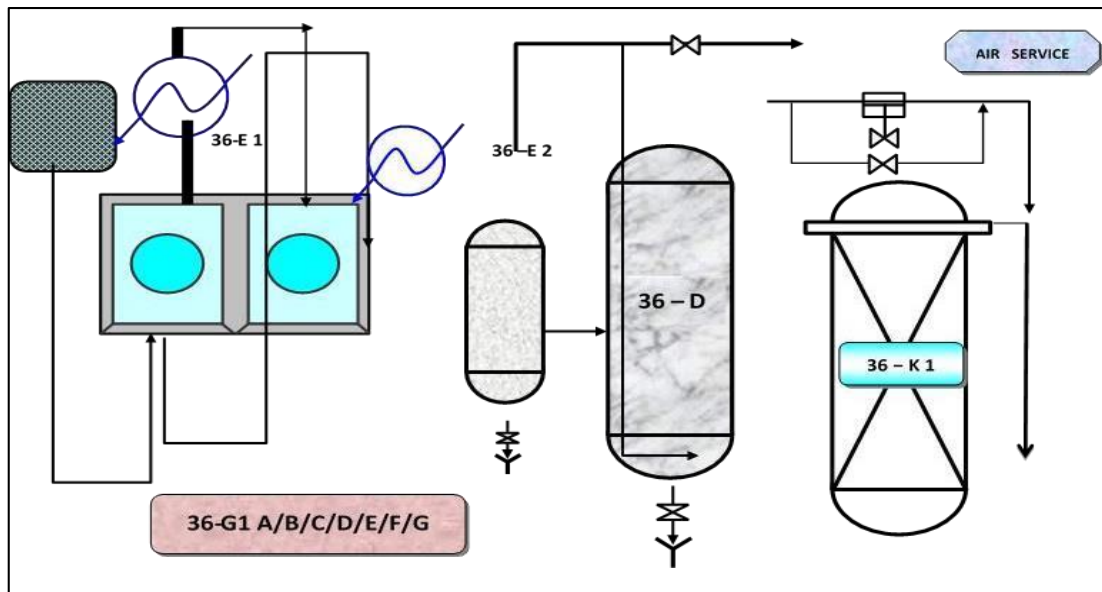


Figure I.7 : Unité 36 de production d'air service et d'air instrument.

I.6.6. Unité 37 (production du gaz inerte)

Cette unité est dotée d'un générateur à membrane qui a pour tâche de produire de l'azote à une pureté de 99,99%. Il est constitué des éléments suivants :

- **Séparateur** : son rôle est de séparer l'air comprimé des condensats et les traces d'huile qui se trouve dans ce dernier.
- **Filtre à air** : il assure le dépoussiérage de l'air comprimé.
- **Sécheur** : son rôle est d'éliminer les traces d'eau restantes dans l'air en utilisant un adsorbant qui est l'alumine activée.
- **Réchauffeur électrique** : Après le traitement de purification de l'air, l'air entre dans le réchauffeur électrique, pour assurer une température constante (40-55°C), car le système de séparation de membrane fonctionne dans certaines conditions de température.
- **Membranes** : Le mélange de deux ou plusieurs gaz à travers la membrane macromoléculaire provoque les différentes vitesses de perméabilité relatives aux différents gaz dans la membrane (en raison de différence sur le taux de dilution et le coefficient de diffusion de différents gaz dans la membrane).

Selon cette caractéristique, les gaz sont divisés en "gaz rapide" et "gaz lent", pour atteindre l'objectif de la séparation des gaz mélangés. La pression est une condition obligatoire dans ce processus, la pression différentielle de part et d'autre de la membrane pour séparer le gaz mélangé.

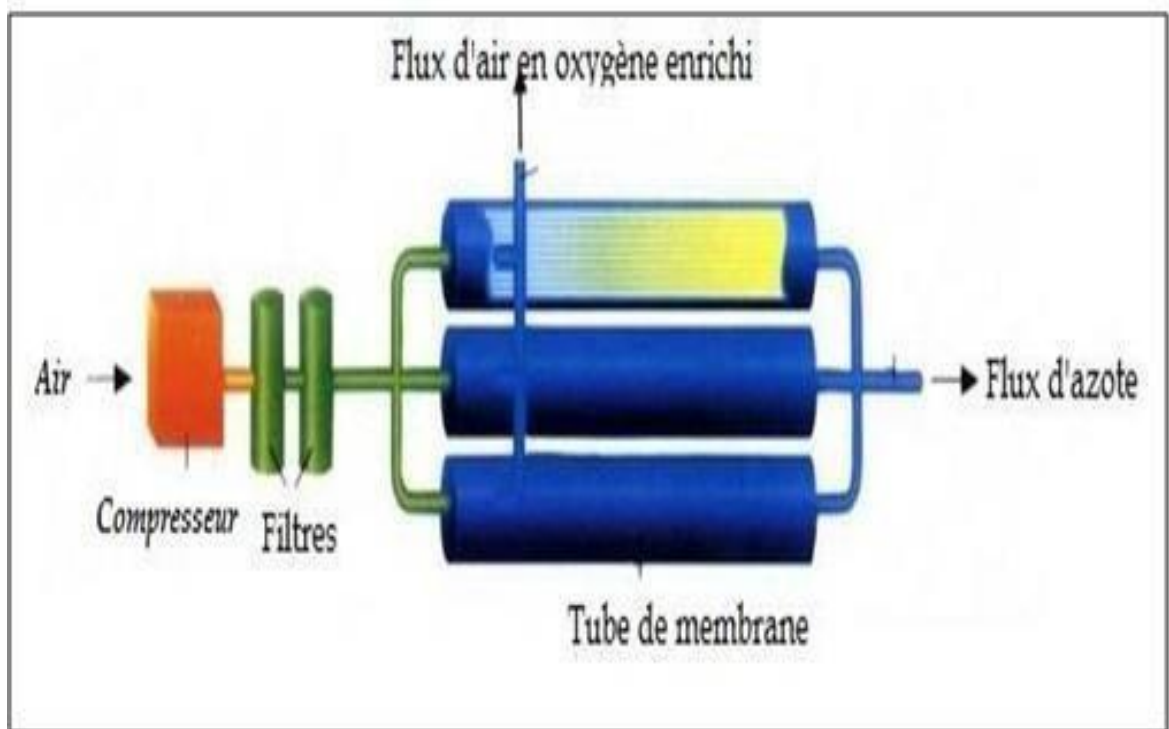


Figure I.8 : Principe de production d'azote.

Pour diminuer la consommation d'eau, il s'agit d'améliorer l'efficacité des équipements et de chaque circuit, et enfin d'optimiser l'implantation globale des réseaux d'eau de la raffinerie, son traitement et son recyclage. Sur le réseau vapeur, l'investissement d'équipement à haut rendement énergétique se traduira par moins d'apport énergétique et par conséquent moins de vapeur. L'élimination poussée des impuretés permet aussi d'optimiser le pouvoir caloporteur de l'eau.

II.1. Introduction

L'eau constitue 71% de la surface de la terre. Cependant, plus de 97% de cette eau est salée, deux tiers de l'eau douce est gelé dans les régions polaires ou les glaciers. Donc, toute la population mondiale doit partager la petite fraction d'eau douce disponible dans les lacs et les rivières. Le coût de production d'eau douce par dessalement, jadis très élevé, a fortement baissé puisqu'il peut atteindre moins de 1 euro/m³ pour des unités de grosse capacité.

La crise de l'eau potable annoncée pour les années 2000-2020 relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalement moins chères, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement.

II.2. Sources d'eau

Les sources d'eau naturelles se subdivisent en trois groupes :

II.2.1. Eaux douces de surface

Leur volume total est très faible : il représente 0,18 millions de km³, soit 0,013 % de l'hydrosphère. Elles sont présentes dans les cours d'eau (ruisseaux, rivières, fleuves) et les lacs. Elles sont très vulnérables à la pollution car elles reçoivent directement les eaux de ruissellement, c'est-à-dire les eaux de pluie ruisselant sur le sol, qui s'infiltrent dans le sol ou dans le sous-sol, ou qui rejoignent un cours d'eau [5].

- a) **Rivières et fleuves** : En très haute montagne, les cours d'eau naissent de la fonte des glaciers. La glace qui fond donne naissance à des ruisseaux ou à des torrents qui glissent sous les glaciers et émergent à leur pied : c'est le régime glaciaire [5].

b) Lacs : Les lacs se forment lorsque les eaux qui coulent le long des pentes, cours d'eau ou eaux de ruissellement, rencontrent un obstacle qui les empêche de poursuivre leur course. Les eaux envahissent alors la dépression ainsi créée, formant des étendues parfois immenses, à tel point que certains grands lacs sont appelés des mers (par exemple, la mer Caspienne : 371 000 kilomètres carrés de superficie). Les lacs sont alimentés par un cours d'eau ou par des eaux de ruissellement et dans certains cas par des eaux souterraines [5].

II.2.2. Eaux souterraines

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches constituant le sous-sol, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable.

Là, les eaux s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé nappe. La roche plus ou moins poreuse et donc plus ou moins perméable contenant cette eau est appelée aquifère. Les eaux souterraines constituant la nappe cheminent en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois sur des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau nommés exutoires. Les nappes souterraines fournissent presque le tiers du débit total des cours d'eau de la planète, soit environ 12000 kilomètres cubes d'eau par an. Les aquifères représentent un réservoir d'eaux souterraines correspondant à un volume d'environ 8 millions de km^3 , soit 0,6 % de l'hydrosphère, Elles constituent notre principale ressource en eau douce [5].

II.2.3. Eau de mer

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans de la Terre. On dit qu'elle est « salée » parce qu'elle contient des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement des ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium. On trouve 30 à 40 g de sels dissous pour 1 kg d'eau de mer. L'eau salée s'oppose à l'eau douce, qui contient moins de 1 g de sels dissous par kilogramme. La masse volumique de l'eau de mer à la surface est d'environ 1,025 g/ml, supérieure de 2,5 % à celle de l'eau douce (1 g/ml) à cause de la masse du sel et de l'électrostriction [6].

II.3. Les eaux saumâtres

II.3.1. Définition

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols.

II.3.2. Salinité des eaux saumâtres

La composition chimique des eaux saumâtres varie énormément d'une région à l'autre et pour une même région d'une saison à l'autre. Ces variations de composition chimique dépendent de plusieurs paramètres : l'eau qui pénètre dans le sol dissout les sels qui composent l'écorce terrestre. Les principaux sels qui peuvent être dissous en assez grandes quantités sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl . Indépendamment de la composition chimique et de la structure physique des roches, d'autres facteurs interviennent également parmi lesquels nous citerons :

- La vitesse de circulation de l'eau et par conséquent le temps de contact
- Les matières déjà dissoutes (la solubilité variant avec la force ionique) : ainsi des eaux chlorurées et gypseuses peuvent contenir en solution des quantités de sulfate de calcium supérieures à la solubilité du sulfate de calcium dans l'eau pure [7].

II.4. Différents procédés de distillation

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué, on distingue :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phase, la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes, l'osmose inverse et l'électrodialyse.

II.4.1. Les procédés thermiques

II.4.1.1. Distillation à détente étagée ou multi flash (MSF)

➤ Évaporateur 32B101

Le 32B101 est un évaporateur de type MSF (Multi Stages Flash) à 5 cellules destiné pour la production d'eau distillée. Le principe de fonctionnement est le suivant :

L'eau d'alimentation ainsi que l'eau de refroidissement passent à travers les tubes de la 5^{ème} et la 4^{ème} cellule, l'eau de refroidissement est envoyée directement à la tour de refroidissement tandis que l'eau d'alimentation est acheminée vers le décarbonater 32D101 après injection de l'acide sulfurique H_2SO_4 pour contrôler le pH à l'intérieur entre 7.2 et 7.5, l'eau dégazée est introduite dans le compartiment de l'étage final (5^{ème} cellule).

Comme sorte d'appoint, un mélange de cette eau et le contenu de ce compartiment constituent une eau salée appelée eau de saumure, elle est aspirée par la pompe de circulation de saumure 32G102 et envoyée à la 3^{ème} cellule, elle passe successivement par les tubes de chaque condenseur jusqu'à l'étage initial, elle constitue par son passage une eau de refroidissement pour condenser la vapeur produite durant le processus de la distillation d'où elle absorbe le maximum d'énergie. Cette saumure est réchauffée dans les tubes du réchauffeur 32E101 par la vapeur ($3kg/cm^2$), jusqu'à une température de $103^\circ C$, ensuite elle est introduite dans le compartiment de la 1^{ère} cellule où la pression est maintenue à une valeur inférieure à la pression de saturation de l'eau à sa température d'entrée, une quantité d'eau s'évapore instantanément et la vapeur s'élève par des séparateurs maillés pour être condensée en passant par les tubes du condenseur. L'excédent d'eau saumâtre s'écoule automatiquement dans l'étage voisin, où il règne une dépression supérieure à celle de l'étage précédent grâce à un éjecteur à 2 phases et un condenseur 32E102, une portion additionnelle de cette eau s'évapore en conséquence et subit un nouveau flash, et le processus continue jusqu'au 5^{ème} [2].

L'eau distillée produite dans la première cellule s'écoule automatiquement dans la cellule suivante et ainsi de suite jusqu'au première ou une pompe d'eau distillée 32G103 l'aspire à travers une cuvette d'accumulation et la refoule vers le bac T601 avec un débit de $40m^3/h$ [2].

L'eau de saumure est soit rejetée vers égouts, soit elle est utilisée comme appoint dans la tour de refroidissement [2].

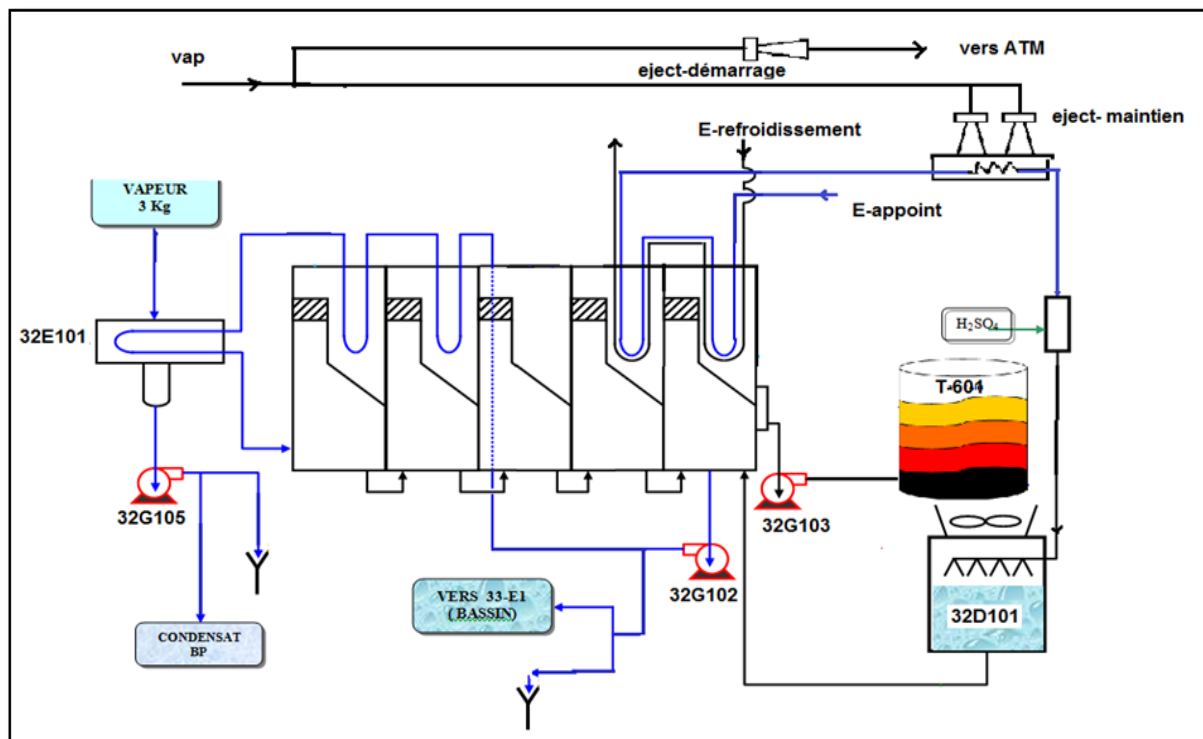


Figure II.1: évaporateur 32B101 détente étagée ou multi flash (MSF)

II.4.1.1. Distillation à multiples effets (MED/TVC)

➤ Évaporateur 32B102

Il produit de l'eau distillée, par le principe de la thermo compression. Il se présente sous la forme d'un bloc partagé en 4 cellules d'évaporation. L'eau brute est introduite dans un condenseur pour un préchauffage. Puis, à la sortie du condenseur on injecte de l'acide sulfurique pour réguler le pH afin d'éviter la formation du tartre, après, une quantité d'eau est pulvérisée dans la 4^{ème} cellule et le reste entre dans l'échangeur de la 3^{ème} cellule, à la sortie de l'échangeur un quart d'eau est pulvérisée dans la 3^{ème} cellule et le reste de l'eau entre dans l'échangeur de la 2^{ème} cellule jusqu'à atteindre la 1^{ère} cellule [2].

Une vapeur d'environ 8 kg/cm^2 va alimenter la 1ère cellule de l'évaporateur à travers le thermo-compresseur cette dernière est envoyée dans les faisceaux de chauffes ou elle se condense, en échangeant suffisamment de chaleur pour vaporiser l'eau brute, la vapeur produite continue son parcours vers les faisceaux de chauffes de la 2^{ème} cellule ou elle échange de l'énergie avec l'eau pulvérisée, l'eau s'évapore et la vapeur se condense, ce processus continue jusqu'aux 4^{ème} cellule ou la condensation se fait par l'eau de refroidissement pour condenser le maximum de vapeur.

La vapeur restante est extraite et comprimée par un thermo compresseur [2].

L'eau distillée produite est récupérée dans les boîtes de vapeurs des 4 faisceaux et transférée par tube, de cellule en cellule, jusqu'au caisson d'aspiration d'eau distillée placé au-dessous du condenseur [2].

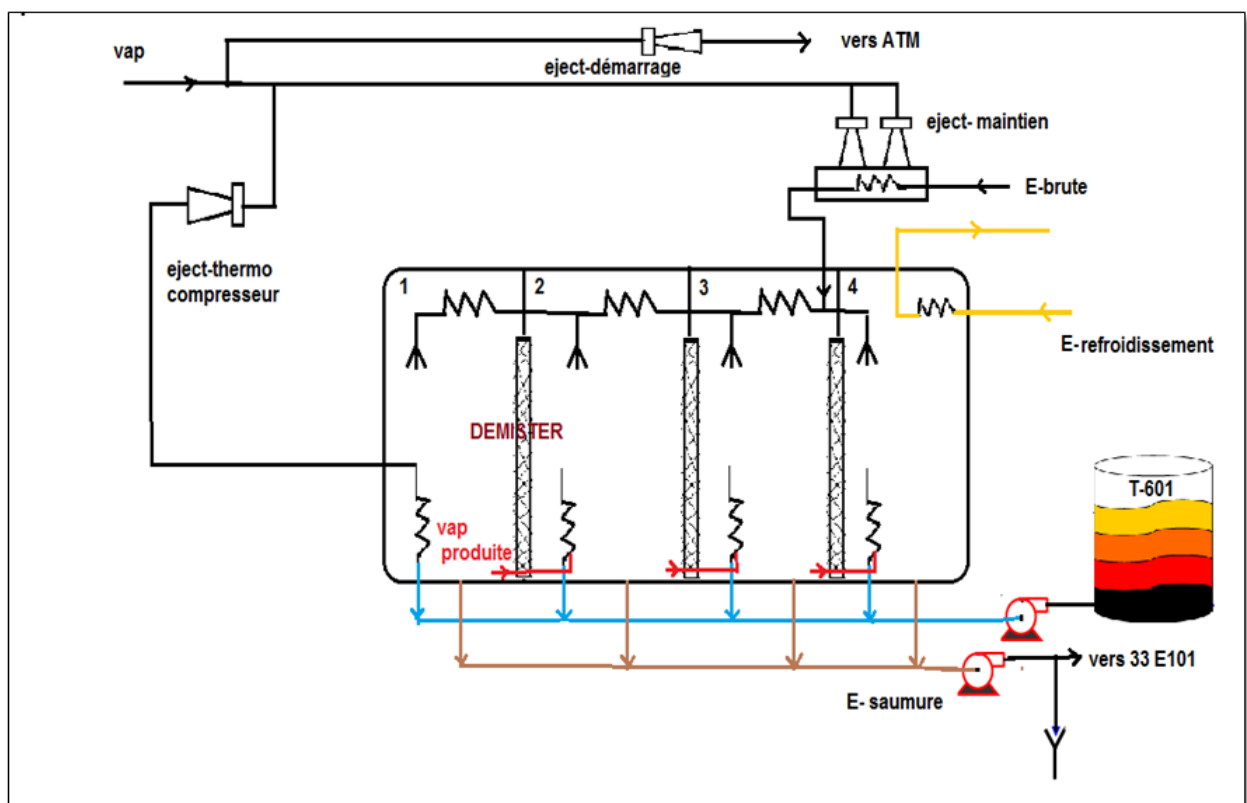


Figure II.2 : évaporateur 32B102 multiples effets (MED/TVC) .

II.4.2. Les procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives.

Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

II.4.2.1. L'électrodialyse

Le principe de l'électrodialyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs, ou cations (par Na^+), sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive. Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit perméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration. L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer. Les membranes utilisées en électrodialyse laissent passer les ions mais sont imperméables à l'eau. C'est exactement l'inverse pour les membranes utilisées en osmose inverse [8].

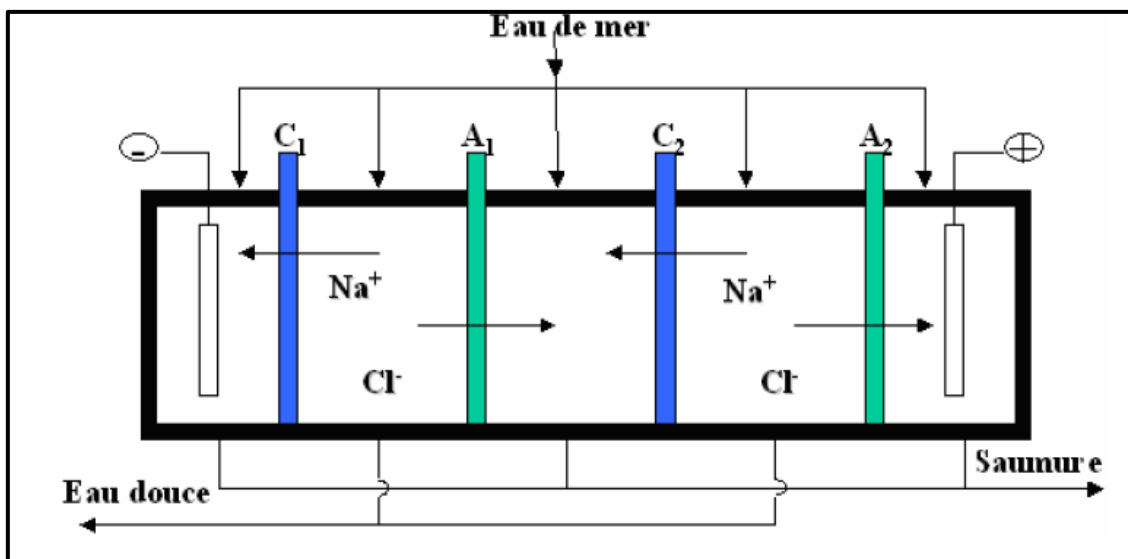


Figure II.3: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.

II.4.2.2. L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau des sels dissouts au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer).

Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et empêchent le passage de particules sels dissoutes et de molécules organiques de 10^{-7} mm. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de $0,5\text{g.l}^{-1}$.

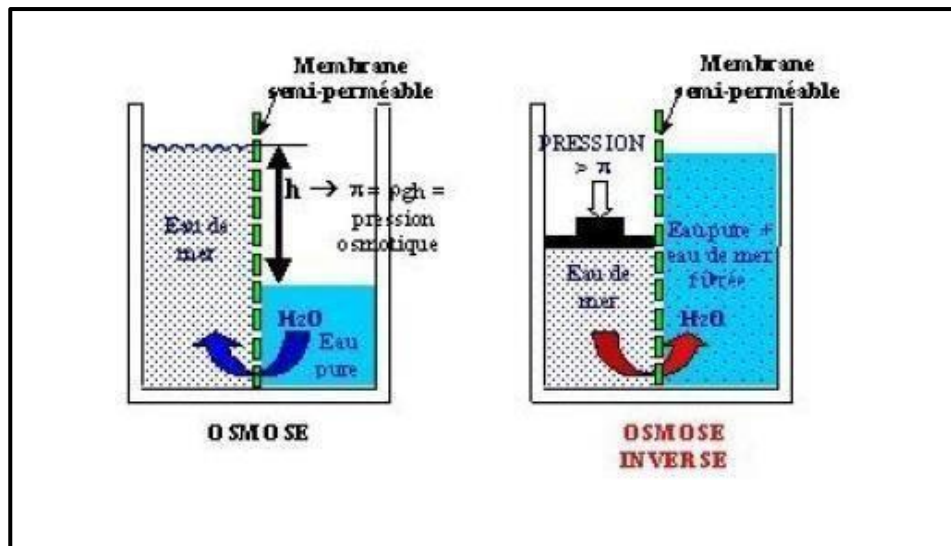


Figure II.4: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.

II.5. Conclusion :

L'eau est un élément essentiel dans la vie mais malheureusement les trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts d'eau salée c'est pour cela les usines de dessalement d'eau de mer deviennent de plus en plus communes sur les littoraux et résoudrait en effet toutes les pénuries d'eau que connaissent beaucoup de pays comme Algérie.

Le dessalement est une technologie d'avenir mais il faut l'utiliser en dernier recours et quand aucune autre solution n'est possible vu ces effets néfastes qu'elle peut avoir sur l'environnement, c'est ce qui va être développé les trois procédés de traitement mentionné précédemment [9].

III.1. Introduction

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement [10].

III.2. Classification des échangeurs

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs.

III.2.1. Type de contact

- **Échangeurs à contact direct** : Le type le plus simple comprend un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale.
- **Échangeurs à contact indirect** : les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi

III.2.2. Classement suivant les types d'échange

III.2.2.1. Échangeur sans changement de phase

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le deuxième fluide sans qu'il y ait changement de phase. Les températures des fluides sont donc variables, tout le long de l'échangeur.

III.2.2.2. Échangeur avec changement de phase

Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents :

- L'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise : ces échangeurs sont rencontrés dans les machines frigorifiques.
- Le fluide secondaire se vaporise en recevant de la chaleur du fluide primaire, le quel ne subit pas de changement d'état. Ils sont appelés évaporateurs.

- Le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, lequel ne subit pas de transformation d'état [11].

III.2.3. Classement suivant la disposition des écoulements

Dans les échangeurs à fluide séparés, les modes de circulation des fluides peuvent se ranger en deux catégories :

- Même sens « co-courants ».
- Sens contraire « contre-courant ».
- Ou bien les vecteurs vitesses sont perpendiculaire l'un à l'autre ; il s'agit cette fois de « courant croisés » [12]

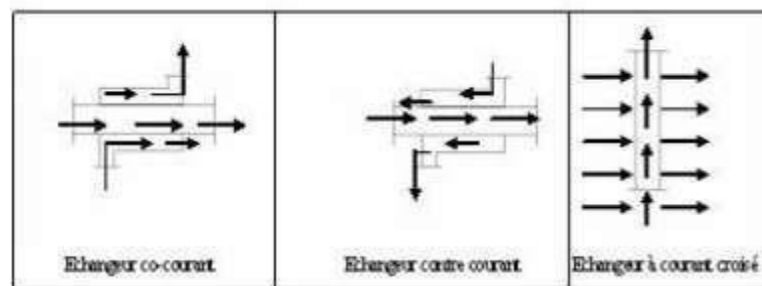


Figure III.1 : Différents modes de circulation des fluides [12].

III.3. Les modes de transfert de chaleur

On définit un transfert de chaleur ou transfert thermique entre 2 corps comme une interaction énergétique qui résulte d'une différence de température entre les deux corps. On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur :

- La conduction thermique (diffusion thermique)
- La convection (libre / forcée)
- Le rayonnement thermique

Ces trois modes sont régis par des lois spécifiques, seuls la conduction et le rayonnement sont les modes fondamentaux de transmission de la chaleur, sachant que la convection est très importante et ne fait que combiner la conduction avec un déplacement de fluide.

III.3.1. La conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La 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.

III.3.2. La convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton on distingue deux types de convection :

- **Convection naturelle** : Dans laquelle le mouvement du fluide est créé par des différences de densité et de température.
- **Convection forcée** : Où le mouvement du fluide est provoqué par des actions mécaniques extérieures (pompe, ventilateur...) [13].

III.3.3. Le rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement, se produit sans aucun moyen. En général, le transfert de chaleur par rayonnement d'une surface à une autre est le rayonnement quittant la première surface pour l'autre, moins celui qui provient de la deuxième surface. Le transfert de chaleur par rayonnement est provoqué par un rayonnement électromagnétique, appelé rayonnement thermique, qui résulte de la température d'un corps. Tout matériau dont la température est supérieure à celle qui dégage de l'énergie radiante

III.4. Différents types d'échangeur

Les principaux types d'échangeurs rencontrés dans l'industrie sont les suivants :

III.4.1. Échangeurs à plaques

À surface primaire ou à surface secondaire (avec des ailettes) Les échangeurs à plaques ont les meilleures performances thermiques. Cependant leur efficacité importante a fait qu'ils sont actuellement largement utilisés pour des applications diverses. On les rencontre dans l'industrie du froid et de la cryogénie, dans l'industrie chimique et pétrochimique, dans l'industrie pharmaceutique, dans l'industrie alimentaire...

III.4.2. Échangeurs à tubes : (monotubes, coaxiaux ou multitubulaires).

Pour des raisons économiques, les échangeurs utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange sont les plus répandus. On peut distinguer trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement, toujours réalisés pour avoir la meilleure efficacité possible pour une utilisation donnée :

a. Échangeur monotube (figure 2a), dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent.

b. Échangeur coaxial (figure 2b), dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés, en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur.

c. Échangeur multitubulaire, existant sous quatre formes :

- **Échangeur à tubes séparés** (figure 2c) : à l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant se trouvent placés plusieurs tubes de petit diamètre maintenus écartés par des entretoises.
- **Échangeur à tubes rapprochés** (figure 2d) : pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale autour de certains d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans
- **Échangeur à tubes ailettes** (figure 2e) : ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique.
- **Échangeur à tubes et calandre** (figure 2f) : c'est l'échangeur actuellement le plus répandu [12].

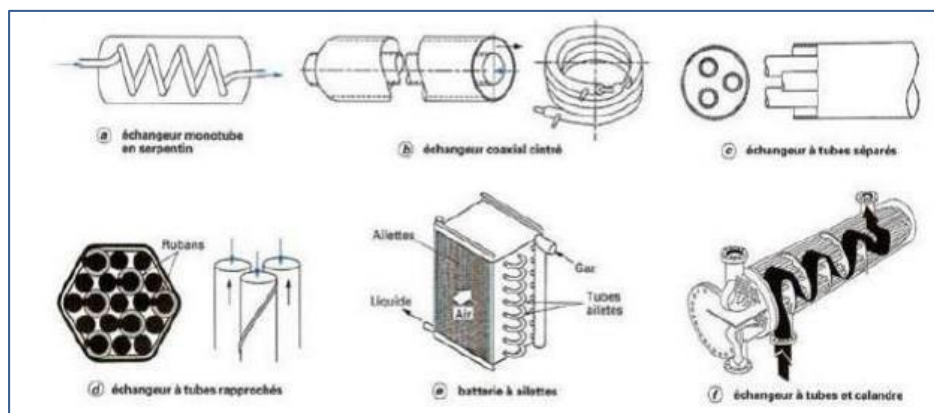


Figure III.2 : Différents types d'échangeurs tubulaires [13].

III.5. Échangeur a faisceau et calandre

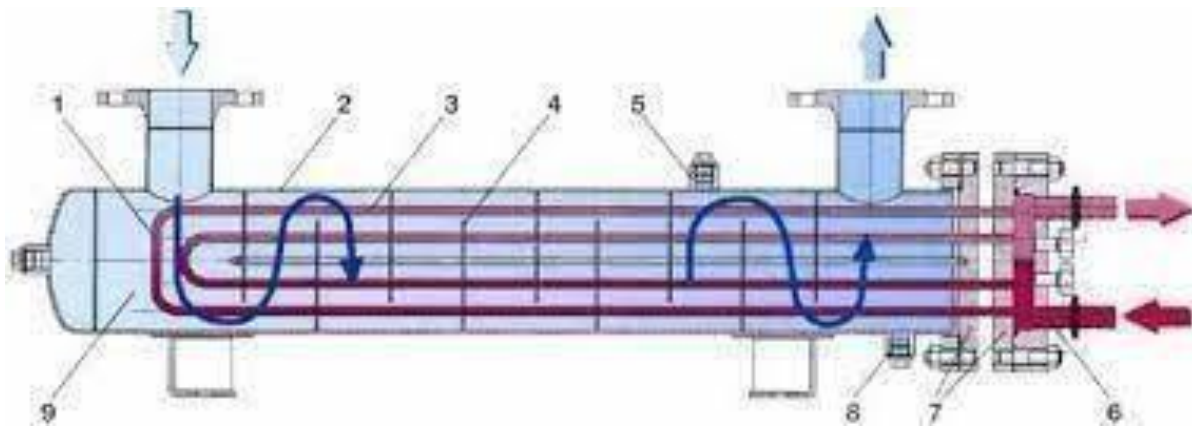


Figure III.3 : Schéma typique d'un échangeur tubes calandre [14].

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

Ce type d'échangeurs est de loin le plus répandu dans les unités de transformations des industries chimiques et pétrochimiques. Un faisceau de tubes est situé à l'intérieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condenseurs, les rebouilleurs et les fours multitubulaires [14].

III.5.1. Les éléments échangeur tubes et calandre

III.5.1.1. La calandre

C'est l'enveloppe métallique entourant le faisceau tubulaire, et généralement l'acier au carbone est le matériau le plus couramment utilisé pour la construction des calandres. Pour un diamètre nominal inférieur à 24 pouce, la calandre est constituée par un tube d'acier, pour des pressions de service inférieures à 20 kg/cm².

Au-delà de 24 pouce la calandre est réalisée à partir de plaques d'acier roulées et soudées chaque extrémité sont soudées les brides qui porteront le couvercle et la boîte de distribution.

Les tubulures d'entrée et de sortie sont soudées avec plaque de renforcement ou non, selon la pression de service. Enfin la calandre pourra être équipée d'anneaux pour le levage et portera la plaque d'identité de l'appareil [15].

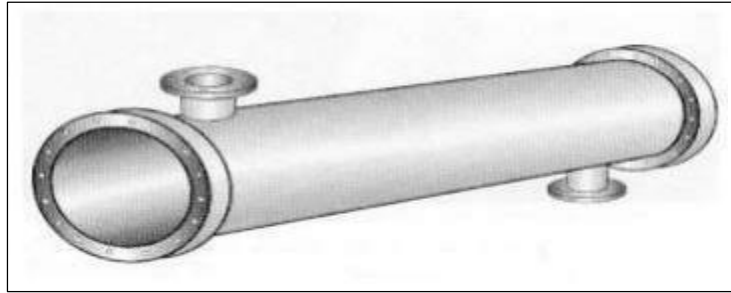


Figure III.4 : La calandre d'un échangeur faisceau et calandre [15].

III.5.1.2. Les Plaques tubulaires

Ce sont des plaques percées supportant les tubes à leurs extrémités, leurs épaisseurs varient entre 5 et 10 cm. Les tubes généralement sont fixés par : mandrinage, dudgeon nage, et par soudage dans les applications à haute pression [14].

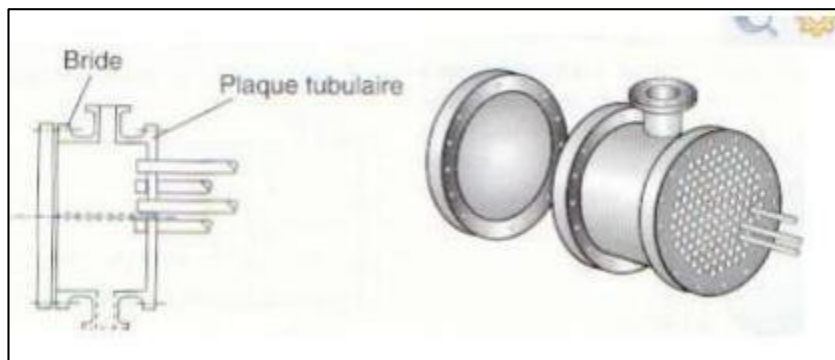


Figure III.5: Plaques tubulaires [14].

III.5.1.3. Le Faisceau

C'est l'ensemble des tubes constituant le faisceau. Les épaisseurs de tubes sont normalisées selon le calibre BWG (Birmingham wire Gage). La perforation des trous dans les plaques tubulaires est normalisée, elle s'effectue selon une disposition soit au pas carré, soit au pas triangulaire. Le pas est la distance centre à centre de deux tubes voisins tubulaires est normalisée, elle s'effectue selon une disposition soit au pas carré, soit au pas triangulaire. Le pas est la distance centre à centre de deux tubes voisins.

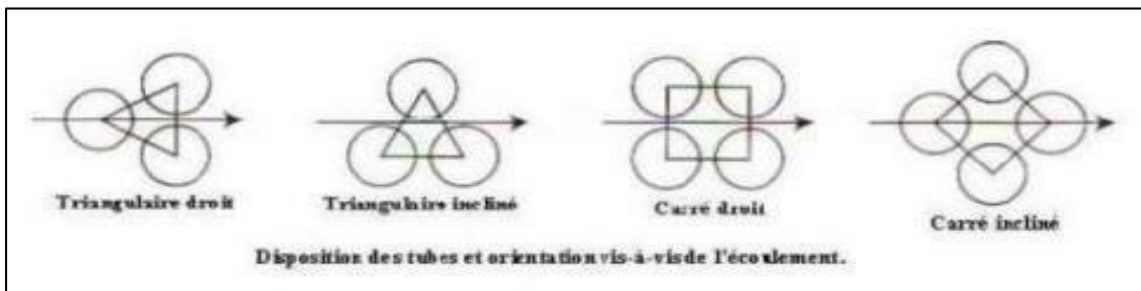


Figure III.6: Disposition des tubes [14].

Le pas triangulaire permet de placer environ 10% de tubes de plus que le pas carré sur une plaque tubulaire de diamètre donné, mais en contrepartie, la disposition des tubes rend impossible leur nettoyage extérieur par insertion de grattoirs ou de racloirs à travers le faisceau. Pour ces appareils, il faut avoir recours au nettoyage chimique et réserver leur emploi pour des fluides propres [14].

III.5.1.4. Les chicanes

Les chicanes peuvent avoir deux rôles :

- Augmenter la rigidité du faisceau, pour éviter les phénomènes de vibration
- Augmenter la vitesse du fluide

Il existe deux types de chicanes

1. Les Chicanes transversales

Sont généralement constituées par un disque ayant un diamètre légèrement inférieur à celui de la calandre et comportant un segment libre dont la surface représente 20 à 45% de la section totale. Ces chicanes ont pour but d'allonger le chemin du fluide circulant dans la calandre, et d'améliorer ainsi le transfert à l'extérieur du tube. Dans le cas des échangeurs horizontaux, une échancrure est aménagée à la partie inférieure des chicanes pour faciliter la vidange et le nettoyage et éviter l'encrassement par stagnation à la partie inférieure. Les chicanes transversales assurent la rigidité du faisceau tubulaire, elles sont solidaires à la plaque tubulaire fixe au moyen de tirant et entretoise qui occupent la place de tube les standards (TEMA) imposent un nombre de tirants entre 4 à 10.

2. Les Chicanes longitudinales

Sont généralement constituées par une simple tôle insérée au milieu du faisceau cette disposition oblige le fluide à effectuer un aller et un retour dans la calandre.



Figure III.7: Type de chicane [14].

III.5.1.5. Boîtes de distribution ou chambres de distribution

La chambre de distribution ou boîtes de distribution permet de distribuer le fluide en vue de réaliser 1, 2, 4, 6 ou 8 passes. Le nombre de passe est généralement limité par la perte de charge admissible. Le second facteur limitant est si la différence de température à l'entrée et à la sortie est importante ; pour une différence de 150 °C une seule passe s'impose [14]



Figure III.8: Type de chambre de distribution [14].

III.5.1.6. Déflecteurs ou plaque de protection du faisceau

Pour éviter ou du moins minimiser l'érosion de tube du faisceau, des déflecteurs de protection peuvent être installés faces aux tubulures d'entrée du fluide côté calandre, l'obligation de leur mise en place est définie dans les standards (TEMA), en fonction de la nature de l'état du fluide et du produit ρu^2 (ρ : masse volumique, u vitesse du fluide).

Ces déflecteurs, d'une épaisseur de l'ordre de 1/2in, sont circulaires, carrés ou rectangulaires, soudés sur des tirants ou entretoise [14].

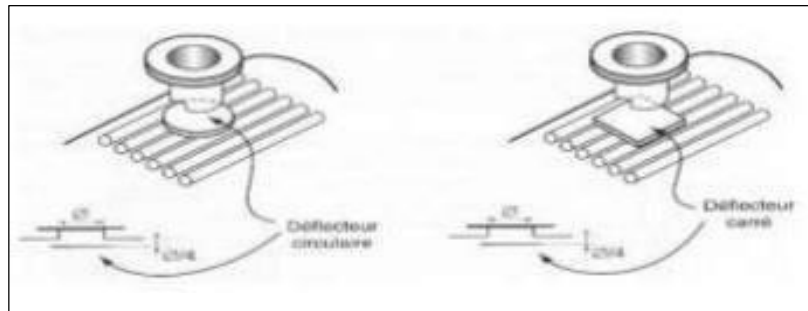


Figure III.9 : Plaque de protection du faisceau [14].

III.5.1.7. Les passe

Dans la disposition la plus simple, les fluides côté tubes et côté calandre entrent à une extrémité et sortent à l'autre. On dit alors qu'il n'y a qu'une seule passe (un seul passage) côté tubes et côté calandre. Les fluides peuvent entrer du même côté, (Co-courant) ou aux côtés opposés (contre-courant) [16].

III.5.2. Les types des échangeurs à tubes et calandre

III.5.2.1. Echangeur de chaleur à tête flottante

L'une des plaques tubulaires est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre inférieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre [17].

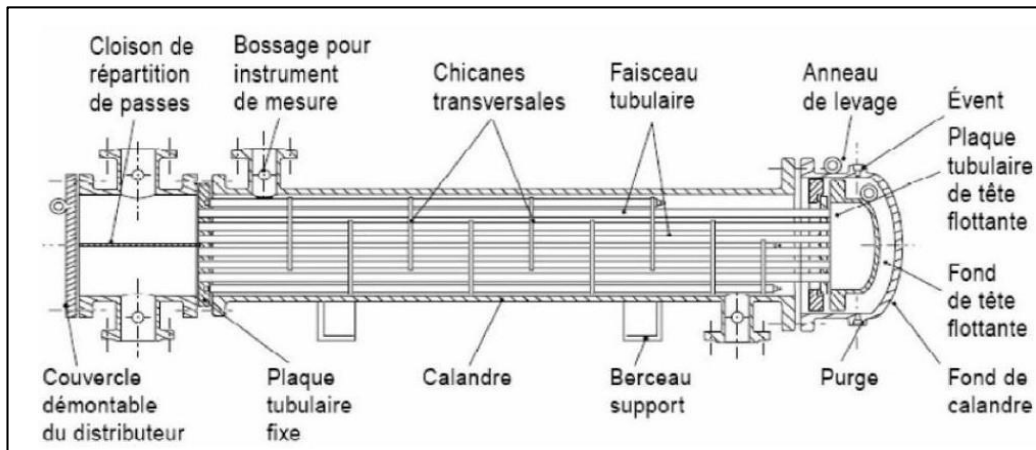


Figure III.10 : Echangeur de chaleur à tête flottante [17].

III.5.2.2. Echangeur à plaques tubulaires fixes

Dans ce cas, les plaques tubulaires peuvent être directement soudées sur la calandre [17].

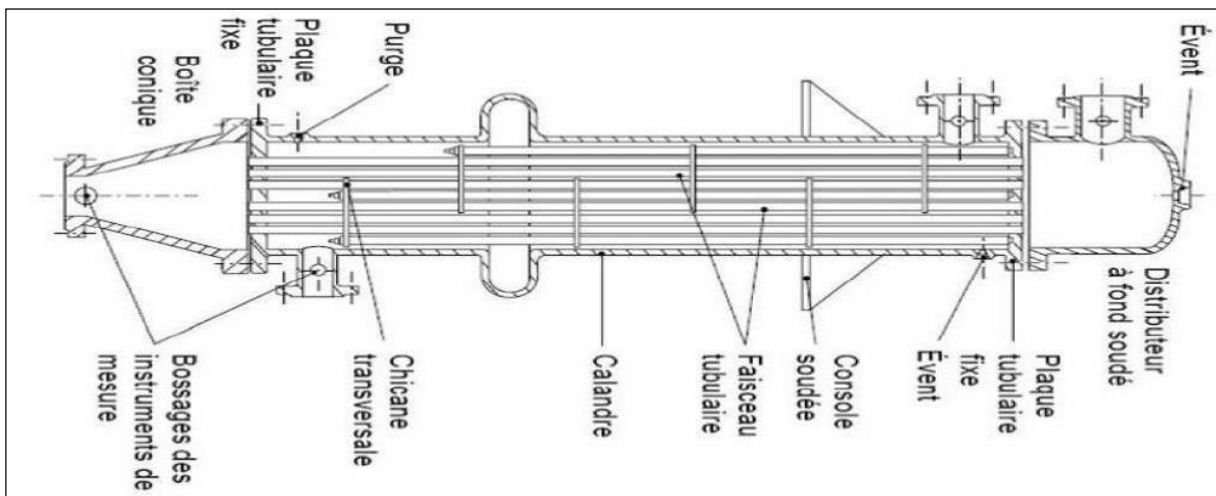


Figure III.11 : Échangeur à boîte fixe [17].

III.5.2.3. Echangeur à tubes en U

Le faisceau est constitué de tubes coudés en forme d'épingle, il n'est donc porté que par une seule plaque tubulaire. Ce système permet la libre dilatation du faisceau. En revanche, le nettoyage des tubes est difficilement réalisable autrement que par voie chimique [17].

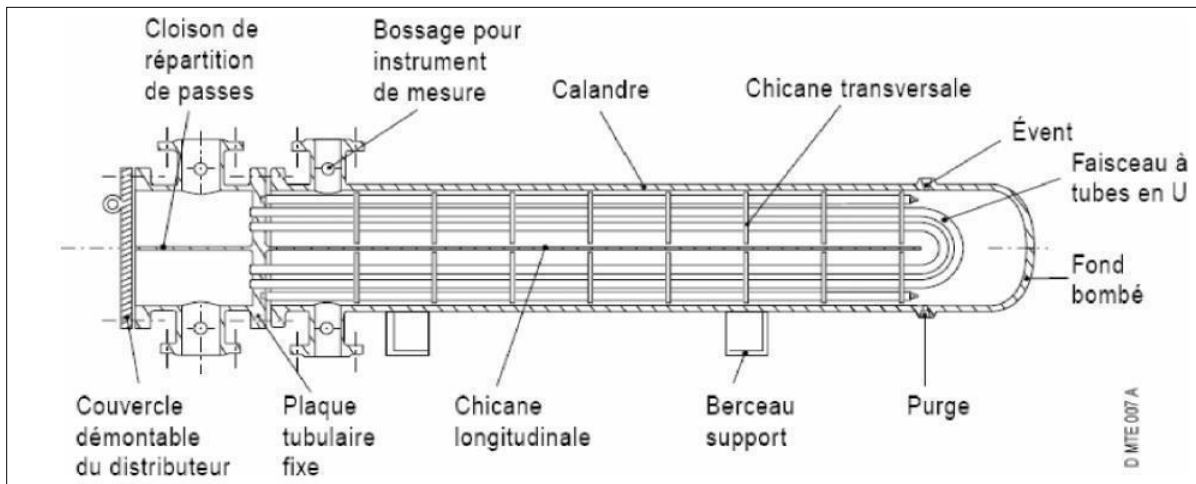


Figure III.12: Echangeurs à tubes en U [17].

III.6. Conclusion

Ce chapitre est un aperçu descriptif sur les échangeurs de chaleur, en effet nous avons passé en revue les différents types d'échangeurs et leur fonctionnement, le choix d'un échangeur de chaleur. Pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné. Bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés.

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse physico-chimique des eaux de saumure, récupérer au niveau des évaporateurs. Actuellement, la saumure est une eau dont la concentration en sel est très élevée et former dans la production de l'eau distillé après l'évaporation. Dans le but de valoriser cette eau, on va étudier la possibilité de l'utiliser comme eau d'appoint des eaux brute (eau reçu de société kahrama) au niveau de la zone 3.

IV.2 Spécifications techniques de l'eau brute

Le tableau IV.1 illustre les spécifications requises de l'eau brut

| Date | PH | Conductivité (us/cm) | TH °F | Ca+2 | TAC |
|---------------|-----|----------------------|-------|------|-----|
| 02-FEV-2025 | 7.5 | 135 | 5,4 | 5.2 | 5,0 |
| 03- FEV -2025 | 7.3 | 131 | 5,5 | 5.2 | 4,7 |
| 04- FEV -2025 | 7.2 | 116 | 5,7 | 5.2 | 4,8 |
| 05- FEV -2025 | 7.2 | 128 | 5,8 | 5.2 | 4,7 |
| 06- FEV -2025 | 7.1 | 145 | 5,9 | 5.2 | 5,0 |
| 09- FEV -2025 | 7.7 | 151 | 5,8 | 5.4 | 5,6 |
| 10- FEV -2025 | 7.7 | 154 | 4,7 | 5.3 | 5,5 |
| 11- FEV -2025 | 7.6 | 139 | 4,7 | 5.5 | 5,4 |
| 13- FEV -2025 | 7.7 | 135 | 4,5 | 5.3 | 5,6 |
| 16- FEV -2025 | 7.7 | 149 | 4,7 | 4.2 | 5,3 |
| 17- FEV -2025 | 7.8 | 145 | 4,6 | 4.1 | 5,3 |
| 18- FEV -2025 | 7.8 | 137 | 4,7 | 4.0 | 5,4 |
| 19- FEV -2025 | 7.8 | 130 | 4,8 | 4.4 | 5,3 |
| 20- FEV -2025 | 7.6 | 134 | 4,6 | 4.3 | 5,5 |
| 07-MAR-2025 | 7.9 | 144 | 5,4 | 4.3 | 5,0 |
| 08- MAR -2025 | 7.4 | 142 | 5,5 | 4.4 | 5,2 |
| 09- MAR -2025 | 7.6 | 135 | 5,7 | 4.4 | 4,8 |
| 10- MAR -2025 | 7.7 | 128 | 5,8 | 5.2 | 4,2 |
| 13- MAR -2025 | 8.0 | 145 | 5,9 | 5.2 | 5,1 |
| 21- MAR -2025 | 7.7 | 126 | 5,8 | 5.2 | 5,4 |
| 22- MAR -2025 | 7.7 | 131 | 4,7 | 5.4 | 5,0 |
| 23- MAR -2025 | 7.5 | 146 | 4,7 | 5.3 | 5,6 |
| 24- MAR -2025 | 7.8 | 138 | 4,5 | 5.5 | 5,4 |
| 28- MAR -2025 | 7.9 | 130 | 4,7 | 5.3 | 5,1 |

IV.3. Traitement au niveau de laboratoire

Le laboratoire du complexe RA1/Z effectue par des analyses, pour contrôler la qualité de l'eau, produite par le complexe, et en assurer une bonne qualité.

L'appareillage et les modes opératoires sont normalisés de sorte que les résultats sont aisément reproductibles, comparables et obéissent à des normes internationales (**ASTM, AFNOR, IP ...etc**).

IV.4. Les méthodes d'Analyse physico-chimique

IV.4.1 Détermination du pH :

- **Selon la norme ASTM D 1293-12 :**

Le potentiel hydrogène (ou pH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) (appelés aussi couramment protons) en solution. Plus couramment, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C [18].

- Une solution de $pH = 7$ est dite neutre
- Une solution de $pH < 7$ est dite acide, plus son pH s'éloigne de 7 (diminue) et plus elle est acide.
- Une solution de $pH > 7$ est dite basique, plus son pH s'éloigne de 7 (augmente) et plus elle est basique.

➤ Mode opératoire mesure du pH



Figure IV.1: PH mètre-Sonde PH solution

L'analyse se fait selon le mode opératoire suivant

- Remplir le b cher avec la solution de mesure
- Plonger la chaine de mesure du pH dans la solution de mesure ;
- Appuyer sur les touches « ▲ » « ▼ » jusqu'à apparition de l'affichage d'état pH. La valeur du pH s'affiche à l'écran [20].

IV.4.2 Détermination de la Conductivité  lectrique :

- Selon la norme ASTM D 1125-A :

La conductivité électrique permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée [19].



Figure IV.2: Appareil de mesure conductivité Micro 800

➤ **Mode opératoire**

Connecter l'électrode à l'appareil.

- Rincer l'électrode et le bécher avant utilisation avec de l'eau distillée.
- Immerger l'électrode dans l'échantillon.
- Sélectionner le mode de conductivité avec paramètres de mesure.
- Appuyer sur la touche Read. La valeur de la conductivité s'affiche.
- Laisser stabiliser pendant quelques secondes, puis prélever la valeur de conductivité électrique de l'échantillon.
- Retour au mode Read avec la touche OK.
- Rincer la cellule de mesure avec de l'eau distillée [21].

IV.4.3 Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH :

La dureté totale d'une eau, encore appelée TH (abréviation de titre hydrotimétrique), représente sa teneur en ions calcium et magnésium.

- **Selon la norme ASTM D 1126-02 R07 :**

➤ **Principe**

La mesure est un dosage volumétrique par un réactif titrant complexant, l'EDTA (sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique).

La méthode peut être mise en défaut lorsque les eaux sont riches en cuivre et/ou en fer dissous.

L'EDTA a la propriété de se combiner avec les ions calcium puis magnésium pour former des composés solubles, les chélates.

La fin du dosage est décelée par la couleur bleue de l'indicateur coloré (Indicateur Net), étant violet tant que les ions magnésium restent à l'état libre en solution. [19].

➤ **Mode opératoire**

Prélever 50 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml. Les verser dans un erlenmeyer adapté puis ajouter 20 gouttes de solution tampon K10 (solution NH_4^+ / NH_3) permettant la complexation totale des ions calcium et magnésium à $\text{pH} = 10$.

En cas de perturbation (cas des eaux riches en cuivre et/ou fer dissous), ajouter une ½ jauge d'acrobate de sodium et une ½ jauge de cyanure de potassium. Ajouter 6 à 8 gouttes d'Indicateur Net [22].

- Si la solution est bleue : $\text{TH} = 0$. L'eau est adoucie ou non-dure.
- Si la solution est violette : doser le mélange par la liqueur hydrotimétrique (solution d'EDTA N/25).
Ajouter jusqu'au virage du violet au bleu : soit $V(\text{ml})$ volume de coulée d'où : $\text{TH} = V(\text{ml}) \times 4 \text{ }^\circ\text{F}$

IV.4.4 Détermination du calcium Ca^{2+} selon la norme ASTM D 511-B :

➤ **Principe**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence de MUREXIDE. L'EDTA réagit avec les ions calcium libres combiné avec l'indicateur coloré, qui va alors de la couleur rouge à la couleur violette [19].

➤ **Mode opératoire**

- Prélever 10 ml d'eau à analyser et verser les dans un erlenmeyer, ajouter 1ml de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 50g/l plus une pincée d'indicateur Murexide et titrer lentement avec la solution d'EDTA jusqu'à coloration violette. Faire un blanc en parallèle avec de l'eau distillée.
- Noter V_{EDT} .

IV.4.5 Dosage de l'alcalinité de l'eau TAC :

- **Selon la norme ASTM D1067 :**

Généralement l'alcalinité est due à la présence des ions, carbonates CO^{2-} , Bicarbonates HCO_3^- et Hydroxydes OH^- [19].

TAC : titre alcalimétrique complet, égale à la somme de OH^- , CO^{2-} et HCO_3^- , ce titre correspond à la neutralisation de toutes ces formes par un acide fort.

L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution titrée acide et en présence de méthylorange.

A une prise de 50 ml d'échantillon, on titre avec HCl (0.1N) et méthylorange jusqu'au virage de jaune orange [22].

Le TAC s'exprime généralement en degré français (°F).

IV.5 Résultats et interprétations

Après avoir effectué les analyses complètes de notre échantillon d'eau, on a procédé à la lecture des résultats, afin de les interpréter.

- Analyse du pH :

Tableau IV.2 : : Résultats d'analyse du pH des eaux de saumure des évaporateurs SB101 et SB102 et de l'eau brute

| Date | pH EB | pH SB101 | pH SB102 | pH min | pH max |
|---------------|-------|----------|----------|--------|--------|
| 2- févr.-25 | 7,5 | 5,1 | 4,0 | 7,5 | 8 |
| 3- févr.- 25 | 7,3 | 4,7 | 4,3 | 7,5 | 8 |
| 4- févr.- 25 | 7,2 | 8 | 8,3 | 7,5 | 8 |
| 5- févr.- 25 | 7,2 | 6 | 4,8 | 7,5 | 8 |
| 6- févr.- 25 | 7,1 | 5,9 | 5,6 | 7,5 | 8 |
| 9- févr.- 25 | 7,7 | 5,7 | 4,2 | 7,5 | 8 |
| 10- févr.- 25 | 7,7 | 6 | 5,0 | 7,5 | 8 |
| 11- févr.- 25 | 7,6 | 7 | 6,0 | 7,5 | 8 |
| 13- févr.- 25 | 7,7 | 6,2 | 5,9 | 7,5 | 8 |
| 16- févr.- 25 | 7,7 | 6,3 | 4,5 | 7,5 | 8 |
| 17- févr.- 25 | 7,8 | 6,5 | 4,2 | 7,5 | 8 |
| 18- févr.- 25 | 7,8 | 6,1 | 4,4 | 7,5 | 8 |
| 19- févr.- 25 | 7,8 | 6 | 6,1 | 7,5 | 8 |
| 20- févr.- 25 | 7,6 | 6,1 | 5,3 | 7,5 | 8 |
| 7-mar.- 25 | 7,9 | 5,9 | 4,5 | 7,5 | 8 |
| 8- mar.- 25 | 7,4 | 6,6 | 4,8 | 7,5 | 8 |
| 9- mar.- 25 | 7,6 | 6,6 | 4,5 | 7,5 | 8 |
| 10- mar.- 25 | 7,7 | 5,8 | 4,1 | 7,5 | 8 |
| 13- mar.- 25 | 8,0 | 6,5 | 6,3 | 7,5 | 8 |
| 21- mar.- 25 | 7,7 | 6,1 | 6,8 | 7,5 | 8 |
| 22- mar.- 25 | 7,7 | 5,7 | 7,0 | 7,5 | 8 |
| 23- mar.- 25 | 7,5 | 6,4 | 6,7 | 7,5 | 8 |
| 24- mar.- 25 | 7,8 | 5,9 | 6,4 | 7,5 | 8 |
| 28- mar.- 25 | 7,9 | 8 | 7 | 7,5 | 8 |

➤ Représentation graphique

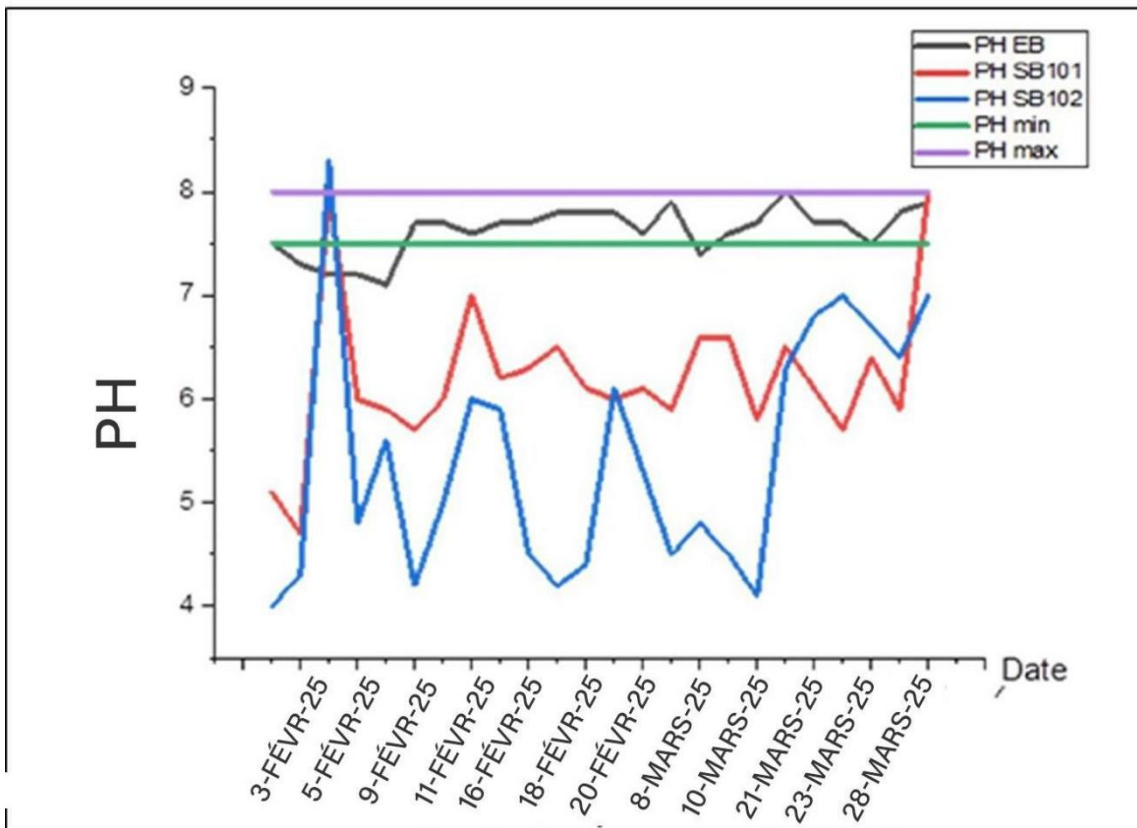


Figure IV.3: Variation du pH des eaux saumures et l'eau brute en fonction du temps.

➤ Interprétation des résultats

La figure IV.3 se présente les variations du pH en fonction du temps. On remarque que, le pH des eaux saumures est acide, il est en dessous de la valeur minimale comparant à l'eau brut qui a un pH voisin du neutre.

- **Analyse de la conductivité**

Les résultats d'analyses de la conductivité pour l'eau brute et la saumure sont illustrés dans le tableau IV.3 et la figure IV.2.

| Date | Conductivité EB (us/cm) | Conductivité SB101 (us/cm) | Conductivité SB102 (us/cm) | Norme Design |
|---------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 2-févr.-25 | 135 | 310 | 318 | 2000 |
| 3- févr.- 25 | 131 | 278 | 275 | 2000 |
| 4- févr.- 25 | 116 | 226 | 210 | 2000 |
| 5- févr.- 25 | 128 | 272 | 259 | 2000 |
| 6- févr.- 25 | 145 | 276 | 283 | 2000 |
| 9- févr.- 25 | 151 | 267 | 331 | 2000 |
| 10- févr.- 25 | 154 | 280 | 278 | 2000 |
| 11- févr.- 25 | 139 | 251 | 250 | 2000 |
| 13- févr.- 25 | 135 | 163 | 221 | 2000 |
| 16- févr.- 25 | 149 | 272 | 290 | 2000 |
| 17- févr.- 25 | 145 | 268 | 308 | 2000 |
| 18- févr.- 25 | 137 | 302 | 334 | 2000 |
| 19- févr.- 25 | 130 | 250 | 288 | 2000 |
| 20- févr.- 25 | 134 | 263 | 276 | 2000 |
| 7-mar-25 | 144 | 256 | 296 | 2000 |
| 8- mar.- 25 | 142 | 277 | 280 | 2000 |
| 9- mar.- 25 | 135 | 274 | 291 | 2000 |
| 10- mar.- 25 | 128 | 253 | 324 | 2000 |
| 13- mar.- 25 | 145 | 279 | 300 | 2000 |
| 21- mar.- 25 | 126 | 259 | 216 | 2000 |
| 22- mar.- 25 | 131 | 274 | 232 | 2000 |
| 23- mar.- 25 | 146 | 256 | 302 | 2000 |
| 24- mar.- 25 | 138 | 263 | 263 | 2000 |
| 28- mar.- 25 | 130 | 241 | 261 | |

Tableau IV.3 : Représentant les résultats de l'analyse de la conductivité des eaux saumure et brute.

➤ Représentation graphique

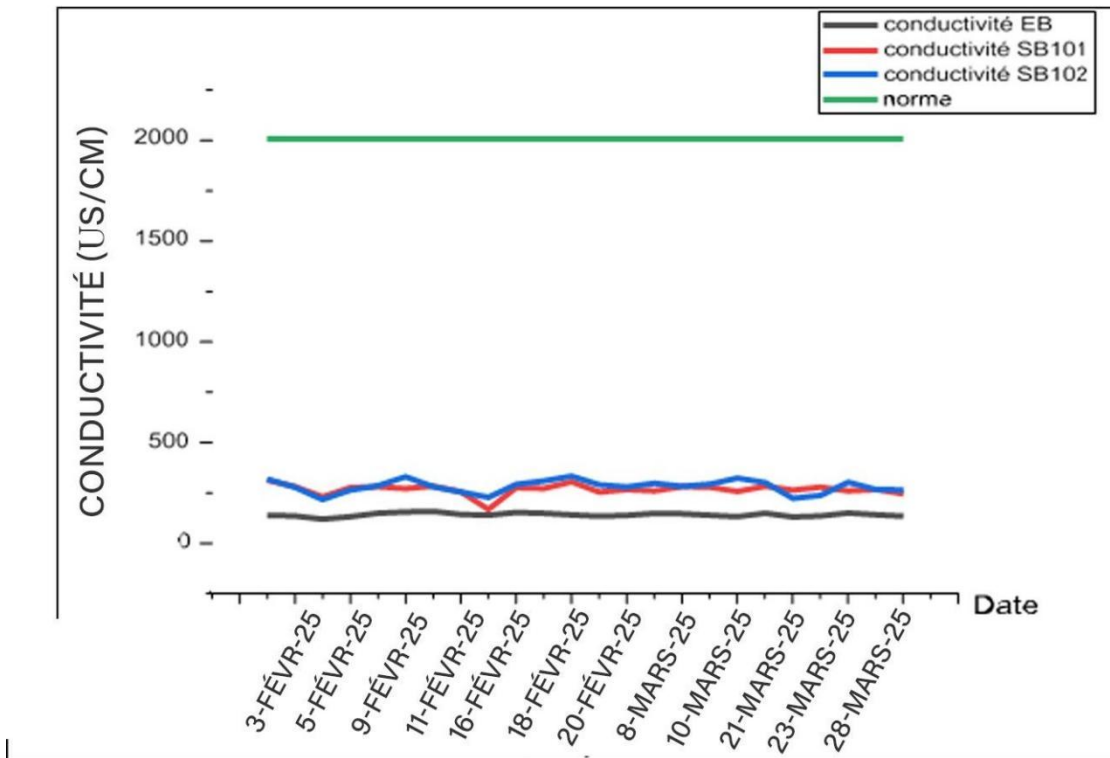


Figure IV.4: Variation de la conductivité de l'eau brute et l'eau saumure en fonction du temps.

➤ Interprétation des résultats

La figure IV.4 présente les variations de la conductivité en fonction du temps, qui montre clairement que le comportement de l'eau dite saumure est presque similaire à celui de l'eau brute.

Nous pouvons dire que les valeurs de la conductivité sont proches à celles de l'eau brute et elles sont inférieures aux design.

• **Analyse du TH**

Les résultats d'analyses de la dureté totale (TH) pour l'eau brute et la saumure sont illustrés dans le tableau IV.4 et la figure IV.3

Tableau IV.4 : Résultats de l'analyse de TH des eaux (saumure et brute)

| Année | TH EB | TH SB101 | TH SB102 | TH min | TH max |
|-------------|-------|----------|----------|--------|--------|
| 4- fev.-25 | 5,4 | 9,9 | 12,5 | 40 | 70 |
| 5- fev.-25 | 5,5 | 8,9 | 8,4 | 40 | 70 |
| 6- fev.-25 | 5,7 | 8,8 | 8,9 | 40 | 70 |
| 10- fev.-25 | 5,8 | 9,9 | 9,5 | 40 | 70 |
| 11- fev.-22 | 5,9 | 8,7 | 10,2 | 40 | 70 |
| 13- fev.-25 | 5,8 | 7,7 | 7,9 | 40 | 70 |
| 19- fev.-25 | 4,7 | 7,7 | 9 | 40 | 70 |
| 20- fev.-25 | 4,7 | 7,5 | 9,5 | 40 | 70 |
| 13- mar.-25 | 4,5 | 8,7 | 7,8 | 40 | 70 |
| 21- mar.-25 | 4,7 | 7,5 | 6,5 | 40 | 70 |
| 22- mar 25 | 4,6 | 7,9 | 6,7 | 40 | 70 |
| 23- mar-25 | 4,7 | 7,6 | 8,5 | 40 | 70 |
| 24- mar -25 | 4,8 | 7,4 | 7,3 | 40 | 70 |
| 28- mar.-25 | 4,6 | 7,9 | 7,9 | 40 | 70 |

➤ **Représentation graphique**

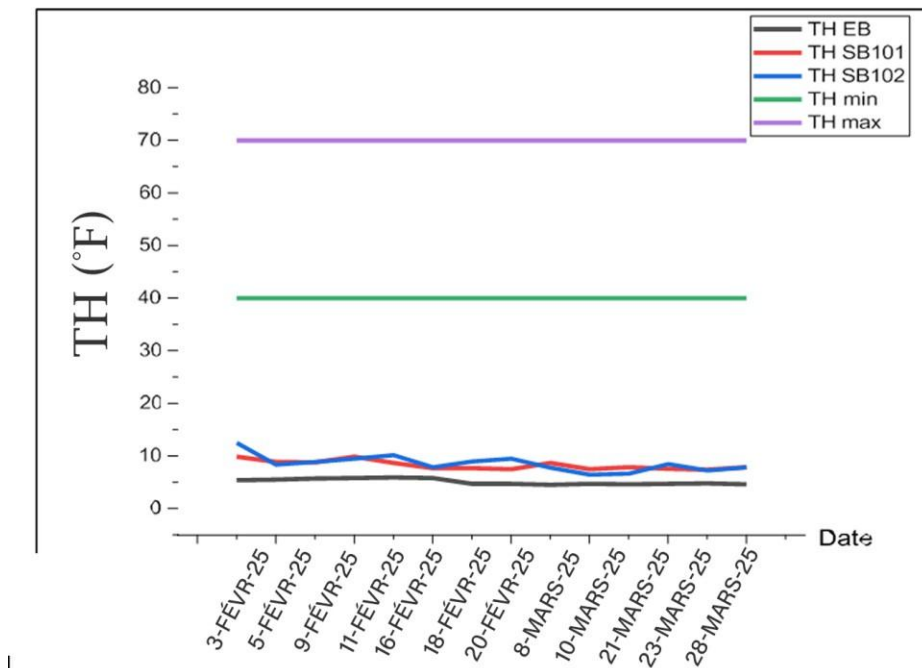


Figure IV.5: variation de la dureté totale de l'eau brute et les eaux saumurent en fonction dutemps.

➤ **Interprétation des résultats**

La figure IV.5 nous montre que les valeurs de la dureté totale des eaux saumures et l'eau brute en fonction du temps sont proches à celle des eaux saumures et elles sont inférieures à la norme pendant toute la période d'étude. Cependant, l'eau saumure présente une dureté totale un peu supérieur au l'eau brute. Nous pouvons expliquer cela par la quantité des ions decalcium présente dans les eaux saumures.

• **Analyse du Ca^{2+} :**

Les résultats d'analyses de la concentration de Ca^{2+} pour l'eau brute et la saumure sont illustrés dans le tableau IV.5 et la figure IV.4

Tableau IV.5 : Résultats de l'analyse de Ca^{+2} des eaux (saumure et brute).

| Date | Ca^{+2} EB | Ca^{+2} SB101 | Ca^{+2} SB102 | Ca^{+2} min | Ca^{+2} max |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| 4- fev.-25 | 5,2 | 9,5 | 12,1 | 20 | 35 |
| 5- fev.-25 | 5,2 | 8,3 | 7,8 | 20 | 35 |
| 6- fev.-25 | 5,2 | 8,5 | 8,6 | 20 | 35 |
| 10- fev.-25 | 5,4 | 9,5 | 9,0 | 20 | 35 |
| 11- fev.-25 | 5,5 | 8,2 | 9,7 | 20 | 35 |
| 13- fev.-25 | 5,3 | 7,1 | 7,3 | 20 | 35 |
| 19- fev.-25 | 4,2 | 7,5 | 8 | 20 | 35 |
| 20- fev.-25 | 4,1 | 7 | 8,5 | 20 | 35 |
| 13- mar.-22 | 4,0 | 8,3 | 7,4 | 20 | 35 |
| 21- mar.-25 | 4,4 | 7,2 | 6,1 | 20 | 35 |
| 22- mar.-25 | 4,3 | 7,5 | 6,4 | 20 | 35 |
| 23- mar.-25 | 4,3 | 7,3 | 8,3 | 20 | 35 |
| 24- mar.-25 | 4,4 | 7,4 | 7,0 | 20 | 35 |
| 28- mar.-25 | 4,4 | 7,3 | 7,4 | 20 | 35 |

➤ Représentation graphique

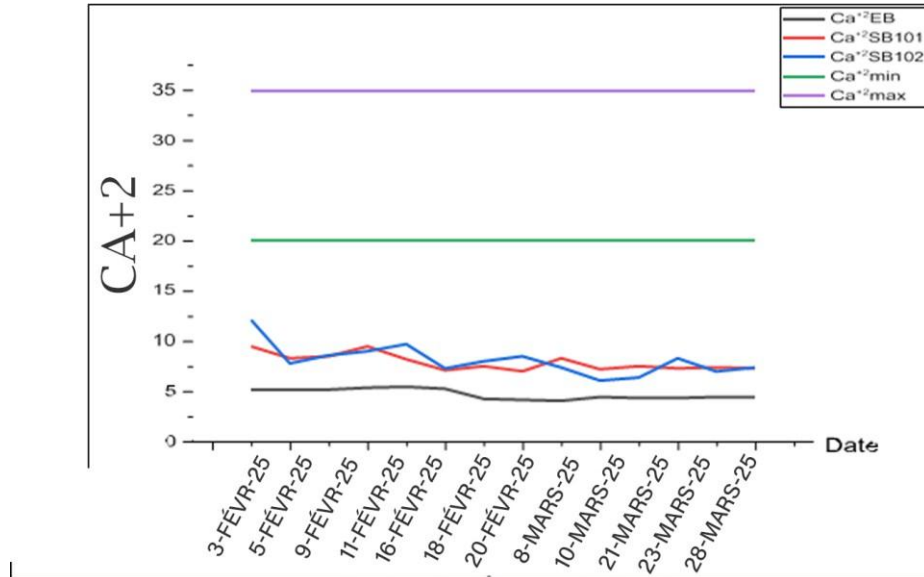


Figure IV.6 : Variation du teneur en calcium des eaux saumures et l'eau brute en fonction du temps.

➤ Interprétation des résultats

La figure IV.6 présente les variations des concentrations du Ca^{2+} dans l'eau en fonction du temps. On remarque que Les teneurs en calcium d'eau brute est inférieure à celle de l'eau de saumure, ce qui indique que l'eau brute est moins influencée par la dissolution du carbonate de calcium et des gypses.

- **Analyse du TAC :**

Les résultats d'analyses de la TAC pour l'eau brute et la saumure sont illustrés dans le tableau IV.6 et la figure IV.5

Tableau IV.6 : Résultats de l'analyse de TAC des eaux (saumure et brute).

| Date | TAC EB | TAC SB101 | TAC SB102 | TAC min | TAC max |
|--------------|--------|-----------|-----------|---------|---------|
| 2-fev.-25 | 5,0 | 0,5 | 0,0 | 8 | 15 |
| 3- fev.-25 | 4,7 | 0,1 | 0,0 | 8 | 15 |
| 4- fev.-25 | 4,8 | 3,8 | 5,1 | 8 | 15 |
| 5- fev.-25 | 4,7 | 1 | 0,2 | 8 | 15 |
| 6- fev.-25 | 5,0 | 0,6 | 0,5 | 8 | 15 |
| 9- fev.-25 | 5,6 | 1,1 | 0,0 | 8 | 15 |
| 10- fev.-25 | 5,5 | 1,2 | 0,2 | 8 | 15 |
| 11- fev.-25 | 5,4 | 1,9 | 1,8 | 8 | 15 |
| 13- fev.-25 | 5,6 | 0,9 | 0,7 | 8 | 15 |
| 16- fev.-25 | 5,3 | 0,7 | 0 | 8 | 15 |
| 17- fev.-25 | 5,3 | 1 | 0 | 8 | 15 |
| 18- fev.-25 | 5,4 | 1,1 | 0 | 8 | 15 |
| 19- fev.- 25 | 5,3 | 0,6 | 0,5 | 8 | 15 |
| 20- fev.- 25 | 5,5 | 1 | 0,4 | 8 | 15 |
| 7- mar. 25 | 5,0 | 0,5 | 0,0 | 8 | 15 |
| 8- mar.- 25 | 5,2 | 0 | 0,0 | 8 | 15 |
| 9- mar.- 25 | 4,8 | 1,5 | 0,0 | 8 | 15 |
| 10- mar.- 25 | 4,2 | 0 | 0,0 | 8 | 15 |
| 13- mar.- 25 | 5,1 | 0,4 | 0,3 | 8 | 15 |
| 21- mar.- 25 | 5,4 | 0,8 | 1,0 | 8 | 15 |
| 22- mar.- 25 | 5,0 | 0,4 | 1,0 | 8 | 15 |
| 23- mar.- 25 | 5,6 | 0,8 | 0,7 | 8 | 15 |
| 24- mar.- 25 | 5,4 | 0,5 | 0,9 | 8 | 15 |
| 28- mar.- 25 | 5,1 | 0,6 | 0,6 | 8 | 15 |

➤ **Représentation graphique**

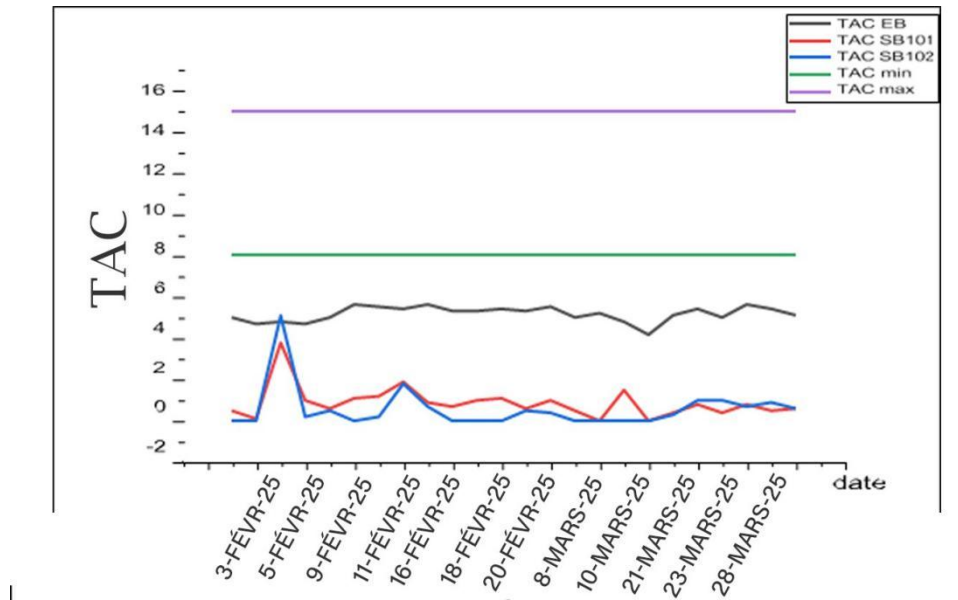


Figure IV.7 : Variation de TAC de l'eau brute et l'eau saumure en fonction du temps.

➤ **Interprétation des résultats**

La figure IV.7 présente les valeurs du titre alcalimétrique complet des eaux saumures et l'eau brute en fonction du temps. On remarque que les valeurs de titre alcalimétrique complet des eaux (saumure et brute) ne dépassent pas les normes, est également, le TAC de l'eau saumure est inférieur à l'eau brute car le pH de cette dernière est alcalin par contre, celui des eaux de saumures est acide.

IV.6 Conclusion

Cette étude a pour objectif de suivre la qualité des eaux saumures de la zone d'utilité 1 du complexe raffinerie d'Arzew à travers l'analyse de différents paramètres physico-chimiques tel que TAC, conductivité, pH, TH et Ca^{2+} .

Les résultats obtenus lors de cette étude ont permis de mettre en évidence qu'on peut utiliser l'eau saumure comme eau d'appoint car cette dernière sa conductivité est proche de l'eau brute et elle ne dépasse pas les normes. On a remarqué que le pH d'eau saumure est acide pour cela on a envisagé de faire la technique d'adoucissement de l'eau pour neutraliser le pH afin d'éviter le phénomène de corrosion.

V.1. Introduction

L'objectif principal de cet échangeur est la récupération de chaleur sur liquides ou gaz.

Le but dans ce cas est d'utiliser un échangeur tubulaire pour diminuer la température de l'eau de saumure ($T=103^{\circ}\text{C}$) jusqu'à $T=47^{\circ}\text{C}$) pour deux rôles :

-aider la diminution de température d'eau d'appoint avant de circuler sur la tour donc assurer un bon refroidissement d'eau d'appoint.

-Assurer une température qui n'affecte pas sur l'eau brute utilisée comme une charge d'évaporateur dans la production d'eau distillée parce qu'une température élevée diminue le rendement d'évaporateur.

Les deux fluides chauds (saumure) et froids (eau de refroidissement) circulent respectivement dans les tubes et la calandre.

Pour le dimensionnement de l'échangeur de chaleur nous allons suivre les étapes suivantes :

- Un calcul de température de sortie froid connaissant leurs débits et la configuration géométrique de l'appareil (type et surface d'échange).
- Calcul la puissance
- La conception d'un nouvel échangeur en utilisant la méthode de la différence moyenne logarithmique : ΔT_{LM} (Méthode de Kern) et un logiciel de simulation ASPEN EDR qui permet de dimensionner l'échangeur.

On utilise ces deux méthodes différentes pour assurer la précision de dimensionnement de l'échangeur.

V.2. Méthodologie de calcul :

V.2.1. Hypothèses de calcul ϵ -KERN

- Régime permanent et pas de génération ni d'accumulation de chaleur.
- L'échange de chaleur se situe entre les deux fluides au sein de l'échangeur sans pertes thermiques (échangeur adiabatique).
- Les propriétés physico-chimiques des fluides en question sont supposées constantes dans l'intervalle de températures étudiées.
- Les pertes de charge dans l'échangeur sont négligeables et l'échange est Unidirectionnel dans le sens de l'écoulement (pas d'échange radial dans les fluides) [23].

V.3. Dimensionnement d'un nouvel échangeur de chaleur :

V.3.1. Méthodologie de design des échangeurs de chaleur :

Le problème du dimensionnement thermique est illustré par la figure V.1. Il commence, tout d'abord, par la sélection du type d'échangeur adapté au problème posé, puis vient la phase de dimensionnement thermique proprement dite ; elle est destinée à fixer par le calcul la surface d'échange nécessaire au transfert de puissance sur les fluides considérés.

Cette phase de calcul est le plus souvent itérative et permet d'approcher par des essais successifs la solution qui semble la meilleure, à la fois du point de vue thermique et du point de vue hydraulique [24].

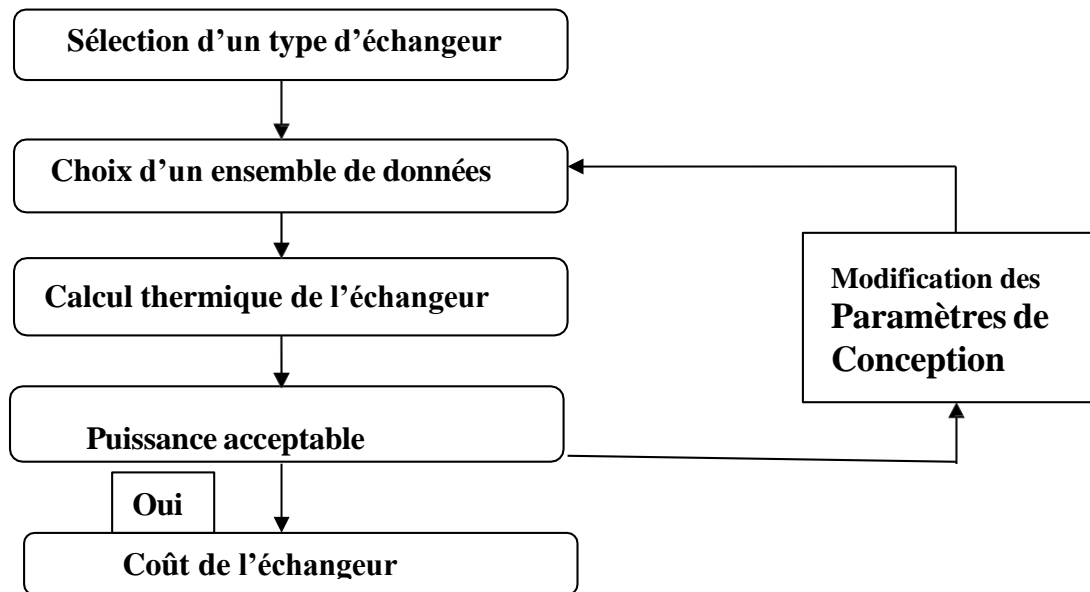


Figure V.1: Algorithme global de design des échangeurs de chaleur.

La sélection du type d'échangeur doit être faite selon les conditions opératoires, dans le respect des normes TEMA, et la méthodologie de calcul retenue pour la phase de dimensionnement thermique peut être manuelle ou effectuée à l'aide d'un outil informatique où l'enchaînement itératif conduit à répéter le calcul thermique après modification de certains paramètres géométriques.

V.3.2. Etapes de calcul

V.3.2.1 Données de calcul :

Les données de départ sont :

Les débits massiques W , w , les capacités calorifiques à pression constantes C_p , C_p' des fluides chaud et froid.

- Les températures d'entrées T_e et t_e des fluides chaud et froid.
- La température de sortie t_s du fluide froid désirée.

V.3.2.2 Procédure de calcul :

1. Bilan thermique

$$\phi = \phi_{\text{chaud}} = \phi_{\text{froid}}$$

$$\phi = W_c \cdot C_p \cdot \Delta T = w_f \cdot C' \cdot \Delta T \tag{V.1}$$

$$\phi = W_c \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) = w_f \cdot C' \cdot (t_s - t_e)$$

2. Calcul la puissance :

$$\phi = W_c \cdot C_p \cdot \Delta T \tag{V.2}$$

$$\phi = W_c \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

3. Calcul la température de sortie de fluide :

Il est possible d'établir le bilan thermique global de l'appareil en écrivant que la puissance de fluide chaud est égale au fluide froid.

$$\phi = W_c \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) = w_f \cdot C' \cdot (t_s - t_e)$$

A partir de ce bilan, on déterminera la température de sortie du fluide froid qui est inconnue

$$t_s = t_e + \frac{W_c C_p (T_e - T_s)}{W_f C'_p}$$

4. Calcul Différence Logarithmique Moyenne de Température ΔTLM .

La ΔTLM d'un échangeur à contre-courant est définie comme suit :

$$\Delta TLM = \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\frac{(T_e - t_s)}{(T_s - t_e)}} \tag{V.3}$$

- Pour un fonctionnement contre-courant : $\Delta T_1 = T_{ce} - T_{fs}$
 $\Delta T_2 = T_{cs} - T_{fe}$

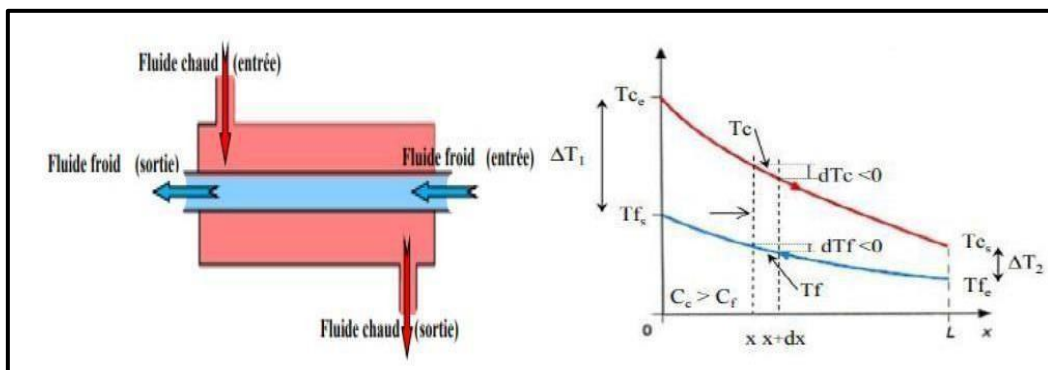


Figure V.2 : Évolution des températures du fluide chaud et du fluide froid le long D'un échangeur à contre- courant

5. Nombre de passe côté calandre

Pour calculer le nombre de passe côté calandre, On doit détermine d'abord, le facteur correctif F qui mesure l'efficacité de l'appareil par rapport à un échangeur à contre-courant pur, dans les mêmes conditions opératoires.

6. Calcul le Facteur de correction

1. Le facteur F est déterminé à partir des abaques pour différentes géométries, en Utilisant les deux coordonnées P et R. Avec :

$$P : \text{étant le rendement d'échange thermique, s'écrit } P = \frac{(t_s - t_e)}{T_e - T_s} \quad (\text{V.4})$$

$$R : \text{étant le rapport massique, s'écrit } R = \frac{(T_e - T_s)}{(t_s - t_e)} \quad (\text{V.5})$$

Après avoir calculé P et R on commence par l'abaque permettant la détermination du coefficient de correction F pour tous les appareils à une passe, côté calandre, et nombre pair de passe côté tubes. On devra éviter dans tous les cas le croisement des températures de sortie.

Facteur de correction ΔT_{LM} les valeurs de F peuvent être trouvées à partir des graphiques de relation thermique, une estimation raisonnable peut souvent être obtenue sans restaurer les graphiques.

- 1- Pour un seul tube passe, échangeur de chaleur purement à contre-courant F=1.
- 2- Pour une seule calandre avec un nombre pair de tube passes, F doit être compris entre 0.8 et 1.0 [25].

7. Choix de l'appareil

- Estimation du coefficient de transfert U

Nous donnons dans le tableau IV.1 quelques valeurs typiques de coefficient d'échange

Tableau V.1 : Valeurs typiques de coefficient d'échange

| Types de fluides | K en W/m^2K |
|------------------|---------------|
| Eau-eau | 800-2000 |
| Eau-huile | 110-350 |
| Vapeur-eau | 1000-6000 |

8. Estimation de la surface d'échange

$$S = \frac{\phi}{U \cdot \Delta TLM_{\text{corrigé}}} \quad (\text{V.6})$$

V.4. Sélection d'un échangeur :

V.4.1. Choix de la longueur :

Les longueurs normalisées courantes sont 8, 10, 12, 16, 20 ft. Pour une surface d'échange donnée, l'utilisation des tubes de longueur importante permet de réduire le diamètre de la calandre ; ce qui permet un appareil à faible coût.

V.4.2 Choix du matériau utilisé

Le choix du matériau s'effectue en prenant en compte certains critères dont les plus importants sont le comportement aux conditions opératoires de température et la tenue à la corrosion

Tableau V.2 : choix de l'acier en fonction de la température

| Les aciers pour températures moyennes et hautes | |
|---|--|
| 0<t<400°C 400°C<t<500°C 500°C<t<650°C > 650°C t'=700°C t'=875°C | Acier au carbone +0.5% Mo 1% Cr + 0.5% Mo 4-6% Cr 11-13% Cr Inox 18/8 CrNi Réfractaire 25%Cr-20%Ni |
| Les matériaux pour basses températures | |
| -45°C<t<0°C -60°C<t<-45°C -100°C<t<-60°C -120°C<t<-100°C t<-120°C | Acier carbone calmé au Si (ou Al)Acier calmé+ manganèse Acier à 2.5% Ni Acier à 3.5% Ni Acier à 9% Ni Inox 18/8 Aluminium |

| Matériaux au carbone | Utilisation |
|--|---|
| Acier au carbone | Fluides moyennement corrosifs |
| Alliages ferritiques C-Mo et Cr-Mo | Services hydrogène avec température élevée, hydrocarbure sulfuré au-dessus de 300°C |
| Alliages ferritiques au Cr | Tubes pour services modérément corrosifs. Calandres ou boîtes de distribution en contact avec des hydrocarbures corrosifs |
| Aciers austénitiques Ni-Cr | Services devant résister à la corrosion engénéral |
| Aluminium | Services cryogéniques : rarement pour services moyennement corrosifs |
| Alliages fortement alliés Ni-Cr-Mo | Résistance aux acides minéraux contenant des acides chlorés |
| Titane | Réfrigérants et condenseurs à eau de mer (incluant les échangeurs à plaques) |
| Verre | Préchauffeurs d'air pour four sur fumées corrosives |
| Carbone-Graphite | Service hautement corrosifs |
| Gaines de plomb et de caoutchouc Aciers austénitiques Ni-Cr | Boîtes de distribution de réfrigérant tubulaires à eau de mer |
| Revêtements, aluminium, résines époxy, résines phénoliques etc. | Exposition à l'eau de mer, eau saumâtre |

Tableau V.3 : choix de l'acier en fonction de l'utilisation.

V.4.3 Choix du diamètre et d'épaisseur

Les tubes sont normalisés et classés dans des séries correspondant à un même diamètre extérieur dans chaque série les tubes se différencient par leur épaisseur repérée par le « Birmingham Wire Gage » (BWG). Les caractéristiques sont représentées dans Annexe 1 (Caractéristique des tubes d'un échangeur) ainsi que les diamètres et jauges les plus courantes. Des diamètres faibles de l'ordre de (5/8, 3/4 et 1 in) sont préférés pour un meilleur échange et une bonne compacité de l'appareil. Des tubes avec des diamètres importants (plus de 1 in) sont facilement désencrassés et sont souhaitables dans le cas des fluides incrustants.

Il est cependant fortement déconseillé d'utiliser des tubes de faible diamètre (1/2, 3/8) pour des fluides encrassant en raison de l'augmentation de la perte de charge et la difficulté de nettoyage de l'appareil (Voir Annexe 1).

V.4.4 Choix de la disposition

La disposition peut être à pas carré ou à pas triangulaire, à mêmes encombrement, diamètre et pas, la disposition triangulaire permet d'installer une surface d'échange supérieure d'environ 15%. Mais en contrepartie, cette disposition rend impossible le nettoyage extérieur des tubes. Leur emploi est réservé pour les fluides propres. En raffinerie, on utilise surtout des faisceaux à pas carré.

V.4.5 Choix de l'orientation du faisceau par rapport à la circulation du fluide côté

Calandre :

Comparativement au pas carré droit, le pas carré incliné génère une plus grande turbulence et un meilleur transfert au prix d'une plus grande perte de charge en raison, entre autres, du plus grand nombre de rangées de tubes rencontrées. Le pas Triangulaire incliné est pénalisant aussi bien pour le transfert que pour la perte de charge et de ce fait inintéressant.

V.4.6 Choix du pas

La distance entre axes des tubes, ou pas P, est au minimum égale à 1,25 fois le diamètre extérieur. Les pas les plus utilisées figurent dans le tableau mentionné dans l'Annexe 2).

V.4.7 Estimation du nombre de tubes par calandre

$$\text{Surface d'échange d'un tube : } a = \pi \cdot d_0 \cdot l \quad (\text{V.7})$$

d_0 : diamètre extérieur de tube.

L : la longueur de tube.

$$N_t = \frac{S}{a * n_c}$$

S : la surface d'échange en m^2

n_c : nombre de passe coté calandre.

V.4.8 Nombre de passe coté tubes

Kern propose dans ci-dessous un décompte de tubes, établi en fonction du diamètre intérieur D_c de la calandre, du nombre de passes n_t dans le faisceau, du diamètre des tubes et de leur disposition. On fait le choix de l'appareil ou des appareils en série donnant N_t le plus voisin possible de N' , avec un nombre de passés côté tubes $n_t=2, 4, 6$ ou 8 par calandre (Voir Annexe 3).

V.4.9 Choix du pas des chicanes

Le choix de l'espacement B entre deux chicanes consécutives obéit aux normes citées dans le tableau d'Annexe 4.

V.4.10 Choix des fluides à l'intérieur du faisceau et dans la calandre

Le choix de l'attribution des fluides dans les échangeurs obéit généralement aux règles suivantes :

- Le fluide le plus encrassant est alloué au côté des tubes. Cependant, les tubes peuvent facilement être nettoyés, surtout lorsque le nettoyage mécanique est obligatoire.
- Le fluide circulant à haute pression est attribué aux tubes en raison de leur faible diamètre d'écoulement (maintien de P) et aussi pour la facilité de construction étant donné l'absence de joint d'étanchéité et de raccord haute pression au niveau des tubes contrairement aux calandres.
- Le fluide corrosif passe par les tubes, sans quoi, les tubes et la calandre seront attaqués simultanément. Cependant, l'utilisation d'un métal anticorrosion pour les tubes seuls est plus envisageable (coût) par rapport à son utilisation pour la fabrication des tubes et de la calandre.
- Le fluide de plus haute température passe côté tube, car il nécessite une plus grande épaisseur. Par ailleurs, ainsi, les pertes thermiques sont limitées.

Il est préférable industriellement, que le fluide le plus visqueux et ayant le plus haut débit passe par la calandre. Dans ce cas, on dispose de plusieurs paramètres facilement ajustables au niveau de la calandre (ex : nombre, types de chicanes et espacement) permettant de régler la vitesse de circulation, donc transfert et perte de charge.

V.4.11 Nombre des unités de transfert NUT

- Pour un échangeur de chaleur NUT est défini comme étant le rapport :

$$NUT = \frac{U * S}{(W * C_p)_{in}}$$

Le NUT est proportionnel à la surface d'échange, pour des valeurs de U et $[W.C_p]_n$ fixés, plus le NUT est élevé plus l'échangeur est grand.

V.4.12 Rapport des capacités C

Pour une utilisation conviviale de la méthode d'efficacité, on définit le nombre adimensionnel relatif aux rapports des capacités :

$$C = \frac{W.C_p]_n}{W.C_p]_{max}} \tag{V.10}$$

Cependant, l'efficacité d'un échangeur devient ainsi une fonction des nombres adimensionnels définis NUT et C. Il existe des abaques permettant de déterminer l'efficacité à partir des deux coordonnées NUT et C.

V.5. Calcul de conception d'un nouvel échangeur :

V.5.1. Etude de la proposition :

Dans le but de réutilisation d'eau de saumure nous proposons l'installation d'un échangeur faisceau calibre 32E1 qui doit refroidir la charge sortante de l'échangeur et diminue la température de 70°C jusqu'à 30°C par une circulation à contre-courant avec eau froide.

V.5.2. Données de départ

➤ **Schéma**

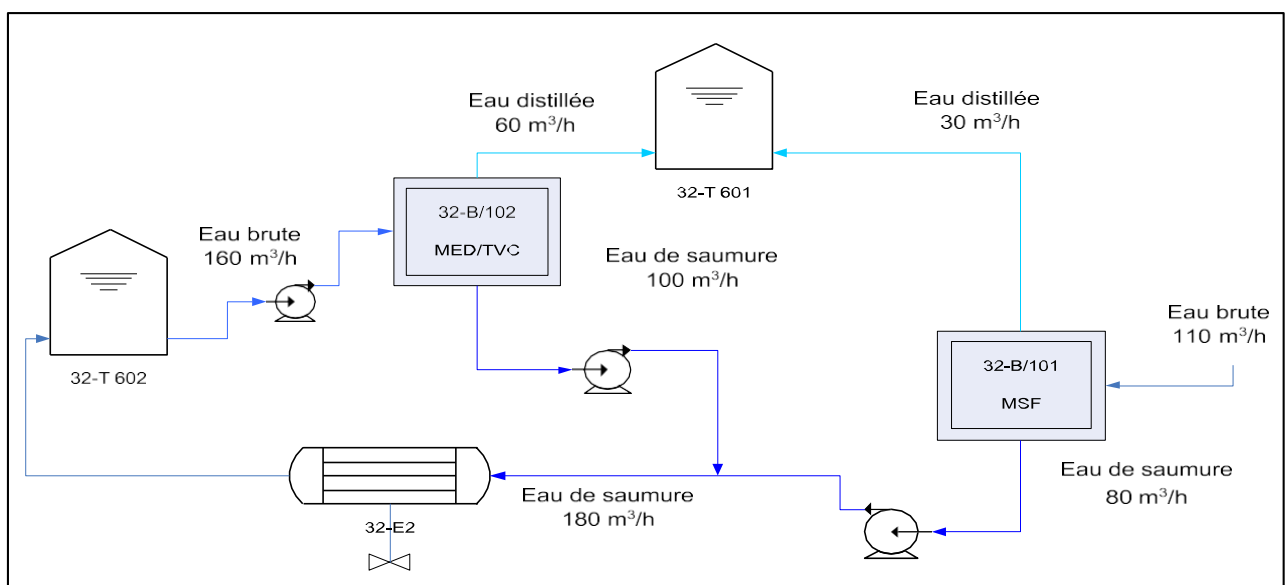


Figure V.3 : Récupération les eaux saumures des évaporateurs vers le bac 32T602.

| | Coté calandre | Coté tube |
|-------------------------------------|---------------|------------|
| Nature de fluide | Eau froide | Eau chaude |
| Débit massique [kg/s] | 83.33 | 50 |
| Capacité calorifique Cp [Kj/kg. °K] | 4.179 | 4.190 |
| Température d'entrée Te[°C] | 26 | 70 |
| Température de sortie Ts [°C] | A déterminer | 35 |

Tableau V.4 : Données de bases d'un nouvel échangeur.

V.5.3. Application de la méthode KERN :

V.5.3 .1. Calcule de la puissance :

$$\begin{aligned} \phi &= W_c \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \\ \phi &= 50 \times 4.190 \times (343 - 308) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \phi &= W_c \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \\ \phi &= 50 \times 4.190 \times (343 - 308) \end{aligned}} \right\} \quad \boxed{\phi = 7332.5 \text{ KW}}$$

V.5.3 .2 Calcul la température

$$\begin{aligned} t_s &= t_e + \frac{W_c C_p (T_e - T_s)}{W_f C_p'} \\ t_s &= 299 + \frac{50 \cdot 4.190 \cdot (343 - 308)}{83.33 \cdot 4.179} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} t_s &= t_e + \frac{W_c C_p (T_e - T_s)}{W_f C_p'} \\ t_s &= 299 + \frac{50 \cdot 4.190 \cdot (343 - 308)}{83.33 \cdot 4.179} \end{aligned}} \right\} \quad \boxed{t_s = 320.05 \text{ °K} = 47.05 \text{ °C}}$$

NB : Les caractéristiques relatives au fluide chaud sont notées en majuscules et celle au fluide froid en minuscules.

V.5.3 .3 Calcul Différence Logarithmique Moyenne de Température ΔTLM

$$\begin{aligned} \Delta TLM &= \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\ln \frac{(T_e - t_s)}{(T_s - t_e)}} \\ \Delta TLM &= \frac{(70 - 47) - (35 - 26)}{\ln \frac{(70 - 47)}{(35 - 26)}} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \Delta TLM &= \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\ln \frac{(T_e - t_s)}{(T_s - t_e)}} \\ \Delta TLM &= \frac{(70 - 47) - (35 - 26)}{\ln \frac{(70 - 47)}{(35 - 26)}} \end{aligned}} \right\} \quad \boxed{\Delta TLM = 14,92}$$

V.5.3 .4 Calcul le Facteur de correction:

$$\begin{aligned} R &= \frac{(T_e - T_s)}{(t_s - t_e)} \\ R &= \frac{(70 - 35)}{(47 - 26)} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} R &= \frac{(T_e - T_s)}{(t_s - t_e)} \\ R &= \frac{(70 - 35)}{(47 - 26)} \end{aligned}} \right\} \quad \boxed{R = 1.6}$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{(t_s - t_e)}{(T_e - t_e)} \\ P &= \frac{(47 - 26)}{(70 - 26)} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} P &= \frac{(t_s - t_e)}{(T_e - t_e)} \\ P &= \frac{(47 - 26)}{(70 - 26)} \end{aligned}} \right\} \quad \boxed{P = 0.48}$$

Donc $F = 0.80$ $0.8 < F < 1$ (voir Annexe V.5)

Donc le nombre de passe coté calandre : $n_c = 1$

V.5.3 .5 Calcul $\Delta TLM_{\text{corrigé}}$

$$\left. \begin{aligned} \Delta TLM_{\text{corrigé}} &= F \times \Delta TLM \\ \Delta TLM_{\text{corrigé}} &= 0.80 \times 14.92 \end{aligned} \right\} \Delta TLM_{\text{corrigé}} = 11.94^\circ\text{C}$$

V.5.3 .6 Choix de la géométrie de l'appareil :

- **Choix de la valeur initiale de coefficient d'échange :**

Pour un échangeur eau/eau U est : $800 < U < 2000 \text{ W/m}^2\text{K}$

Selon la nature des fluides :

$$U_{\text{moy}} = \frac{800+2000}{2} \quad U_{\text{moy}} = 1400 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- **Calcul de la surface d'échange**

$$S = \frac{\phi}{U \cdot \Delta TLM_{\text{corrigé}}} = \frac{7332.5}{1400 \cdot 0.001 \cdot 11.94} \quad S = 438.65 \text{ m}^2$$

- **Choix du matériau à utiliser**

Puisque nous allons travailler dans un intervalle de température compris entre $0 < t < 400$ et les deux fluides en question sont moyennement corrosifs. Donc le matériau à utiliser est : **acier au carbone.**

- **Choix de la longueur**

La longueur choisie est $L = 6\text{m}$

- **Choix du diamètre et de l'épaisseur**

BWG 14 une épaisseur de **2.10 mm** Donc $d_o = 0.01905 \text{ m}$, $e = 0.0021 \text{ m}$, $d_i = 0.01483 \text{ m}$.

Voir Annexe V.1 : Caractéristique des tubes d'un échangeur.

- **Choix de la disposition de l'orientation du faisceau**

Puisqu'on travaille avec des eaux, on préfère d'utiliser un faisceau à pas triangulaire, la disposition triangulaire permet d'installer une surface d'échange supérieur d'environ 15%.

Donc on a : **un pas triangulaire droit.**

Donc le nombre de passe coté calandre : $n_c = 1$

- **Choix du pas :** voir l'annexe V.2 (choix du pas).

On a $p = 15/16$ pouce

$$\left. \begin{aligned} p &= 1.25 \times d_o \\ p &= 1.25 \times 0.01905 \end{aligned} \right\} \boxed{P = 0.0238}$$

7. Estimation du nombre des tubes par calandre

La Surface d'échange d'un tube :

$$\left. \begin{aligned} a_o &= \pi \cdot d_o \cdot l \\ a_o &= \pi \times 0.0195 \times 6 \end{aligned} \right\} \boxed{a_o = 0.367 \text{ m}^2}$$

$$\left. \begin{aligned} N_t &= \frac{S}{a_o \cdot n_c} \\ N_t &= \frac{438.65}{0.367} \end{aligned} \right\} \boxed{N_t = 1195 \text{ tubes}}$$

- **Nombre de passe coté tubes :** voir l'Annexe V.3 (**Nombre** de tube pas triangulaire).

On a : le N_t le plus proche de N' est de 1200, donc

$N_t = 1200$

N_t : nombre de tube

$n_t = 2$

n_t : nombre de passe coté tube

$D_c = 0.94 \text{ m}$

D_c : diamètre de la calandre

- **Choix du pas des chicanes**

Puisque on a un $D_c = 94 \text{ cm}$

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{2 \cdot D_c}{5} \\ B &= \frac{2 \cdot 0.94}{5} \end{aligned} \right\} \boxed{B = 0.376 \text{ m}}$$

- **Calcul du nombre de chicane**

$$\left. \begin{aligned} N_c &= \frac{L}{B} - 1 \\ N_c &= \frac{6}{0.376} - 1 \end{aligned} \right\} \boxed{N_c = 16}$$

- **Calcul le nombre d'unité de transfert NUT**

$$NUT = \frac{U \cdot S}{C_{min}}$$

$$\left. \begin{aligned} C_c &= W_c * C_p \\ C_c &= 50 \times 4.190 \end{aligned} \right\}$$

$$C_c = 209.5 \text{ Kj/s. k}$$

$$\left. \begin{aligned} C_f &= W_f * C'_p \\ C_f &= 83.33 * 4.179 \end{aligned} \right\}$$

$$C_f = 348.23 \text{ Kj/s. k}$$

$$C_{min} = C_c = 209.5 \text{ Kj/s.k}$$

$$C_{max} = 348.23 \text{ Kj/s. K}$$

$$NUT = \frac{U * S}{(W * C_p)_{in}}$$

$$NUT_{max} = \frac{1400 * 10^{-3} * 438.65}{209.5}$$

$$NUT_{max} = 3$$

- **Calcul le Rapport des capacités C**

$$R = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

$$R = \frac{209.5}{348.23}$$

$$R = 0.60$$

A partir de l'abaque en déterminant l'efficacité $E = 0.79$ Voir Annexe V.6 : L'efficacité de la différence de NUT)

V.5.4. Calcul de l'échangeur par le logiciel Aspen EDR :

La famille de produits Aspen Exchanger Design et Rating (EDR) offre la gamme la plus complète de logiciels de conception et de classification des échangeurs de chaleur dans le Monde. Il s'appuie sur plus de 40 ans d'héritage de HTFS et B-JAC. Les outils EDR s'intègrent à la simulation de processus Aspen Plus et Aspen HYSYS pour permettre aux ingénieurs process et aux spécialistes des équipements thermiques et mécaniques de collaborer efficacement. Aspen EDR Exchanger peut être utilisé pour concevoir tous les principaux types industriels d'échangeur dans toutes les combinaisons de procédés, y compris le chauffage ou le refroidissement monophasé et l'ébullition ou la condensation.

En règle générale, les utilisateurs économisent entre 10 et 30% sur les coûts d'équipement en concevant efficacement leurs échangeurs à l'aide d'Aspen Exchanger Design & Rating. Compte tenu d'une exigence de processus et de données de propriétés physiques, le programme effectue une recherche approfondie de conception pour trouver l'arrangement de coût optimal capable de satisfaire les contraintes de processus.

Le programme fournit la géométrie détaillée de l'échangeur et les détails de performance, ainsi qu'une feuille de spécifications, un plan de réglage et des schémas de disposition des tubes.

Les dessins achevés peuvent être transférés à Aspen Shell & Tube Mechanical pour une conception mécanique complète aux exigences de l'ASME ou d'autres codes internationaux.

V.5.4.1 Calcul d'un échangeur de chaleur par le simulateur ASPEN EDR

- **Le Calcul consiste à fixer les données suivantes**
 - ✓ Les propriétés physico-chimiques et les débits des deux fluides.
 - ✓ Les températures et pressions.
 - ✓ Diamètre de la calandre, longueur des tubes, l'épaisseur, nombre de passe coté tube

Pour obtenir :

- ✓ La surface d'échange.
- ✓ Nombre de tubes.
- ✓ Température de sortie cotée tube

V.5.4.2 Vérification de l'échangeur par le logiciel de simulation ASPEN EDR

V.5.4.2.1. Donnée du dimensionnement : [27]

Pour le dimensionnement d'échangeur avec logiciel d'EDR on a besoin des données de départ qui sont définies dans le tableau suivant :

Tableau V.5 : les Données du dimensionnement d'échangeur avec logiciel EDR.

| | Fluide chaud coté Tube eau de Saumure | Fluide froid coté calandre Eau de Refroidissement |
|-------------------------|---------------------------------------|---|
| Température (°C) | $T_e = 70$ $T_s = 35$ | $T_e = 26$ $T_s = ?$ |
| Pression d'entrée (bar) | 2 | 4 |
| Débits (Kg/h) | 180 | 300 |

V.5.4 .2 Les étapes de simulation

La simulation est selon les étapes suivantes :

1. Choisir le type de l'échangeur et définir les données du process

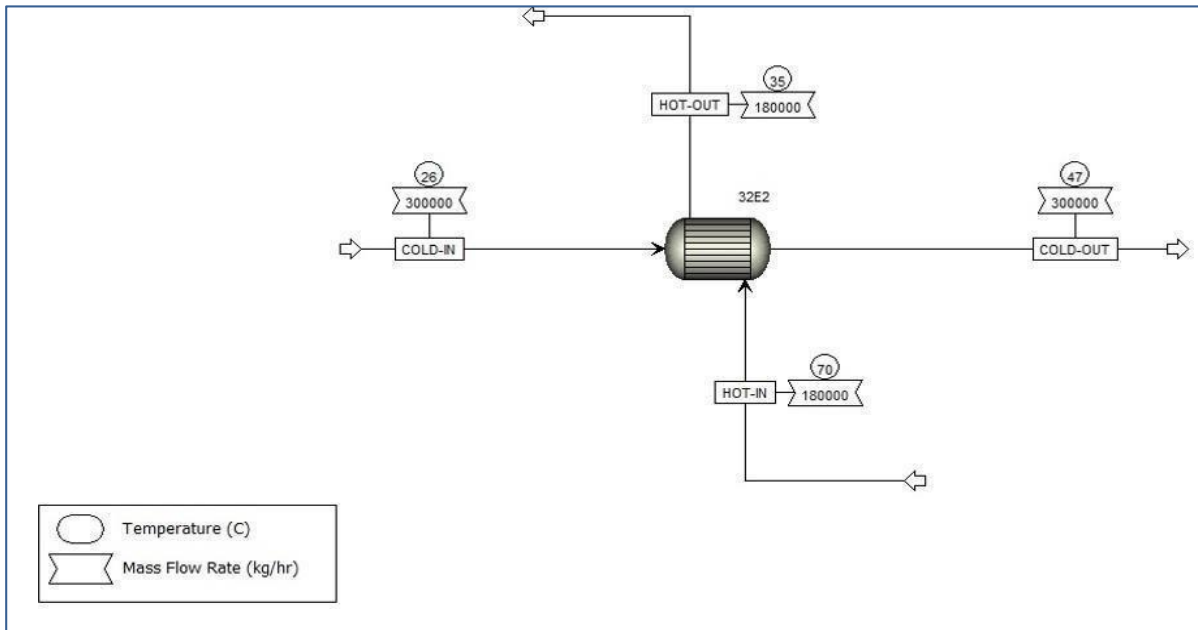


Figure V.4: Schéma du procédé restitué par EDR

2. Définir les compositions chimiques de fluide chaud et froid

EDR Navigation << Geometry Process Errors & Warnings Run Status

| | HotSide | ColdSide | Recent HotSide | Recent ColdSide |
|--------------------------------------|-------------------------|----------|----------------|-----------------|
| Calculation mode: Design (Sizing) | | | | |
| Process Conditions | | | | |
| Mass flow rate | kg/h 180000 | 299988 | 180000 | 299988 |
| Mass flow rate multiplier | 1 | 1 | | |
| Inlet pressure | kPa 200 | 400 | 200 | 400 |
| Outlet pressure | kPa 150 | 150 | 198,354 | 391,995 |
| Pressure at liquid surface in column | kPa | | | |
| Inlet Temperature | °C 70 | 26 | 70 | 26 |
| Outlet Temperature | °C | 47,06 | 34,99 | 47,05 |
| Inlet vapor mass fraction | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Outlet vapor mass fraction | 0 | | 0 | 0 |
| Heat exchanged | kW | | 7570,3 | |
| Heat exchanged multiplier | 1 | | | |
| Process Input | | | | |
| Allowable pressure drop | kPa 50 | 50 | 50 | 50 |
| Fouling resistance | m ² ·K/W 0 | 0 | 0 | 0 |

Figure V.5: Données de Process

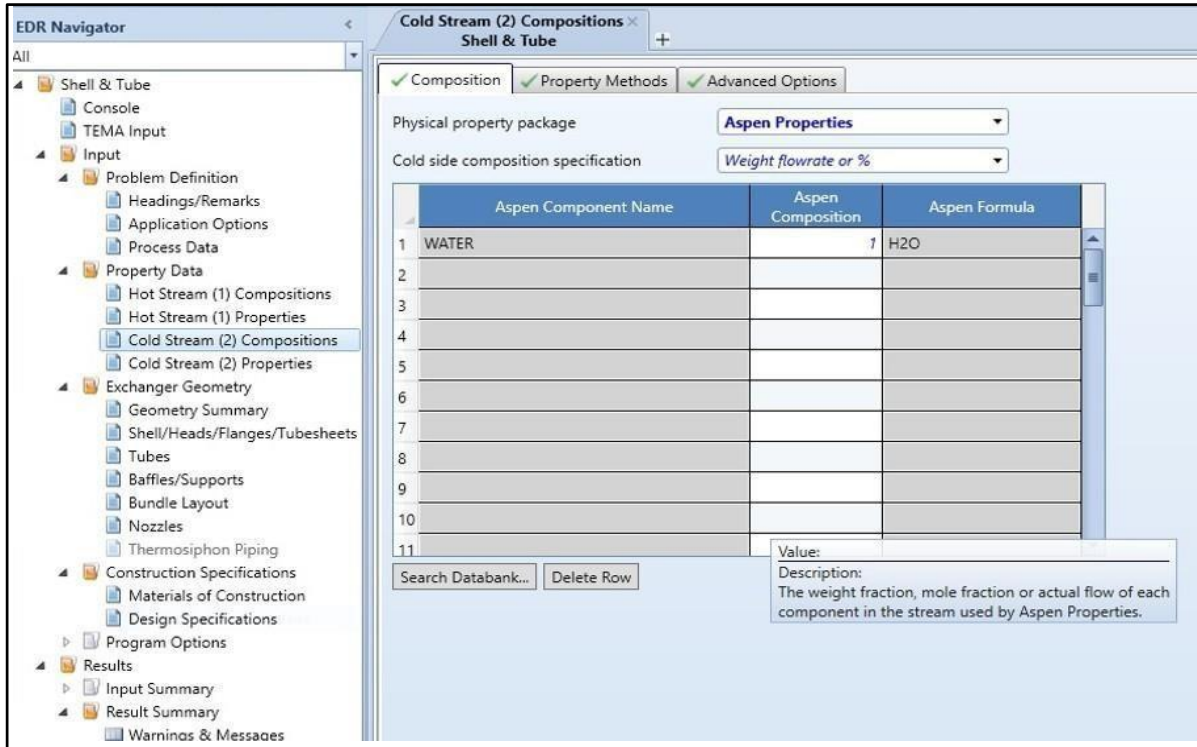


Figure V.6 : Composition chimique du fluide froid

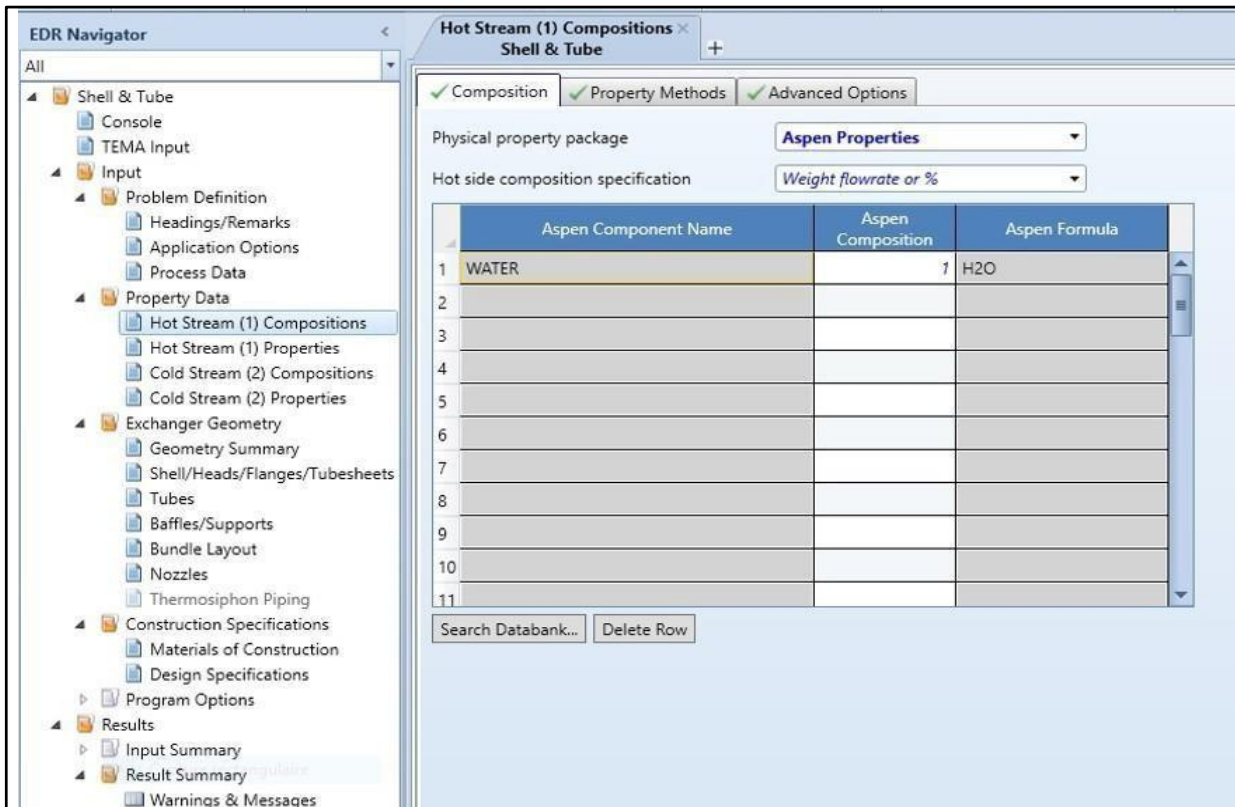


Figure V.7 : Composition chimique du fluide chaude.

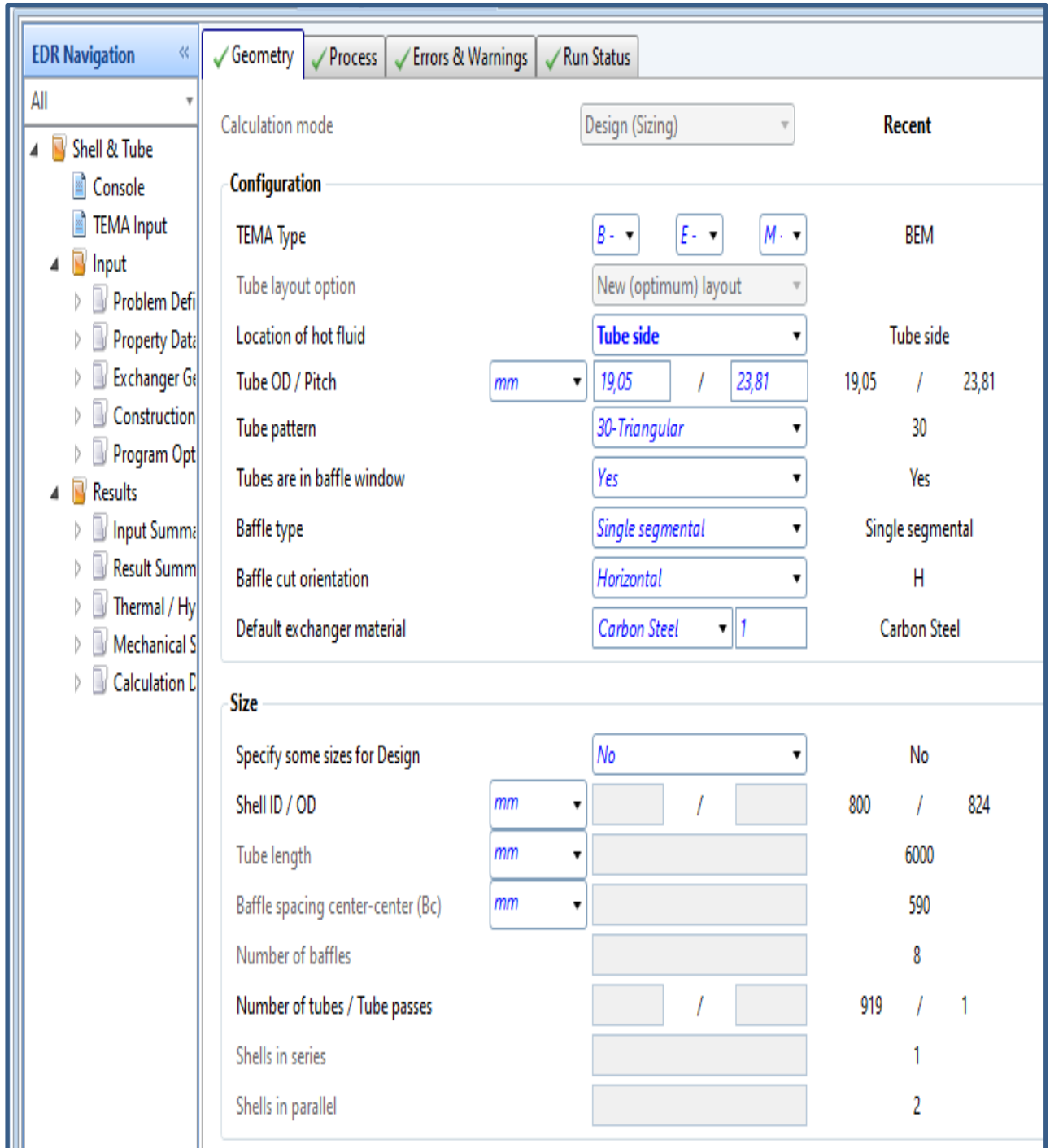


Figure V.8: Les caractéristiques géométriques

V.5.3.3 Résultats de la simulation sous forme de data sheet et plan mécanique

Après plusieurs essais les résultats de la simulation se présentent sous forme de data sheet et plan mécanique comme suit.

1- Data sheet de l'échangeur

| Heat Exchanger Specification Sheet | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------|----------------|-------------------------------------|-----|------------------|--|----------------|----------|--|
| 1 | Company: | | | | | | | | | |
| 2 | Location: | | | | | | | | | |
| 3 | Service of Unit: | | | Our Reference: | | | | | | |
| 4 | Item No.: | | | Your Reference: | | | | | | |
| 5 | Date: | Rev No.: | Job No.: | | | | | | | |
| 6 | Size : | 800 - 6000 | mm | Type: | BEM | Horizontal | Connected in: | 2 parallel | 1 series | |
| 7 | Surf/unit(eff.) | 649,3 | m ² | Shells/unit | 2 | Surf/shell(eff.) | 324,7 | m ² | | |
| 8 | PERFORMANCE OF ONE UNIT | | | | | | | | | |
| 9 | Fluid allocation | | | Shell Side | | | Tube Side | | | |
| 10 | Fluid name | | | eau ref-> eau ref2 | | | saum-> saum 2 | | | |
| 11 | Fluid quantity, Total | | | 299988 | | | 180000 | | | |
| 12 | Vapor (In/Out) | | | 0 | | | 0 | | | |
| 13 | Liquid | | | 299988 | | | 180000 | | | |
| 14 | Noncondensable | | | 0 | | | 0 | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |
| 16 | Temperature (In/Out) | | | 26 | | | 47,05 | | | |
| 17 | Bubble / Dew point | | | / | | | / | | | |
| 18 | Density Vapor/Liquid | | | / 1006,61 | | | / 990,56 | | | |
| 19 | Viscosity | | | / 0,8705 | | | / 0,5728 | | | |
| 20 | Molecular wt, Vap | | | | | | | | | |
| 21 | Molecular wt, NC | | | | | | | | | |
| 22 | Specific heat | | | / 4,313 | | | / 4,319 | | | |
| 23 | Thermal conductivity | | | / 0,6125 | | | / 0,6399 | | | |
| 24 | Latent heat | | | kJ/kg | | | | | | |
| 25 | Pressure (abs) | | | 400 | | | 391,995 | | | |
| 26 | Velocity (Mean/Max) | | | 0,31 / 0,33 | | | 0,16 / 0,16 | | | |
| 27 | Pressure drop, allow./calc. | | | 50 | | | 8,005 | | | |
| 28 | Fouling resistance (min) | | | 0 | | | 0 | | | |
| 29 | Heat exchanged | | | 7570,3 | | | MTD (corrected) 14,92 °C | | | |
| 30 | Transfer rate, Service | | | 781,7 | | | Dirty 783,9 Clean 783,9 W/(m ² -K) | | | |
| 31 | CONSTRUCTION OF ONE SHELL | | | | | | | | | |
| 32 | | | | Shell Side | | | Tube Side | | | |
| 33 | Design/Vacuum/test pressure | | | kPa 500 / / | | | 300 / / | | | |
| 34 | Design temperature / MDMT | | | °C 85 / / | | | 105 / / | | | |
| 35 | Number passes per shell | | | 1 | | | 1 | | | |
| 36 | Corrosion allowance | | | mm 3,18 | | | 3,18 | | | |
| 37 | Connections | | | In mm 1 203,2 / - | | | 1 152,4 / - | | | |
| 38 | Size/Rating | | | 1 203,2 / - | | | 1 152,4 / - | | | |
| 39 | Nominal | | | Intermediate / - | | | / - | | | |
| 40 | Tube #: 919 | | | OD: 19,05 Tks. Average 2,11 mm | | | Length: 6000 mm Pitch: 23,81 mm Tube pattern: 30 | | | |
| 41 | Tube type: Plain | | | Insert: None | | | Fin#: #/m Material: Carbon Steel | | | |
| 42 | Shell Carbon Steel | | | ID 800 OD 824 mm | | | Shell cover - | | | |
| 43 | Channel or bonnet Carbon Steel | | | | | | Channel cover - | | | |
| 44 | Tubesheet-stationary Carbon Steel | | | | | | Tubesheet-floating - | | | |
| 45 | Floating head cover - | | | | | | Impingement protection None | | | |
| 46 | Baffle-cross Carbon Steel | | | Type Single segmental Cut(%d) 39,69 | | | H Spacing: c/c 590 mm | | | |
| 47 | Baffle-long - | | | Seal Type | | | Inlet 886,48 mm | | | |
| 48 | Supports-tube U-bend | | | 0 | | | Type | | | |
| 49 | Bypass seal | | | Tube-tubesheet joint | | | Expanded only (2 grooves)(App.A 'i') | | | |
| 50 | Expansion joint - | | | Type None | | | | | | |
| 51 | RhoV2-Inlet nozzle 1656 | | | Bundle entrance 214 | | | Bundle exit 357 kg/(m ² -s ²) | | | |
| 52 | Gaskets - Shell side - | | | Tube side | | | Flat Metal Jacket Fibe | | | |
| 53 | Floating head - | | | | | | | | | |
| 54 | Code requirements | | | ASME Code Sec VIII Div 1 | | | TEMA class R - refinery service | | | |
| 55 | Weight/Shell | | | 7370,9 Filled with water 10042,9 | | | Bundle 5291,4 kg | | | |
| 56 | Remarks | | | | | | | | | |
| 57 | | | | | | | | | | |
| 58 | | | | | | | | | | |

Figure V.9 : Fiche de spécification Data sheet.

En regardant les résultats récapitulés ci-dessus, nous pouvons dire qu'il y a concordance totale des valeurs calculées par les méthodes de KERN et Logiciel ASPEN EDR, dans la plupart des grandeurs. En conclusion, on peut dire que le but prévu de ce calcul est atteint.

Tableau comparatif des résultats obtenus par la méthode de KERN et l'EDR

| | Calcul avec méthode KERN | Calcul avec ASPEN EDR |
|---|-----------------------------|-----------------------|
| ΔTLM en °C | 14.92 | 14.92 |
| La surface d'échange S en m^2 | 438.65 | 324.7 |
| La quantité de chaleur échangé(KW) | 7332.5 | 7570.3 |
| Température de sortie l'eau chaude T_{cs} en °C | 47 | 47 |
| Température de sortie l'eau froide T_{fs} en °C | 35 | 34.99 |

Tableau V.6 : comparaison des résultats pour les deux méthodes.

V.6. Conclusion

D'après les résultats obtenus on constate que :

Les résultats de calcul du dimensionnement thermique de nouvel échangeur est jugé très satisfaisant d'une part parce que le coefficient d'échange est assez important permettant un meilleur transfert de chaleur entre les deux fluides assurés par la surface d'échange qui égale : (438.65m²). Ces résultats dénotent la possibilité diminuer la température d'eau saumure à la sortie de l'échangeur.

Les résultats obtenus sont acceptables, (les résultats obtenus par les deux méthodes). D'abord le dimensionnement de l'échangeur en appliquant la méthode de KERN a permis de retrouver une surface d'échange (438.65m²). par contre le calcul par le logiciel ASPEN EDR qui donne (324.7m²).

V.7. Évaluation économique

Suite à l'étude effectuée sur la qualité des eaux de saumures de la raffinerie, il ressort que la raffinerie peut valoriser une grande quantité des eaux saumâtres autant que des eaux d'appoints. Dans cette étude, les quantités d'eau consommées comme appoint au niveau des évaporateurs provenant de KAHRAMA, seront calculées puis les gains réalisés après l'opération de la récupération seront évalués.

La raffinerie utilise des quantités importantes d'eau soit $12000 \text{ m}^3/\text{j}$ pour une capacité de traitement de $4380000\text{t}/\text{an}$. Les circuits des évaporateurs consomment dans le voisinage de 40 à 60 % de la consommation totale d'eau brut au niveau de la raffinerie.

Dans cette partie, nous allons étudier la possibilité d'économiser une quantité d'eau évaporée ce qui permet de réaliser un gain concernant les quantités d'eau utilisée comme appoint dans le bac 32T602.

Dans cette partie, nous allons réaliser une étude technico-économique afin d'estimer le gain.

V.7.1. Estimation de la quantité d'eau économisé

- **Quantité d'eau destinées aux évaporateurs :**

- Débit d'appoint en eau brute (estimer par calcul) = $270 \text{ m}^3/\text{h}$
- Consommation annuelle (Appoint annuel) : $270 \times 365 \times 24 = 2\,365\,200 \text{ m}^3/\text{an}$

- **Quantité de saumure recyclée**

- Débit de l'eau de saumure recyclé = $180 \text{ m}^3/\text{h}$

Prix eau brute (Kahrana) : 1m^3 d'eau brute coute : 100 DA Cout Annuel :

$$100 \times 4380000 = 438\,000\,000 \text{ DA}$$

Cout Annuel de l'eau d'appoint des évaporateurs (zone 3) :

$$100 \times 2362500 = 236\,520\,000 \text{ DA}$$

Cout Annuel de l'eau d'appoint des évaporateurs après récupération d'eau de saumure (zone 3) :

- Schéma de récupération : $180 \times 24 \times 365 \times 100 = 157\,680\,000 \text{ DA}$

Ce qui impliquera un Gain annuel de

- Schéma de récupération : $236520000 - 157680000 = 78\,840\,000 \text{ DA}$

V.8. Conclusion

La raffinerie rejette une quantité importante de la saumure vers égouts qui est de l'ordre de 3000 m^3/j coûtant environ 78,8 millions de dinars annuellement. Cette eau pourra être recyclée pour alimenter l'appoint de bac 32T602 en réalisant un faible investissement pour acheminer cette eau traitée de bonne qualité.

Cette opération de recyclage permettra de :

- Diminuer les coûts de l'eau
- Diminuer les volumes d'effluents rejetés vers la mer et donc protéger l'environnement
- Pouvoir faire face à d'éventuelles situations de restriction dans l'approvisionnement en eau.

Conclusion Générale & Recommandations

Notre projet de fin d'étude a été effectué au niveau du complexe de la raffinerie d'Arzew où nous avons réalisé un travail concernant la possibilité de réutilisation de l'eau de saumure des évaporateurs 32B101 et 32B102 et circuit de refroidissement comme eau d'appoint, dans la zone 3 (utilité 1).

A cet effet, nous avons, en premier lieu, effectué des analyses physico-chimiques au laboratoire de la RA1/Z. Les résultats obtenus montrent qu'on peut réutiliser les eaux saumâtres comme une eau d'appoint des deux évaporateurs 32B101 et 32B102 et des tours de refroidissement, vu la bonne qualité qu'elles présentent qui sont proches de la qualité de l'eau brute, dans le but de réduire les dépenses en eau d'appoint.

Ensuite, pour le dimensionnement de l'échangeur faisceau calandre, nous avons utilisé la méthode de Kern pour effectuer les calculs nécessaires. Puis, nous avons réalisé une simulation numérique à l'aide du logiciel ASPEN (EDR) avec les mêmes paramètres d'entrée, ce logiciel nous a permis de concevoir la géométrie de l'échangeur pour réaliser le service thermique exigé. Les résultats obtenus par les deux méthodes, pour la même résultat d'échangeur de chaleur, sont satisfaisants et sont confirmés par logiciel de simulation.

A la fin de cette étude, nous avons estimés le gain réalisé après l'opération du recyclage d'une quantité appréciable d'eau saumure qui est de l'ordre de 180 m³/h coutant annuellement, environ 788 400 000 DA.

En outre, ces résultats ont montré qu'il est avantageux de réutiliser les eaux saumures comme eau d'appoint en réalisant un investissement peu coûteux afin d'acheminer cette eau vers le bac 32T 602.

En fin, nous proposons quelques recommandations pour la suite de ce travail :

- Prévoir la récupération d'eau de saumure de l'évaporateur 32B102 et la réutiliser comme eau d'appoint vers l'évaporateur 32B101 et 32B102 plus le circuit de refroidissement.
- Prétraiter l'eau de saumure pour éviter la formation des dépôts de tartre ainsi que la corrosion du métal dus au pH.
- Suivre régulièrement la qualité d'eau de saumure afin d'éviter les interruptions fréquentes dans le fonctionnement de l'échangeur proposé.
- Prévoir un entretien régulier de l'échangeur pour augmenter sa durée de vie (Inspection + nettoyage + retubage des tubes).

- [1] : Documentation de la raffinerie d'Arzew
- [2] : MANUEL OPERATOIREUTILITES 1 (M-prod-01)
- [3] : Manuel Opérateur Zone 03, Arzew.
- [4] : N. Champion, Manuel d'exploitation (la fourniture d'une solution globale pour le conditionnement des eaux de refroidissement des circuits d'utilités 1 et 2 de la raffinerie d'ARZEW, ARZEW, 2015.
- [5] : BAKALOWICZ, M., Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, Corse, 1999.
- [6] : Iver Duedall, Notes de cours - Océanographie, Florida Institute of Technology.
- [7] : HAMANI, A., Etude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, Mémoire de fin d'études, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Abraoui Abdelah, 100 pages, 2013.
- [8] : Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012
- [9] : C.LE GUERN, P.LACHASSAGNE ; « dessalement et recharge artificielle : synthèse techno- économique » rapport final mars 2003.
- [10] : T. Slimane ; la remise en services de l'échangeur E1505 comme palliatif à l'arrêt de la colonne de stabilisation DA4501 ; projet de formation d'induction (2015).
- [11] : D. Nadjemeddine, Simulation d'une conception d'un échangeur a faisceau et calandre, mémoire de master en génie mécanique énergétique et l'environnement, université de Annaba (2017).
- [12] : T. Farid, étude comportement dynamique et thermique de deux écoulements du fluide dans un échangeur de chaleur, Mémoire de Master en Génie Energétique-(2013).
- [13] : M. Maroua -Dimensionnement dune changeur a tube et calandre de l'unité décarbonatation du complexe GL1 Skikda, universités de Annaba (2017)
- [14] : S. Sall ; Introduction général échangeur de chaleur ; Mémoire de fin d'étude ; université de Tlemcen (2014).
- [15] : P.Wuithier- Le Raffinage et génie chimique, Tome II- 2emeEdition-Edition TECHIP-Paris –France (1972).

- [16] S. Sall ; dimensionnement de l'échangeur à faisceau et calandre; Mémoire de fin d'étude ; université de Tlemcen (2014)
- [17] : Mémoire-Amine A. Nehari- Étude thermo-énergétique d'un échangeur de chaleur à plaques et joints : Application aux fluides géothermiques, université de Tlemcen - département de physique (2011).
- [18] : Manuel opératoire laboratoire -Section Control.
- [19]: Manuel opératoire laboratoire -Section Analyse chimique.
- [20]: Standard Test Methods for pH of water.
- [21] : Standard Test Methods for electrical conductivity and resistivity of water.
- [22] : Standard Test Methods for hardness in water.
- [23] : B. Mounir and C. Naoil, *Echangeurs de chaleur : Technologie, calcul et design*. Editions TECHNIP, 2014.
- [24] : A.-M. Bianchi, Y. Fautrelle, and J. Etay, *Transfertsthermiques*. 2004.
- [25] : T.Kuppan,Heat exchanger Design Hand BOOK
- [26] : Aspen Technology, "Hysys 200 4 .2 ®," Oper. Guid., 2005.
- [27] : T. Exchanger, "Learn How to Optimize Heat Exchanger Designs using Aspen Shell & Tube Exchanger Why use Aspen Shell & Tube Exchanger ?

| DIAMÈTRE EXTÉRIEUR (in et mm) | BWG | ÉPAISSEUR (mm) | DIAMÈTRE INTÉRIEUR (cm) | SECTION (cm ²) | SURFACE (m ² /m) | | POIDS (kg/m) |
|----------------------------------|-----|-------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|-----------------|
| | | | | | extérieure | intérieure | |
| 1/2 in (12,7 mm) | 14 | 2,10 | 0,848 | 0,565 | 0,0399 | 0,0266 | 0,600 |
| | 16 | 1,65 | 0,940 | 0,694 | | 0,0295 | 0,490 |
| | 18 | 1,24 | 1,021 | 0,819 | | 0,0321 | 0,384 |
| 3/4 in (19,05 mm) | 10 | 3,40 | 1,224 | 1,177 | 0,0598 | 0,0384 | 1,436 |
| | 12 | 2,77 | 1,351 | 1,434 | | 0,0424 | 1,216 |
| | 14 | 2,10 | 1,483 | 1,727 | | 0,0466 | 0,963 |
| | 16 | 1,65 | 1,575 | 1,948 | | 0,0495 | 0,774 |
| | 18 | 1,24 | 1,656 | 2,154 | | 0,0520 | 0,597 |
| 1 in (25,4 mm) | 10 | 3,40 | 1,859 | 2,714 | 0,0798 | 0,0584 | 2,024 |
| | 12 | 2,77 | 1,986 | 3,098 | | 0,0624 | 1,696 |
| | 14 | 2,10 | 2,118 | 3,523 | | 0,0665 | 1,324 |
| | 16 | 1,65 | 2,210 | 3,836 | | 0,0694 | 1,057 |
| | 18 | 1,24 | 2,291 | 4,122 | | 0,0720 | 0,811 |
| 1 1/4 in (31,75 mm) | 10 | 3,40 | 2,494 | 4,885 | 0,0997 | 0,0783 | 2,604 |
| | 12 | 2,77 | 2,616 | 5,375 | | 0,0822 | 2,158 |
| | 14 | 2,10 | 2,743 | 5,909 | | 0,0862 | 1,682 |
| | 16 | 1,65 | 2,845 | 6,357 | | 0,0894 | 1,340 |
| | 18 | 1,24 | 2,921 | 6,701 | | 0,0918 | 1,024 |
| 1 1/2 in (38,1 mm) | 10 | 3,40 | 3,124 | 7,665 | 0,1197 | 0,0981 | 3,185 |
| | 12 | 2,77 | 3,251 | 8,300 | | 0,1021 | 2,634 |
| | 14 | 2,10 | 3,378 | 8,962 | | 0,1061 | 2,039 |
| | 16 | 1,65 | 3,480 | 9,512 | | 0,1093 | 1,622 |
| | 18 | 1,24 | 3,556 | 9,931 | | 0,1171 | 1,237 |

Annexe V.1 : Caractéristique des tubes d'un échangeur.

| Dispositions | | d _e en pouces | P en pouces | $\frac{P}{d_e}$ | P - d _e en pouces |
|--------------|---|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| | △ | 5/8 | $\frac{13}{16}$ | 1,30 | $\frac{3}{16} = 0,187$ |
| | △ | 3/4 | $\frac{15}{16}$ | 1,25 | $\frac{3}{16} = 0,187$ |
| □ | △ | 3/4 | 1 | 1,33 | $\frac{1}{4} = 0,25$ |
| □ | △ | 1 | 1 1/4 | 1,25 | $\frac{1}{4} = 0,25$ |
| □ | | 1 1/4 | 1 9/16 | 1,25 | $\frac{5}{16} = 0,3125$ |

Annexe V.2 : choix du pas

| D _c calandre | | Tubes : 3/4" P = 15/16" | | | | Tubes : 3/4" P = 1" | | | | Tubes : 1" P = 1 1/4" | | | |
|-------------------------|------|-----------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|-----|-----|-----|
| | | nombre de passes : n ₁ | | | | nombre de passes : n ₂ | | | | nombre de passes : n ₃ | | | |
| (in) | (cm) | 2 | 4 | 6 | 8 | 2 | 4 | 6 | 8 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 8 | 20,3 | 32 | 26 | 24 | 18 | 30 | 24 | 24 | | 16 | 16 | 14 | |
| 10 | 25,4 | 56 | 47 | 42 | 36 | 52 | 40 | 36 | | 32 | 26 | 24 | |
| 12 | 30,5 | 98 | 86 | 82 | 78 | 82 | 76 | 74 | 70 | 52 | 48 | 46 | 44 |
| 13 1/4 | 33,7 | 114 | 96 | 90 | 86 | 106 | 86 | 82 | 74 | 66 | 58 | 54 | 50 |
| 15 1/4 | 38,7 | 160 | 140 | 136 | 128 | 138 | 122 | 118 | 110 | 86 | 80 | 74 | 72 |
| 17 1/4 | 43,9 | 224 | 194 | 188 | 178 | 196 | 178 | 172 | 166 | 118 | 106 | 104 | 94 |
| 19 1/4 | 48,9 | 282 | 252 | 244 | 234 | 250 | 226 | 216 | 210 | 152 | 140 | 136 | 128 |
| 21 1/4 | 54,0 | 342 | 314 | 306 | 290 | 302 | 278 | 272 | 260 | 188 | 170 | 164 | 160 |
| 23 1/4 | 59,1 | 420 | 386 | 378 | 364 | 376 | 352 | 342 | 328 | 232 | 212 | 212 | 202 |
| 25 | 63,5 | 506 | 468 | 446 | 434 | 452 | 422 | 394 | 382 | 282 | 256 | 252 | 242 |
| 27 | 68,6 | 602 | 550 | 536 | 524 | 534 | 488 | 474 | 464 | 334 | 302 | 296 | 286 |
| 29 | 73,7 | 692 | 640 | 620 | 594 | 604 | 556 | 538 | 508 | 376 | 338 | 334 | 316 |
| 31 | 78,8 | 822 | 766 | 722 | 720 | 728 | 678 | 666 | 640 | 454 | 430 | 424 | 400 |
| 33 | 83,8 | 938 | 878 | 852 | 826 | 830 | 774 | 760 | 732 | 522 | 486 | 470 | 454 |
| 35 | 88,9 | 1068 | 1004 | 988 | 958 | 938 | 882 | 864 | 848 | 592 | 562 | 546 | 532 |
| 37 | 94,0 | 1200 | 1144 | 1104 | 1072 | 1044 | 1012 | 986 | 870 | 664 | 632 | 614 | 598 |
| 39 | 99,0 | 1330 | 1258 | 1248 | 1212 | 1178 | 1128 | 1100 | 1078 | 736 | 700 | 688 | 672 |

Annexe V.3 : Nombre de tube pas triangulaire.

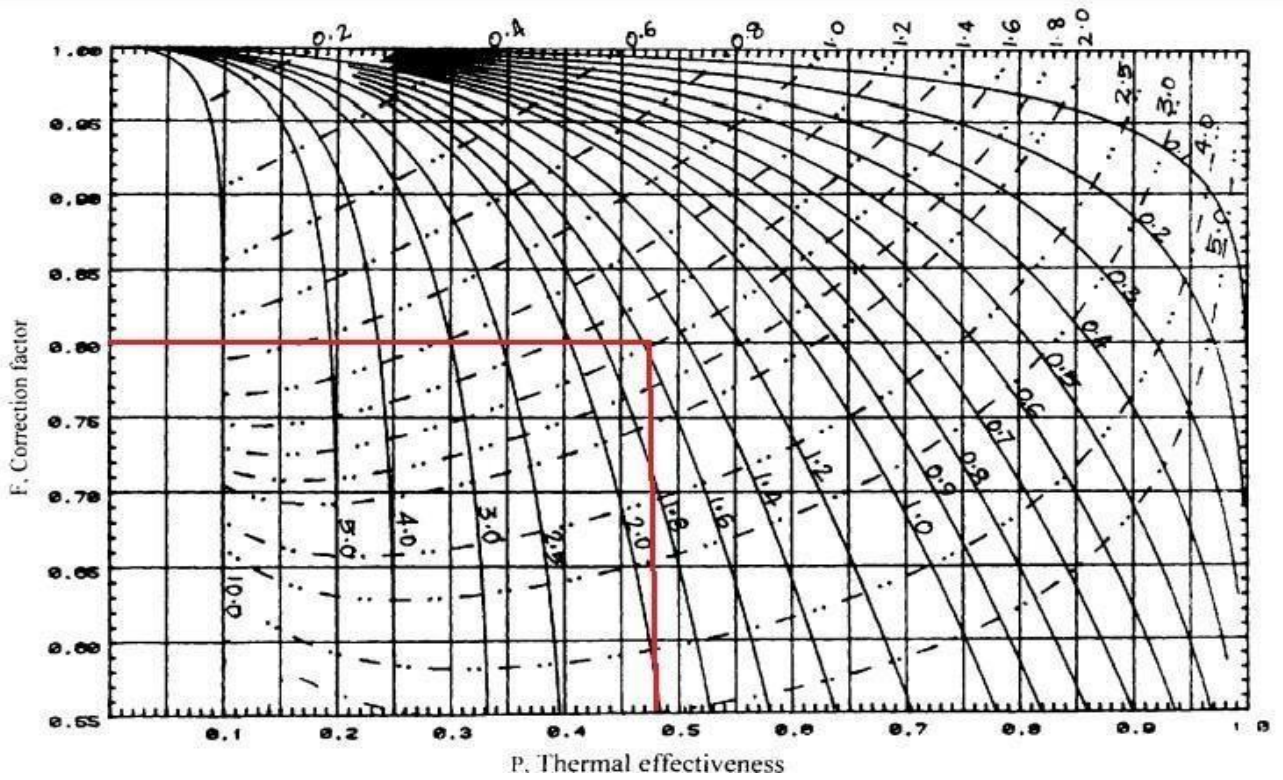
Les limites admises sont : $\frac{D_c}{5} \leq B \leq D_c$

Dans le cas des petites calandres la TEMA impose $B_{\text{mini}} = 2''$.

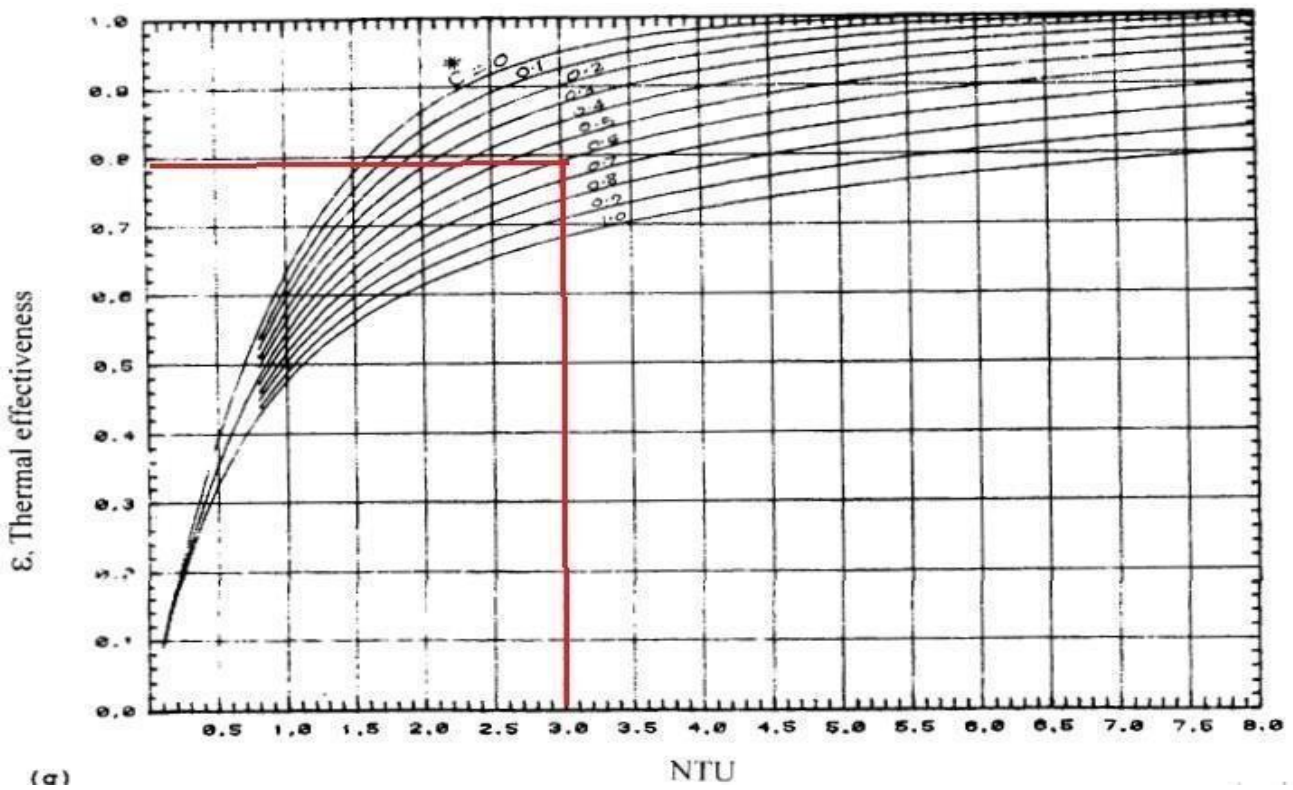
Les limites pratiques conseillées sont :

| D _c | B _{mini} |
|----------------------------|--------------------|
| D _c ≤ 10" | 2" |
| 10" < D _c ≤ 30" | 0,2 D _c |
| 30" < D _c ≤ 60" | 6" |
| D _c > 60" | 0,1 D _c |

Annexe V.4 : Le choix de l'espacement entre chicanes.



Annexe V.5: Facteur de correction de la différence moyenne de température.



(q)

Annexe V.6 : L'efficacité de la différence de NUT