

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POLITIQUE

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des sciences et technologie  
Département de Génie des procédés



## MEMOIRE DE MASTER II

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER II EN Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

*Simulation de l'alternative de la nano-filtration à l'Osmose inverse des eaux saumâtres :*  
*Eau destinée à la consommation humaine (EDCH) de la base de vie de Hassi-Messaoud (SONATRACH)*

Réalisé par :

**Mr : BERKANI Abdellatif**

Encadré par :

**Pr- Mr : W. NACEUR**

**Dr- Mr : M. HADJI**

## **Dédicace**

### **À ma très chère mère**

Aucune dédicace très chère maman, tu es loin de nous certes, mais tu es toujours présente dans nos esprits, et nos cœurs, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices infinis et votre dévouement firent pour moi un encouragement. Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Vous m'avez aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec à chaque fois une attention renouvelée.

### **À mon très cher père**

Tout l'encre du monde ne pourrait suffire pour exprimer mes sentiments envers un être très cher. Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin. Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père. J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

### **À mes sœurs**

Je ne trouve pas les mots justes et peux sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous avez partagé avec moi les meilleurs moments de ma vie, aux moments les plus difficiles de ma vie, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

### **À mes amis**

Ici je me sens bien Echanger avec vous ça me fait beaucoup de bien Je ne parle pas de votre soutien Qui m'apporte énormément de bien, Mes amis vous Qui m'apportez beaucoup Je vous adore Et votre amitié m'est plus précieuse que de l'or...

## **Remerciements**

### **À Professeur Wahib NACEUR et Professeur Moundher Hadji,**

Je voudrais m'exprimer, ma reconnaissance et ma gratitude pour m'avoir encadré, dirigé, aidé et conseillé, et surtout pour le temps précieux que vous m'avez accordé et pour avoir toujours été là quand j'avais besoin de vous merci.

### **À vous les membres du jury,**

Merci à vous, un par un, d'être présent, ici et aujourd'hui, pour évaluer mon humble travail, c'est un honneur pour moi.

### **A tous nos enseignants,**

Merci pour vos enseignements, merci d'avoir su nourrir nos réflexions et nos connaissances pour atteindre cette profonde satisfaction intellectuelle, merci mille merci.

### **À vous qui lisez ce mémoire,**

Merci pour l'intérêt que vous lui portez, merci pour votre choix.

## المخلص

تم إجراء دراسة للنظر في الترشيح النانوي كبديل للتناضح العكسي لتوفير الطاقة، والاحتفاظ بالملح، المعالجة البعدية للقيام بذلك تم تحجيم وحدتي الترشيح النانوي والتناضح العكسي وتم القيام بذلك عن طريق اختبارات المحاكاة باستخدام البرنامج وايد من اجل الحصول على نتائج مثل التركيب الايوني ومعدل استهلاك الطاقة ومعدل التحويل ستنتم مقارنة هذه المعاملات لاحقا لتحديد أكثر وحدة كفاءتا في معالجة المياه.

الكلمات المفتاحية: ترشيح النانوي، التناضح العكسي، المحاكاة

## Abstract

A study was carried out to consider Nano-filtration as an alternative to reverse osmosis for energy saving, salt retention, and post-treatment sparing, to do this, sizing two NF and RO units has been carried out with simulation tests (with WAVE software) to generate outputs such as the ionic composition of the water, energy consumption, recovery, etc. These parameters will then be compared to determine the most efficient water treatment subsidiary.

Key words: Nano-filtration, Reverse osmosis, Simulation.

## Résumé

Une étude a été menée pour envisager la nano-filtration comme une alternative de l'osmose inverse pour une économie d'énergie, une rétention des sels, post de traitement, pour se faire, un dimensionnement de deux unités NF et OI a été réalisé avec des tests par simulation (avec logiciel WAVE) pour générer des outputs tel que la composition ionique de l'eau, la consommation d'énergie, taux de conversion...etc. Ces paramètres seront par la suite comparés afin de déterminer la filiale de traitement d'eaux la plus efficace.

Mots clés : Nano-filtration, Osmose inverse, Simulation.

## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Introduction générale.....   | 12 |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique.....   | 14 |
| I.1-Introduction.....  | 14 |
| I.2-Disponibilité de l'eau.....  | 14 |
| I.3-Les eaux saumâtres.....  | 15 |
| I.4-Opération de séparation membranaire.....   | 15 |
| I.4.1-Principe de fonctionnement.....  | 15 |
| I.4.2-Différents procédés de séparation membranaire.....                                       | 16 |
| I.4.2.1-Microfiltration (MF).....  | 17 |
| I.4.2.2 Ultrafiltration (UF).....  | 17 |
| I.4.2.3 La nano-filtration NF.....   | 18 |
| I.4.2.4 L'osmose et osmose inverse (OI).....   | 19 |
| I.4.3-Comparaison entre osmose inverse et nano-filtration.....                                 | 22 |
| I.4.3.1-Similitude entre OI et NF.....   | 22 |
| I.4.3.2-Prétraitement de OI et NF.....   | 23 |
| I.4.3.3-OI et NF nécessitent une pression pour fonctionner.....                                | 23 |
| I.4.3.4 OI et NF sont des alternatives aux technologies de traitement conventionnelles.....    | 23 |
| I.4.3.5 En quoi OI/NF sont différents.....   | 24 |
| I.4.4 Configurations des membranes.....  | 24 |
| I.4.4.1 Module plan.....   | 24 |
| I.4.4.2 Module tubulaire.....  | 25 |
| I.4.4.3 Module spiralé.....  | 26 |
| I.4.4.4 Module à fibres creuses.....   | 26 |
| I.4.5 Colmatage.....   | 27 |
| I.4.5.1 Nettoyage physique (mécanique).....  | 28 |
| I.4.5.2 Nettoyage chimique.....  | 28 |
| I.5 Conclusion.....  | 29 |
| Chapitre II : Description de l'unité de traitement de la saumure et méthodologie expérimentale |    |
| II.1 Introduction.....   | 31 |
| II.2 Contexte et présentation de la station de dessalement.....                                | 31 |
| II.3 Description de l'unité de traitement de l'eau saumâtre.....                               | 32 |
| II.3.1 Captation d'eau.....  | 32 |
| II.3.2 Le prétraitement.....   | 32 |

|   |    |
|---|----|
| II.3.2.1 Prétraitement physique.....  | 32 |
| II.3.3 L'osmose inverse.....  | 34 |
| II.3.4 Le Post-traitement.....  | 36 |
| II.3.5 Schéma descriptif de la station de traitement des eaux.....  | 36 |
| II.4.1 Présentation du logiciel Wave DOW.....   | 38 |
| II.4.2 Simulation avec le logiciel.....   | 39 |
| II.4.3 Simulation et Dimensionnement avec logiciel wave.....  | 43 |
| II.4.3.1 Caractéristiques des membranes RO et NF.....   | 44 |
| II.5 Tests de simulation.....   | 46 |
| II.6 Conclusion.....  | 47 |
| Chapitre III : Résultats et discussion  |    |
| III.1 Introduction.....   | 49 |
| III.2 Effet de la température.....  | 49 |
| III.2.2 Etude de l'effet de la température sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique.....                        | 51 |
| III.3 Effet de taux de conversion.....  | 53 |
| III.3.1 Calcul des débits.....  | 53 |
| III.3.2 Etude de l'effet de taux de conversion sur le TDS de perméat.....   | 54 |
| III.3.3 Etude de l'effet de taux de conversion sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique.....                    | 55 |
| III.4 Réduction de la taille de l'unité.....  | 57 |
| III.4.1 Etude de l'effet de la réduction de la taille de l'unité sur le TDS de perméat.....                                   | 58 |
| III.4.2 Etude de l'effet de la réduction de la taille de l'unité sur la pression d'alimentation.....                          | 58 |
| III.4.3 Etude de l'effet de la réduction de la taille de l'unité sur l'énergie spécifique.....                                | 60 |
| III.5 Reminéralisation.....   | 61 |
| III.5.1 Calcul des débits.....  | 61 |
| III.5.2 Etude l'effet de la reminéralisation sur le TDS de perméat.....   | 63 |
| III.5.3 Etude l'effet de la reminéralisation sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique.....                      | 64 |
| III.5.4 Etude l'effet de taux de conversion sur le TDS de perméat avec reminéralisation.....                                  | 66 |
| III.5.5 Etude l'effet de taux de conversion sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique avec reminéralisation..... | 67 |
| Conclusion général.....   | 69 |
| Références bibliographiques.....  | 70 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau II-1 : les paramètres de flux d'alimentation à la sortie du puits (Analyse 1).....    | 37 |
| Tableau II-2 : La composition de flux d'alimentation à la sortie du puits (Analyse 1).....    | 37 |
| Tableau II-3 : les paramètres de flux d'alimentation après l'antitartre Vulcan (Analyse 2)... | 38 |
| Tableau II-4 : La composition de flux d'alimentation (Analyse 2).....                         | 38 |
| Tableau II-5 : les paramètres de flux d'alimentation (Analyse 3).....                         | 43 |
| Tableau II-6 : La composition de flux d'alimentation (Analyse 3).....                         | 43 |
| Tableau II.7: caractéristiques de la membrane de type RO-4040-FF.....                         | 45 |
| Tableau II.8 : Caractéristiques de la membrane de type NF270-4040.....                        | 45 |
| Tableau III-1 : Résultat des calculs des débits.....  | 53 |
| Tableau III-2 : Résultat des calculs des débits (2).....                                      | 62 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1 : Schéma simplifié d'une opération de séparation membranaire.....   | 15 |
| Figure I.2 : Modes de filtration d'une membrane.....   | 16 |
| Figure I.3 : gamme de filtration.....  | 17 |
| Figure I.4 : Principe des phénomènes de la nano-filtration.....  | 18 |
| Figure I.5 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....   | 20 |
| Figure I.6 : Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....   | 21 |
| Figure I.7: Module plan.....   | 25 |
| Figure I.8 : Module tubulaire.....   | 25 |
| Figure I.9 : Module spiralé.....   | 26 |
| Figure I.10: Module à fibres creuses.....  | 26 |
| Figure I.11 : Mécanismes simplifiés du colmatage des membranes poreuses.....   | 27 |
| Figure II.1 : Filtres à sables et anthracite.....  | 33 |
| Figure II.2 : Filtres à cartouches au niveau de la station.....  | 34 |
| Figure II.3 : L'étape de l'osmose inverse.....   | 35 |
| Figure II.4 : membrane spirale de l'osmose inverse.....  | 35 |
| Figure II.5 Schéma descriptif de la station de traitement des eaux.....  | 36 |
| Figure II.5 : Plateforme du logiciel Wave DOW.....   | 40 |
| Figure II.6 : Plateforme du logiciel Wave DOW (2).....   | 41 |
| Figure II.6 : Plateforme du logiciel Wave DOW (3).....   | 42 |
| Figure II.9 configuration membranaire initiale de l'unité composée de 04 modules à 05 membranes (Configuration 1)..... | 44 |
| Figure II.10 : Dimension de la Membrane de type RO-4040-FF.....  | 44 |
| Figure II.11 : dimension Membrane de type NF270-4040.....  | 45 |
| Figure II.12 configuration membranaire composée de 03 modules à 05 membranes (Configuration 2).....                    | 46 |
| Figure II.13 configuration membranaire composée de 02 modules à 05 membranes (Configuration 2).....                    | 47 |
| Figure III-1 : TDS de perméat en fonction de la température.....   | 50 |
| Figure III-2 : Pression d'alimentation en fonction de la température.....  | 51 |



|   |    |
|---|----|
| Figure III.3 : L'énergie spécifique en fonction de la température.....  | 52 |
| Figure III.4 : Configuration de système sans reminéralisation.....  | 53 |
| Figure III.5 : TDS de perméat en fonction de taux de conversion.....  | 54 |
| Figure III.6 : La pression d'alimentation en fonction taux de conversion.....   | 55 |
| Figure III.7 : L'énergie spécifique en fonction de taux de conversion.....  | 56 |
| Figure III.8 : TDS de perméat de les configuration 1,2 et 3 (l'unité d'Osmose inverse).....   | 57 |
| Figure III.9 : TDS de perméat de les configuration 1,2 et 3 (l'unité de Nano-filtration).....   | 58 |
| Figure III.10 : Pression d'alimentation de les configuration 1,2 et 3 (l'unité d'Osmose inverse).....                                   | 59 |
| Figure III.11 : Pression d'alimentation de les configuration 1,2 et 3 (l'unité de Nano-filtration).....                                 | 59 |
| Figure III.12 : énergie spécifique de les configuration 1,2 et 3 (l'unité d'Osmose inverse)...  | 60 |
| Figure III.13 : énergie spécifique de les configuration 1,2 et 3 (l'unité de Nano-filtration)...  | 60 |
| Figure III.14 : Configuration de système avec reminéralisation.....   | 61 |
| Figure III.15 : TDS de perméat en fonction de By-pass.....  | 63 |
| Figure III.16 : Pression d'alimentation en fonction de Bypass pour les configuration1,2 et3..   | 64 |
| Figure III.17 : Pression d'alimentation en fonction de Bypass pour les configuration1,2 et3..   | 65 |
| Figure III.18 : TDS de perméat en fonction de taux de conversion avec reminéralisation pour les configuration 1,2 et 3.....             | 66 |
| Figure III.19 : La pression d'alimentation en fonction de taux de conversion avec reminéralisation pour les configuration 1,2 et 3..... | 67 |
| Figure III.20 : L'énergie spécifique en fonction de taux de conversion avec reminéralisation pour les configuration 1,2 et 3.....       | 68 |

## Liste des abréviations

| Symbole         | Signification                          |
|-----------------|--|
| C               | la concentration molaire               |
| Cm              | Centimètre                             |
| g               | Gramme                                 |
| K               | Kelvin                                 |
| Km <sup>3</sup> | Kilomètre cube                         |
| m               | Mètre                                  |
| MF              | microfiltration                        |
| mm              | Millimètre                             |
| Mol             | number de mol                          |
| MSF             | distillation flash multi-étages        |
| NF              | Nano-filtration                        |
| NTU             | turbidité                              |
| OI              | Osmose inverse                         |
| P               | Pression                               |
| pH              | Potentiel hydrogène                    |
| PTM             | pression transmembranaire              |
| R               | Constante universelle des gaz parfaits |
| T               | Température                            |
| TDS             | total des solides dissous              |
| UF              | Ultrafiltration                        |
| $\pi$           | Pression osmotique                     |
| °C              | Degré Celsius                          |
| $\mu\text{m}$   | Micromètre                             |

## Listes des éléments chimiques

| Élément                          | Nomenclature           |
|----------------------------------|------------------------|
| B                                | Bore                   |
| Ca <sup>+2</sup>                 | Ion calcium            |
| CaCO <sub>3</sub>                | Carbonate de calcium   |
| CaSO <sub>4</sub>                | Sulfate de calcium     |
| CO <sub>2</sub>                  | Dioxyde de carbone     |
| CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>    | Ion carbonate          |
| Cl <sup>-</sup>                  | Ion chlorure           |
| Mg <sup>+2</sup>                 | Ion magnésium          |
| MgCO <sub>3</sub>                | Carbonate de magnésium |
| Na <sup>+</sup>                  | Ion Sodium             |
| NaCl                             | Chlorure de sodium     |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | Silicate de sodium     |
| NaOCl                            | Hypochlorite de sodium |
| NaOH                             | Hydroxyde de sodium    |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | Acide sulfurique       |
| H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>   | Acide phosphorique     |
| HCl                              | Acide chlorhydrique    |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>    | Bicarbonate            |
| HNO <sub>3</sub>                 | Acide nitrique         |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>    | Ion sulfate            |

## **Introduction générale**

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment).

Très généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

Le dessalement des eaux saumâtres est une alternative intéressante pour la production d'eau potable, d'eau pour l'industrie ou d'eau pour l'agriculture.

Les chaînes conventionnelles de traitement de l'eau se composent généralement de plusieurs processus unitaires, notamment : la coagulation, la floculation, la sédimentation, la clarification, ils le font à travers une série complexe d'étapes qui exigent souvent des grands espaces et un investissement dans un assortiment d'équipements spécialisés

La Nano-filtration et l'osmose inverse sont parmi les procédés dont les performances ont été prouvées pour le dessalement des eaux saumâtres, en effet ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement, les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent. Au sud Algérien la division forage a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement sise à la base de vie de Hassi Messaoud 80km au sud-est de la wilaya d'Ouargla. Sa capacité de production est de 108m<sup>3</sup>/j assurant approvisionnement en eau potable à la base de vie, le marché a été attribué au groupement espagnol spécialisé dans le domaine de dimensionnement des stations de traitement des eaux DINATEC, la station de traitement des eaux a été opérationnelle en juillet 2008. A ce propos, l'objectif premier de ce travail est d'envisager une alternative de la Nano-filtration à l'osmose inverse pour une économie d'énergie, une rétention des sels, et une économie du post traitement.

Un dimensionnement de deux unités NF et OI avec des tests par simulations seront effectuées pour générés des outputs tel que la composition ionique de l'eau, la consommation d'énergie, taux de conversion...etc. Ces paramètres seront par la suite comparés afin de déterminer la filiale de traitement d'eaux la plus efficace.

# **Chapitre I :**

## **Synthèse bibliographique**

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

### **I.1 Introduction**

L'eau, ressource limitée, vitale à l'existence même de la vie sur terre et nécessaire à développement économique et social et pour la durabilité environnementale.

Ceci est causé par la croissance démographique, le changement de mode de vie, la pollution de l'eau, utilisation inefficace de l'eau et changements climatiques avec des événements extrêmes plus fréquents tels que sécheresses et inondations. Lorsque la disponibilité de l'eau ne peut pas être augmentée en utilisant des ressources conventionnelles ou par le recyclage, le dessalement de l'eau de mer ou saumâtre offre une solution alternative. Un processus de dessalement sépare l'eau de mer ou l'eau saumâtre en deux flux : un flux d'eau douce contenant une faible concentration de sels dissous et un flux de saumure concentré. Le dessalement de l'eau a été pratiqué depuis l'Antiquité mais n'a pas été largement utilisé en raison de limites technologiques, les coûts d'investissement élevés, la consommation d'énergie élevée et enfin un coût unitaire très élevé par rapport à l'eau conventionnelle.

Deux des technologies les plus importantes sur le plan commercial sont basés sur les procédés de distillation flash multi-étages et d'osmose inverse (OI). Bien que les technologies de dessalement soient suffisamment matures pour être une solution fiable source d'eau potable à partir de l'eau salée, une quantité importante de recherches et développement a été réalisé afin d'améliorer constamment les technologies et réduire le coût du dessalement. Cependant, les projets de dessalement ne sont toujours pas très bon marché pour être facilement accommodée par l'économie de nombreux pays.

### **I.2 Disponibilité de l'eau**

L'hydrosphère terrestre représente 1,38 milliard de  $\text{Km}^3$  d'eau, 97,5% de celle-ci est de l'eau de mer avec des océans couvrant environ 71% de la surface de la Terre. Parmi les 2,5% de l'hydrosphère étant de l'eau douce, 69,5% est sous forme de glace ou permanente couverture neigeuse dans l'Arctique, l'Antarctique et les régions montagneuses. Les 30,1 % restants sont des eaux souterraines estimé à 10 millions de  $\text{km}^3$ . Enfin, les lacs et rivières représentent 0,4 % des ressources en eau douce. [1]

### I.3 Les eaux saumâtres

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. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{NaCl}$ . [2]

### I.4 Opération de séparation membranaire

#### I.4.1 Principe de fonctionnement

Par définition, une membrane est une barrière (fine couche de matière) de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force motrice de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare (figure I.1). [3]

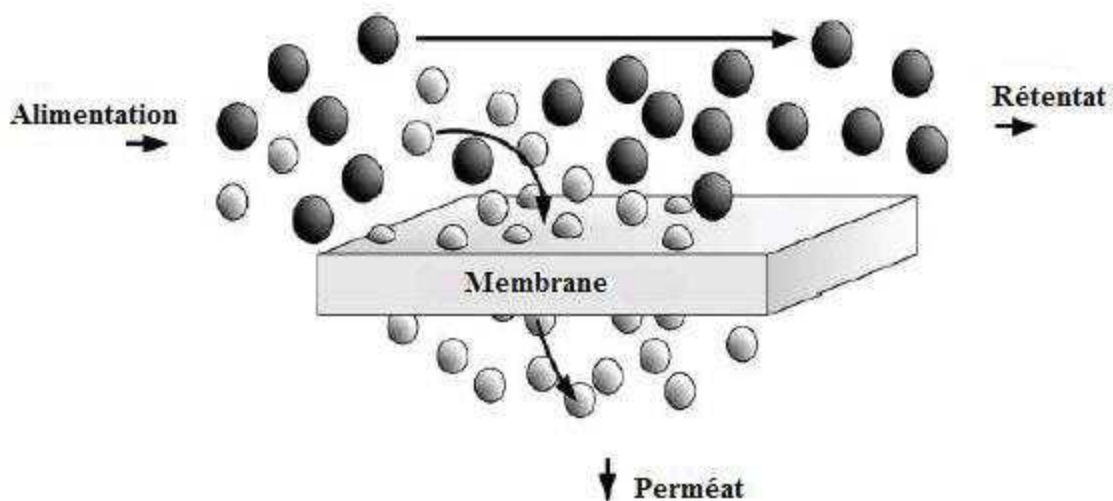
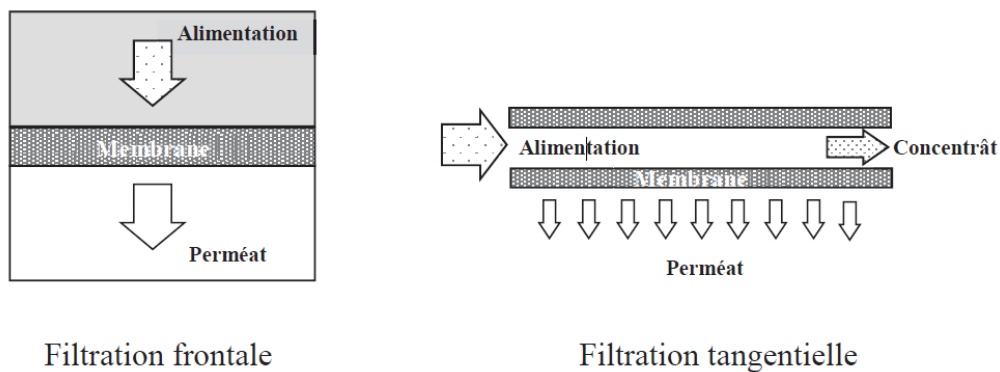


Figure I.1 : Schéma simplifié d'une opération de séparation membranaire.

Le fluide d'alimentation se divise en deux fluides, le fluide qui traverse la membrane est appelé perméat ou filtrat et le fluide qui ne traverse pas la membrane est connu sous le nom de rétentat ou de concentrât. La séparation membranaire permet donc de purifier, de concentrer ou de fractionner une solution en contrôlant et en orientant les échanges de matière à travers une barrière sélective.

Il existe deux modes standards de fonctionnement des membranes, la filtration frontale et la filtration tangentielle (figure I.2). Dans le mode frontal, toute la solution d'alimentation traverse les pores de la membrane généralement par application d'une pression du côté alimentation. Dans ce cas les espèces retenues s'accumulent du côté retentât. Cette accumulation entraîne la formation d'un dépôt et par conséquent une diminution rapide du flux de perméation au cours du temps. Ce mode de filtration n'est pas adapté au traitement de soluté colmatant car il est discontinu. Quant à la filtration tangentielle, la solution d'alimentation circule tangentielle à la surface de la membrane et pénètre à travers la membrane grâce à la différence de pression. La contrainte tangentielle liée à la vitesse de circulation permet de réduire la formation du gâteau de filtration et de le minimiser. [3]



*Figure I.2 : Modes de filtration d'une membrane.*

#### **I.4.2 Différents procédés de séparation membranaire**

Il existe quatre principaux procédés membranaires à gradient de pression, la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nano-filtration (NF) et l'osmose inverse (OI) (figure I.3). Ces procédés se distinguent par la taille des pores, par le type d'espèces qu'ils peuvent séparer et par la pression transmembranaire requise. [3]



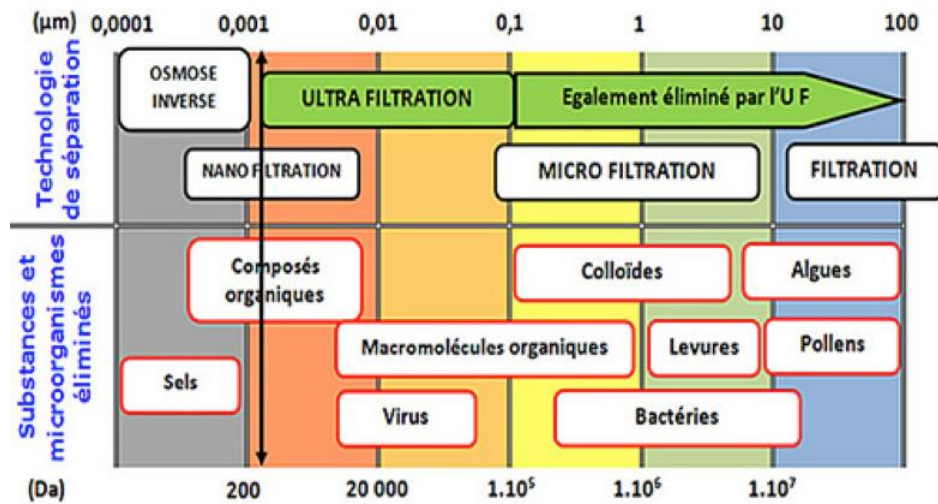


Figure I.3 : gamme de filtration

#### I.4.2.1 Microfiltration (MF)

La microfiltration se classe dans les procédés nécessitant une faible pression transmembranaire pour leur mise en œuvre ( $< 1$  bar). Toutefois, la microfiltration s'applique plutôt à la clarification de suspensions contenant des particules solides ou des macromolécules de dimension colloïdale (0,1 à 20  $\mu\text{m}$ ). Les membranes utilisées ont des tailles de pores variant entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ . La microfiltration est particulièrement utilisée pour la stérilisation de produits thermosensibles (lait, jus de fruit...) [3].

#### I.4.2.2 Ultrafiltration (UF)

Ultrafiltration est une opération de filtration membranaire conduite à faible pression transmembranaire de l'ordre de quelques bars (entre 1 et 5 bar). Elle repose sur l'utilisation de membranes microporeuses avec des diamètres de pores de 3 à 100 nm qui laissent passer partiellement tout soluté d'une taille inférieure au seuil de coupure de celles-ci. L'ultrafiltration trouve des applications diverses notamment dans l'agroalimentaire (clarification du vin, des jus de fruit, fractionnement du lait...) et dans l'environnement (potabilisation de l'eau ou en association à un traitement biologique dans les bioréacteurs à membranes...). [3]

### I.4.2.3 La nano-filtration NF

La nano-filtration (NF) est le dernier développement des applications des membranes. Elle se situe entre l'osmose inverse (OI) et l'ultrafiltration (UF). Conçue pour obtenir une séparation très spécifique des composés à faible poids moléculaire (adoucissement de l'eau) sous l'effet d'une pression transmembranaire de 5 à 25 bars. Les membranes de nano-filtration possèdent également une sélectivité spécifique vis à vis des espèces ioniques. Elles présentent une forte sélectivité entre les ions mono- et multivalents ; une rétention plus faible des ions monovalents que des ions divalents et une forte rétention globale pour les sels minéraux à faible concentration. [4]

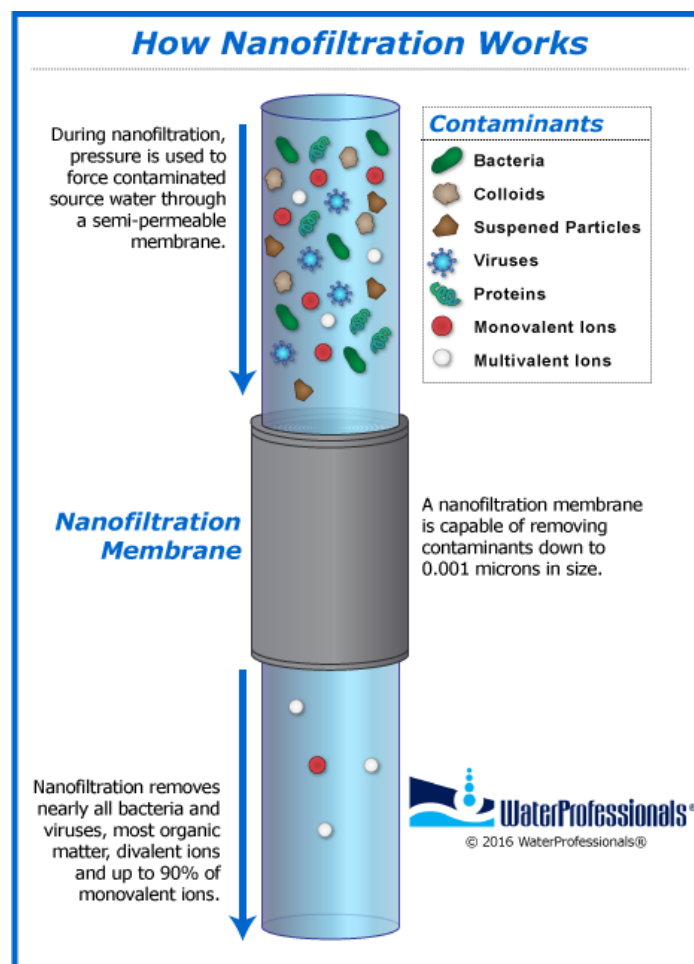


Figure I.4 : Principe des phénomènes de la nano-filtration

La nano-filtration est une technique qui a prospéré au cours des dernières années. Aujourd'hui la nano-filtration est principalement utilisée dans les procédés de purification d'eau, tels que l'adoucissement, et l'élimination de micropolluant.

Autres applications de la nano-filtration :

- Elimination des pesticides des eaux souterraines
- Elimination des métaux lourds des eaux usées
- Recyclage des eaux usées dans les laveries.
- Adoucissement
- Elimination des nitrates

La pression transmembranaire (soit la perte de charge dans les pores de la membrane) en filtration tangentielle est mesurée comme suit :

$$PTM = \frac{P1 + P2}{2} - P3$$

Avec P1 : pression liquide en entrée de module en bar,

P2 : pression de retentât en sortie de module en bar,

P3 : pression de perméat en bar,

PTM : pression transmembranaire en bar.

#### **I.4.2.4 L'osmose et osmose inverse (OI)**

L'osmose est un phénomène naturel rencontré lorsque deux liquides de concentration différente sont séparés par une membrane semi-perméable où la solution la moins concentrée passe vers la solution la plus concentrée afin de créer un équilibre.

L'osmose inverse, Aussi appelée OI est un mouvement inverse de celui de l'osmose, se fait par application d'une pression supérieure à la pression osmotique exercée en amont de la membrane par la solution filtrée et qui varient généralement de 20 à 100 bars. [4]

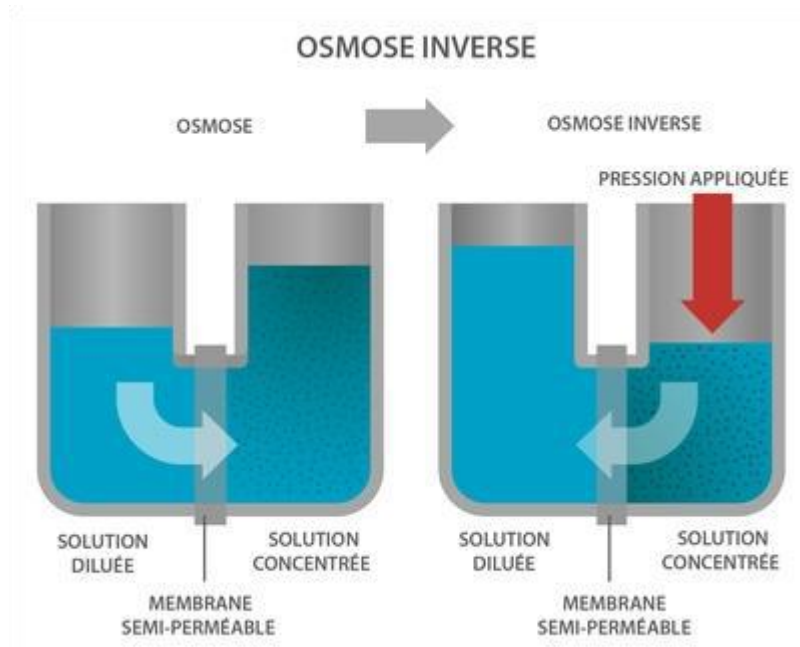


Figure I.5 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse

La pression osmotique notée  $\pi$  peut être calculée d'après la loi de Van't Hoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T, \text{ où :}$$

$i$  est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,

$C$  : est la concentration en sels en  $\text{mol.m}^{-3}$

$R$  est la constante des gaz parfaits  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$T$  est la température absolue de la solution en Kelvin.

Exemple d'application :

La pression osmotique d'une eau à  $20^\circ\text{C}$  contenant 35 g de chlorure de sodium par litre vaut :

$$\pi = 2 \times (35 \times 103 / 58,5) \times 8,314 \times 293 = 29,14 \times 105 \text{ Pa} = 29,14 \text{ bar. [5]}$$

➤ Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure 2.

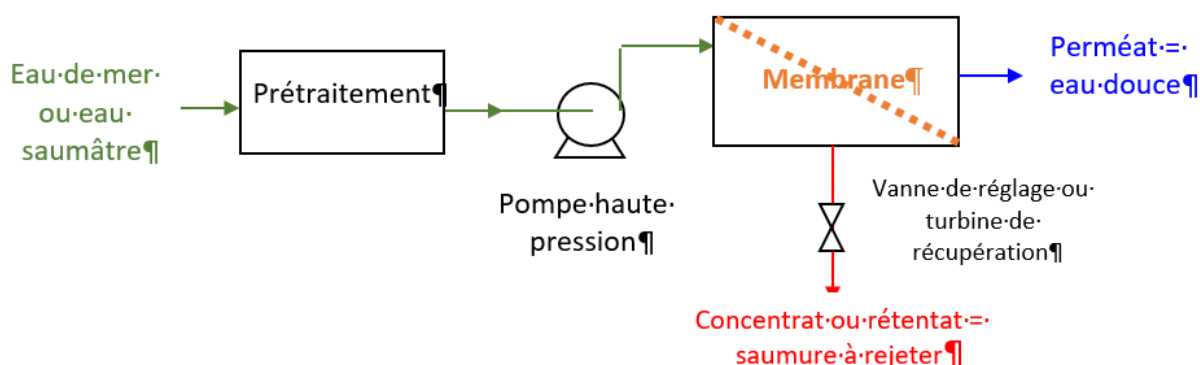


Figure 1.6 : Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension supérieure à 10 à 50  $\mu\text{m}$  selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une préfiltration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses. Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter le développement de microorganismes sur la membrane et éviter la précipitation de carbonates. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$  qui n'ont pas été retenues par le filtre à sable.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes.

De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration de la membrane. En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée. Pour éviter ce phénomène on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée, une partie sert à

nettoyer la membrane. Ce procédé est donc semblable à une filtration tangentielle. L'eau non filtrée est appelée retentât tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat.

Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du retentât une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression. [5]

OI élimine les contaminants en fonction de leur la taille et la charge des particules généralement tout ce qui est de 0,0001  $\mu\text{m}$  ou plus grand, y compris :

- bactéries
- calcium
- particules colloïdales
- fluorure
- fer
- manganèse
- matière organique
- pyrogènes
- sel
- virus

En raison de ses propriétés de filtration, OI est souvent utilisé pour :

- Nettoyer les eaux usées pour les rendre conformes aux normes acceptables en matière d'effluents ou pour les réutiliser
- Dessalement de l'eau de mer ou d'autres solutions de saumure
- Produire de l'eau potable
- Le traitement des condensats des évaporateurs.
- Production d'eau ultra pure (industrie électronique, pharmaceutique...).

### **I.4.3 Comparaison entre osmose inverse et nano-filtration**

#### **I.4.3.1 Similitude entre OI et NF**

OI et NF sont des technologies de filtration membranaire dans lesquelles une pression est appliquée à un flux liquide, le faisant passer à travers une membrane semi-perméable afin d'éliminer les solides dissous. De cette façon, OI/NF ressemble étroitement à d'autres formes de filtration membranaire, y compris la microfiltration (MF) et l'ultrafiltration (UF), tout en

étant capable d'éliminer des molécules encore plus petites, telles que les matières organiques dissoutes, les pesticides et les produits chimiques agricoles. [6]

#### **I.4.3.2 Prétraitement de OI et NF**

Avec les pores les plus petits de toutes les membranes de filtration, les membranes OI et NF peuvent s'encrasser rapidement si les particules plus grosses ne sont pas éliminées par les technologies de filtration en amont, telles que MF/UF. Le prétraitement des flux de processus pour éliminer ces particules problématiques peut également réduire la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir une pression adéquate dans un système OI/NF.

Lorsque les flux de processus sont suffisamment prétraités, les membranes OI/NF peuvent avoir une longue durée de vie et nécessiter relativement peu d'entretien. [6]

#### **I.4.3.3 OI et NF nécessitent une pression pour fonctionner**

Alors que OI et NF sont des technologies de purification assez efficaces, leurs pores fins entraînent une concentration élevée de sels et d'autres composés du côté concentrât de la membrane et, par conséquent, une pression suffisante doit être appliquée pour que l'eau soit capable de surmonter la pression osmotique qui empêche l'eau de s'écouler. À travers la membrane. [6]

#### **I.4.3.4 OI et NF sont des alternatives aux technologies de traitement conventionnelles**

Les chaînes conventionnelles de traitement de l'eau se composent généralement de plusieurs processus unitaires, notamment : la coagulation, la floculation, la sédimentation, la clarification, l'échange d'ions et la filtration. Alors que les systèmes de traitement conventionnels ils le font à travers une série complexe d'étapes qui exigent souvent des grands espaces et un investissement dans un assortiment d'équipements spécialisés et d'agents chimiques. [6]

Comme les technologies membranaires OI/NF sont devenues plus efficaces et abordables ces dernières années, elles sont de plus en plus adoptées comme des alternatives plus compactes, efficaces et respectueuses de l'environnement aux chaînes de traitement conventionnelles. Lorsque le NF est utilisé à la place de l'adoucissement à la chaux traditionnel, par exemple,

plusieurs étapes de traitement sont consolidées en une seule et aucun sous-produit de saumure concentré n'est produit. [6]

#### I.4.3.5 En quoi OI/NF sont différents

- Ils peuvent être distingués en fonction de la taille des particules que chacun est capable d'éliminer.
- La technique membranaire par nano-filtration ; est une technique sélective qui cible principalement les ions divalents. [6]

#### I.4.4 Configurations des membranes

Il existe plusieurs types de configuration c'est-à-dire plusieurs géométries et de manières dont la membrane est montée et orientée par rapport à l'écoulement de l'eau. Cette configuration est cruciale pour déterminer la performance globale du processus. Les modules membranaires couramment utilisés sont : (1) le module plan, (2) le module tubulaire, (3) le module spiralé et (4) le module à fibres creuses. [3]

##### I.4.4.1 Module plan

Les modules plans sont parmi les premières configurations qui ont été développées pour des applications commerciales à grande échelle. Ils utilisent de multiples membranes en feuilles plates dans un agencement en sandwich comprenant une plaque de support (qui permet également le passage du perméat), la membrane et le séparateur. Cet arrangement présente beaucoup de flexibilité, et un bon accès aux membranes pour le nettoyage ou le remplacement. Ces systèmes sont cependant peu adaptés aux débits élevés, occupent trop de surface, se colmatent facilement et nécessitent généralement une préfiltration. [3]

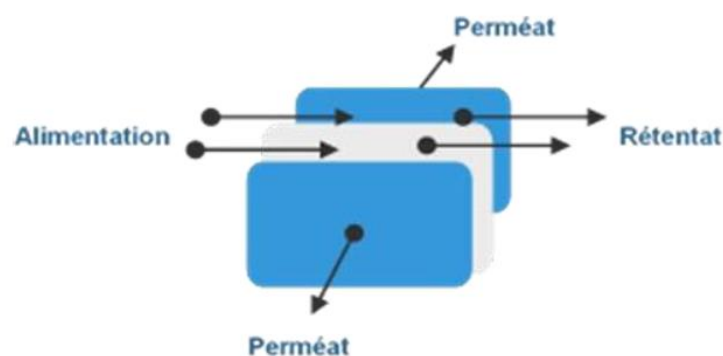




Figure I.7: Module plan.

#### I.4.4.2 Module tubulaire

Les modules tubulaires sont composés d'un certain nombre de tubes de membrane assemblés en un agencement à enveloppe et à tube. Les diamètres intérieurs des membranes tubulaires sont généralement compris entre 5 et 25 mm, et les longueurs de tube sont dans l'intervalle de 0,6 à 6 m. Le perméat est récupéré dans l'enveloppe du module à l'extérieur des tubes. En raison de leurs grands diamètres internes, les modules tubulaires sont capables de traiter le flux d'alimentation contenant des particules de tailles relativement grosses. Ils sont plus résistants au colmatage et peuvent être facilement nettoyés. Les principaux inconvénients sont la nécessité d'un grand espace au sol pour fonctionner et des coûts d'investissement élevés. [3]

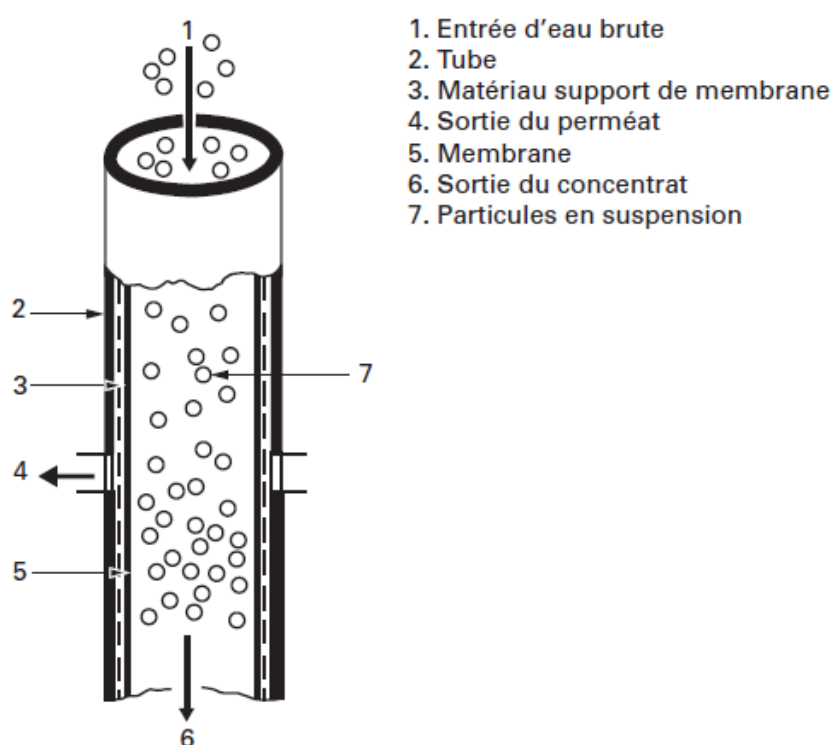


Figure I.8 : Module tubulaire

#### I.4.4.3 Module spiralé

La conception des modules enroulés en spirale est similaire à celui de modules de feuille plate. Les modules spiralés sont constitués de feuilles de membrane plane enroulées successivement sur un tube perforé destiné à collecter le perméat. Cet arrangement est très compact et convient pour les traitements à haute pression. Ces modules sont largement utilisés dans les procédés de traitement d'eaux usées et d'eaux potables. On les rencontre également dans les industries pharmaceutiques et biotechnologiques. Le principal inconvénient des modules spiralés est qu'ils

sont beaucoup plus sensibles au colmatage. De plus, le nettoyage et la désinfection sont peu aisés et le débit d'opération est limité. [3]

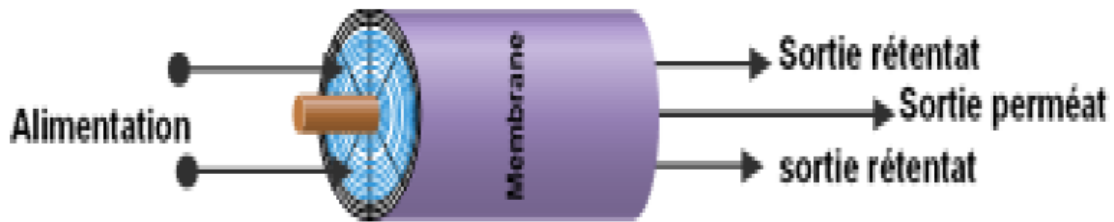


Figure I.9: Module spiralé

#### I.4.4.4 Module à fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres assemblées en parallèle suivant deux configuration inverse :

- Configuration Extérieure - Intérieure : l'eau s'écoule à l'extérieur des fibres et le perméat est recueilli à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre.
- Configuration Intérieure - Extérieure : similaire à la configuration tubulaire de telle façon que l'eau à traiter s'écoule à l'intérieur des fibres tandis que le perméat est récupéré à l'extérieur. L'écoulement à l'intérieur des fibres est tangentiel. [4]



Figure I.10: Module à fibres creuses.

#### I.4.5 Colmatage

C'est un phénomène limitant le transfert de matière et l'un des principaux facteurs qui limitent l'utilisation des membranes dans presque toutes les applications est le colmatage. Le colmatage est généralement défini comme un processus résultant à une chute des performances (diminution de flux de filtrat et/ou de la sélectivité) d'une membrane en raison du dépôt de matières en suspension ou dissoutes sur sa surface extérieure ou à l'intérieur des pores de la membrane. C'est une modification réversible ou irréversible de la membrane provoquée par des

interactions physiques et/ou chimiques entre la membrane et les composants présents dans les solutions d'alimentation. Cette modification nécessite un nettoyage ou le remplacement de la membrane et ne peut généralement pas être résolue simplement en arrêtant le processus de filtration, plusieurs paramètres peuvent influencer le degré d'encrassement d'une membrane :

- (1) la nature et concentration des solutés et des solvants,
- (2) le type de membrane,
- (4) la distribution de la taille des pores,
- (5) les caractéristiques de la surface et des matériaux membranaires et
- (6) l'hydrodynamique du module.

Le colmatage peut être lié à différents modes tels que l'adsorption, la formation de gâteau et le blocage des pores par des particules. Ces mécanismes peuvent conduire à l'obstruction ou au blocage partiel de la zone active de la membrane ou au dépôt d'une couche sur la surface de la membrane. Généralement, quatre mécanismes de colmatage des membranes poreuses peuvent être observés comme l'indique la figure I.10. [4]

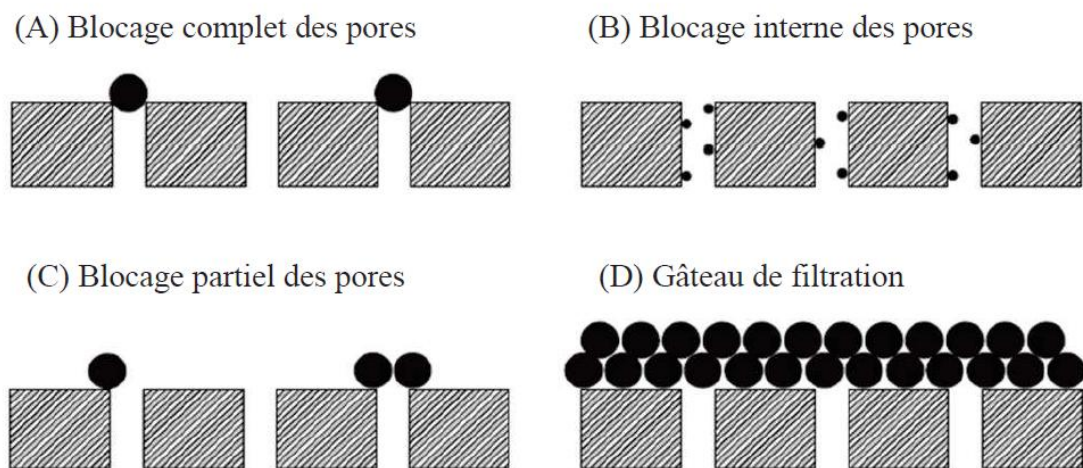


Figure I.10: Mécanismes simplifiés du colmatage des membranes poreuses.

Selon la nature des éléments colmatant, le colmatage peut être classé en tartre (précipitation des sels solubles), en colmatage colloïdal, en colmatage organique et en bio-colmatage (formation de biofilm). L'effet net du colmatage est soit la réduction du flux d'eau à pression constante appliquée ou l'augmentation de la PTM pour maintenir un flux constant d'eau. Dans les deux cas, la demande d'énergie pour traiter une unité de volume d'eau peut être augmentée de manière significative. Il est donc nécessaire d'effectuer un nettoyage approprié de la membrane encrassée afin de retrouver ses caractéristiques initiales.

L'élimination des éléments colmatant des membranes peut se faire par nettoyage physique (ou mécanique) et/ou par l'utilisation d'une solution de nettoyage spécifique contenant des détergents appropriés et/ou des produits chimiques (acides et bases).

#### **I.4.5.1 Nettoyage physique (mécanique)**

Le nettoyage physique consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques, d'origine hydrodynamique. La procédure généralement utilisée est le rétro lavage : une partie du perméat est retournée à contre-courant à travers la membrane. Une telle pratique nécessite une membrane qui soit en mesure de supporter physiquement un gradient de pression inversé. Une autre pratique consiste à utiliser des écoulements pulsés, ce qui permet d'augmenter périodiquement la vitesse tangentielle à la surface de la membrane.

Enfin, par injection continue ou occasionnelle d'air (ou de gaz) à travers la membrane, la matière déposée en surface peut se décoller. En cas de non restauration complète de la membrane, un processus de nettoyage chimique peut être appliqué. [4]

#### **I.4.5.2 Nettoyage chimique**

Le nettoyage chimique se compose d'une séquence de lavage acide et basique, ainsi que de Phases de rinçage. Le nettoyage à base d'acide, a pour but de solubiliser les couches d'entartrage contenant les sels de calcium (carbonate et phosphate) et les oxydes métalliques et ainsi d'éviter la formation d'hydroxydes insolubles difficiles à éliminer. Les acides généralement utilisés sont l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>). Cependant, ces solutions acides sont très corrosives pour les membranes et leurs modules. L'acide phosphorique (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) est moins corrosif mais plus onéreux. Les acides organiques tels que l'acide citrique peuvent aussi être utilisés pour le nettoyage des oxydes métalliques et des calciums précipités. Ce sont des acides plus faibles, et ainsi causent moins de dommage aux membranes et à leurs modules. Le nettoyage alcalin, quant à lui, a pour but d'hydrolyser la silice, les colloïdes inorganiques et, la matière organique et biologique. Les détergents alcalins agissent par plusieurs mécanismes, notamment la neutralisation des substances acides (par exemple les acides gras et les acides humiques), la saponification (hydrolyse) des graisses et des huiles et la dispersion/émulsion de matières colloïdales. Un grand nombre de détergents alcalins peut être utilisé, les hydroxydes (soude caustique, NaOH) les carbonates (carbonate de sodium, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), les silicates (métasilicate de sodium, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) et les phosphates (le tripolyphosphate de sodium, phosphate trisodique). L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est également utilisé comme un nettoyant alcalin et est souvent recommandé

par les fournisseurs de membranes en tant que produit de nettoyage. En fonction des matériaux membranaires et des caractéristiques de l'alimentation, NaOCl a démontré de grandes performances de nettoyage. Cependant, la propriété oxydante du

NaOCl et son pH de travail élevé ont la capacité d'endommager la membrane.

Parmi les solutions de nettoyage des membranes, il faut aussi citer les tensioactifs qui ont une partie hydrophile et une partie hydrophobe. Ce sont des agents nettoyant efficaces en (1) déplaçant les éléments colmatant de la surface de la membrane en raison de leur forte adsorption de surface, (2) émulsionnant les huiles et (3) solubilisant les éléments colmatant hydrophobes. Les tensioactifs sont disponibles avec une large gamme de structure chimique. Ils peuvent posséder des groupes hydrophiles neutres (non ionique), chargés négativement (anionique) ou chargés positivement (cationique). Par exemple le tensioactif, le tween 20, est utilisé pour le nettoyage des membranes de polyéthersulfone.

Le nettoyage d'une membrane doit éliminer efficacement et/ou dissoudre les éléments Colmatant tout en respectant les limites mécaniques ou chimiques de la membrane. La procédure la plus courante pour évaluer l'efficacité d'un traitement de nettoyage est la mesure de la perméabilité à l'eau pure après lavage afin de la comparer à la perméabilité initiale. [4]

## **I.5 Conclusion**

Dans ce premier chapitre ont été posées les bases théoriques de notre travail. Après un rappel de différentes généralités concernant les procédés de séparation membranaire, certains concepts fondamentaux, Les propriétés particulières de la nano-filtration et L'osmose inverse ont également été exposées, Nous avons vu que la nano-filtration a la particularité de présenter une sélectivité gouvernée à la fois par des effets de taille et de charge, mais OI est le plus fines de tous les systèmes de filtration membranaire donc OI éliminant plus des particules.

**Chapitre II :**

**Description de l'unité de traitement  
de la saumure et méthodologie  
expérimentale**

## **Chapitre II : Description de l'unité de traitement de la saumure et méthodologie expérimentale**

### **II.1 Introduction**

Le traitement de la saumure (Albien) dans les zones arides tel que le sud Algériens, représente un levier de développement durable et économique des plus importants. L'enjeu s'articule principalement sur le développement de l'irrigation des cultures agricoles, l'approvisionnement en eau domestique et par conséquent une sécurité hydrique d'une grande partie du territoire nationale. Les techniques de traitement membranaire permettent de servir les objectifs d'une stratégie de sécurité hydrique, cependant la faisabilité et le succès d'un tel procédé est fortement lié à un compromis technico-économique. La faisabilité d'un procédé de traitement de la saumure par technique membranaire peut se faire par deux principales manières ; l'osmose inverse ou bien la Nano-filtration. L'objectif de notre travail est de mener une étude paramétrique comparative entre ces deux techniques par simulation (Logiciel WAVE).

La démarche adoptée au cours de notre étude est définie par les étapes suivantes ;

- ✚ Effet du taux de conversion sur : TDS, Pression d'alimentation, énergie spécifique
- ✚ Effet de la température : TDS, Pression d'alimentation, énergie spécifique
- ✚ Optimisation du nombre de module de l'unité et leur impact sur le TDS, Pression d'alimentation et énergie spécifique
- ✚ Reminéralisation de la saumure traitée par osmose inverse

### **II.2 Contexte et présentation de la station de dessalement :**

Au niveau du sud algérien la division forage a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau saumâtre sise à la base de vie de Hassi-Messoud à 80 km au sud-est de la wilaya d'Ouargla

La capacité de production de la station est de  $108\text{m}^3/\text{j}$  ( $4.5\text{m}^3/\text{h}$ ) assurant l'approvisionnement en eau domestique le personnel ainsi qu'une traitée pour les appareils de forage (pétrole et gaz), le marché a été attribué au groupe espagnol DINATEC spécialisé dans le domaine de dimensionnement des stations de traitement des eaux, la station de traitement est opérationnelle depuis juillet 2008. [7]

### **II.3 Description de l'unité de traitement de l'eau saumâtre**

La filière de traitement de l'eau saumâtre appliqué dans la station de la division forage est l'osmose inverse. Le processus du dessalement de l'eau saumâtre comporte les quatre étapes suivantes :

1. La captation de l'eau.
2. Le prétraitement.
3. L'osmose inverse.
4. Le post-traitement.

#### **II.3.1 Captation d'eau**

La première opération s'effectue au niveau du réservoir de l'eau Albien qui consiste à pomper l'eau par le biais de 03 pompes basse pression dont une de réserve (veille), par aspiration avec un débit de 11 m<sup>3</sup>/h a une pression de 4 bar.

#### **II.3.2 Le prétraitement**

L'eau saumâtre ainsi captée passe par la deuxième étape du processus de dessalement qui consiste à éliminer

- Les solides en suspension.
- Les matières organiques.
- Les micro-organismes.

Elle est aussi nécessaire pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes d'osmose inverse par les micro-organismes.

##### **II.3.2.1 Prétraitement physique**

C'est un traitement destiné à éliminer fondamentalement les éléments solides, les matières organiques, par le passage de l'eau à travers le filtre à sable et anthracite et à travers le filtre à cartouche.



➤ **Filtre à sable :**

Le mouvement de l'eau dans ces filtres s'effectue de manière verticale, l'eau pénètre par la partie supérieure du filtre et descend à travers les couches filtrantes qui retiennent les matières solides dans sa partie inférieure. Ce système permet d'éliminer la plupart des particules en suspension, huile et graisses résiduelles dans l'eau permettant ainsi de réduire la turbidité de l'eau pour l'étape d'injection dans les membranes d'osmose inverse.

Le système de filtration est composé d'éléments filtrant répartis en 04 couches :

1. Une couche supérieure de 200 mm de hauteur d'antracite de 0.4 à 1.6 de diamètre.
2. Une couche intermédiaire de 400 mm de hauteur de lit de sable de 0.3 à 0.6 de diamètre.
3. Une couche inférieure comporte à la fois 400 mm lit de sable de 1.4 à 2.5mm et 100 mm de sable de 4 à 8 mm

Le filtre est soumis à un système de lavage à contre-courant par intermittence.



*Figure II.1 : filtres à sables et anthracite*

➤ **Filtration à cartouche :**

Il s'agit d'une microfiltration assurée par des cartouches en polypropylène de 12 micromètre. Les filtres d'un diamètre de 50mm, dans un réservoir métallique en position verticale (Figure II.3), ont pour rôle la protection des pompes à haute pression, contrairement aux filtres à sable et anthracite, ces micro filtres sont renouvelés périodiquement après l'utilisation.



*Figure II.2 : Filtres à cartouches au niveau de la station*

### **II.3.3 L'osmose inverse**

Le dessalement de l'eau saumâtre est réalisé par passage à travers le système membranaire d'osmose inverse, il s'agit de l'étape clé du processus. L'opération est effectuée par le biais de 03 pompes haute pression elle permet de fournir une pression jusqu'à 25 bar en vue d'alimenter le bloc d'osmose inverse.



*Figure II.3 : L'étape de l'osmose inverse*

Le bloc de l'osmose inverse est composé de **04 modules à 05 membranes** de type « **CSM RE 4040 BE** ».

Ces membranes de type spirale (figure II.5) sont composées de :

- ✚ Une couche de polyamide à  $0.15\mu$  .
- ✚ Une couche de poly-sulfone à  $40\mu$  pour supporter la couche polyamide .
- ✚ Une couche de polyester qui donne une certaine résistance mécanique de la membrane à  $100\mu$ .



*Figure II.4 : membrane spirale de l'osmose inverse*

### II.3.4 Le Post-traitement

L'eau issue du traitement par osmose inverse est caractérisée par une très faible concentration en minéraux et donc impropre à la consommation de ce fait, une reminéralisation est nécessaire pour atteindre les normes d'une eau domestique.

A l'aide des pompes, l'eau traitée est acheminée vers le back de stockage afin de la distribuer, tandis que le saumure sera évacué par le réseau d'assainissement dans le but d'assurer une meilleure dilution et d'éviter des conséquences indésirables pour l'environnement.

### II.3.5 Schéma descriptif de la station de traitement des eaux

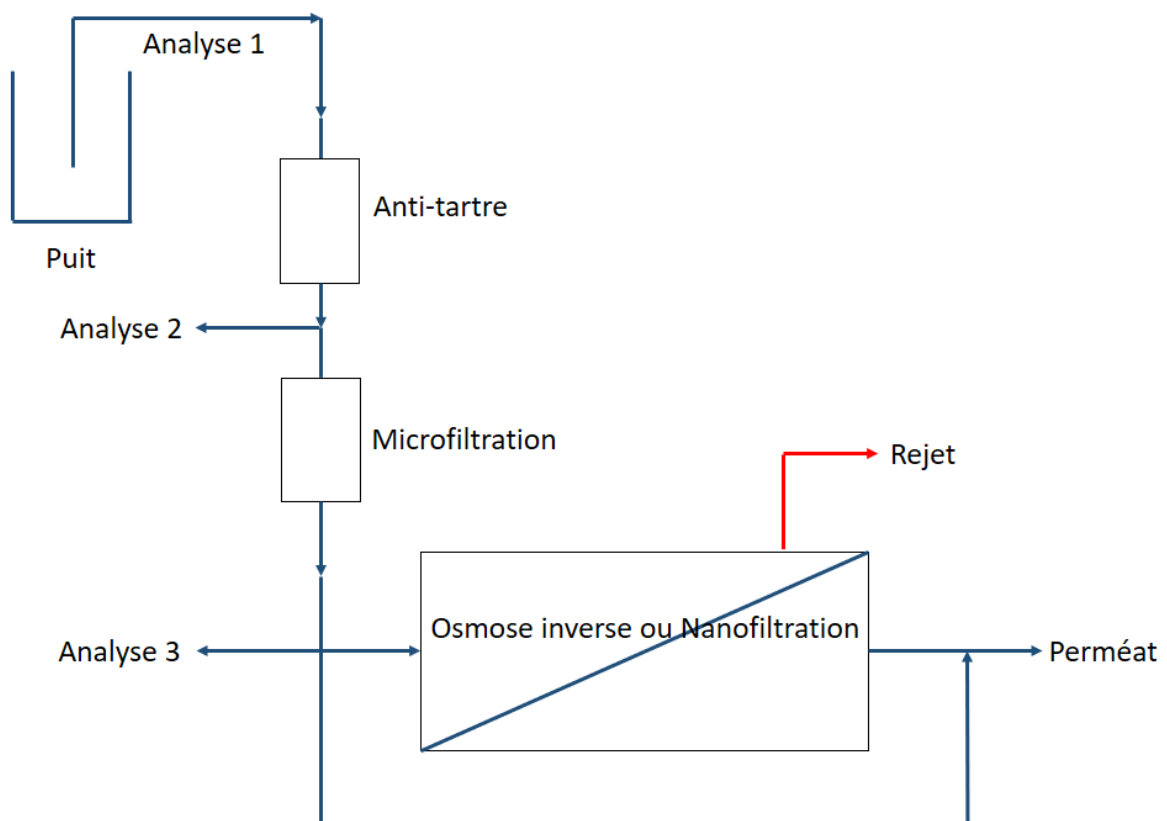


Figure II.5 Schéma descriptif de la station de traitement des eaux

A chaque étape du processus de traitement, un échantillon d'eau est prélevé puis analysé, les résultats de ces analyses ainsi que les paramètres des flux d'alimentation sont compilés dans les tableaux ci-dessous ;

Tableau II-1 : les paramètres de flux d'alimentation à la sortie du puits (Analyse 1)

|   |         |
|---|---------|
| Turbidité                               | 4.61    |
| Matières en suspension totales<br>(TSS) | 10mg/l  |
| L'indice de colmatage                   | 1,5     |
| carbone organique total                 | 10 mg/l |
| la température de design                | 20°C    |
| pH                                      | 7,58    |

Tableau II-2 : La composition de flux d'alimentation à la sortie du puits (Analyse 1)

| Alimentation  |                               | Concentration (mg/l) |
|---------------|-------------------------------|----------------------|
| Cations       | Na <sup>+</sup>               | 189.52               |
|               | Mg <sup>+2</sup>              | 76                   |
|               | Ca <sup>+2</sup>              | 245.29               |
|               | CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | 0.00                 |
| Anions        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 147.25               |
|               | Cl <sup>-</sup>               | 390                  |
|               | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | 655                  |
| Neutres       | B                             | 5,573                |
|               | CO <sub>2</sub>               | 2,767                |
| Total anions  |                               | 1,192.25             |
| Total cations |                               | 510.81               |
| Total neutres |                               | 8.34                 |
| TDS           |                               | 1,711.4              |

Tableau II-3 : les paramètres de flux d'alimentation après l'antitartre Vulcan (Analyse 2)

|   |         |
|---|---------|
| Turbidité                               | 1.19    |
| Matières en suspension totales<br>(TSS) | 10mg/l  |
| L'indice de colmatage                   | 1,5     |
| carbone organique total                 | 10 mg/l |
| la température de design                | 20°C    |
| pH                                      | 7,78    |

Tableau II-4 : La composition de flux d'alimentation Analyse 2

| Alimentation  |                               | Concentration (mg/l) |
|---------------|-------------------------------|----------------------|
| Cations       | Na <sup>+</sup>               | 180.55               |
|               | Mg <sup>+2</sup>              | 76.12                |
|               | Ca <sup>+2</sup>              | 245.29               |
| Anions        | CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | 0.00                 |
|               | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 145.06               |
|               | Cl <sup>-</sup>               | 387.36               |
|               | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | 600                  |
| Neutres       | B                             | 5.573                |
|               | CO <sub>2</sub>               | 2.767                |
| Total anions  |                               | 1132.42              |
| Total cations |                               | 510.96               |
| Total neutres |                               | 8.34                 |
| TDS           |                               | 1651.72              |

#### II.4.1 Présentation du logiciel Wave DOW

Le logiciel Wave DOW est un logiciel lancé par Dow Water & Process solutions, c'est un logiciel de conception multi technologique qui permet de concevoir des systèmes de traitement d'eau tout en optimisant les performances et augmentant la productivité du système. Wave permet d'estimer les performances des technologies d'ultrafiltration (UF), Osmose inverse (OI) et d'échange d'ions (IX) dans les systèmes de traitement des eaux, individuelles soient-elles ou combinées. Le logiciel Wave permet de donner une estimation des coûts d'élimination des produits chimiques présents dans l'eau. De plus il fournit des informations sur les volumes et les flux de bilan massique réels qui reflètent les changements de densité dus à la température, la compressibilité et la composition de l'eau.

Parmi les avantages de ce logiciel :

- ✚ Utilisation de trois technologies en combinaison ;
- ✚ Utilisation d'algorithmes améliorés et efficaces ;
- ✚ Simplification des processus de traitement ;
- ✚ Présence de données pour tous les produits et processus.

#### **II.4.2 Simulation avec le logiciel**

La manipulation du logiciel Wave DOW est simple, ne nécessitant pas beaucoup de paramètres d'entrée (input) et permet de générer des résultats très fiables. L'interface est claire, comme le montre la figure II-6, il suffit donc de connaître la qualité de l'eau à filtrer, tel que les concentrations de produits chimiques présents dans l'eau, la nature de l'eau, la température, le pH et enfin la turbidité, ainsi que le débit (soit le débit d'entrée à la membrane, ou le débit de sortie) ce qui fait que cet outil informatique soit performant et précis. On peut choisir soigneusement la nature de l'eau à traiter : une eau de puits, un perméat, une eau adoucie, des eaux municipales, des eaux de surface, des eaux de mer ou des rejets. Wave DOW a une base de données actualisée sur les membranes, ce qui permet de voir les résultats de traitement avec plusieurs membranes, selon les références, puis choisir la plus adéquate selon les objectifs et besoins.

La figure ci-dessous représente l'interface du logiciel Wave.

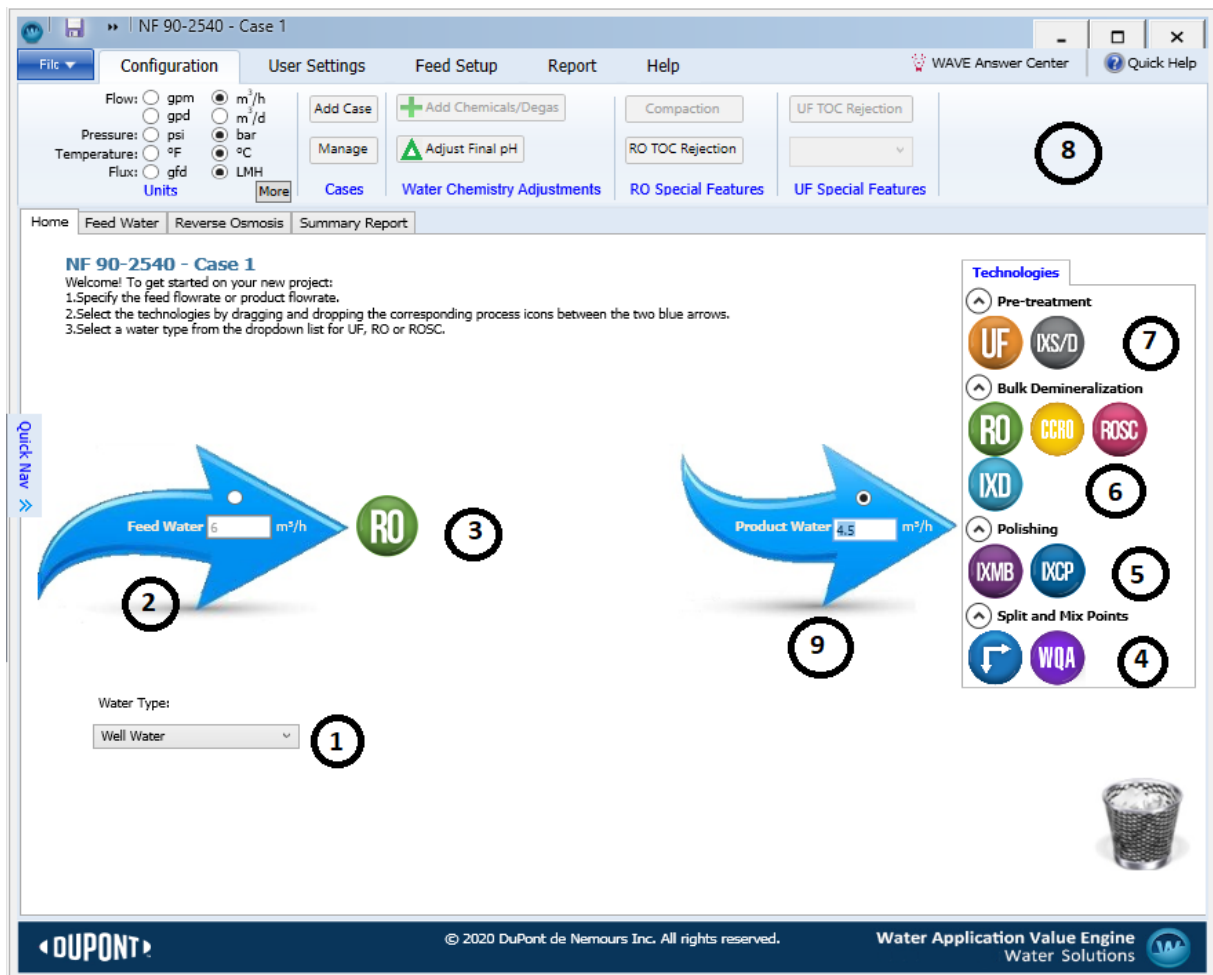


Figure II.6 : Plateforme du logiciel Wave DOW

1. Nature de l'eau
2. Débit d'entrée
3. Zone d'insertion du type de traitement
4. Points mixtes
5. Membranes à échange d'ions
6. Membranes d'osmose inverse
7. Membranes d'ultrafiltration
8. Panneau de configuration
9. Débit de sortie



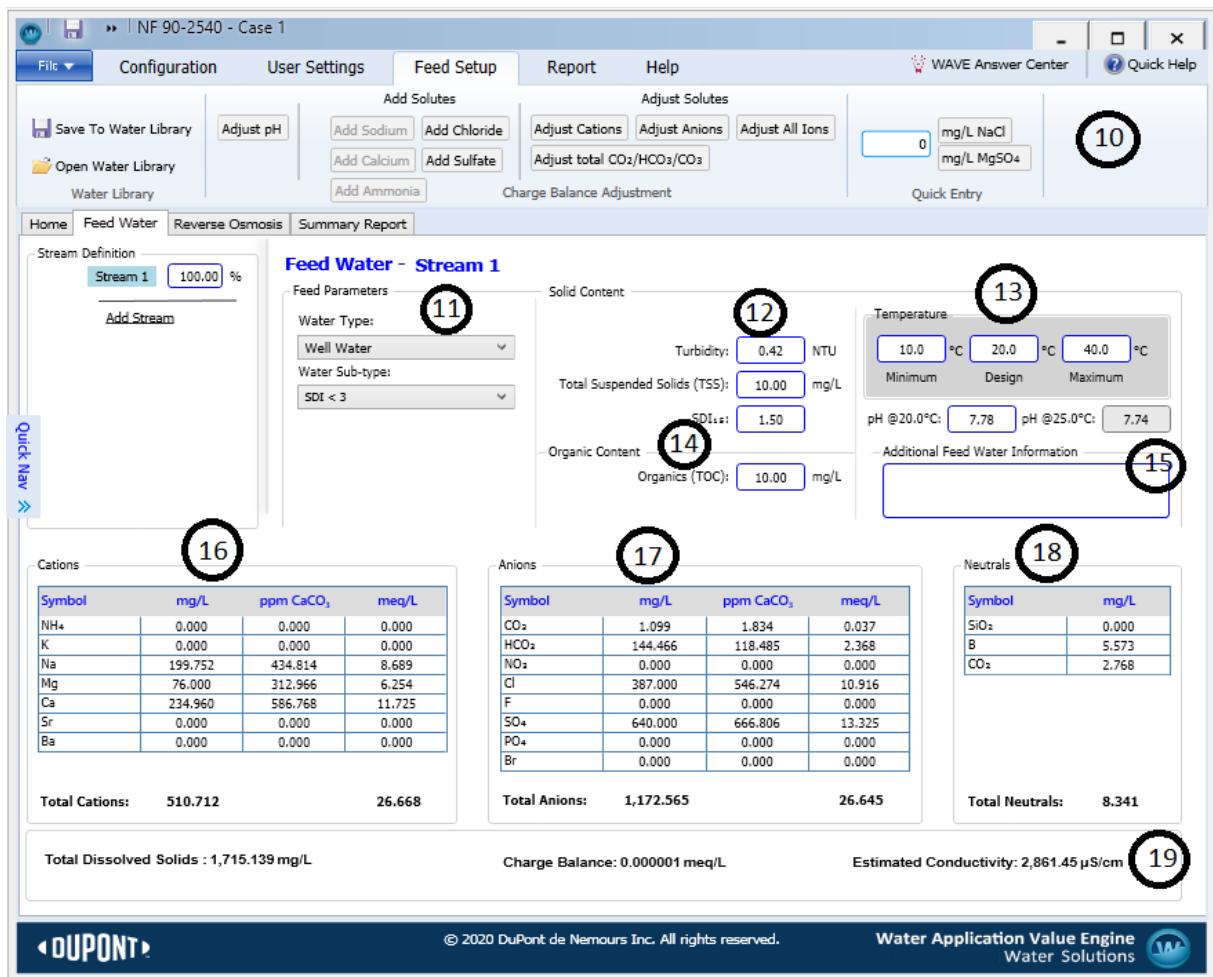


Figure II.7 : Plateforme du logiciel Wave DOW (2)

- 10- Paramètres d'ajustements
- 11- Type de l'eau
- 12- Caractéristiques de l'eau
- 13- Températures
- 14- Taux de la matière organique
- 15- pH de la solution
- 16- Concentrations des cations
- 17- Concentrations des anions
- 18- Concentrations des ions neutres
- 19- Caractéristiques physico-chimiques de la solution

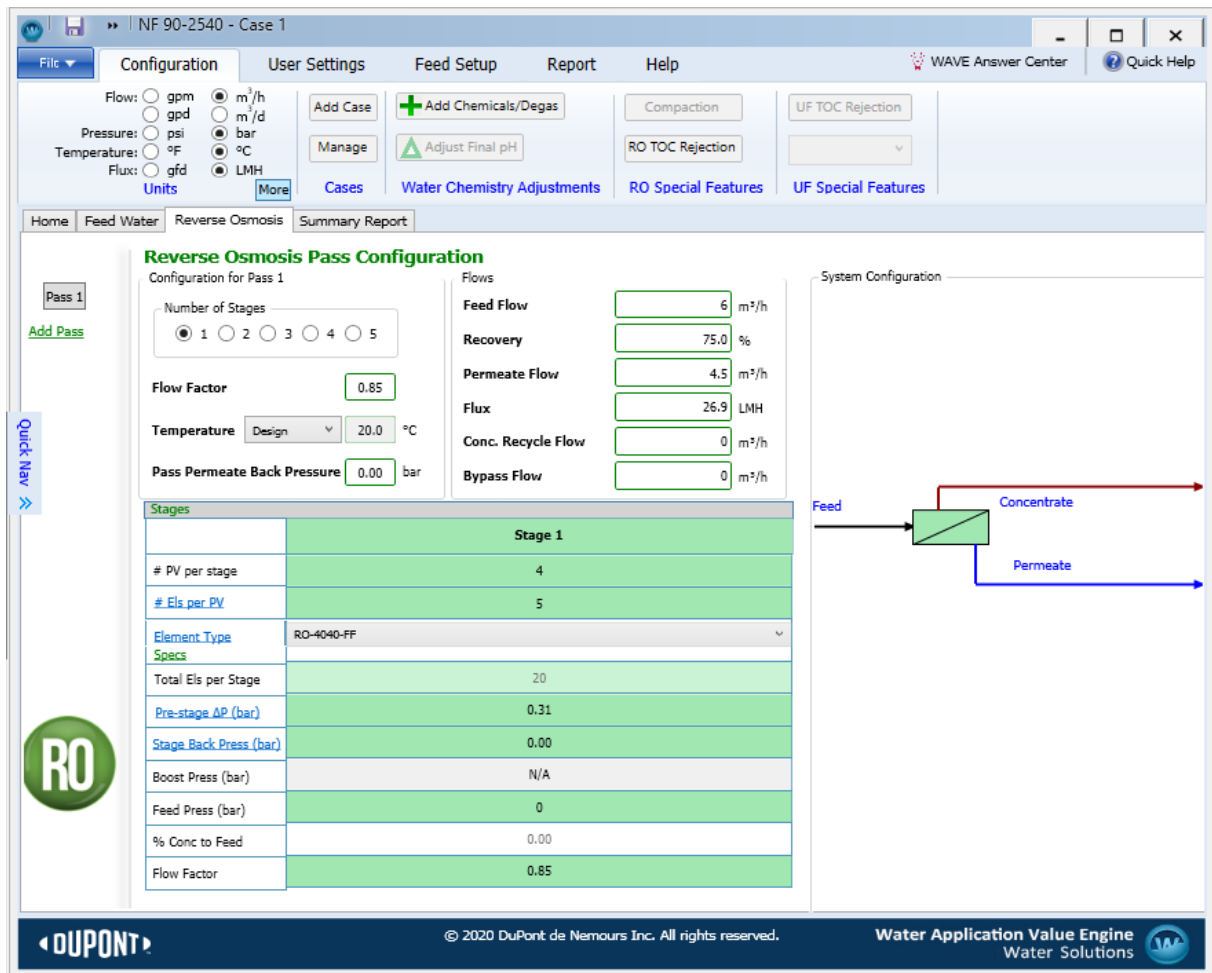


Figure II.8 : Plateforme du logiciel Wave DOW (3)

20-débit d'alimentation

30-Perte de pression par étage

21-taux de conversion

31-Pression de perméat

22-Permeate flow : débit de perméat

32-Pression d'alimentation

23-Flux : débit de perméat en LMH

33-Facteur de flux

24-Conc. Recycle Flow : débit de concentrât recycler

25-débit de reminéralisation

26-Nombre de module

27-Nombre de membrane par module

28-Type de la membrane

29-Nombre total des membranes

### II.4.3 Simulation et Dimensionnement avec logiciel wave

Le dimensionnement de l'unité de traitement d'eau par logiciel Wave a été effectué avec la même composition de l'eau près-traitée dans la station de dessalement sise à la base de vie de Hassi-Messaoud et ce de même pour les paramètres physico-chimique d'entrée comme la nature de l'eau, sa température, son pH et sa turbidité, ainsi que le débit de production. Les paramètres du flux d'alimentation ainsi que la composition ionique de l'eau sont compilés respectivement dans le tableau II-5 et le tableau II-6.

*Tableau II-5 : les paramètres de flux d'alimentation.*

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Turbidité                            | 0,42    |
| Matières en suspension totales (TSS) | 10mg/l  |
| L'indice de colmatage                | 1,5     |
| carbone organique total              | 10 mg/l |
| la température maximum               | 40°C    |
| la température minimum               | 10°C    |
| la température de design             | 20°C    |
| pH                                   | 7,78    |

*Tableau II-6 : La composition de flux d'alimentation*

| Alimentation  |                               | Concentration (mg/l) |
|---------------|-------------------------------|----------------------|
| Cations       | Na <sup>+</sup>               | 199,75               |
|               | Mg <sup>+2</sup>              | 76                   |
|               | Ca <sup>+2</sup>              | 234,96               |
| Anions        | CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | 1,1                  |
|               | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 144,466              |
|               | Cl <sup>-</sup>               | 387                  |
|               | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | 640                  |
| Neutres       | B                             | 5,573                |
|               | CO <sub>2</sub>               | 2,767                |
| Total anions  |                               | 1172,56              |
| Total cations |                               | 510,71               |
| Total neutres |                               | 8,34                 |
| TDS           |                               | 1715,139             |

Initialement, l'unité de traitement d'eau est composée de 04 modules et chaque module comprend 05 membranes de nano-filtration ou bien d'osmose inverse selon le cas d'étude. La figure II.7, représente la configuration initiale de l'unité de traitement d'eau.

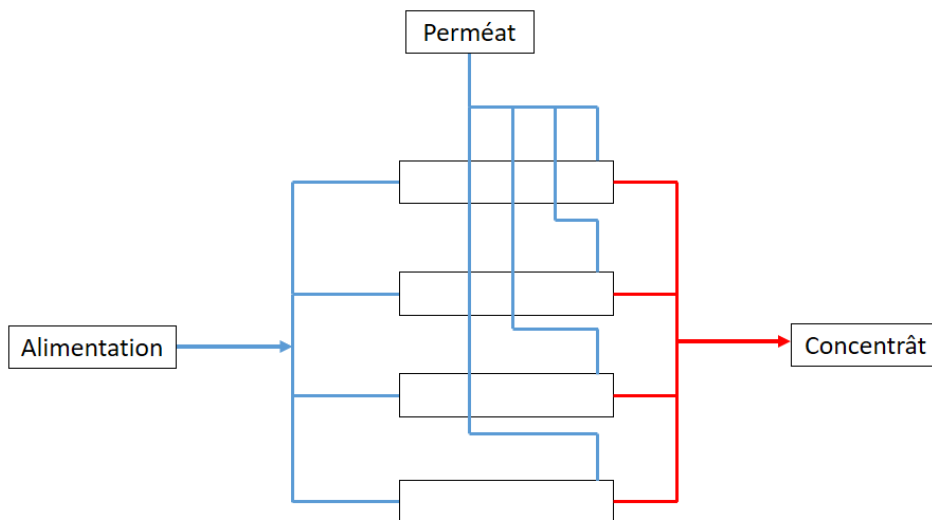


Figure II.9 configuration membranaire initiale de l'unité composée de 04 modules à 05 membranes (Configuration 1)

### II.4.3.1 Caractéristiques des membranes RO et NF

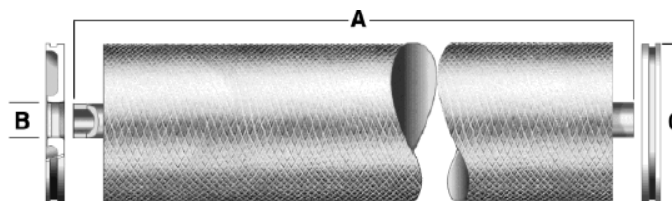
Les types de membranes (nano-filtration et osmose inverse) ont été soigneusement choisis selon leurs caractéristiques, de manière à se rapprocher le plus que possible du cas réel de l'unité.

- ✚ Membrane RO-4040-FF : Cas de simulation du traitement par osmose inverse
- ✚ Membrane NF270-4040 : Cas de simulation du traitement par Nano-Filtration

Les dimensions ainsi que les caractéristiques de chaque membrane sont décrit dans la section suivante.

#### ➤ Membrane type RO-4040-FF

##### Element Dimensions



| FilmTec™ Membranes | A     |       | B       |       | C     |      |
|--------------------|-------|-------|---------|-------|-------|------|
|                    | (in.) | (mm)  | (in.)   | (mm)  | (in.) | (mm) |
| RO-4040-FF         | 40.00 | 1,016 | 0.75 OD | 19 OD | 3.9   | 99   |

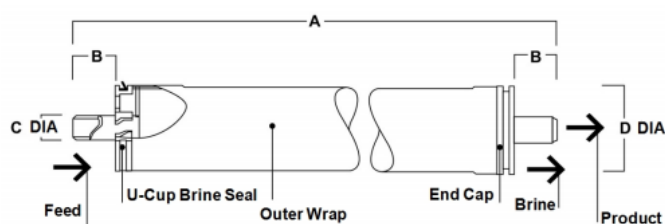
Figure II.10 : Dimension de la Membrane de type RO-4040-F

Tableau II.7: caractéristiques de la membrane de type RO-4040-FF

| Propriétés                                  | Valeur                    |
|---|---------------------------|
| Surface active                              | 8.36 m <sup>2</sup>       |
| Débit de perméat stabilisé                  | 10.0 m <sup>3</sup> /jour |
| Température de fonctionnement maximale      | 45°C                      |
| Pression de fonctionnement maximale         | 41 bar                    |
| Turbidité d'alimentation maximale           | 1 NTU                     |
| Gamme de pH                                 | 3 – 10                    |
| indice de colmatage d'alimentation maximale | 5                         |

➤ *Membrane de type NF270-4040*

**Element  
Dimensions**



| Product    | Dimensions – Inches (mm) |           |           |          |
|------------|--------------------------|-----------|-----------|----------|
|            | A                        | B         | C         | D        |
| NF270-4040 | 40.0 (1,016)             | 1.05 (27) | 0.75 (19) | 3.9 (99) |

1 inch = 25.4 mm

Figure II.11 : dimension Membrane de type NF270-4040

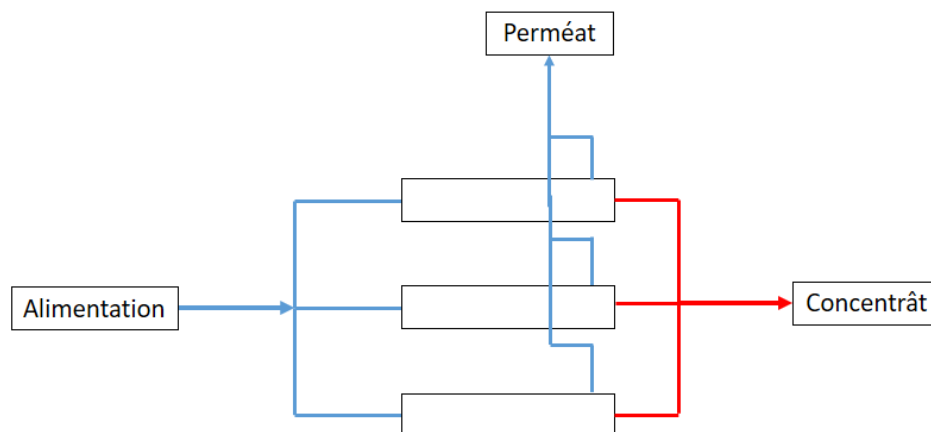
Tableau II.8 : Caractéristiques de la membrane de type NF270-4040

| Propriétés                                  | Valeur                   |
|---|--------------------------|
| Surface active                              | 7.6 m <sup>2</sup>       |
| Débit de perméat stabilisé                  | 9.5 m <sup>3</sup> /jour |
| Température de fonctionnement maximale      | 45°C                     |
| Pression de fonctionnement maximale         | 41 bar                   |
| Turbidité d'alimentation maximale           | 1 NTU                    |
| Gamme de pH                                 | 3 – 10                   |
| indice de colmatage d'alimentation maximale | 5                        |

## II.5 Tests de simulation

Dans une première étape, Les tests de simulations ont été réalisés afin de déterminer l'effet de la température, du taux de conversion ainsi que la réduction de la taille de l'unité sur la composition ionique de l'eau traitée, l'énergie spécifique et enfin la pression d'alimentation pour chacune des deux filières de traitement d'eau (osmose inverse et nano-filtration). La deuxième étape consiste à déterminer la fraction optimale du by-pass lors de la reminéralisation (cas de l'osmose inverse). Pour cela, Cinq séries de simulation son réalisées.

- Première série de simulation : mêmes paramétrés d'entré avec un taux de conversion de 75% et une température allant de 10°C à 40°C.
- Deuxième série de simulation : mêmes paramétrés d'entré et un taux de conversion variant entre 55% et 85% et une température 20°C.
- La troisième série : réduction de la taille de l'unité, deux autres configuration sont réalisée configuration 2 : 03 modules à 05 membranes et configuration 3 : 02 modules à 05 membranes avec les mêmes paramétrés d'entré et un taux de conversion de 75% et température 20°C.



*Figure II.12 configuration membranaire composée de 03 modules à 05 membranes  
(Configuration 2)*

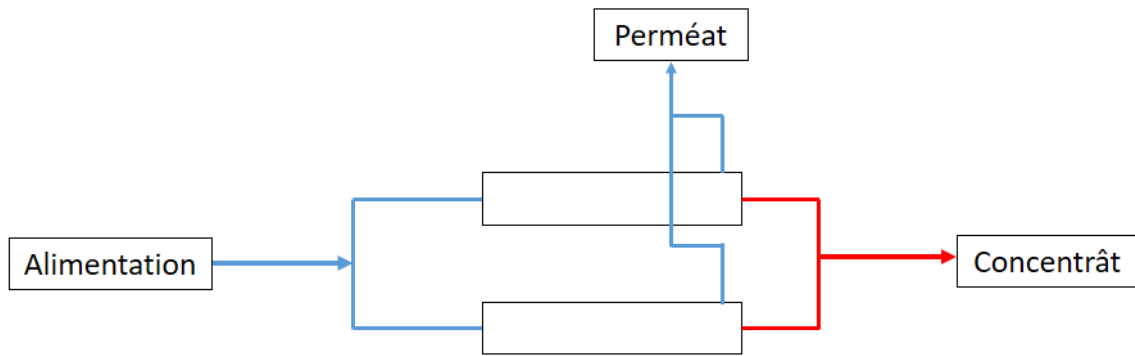


Figure II.13 configuration membranaire composée de 02 modules à 05 membranes  
(Configuration 2)

- La quatrième série : c'est la reminéralisation uniquement pour l'osmose inverse pour augmenter la valeur de TDS, avec les mêmes paramètres d'entrée et un taux de conversion de 75% une température 20°C et on utilise un By-pass sa valeur allant de 10% à 70%.

$$ByPass = \frac{Q_r}{Q_t}$$

$Q_r$  : débit de reminéralisation

$Q_t$  : débit total

- La Cinquième série : c'est la reminéralisation aussi uniquement pour l'osmose inverse mais avec un By-pass de 40% et température 20°C et un taux de conversion allant de 55% à 85%.

## II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la station de traitement de l'eau saumâtre, ainsi que la qualité d'eau brute et celle qu'on veut traiter par traitement membranaire. Le logiciel wave et les différentes configurations membranaires que on a utilisées et on a vu que on peut faire des simulations avec la variation des différents paramètres.

# **Chapitre III :**

## **Résultats et discussion**



## **Chapitre III : Résultats et discussion**

### **III.1 Introduction**

Afin de mieux comprendre les procédés de Nano-filtration et d'osmose inverse et de mener une étude comparative entre les deux filières, une série de simulation paramétrique a été menée dans le but déterminer l'effet de la température ainsi que l'effet du taux de conversion sur les performances du système de traitement d'eau par NF et Osmose inverse.

Dans une deuxième étape, une optimisation de la taille de l'unité a été effectuée avec deux configurations différentes. La reminéralisation a été effectuée uniquement pour le cas de l'Osmose inverse pour les trois différentes configurations afin d'atteindre la composition de l'eau domestique.

### **III.2 Effet de la température**

La région sud de l'Algérie est sujette à une forte fluctuation saisonnière de la température, de même qui existe un contraste de température entre le jour et la nuit.

La température est un paramètre qui influence fortement les propriétés physique d'une phase aqueuse et par conséquent ses propriétés d'écoulement au niveau des membranes. Par conséquent, une variation de la température induit à une variation de la pression d'alimentation et de *facto* l'énergie spécifique mais aussi la composition ionique du perméat.

### III.2.1 Etude de l'effet la température sur le TDS

La figure III.1, représente la variation de la salinité totale en fonction de la température opérationnelle pour les deux techniques membranaire (NF et RO).

Dans un premier lieu, on remarque quasiment la même tendance de variation de la salinité totale en fonction de la température ou on observe une augmentation du TDS en fonction de la température. Cependant la salinité totale dans le cas de l'osmose inverse est sensiblement inférieure à celle de la nano-filtration.

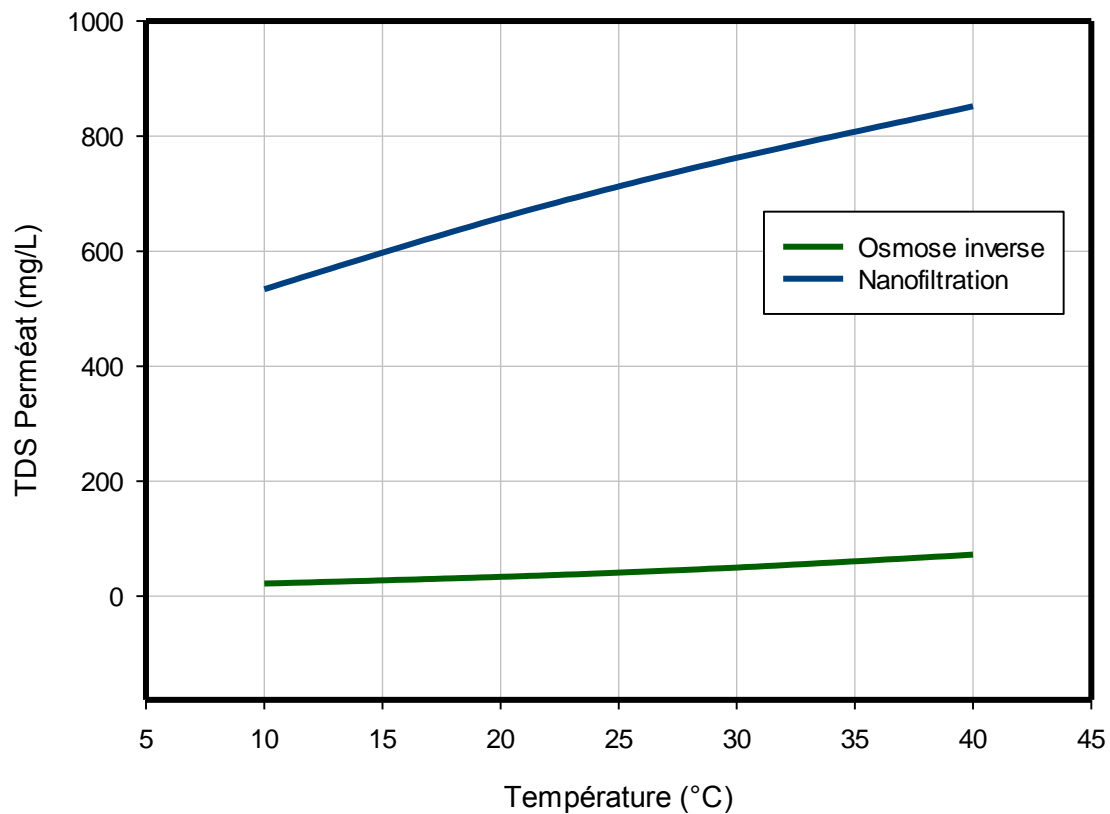


Figure III-1 : TDS de perméat en fonction de la température

En effet, On remarque qu'une augmentation de la température de 10 à 40°C induit à une variation du TDS de 534 à 852 mg/l et 22 à 72 mg/l respectivement pour la nano-filtration et l'osmose inverse. L'effet de la température agit d'une manière considérable sur les mécanismes de la précipitation des sels.

D'un autre côté, la variation du TDS dans le cas de la NF demeure dans la gamme des normes d'une eu domestique qui est aux alentours de 500-1000mg/l. contrairement à l'osmose inverse ou l'on remarque une composition minérale extrêmement faible par rapport aux normes, et de ce fait impropre à la consommation.

Il est important de rappeler que la technique membranaire par nano-filtration ; est une technique sélective qui cible principalement les ions divalents tels que le calcium, le magnésium et les sulfates et très peu réductrice des ions monovalents. Ceci permet de maintenir une certaine concentration élevée en salinité en comparaison avec OI qui un induit à un abattement drastique de la salinité.

Les résultats obtenus par cette première simulation démontrent la nécessité d'une reminéralisation de l'eau traitée par osmose inverse afin d'atteindre les standards d'une eau domestique propre à la consommation.

### III.2.2 Etude de l'effet de la température sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique

La figure III.2, met en évidence la variation de la pression d'alimentation en fonction de la température opérationnelle pour les deux techniques membranaire (NF et OI).

La variation de la pression d'alimentation en fonction de la température est relativement similaire dans les deux cas de la NF et la RO où on observe une réduction significative de la pression d'alimentation en fonction de la température. L'un des points majeurs a noté, est que la pression d'alimentation est bien inférieure à celle de la RO.

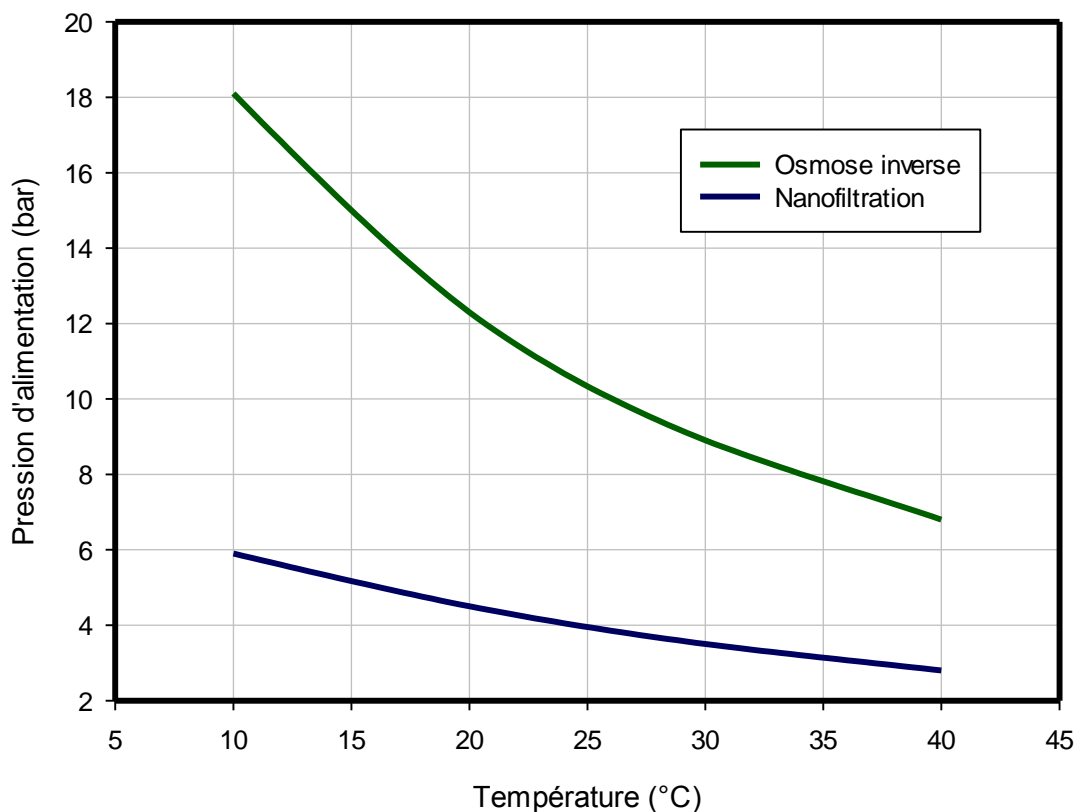
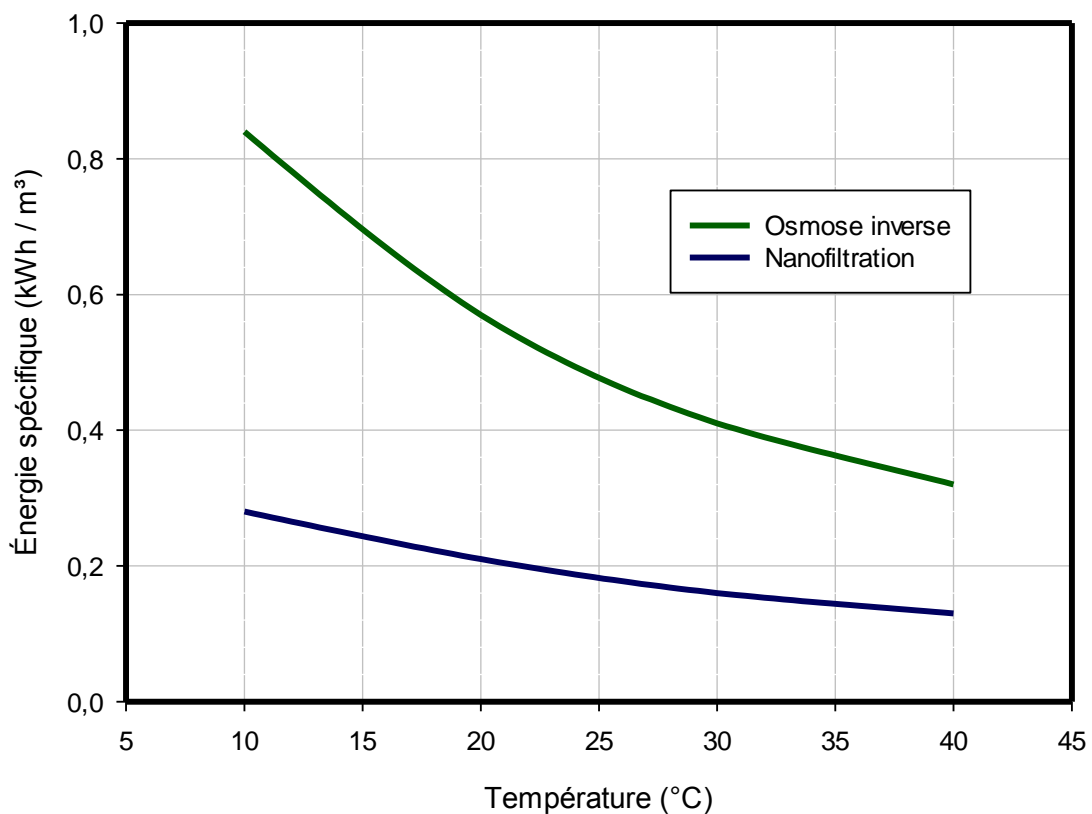


Figure III-2 : Pression d'alimentation en fonction de la température

La pression d'alimentation varie de 18 à 7 bar et 6 à 3 bar respectivement pour l'osmose inverse et la nano-filtration lorsque la température vraie de 10 à 40°C

La variation de la pression d'alimentation induit a une variation de la consommation d'énergie de la pompe d'injection et de facto a une variation de l'énergie spécifique de l'unité de traitement d'eau. Ceci est clairement démontré dans la figure III.3, où on remarque que la tendance de la variation de l'énergie spécifique en fonction de la température est sensiblement similaire à celle de la pression d'alimentation. Ses résultats mettent en évidence le fait que la technique de traitement d'eau par Nano-filtration est bien moins énergivore que celle de l'osmose inverse.



*Figure III.3 : L'énergie spécifique en fonction de la température*

Selon la figure III.3, on remarque qu'une augmentation de la température de 10 à 40°C induit à une variation de l'énergie spécifique de 0,82 à 0,32 kWh/m<sup>3</sup> et 0,29 à 0,11 kWh/m<sup>3</sup> respectivement pour l'osmose inverse et la nano-filtration.

### III.3 Effet de taux de conversion

#### III.3.1 Calcul des débits

Le tableau III.2 présente les valeurs de taux de conversion et débit de l'alimentation, perméat et concentrât.

*Tableau III-1 : Résultat des calculs des débits*

| Taux de conversion<br>% | Débit d'alimentation<br>m <sup>3</sup> /h | Débit de perméat<br>m <sup>3</sup> /h | Débit de concentrât<br>m <sup>3</sup> /h |
|-------------------------|---|---------------------------------------|--|
| 55                      | 8.18                                      | 4.5                                   | 3.68                                     |
| 65                      | 6.92                                      | 4.5                                   | 1.79                                     |
| 75                      | 6   | 4.5                                   | 1.5                                      |
| 85                      | 5.29                                      | 4.5                                   | 0.79                                     |

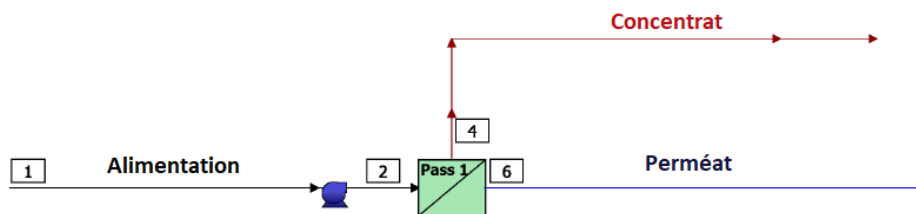
$$X = \frac{Q_p}{Q_a}$$

$$Q_p = 4.5 \text{ m}^3/\text{h} \text{ et } Q_a = Q_p + Q_c$$

X : taux de conversion

Q<sub>p</sub> : débit de perméat

Q<sub>a</sub> : débit d'alimentation



*Figure III.4 : Configuration de système sans reminéralisation*

### III.3.2 Etude de l'effet de taux de conversion sur le TDS de perméat

La figure III.5, représente la variation de la salinité totale du perméat en fonction du taux de conversion pour les deux techniques membranaires (NF et OI).

Dans un premier lieu, on remarque quasiment une même tendance linéaire de variation du TDS en fonction du taux de conversion. Où on observe une augmentation du TDS en fonction du taux de conversion. Cependant, concernant la NF on note une légère déviation de cette variation à partir de 75% du taux de conversion.

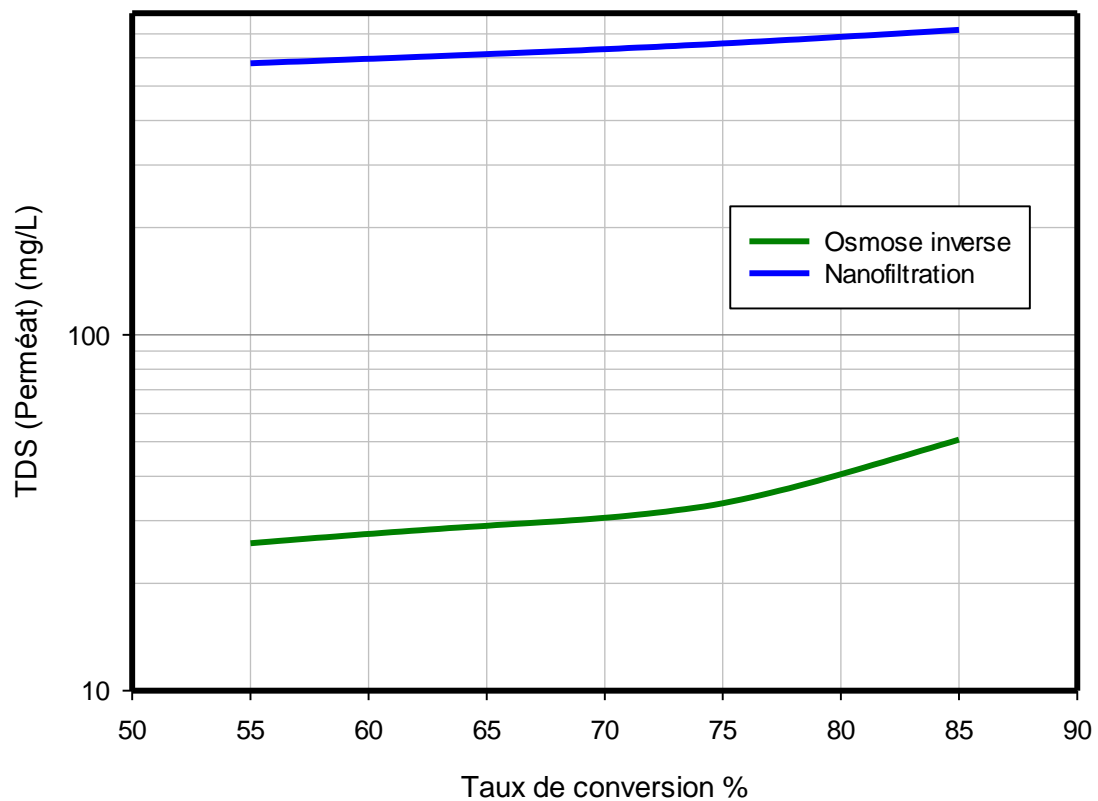


Figure III.5 : TDS de perméat en fonction de taux de conversion

Selon la figure III.5, l'augmentation du taux de conversion de 55 à 85% induit à une variation du TDS de 579 à 719 mg/l et 26 à 51 mg/l respectivement pour la nano-filtration et l'osmose inverse. Il est important de noter que la technique d'osmose inverse est plus sensible à une variation de la salinité totale en fonction du taux de conversion par rapport à celle de l'osmose inverse.

### III.3.3 Etude de l'effet de taux de conversion sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique

L'effet de taux de conversion sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique est représenté par La figure III.6,

Il est intéressant de remarquer que la tendance de variation de la pression d'alimentation en fonction de taux de conversion est nettement différente dans les deux cas de la NF et la RO, où on observe une augmentation suivie d'une diminution de la pression d'alimentation en fonction de taux de conversion dans le cas OI. Par contre, on remarque que la pression d'alimentation est quasiment constante dans le cas de NF sur toute la gamme de la pression. D'un autre côté, la figure démontre que la pression d'alimentation dans le cas de la nano-filtration est bien inférieure à celle de l'osmose inverse.

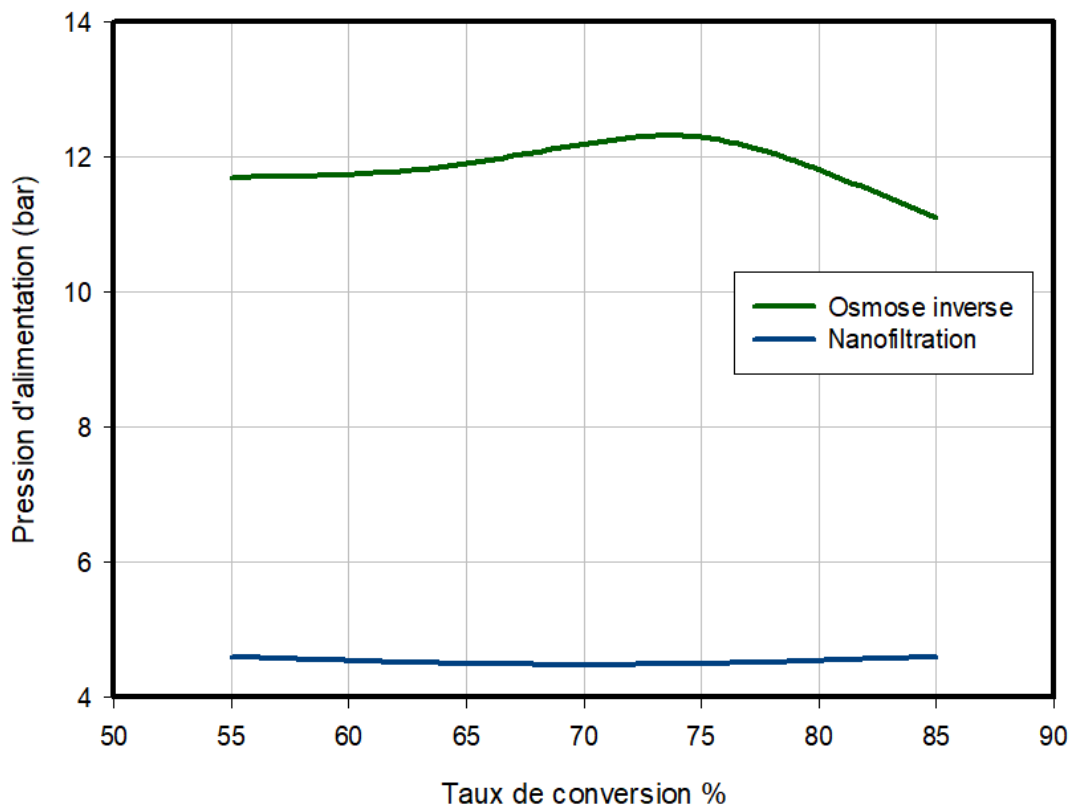


Figure III.6 : La pression d'alimentation en fonction taux de conversion

En effet, On remarque qu'une augmentation de taux de conversion de 55 à 85% induit à une variation du Pression d'alimentation de 11,7 à 12,3 bar et 12,3 à 11,3 bar pour l'osmose inverse et 4,6 à 4,5 bar pour la nano-filtration.

Pour la NF On remarque que la variation de débit n'a pas de grande influence sur pression d'alimentation.

La figure III.7, représente la variation de l'énergie spécifique en fonction de taux de conversion pour les deux techniques membranaire (NF et RO).

Dans un premier lieu, on remarque quasiment la même tendance de variation de l'énergie spécifique en fonction de la température où on observe une diminution de l'énergie spécifique en fonction de taux de conversion. Cependant l'énergie spécifique dans le cas de la nano-filtration est sensiblement inférieure à celle de l'osmose inverse.

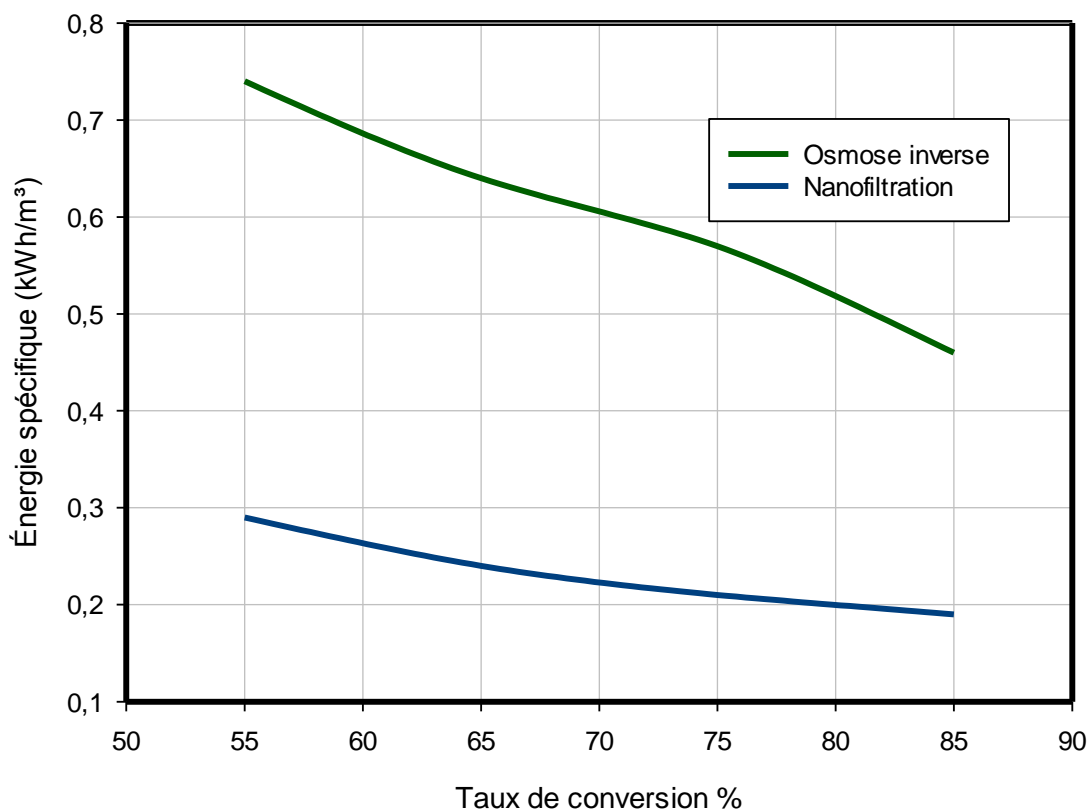


Figure III.7 : L'énergie spécifique en fonction de taux de conversion

En effet, On remarque qu'une augmentation de taux de conversion de 55 à 85% induit à une variation de l'énergie spécifique de 0,29 à 0,19 kWh/m<sup>3</sup> et 0,74 à 0,46 kWh/m<sup>3</sup> respectivement pour la nano-filtration et l'osmose inverse.

Il est important de remarquer que la technique membranaire par nano-filtration demande moins d'énergie par rapport de l'osmose inverse.



D'un autre côté, il semble que l'osmose inverse soit plus sensible à une variation de l'énergie spécifique en fonction du taux de conversion en comparaison avec la nano-filtration.

### III.4 Réduction de la taille de l'unité

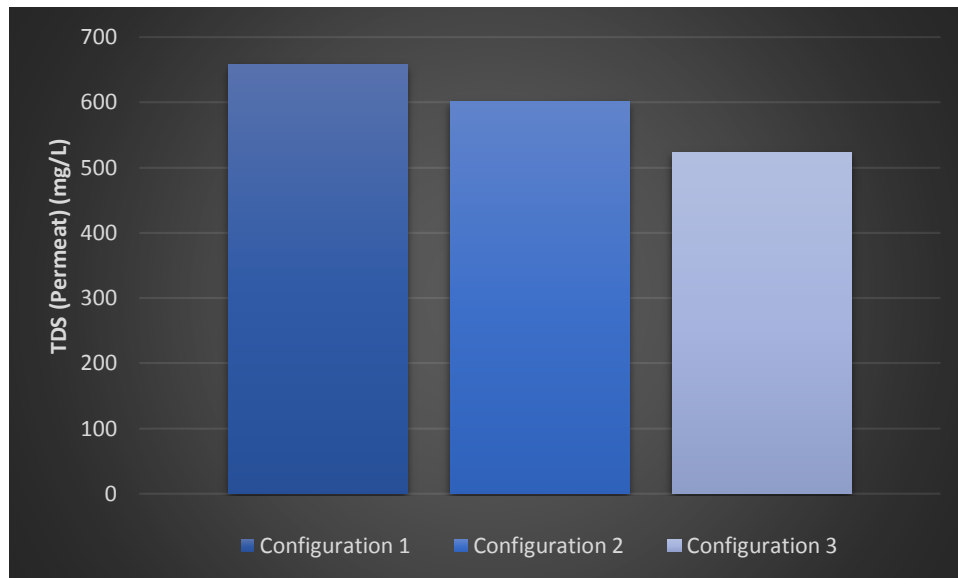
Pour étudier la réduction de la taille de l'unité, deux autres configurations sont réalisées configuration 2 : 03 modules à 05 membranes et configuration 3 : 02 modules à 05 membranes.

#### III.4.1 Etude de l'effet de la réduction de la taille de l'unité sur le TDS de perméat

La figure III.8 et III.9, représente respectivement la salinité totale (TDS de perméat) pour les trois configurations pour les deux techniques membranaires (NF et RO).



Figure III.8 : TDS de perméat de les configuration 1,2 et 3 (l'unité d'Osmose inverse)



*Figure III.9 : TDS de perméat de les configuration 1,2 et 3 (l'unité de Nano-filtration)*

Selon les mêmes figures, On remarque qu'une diminution du nombre des membranes de 20 à 10, induit à une variation du TDS de 658 à 523 mg/l et 34 à 24 mg/l respectivement pour la nano-filtration et l'osmose inverse. Il est intéressant de noter qu'une réduction de la taille des membranes semble agir de manière positive sur l'efficacité des membranes en termes de réduction de la salinité totale.

#### **III.4.2 Etude de l'effet de la réduction de la taille de l'unité sur la pression d'alimentation**

Dans le cas des figures III.10 et III.11, on remarque une tendance relativement similaire de la variation de la salinité totale en fonction dans le cas des trois configurations pour la NF et la RO, où on observe une augmentation de la pression d'alimentation en fonction des configurations. Cependant la pression d'alimentation dans le cas de l'osmose inverse est nettement supérieure à celle de la nano-filtration.

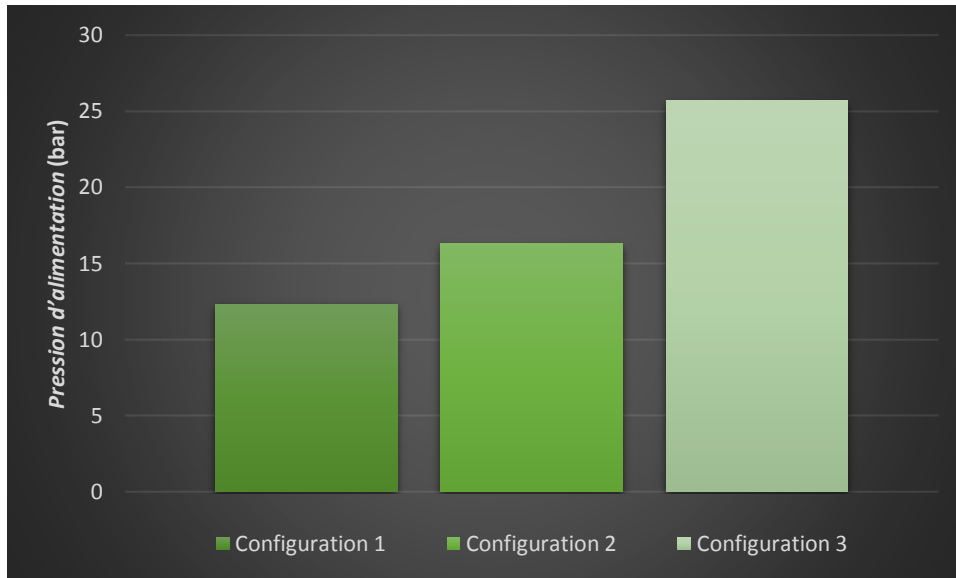


Figure III.10 : Pression d'alimentation de les configuration 1,2 et 3 (l'unité d'Osmose inverse)

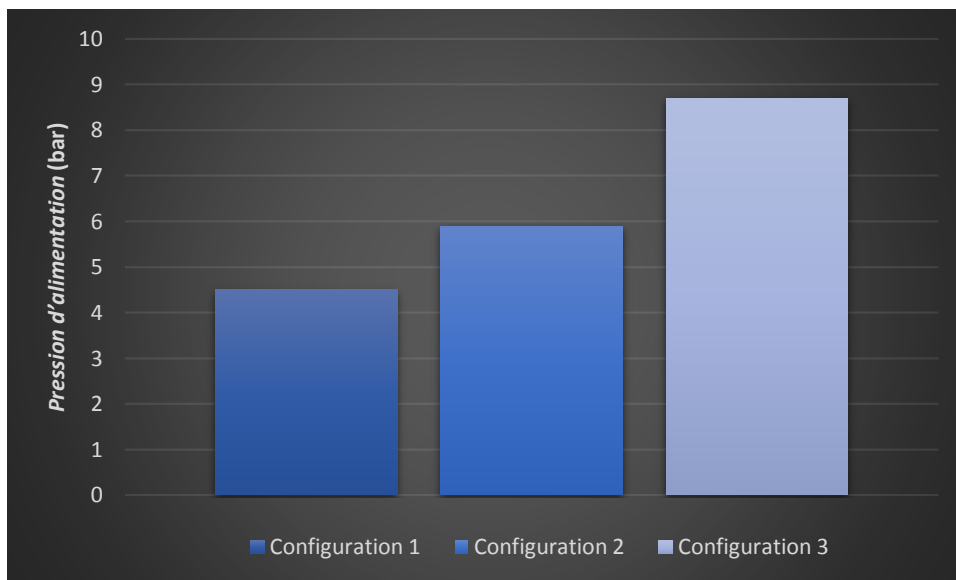


Figure III.11 : Pression d'alimentation de les configuration 1,2 et 3 (l'unité de Nano-filtration)

En effet, une diminution de nombres des membranes de 20 à 10 induit à une variation de pression d'alimentation de 4.5 à 8.7 bar et 12.3 à 25.7 bar respectivement pour la nano-filtration et l'osmose inverse.

### III.4.3 Etude de l'effet de la réduction de la taille de l'unité sur l'énergie spécifique

La figure III.12 et III.13, représente respectivement l'énergie spécifique pour les trois configurations pour les deux techniques membranaire (NF et RO).

Dans un premier lieu, on remarque quasiment la même tendance de variation de l'énergie spécifique en fonction des trois configurations où on observe une augmentation de l'énergie spécifique en fonction de nombre de membranes. Cependant l'énergie spécifique dans le cas de l'osmose inverse est sensiblement supérieure à celle de la nano-filtration.

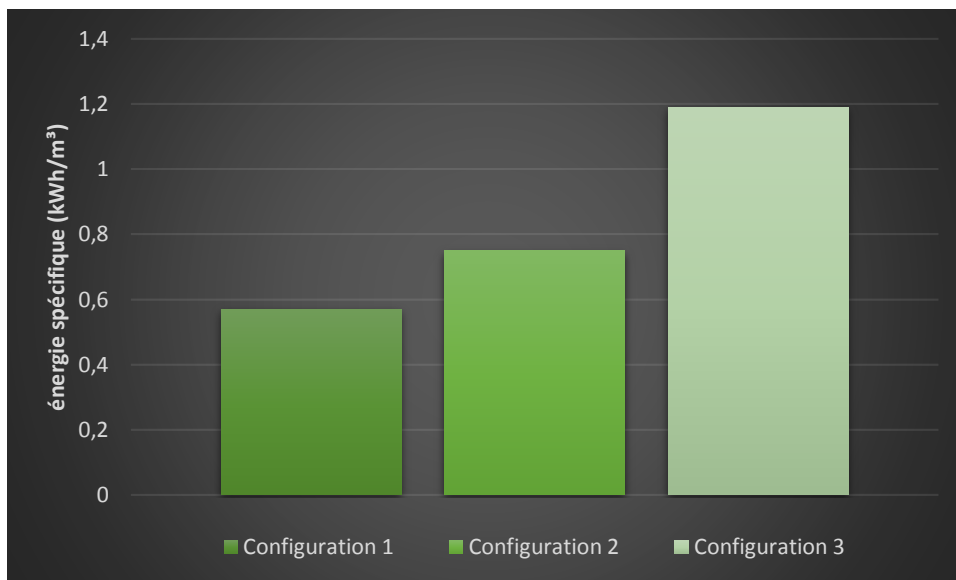


Figure III.12 : énergie spécifique de les configuration 1,2 et 3 (l'unité d'Osmose inverse)

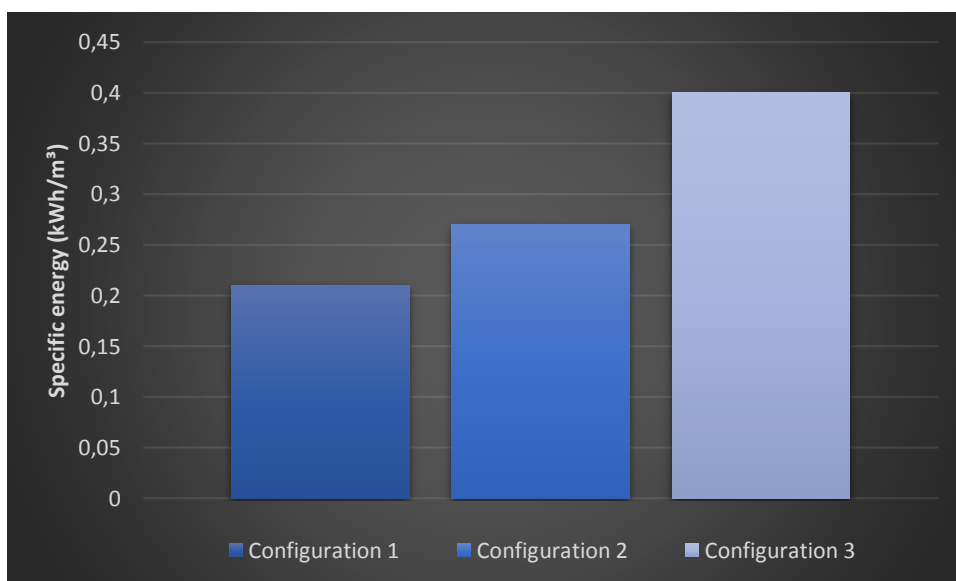


Figure III.13 : énergie spécifique de les configuration 1,2 et 3 (l'unité de Nano-filtration)

La diminution de nombres des membranes de 20 à 10 induit à une variation de l'énergie spécifique de 0.21 à 0.4 kWh/m<sup>3</sup> et 0.57 à 1.19 kWh/m<sup>3</sup> respectivement pour la nano-filtration et l'osmose inverse.

Les résultats obtenus par cette simulation démontrent que la séparation membranaire nécessite plus l'énergie si on réduire de nombres des membranes.

### III.5 Reminéralisation

On a vue dans les étudier précédent que dans le cas de l'OI la valeur de TDS elle très faible donc nous devient faire une reminéralisation pour augmenter cette valeur.

#### III.5.1 Calcul des débits

Dans le cas de reminéralisation on a 6 débit calculer débit total, débit d'alimentation, débit de reminéralisation, débit de perméat, débit de concentrât et débit de production.

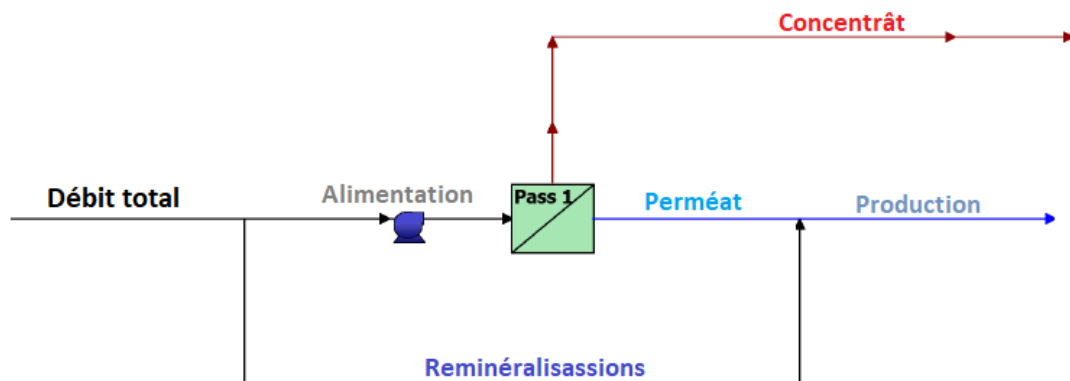


Figure III.14 : Configuration de système avec reminéralisation

Les débit son calculer avec les équations suivant :

$$Q_t = Q_c + Q_{pro} \quad X = \frac{Q_p}{Q_a}$$

$$Q_t = Q_r + Q_a$$

$$Q_a = Q_p + Q_c$$

$$Q_{pro} = Q_r + Q_p$$

$$ByPass = \frac{Q_r}{Q_t}$$

Les paramètres constant  $X = 0.75$  et  $Q_{pro} = 4.5 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q_t$  : débit total

$Q_a$  : débit d'alimentation

$Q_r$  : débit de reminéralisation

$Q_p$  : débit de perméat

$Q_c$  : débit de concentrât et  $Q_{pro}$  : débit de production

**Tableau III-2 : Résultat des calculs des débits (2)**

| By-pass %                 | 10    | 20    | 30    | 40    | 50   | 60  | 70    |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-------|
| débit total               | 5,81  | 5,71  | 5,45  | 5,29  | 5,14 | 5   | 4,86  |
| débit d'alimentation      | 5,229 | 4,568 | 3,815 | 3,174 | 2,57 | 2   | 1,458 |
| débit de reminéralisation | 0,581 | 1,142 | 1,635 | 2,116 | 2,57 | 3   | 3,402 |
| débit de perméat          | 3,919 | 3,358 | 2,865 | 2,384 | 1,93 | 1,5 | 1,098 |
| débit de concentrât       | 1,31  | 1,21  | 0,95  | 0,79  | 0,64 | 0,5 | 0,36  |
| débit de production       | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5  | 4,5 | 4,5   |

### III.5.2 Etude l'effet de la reminéralisation sur le TDS de perméat

La figure III.15, représente la variation de la salinité totale en fonction de By-pass pour la technique membranaire OI.

Dans un premier lieu, on observe une augmentation du TDS en fonction de By-pass.

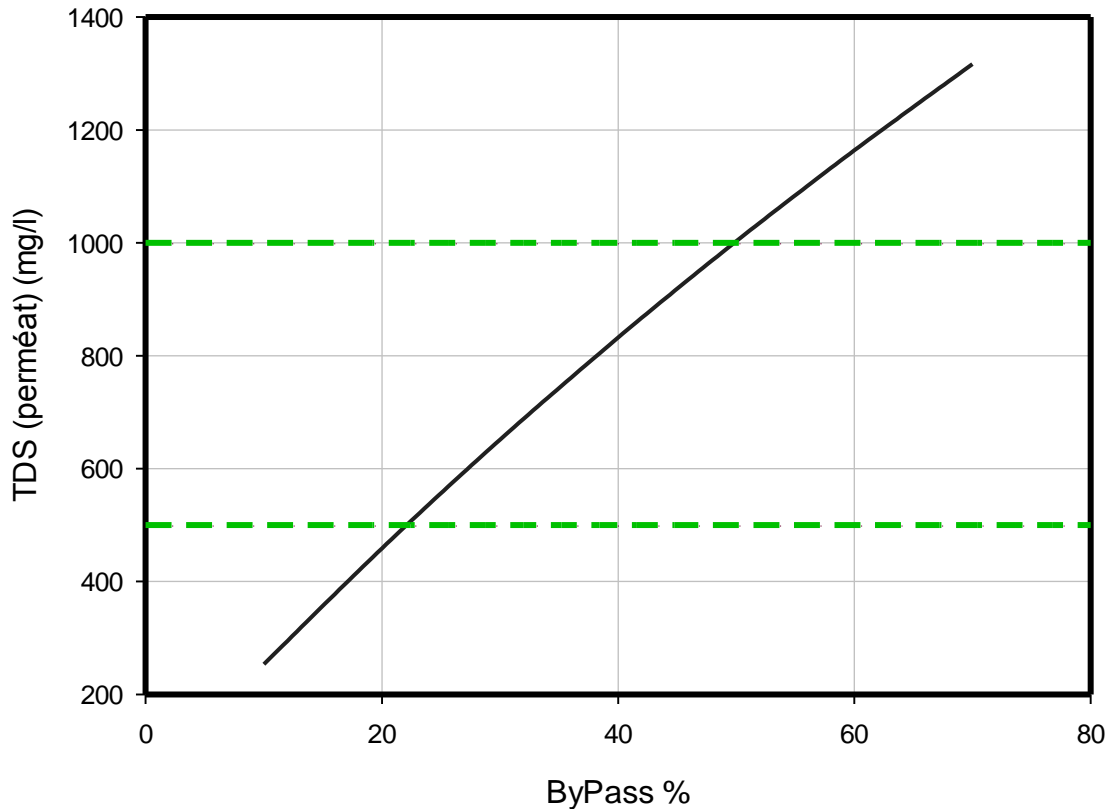


Figure III.15 : TDS de perméat en fonction de By-pass

On remarque qu'une augmentation de By-pass de 10 à 70% induit à une variation de la salinité totale de 253 à 1317 mg/l pour l'osmose inverse.

D'un autre côté, la variation du TDS dans le cas où le By-pass est entre 22 et 50% demeure dans la gamme des normes d'une eau domestique qui est aux alentours de 500-1000mg/l.

Les résultats obtenus par cette simulation démontrent que la reminéralisation de l'eau traitée par osmose inverse permet d'atteindre les standards d'une eau domestique propre à la consommation.

### III.5.3 Etude l'effet de la reminéralisation sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique

La figure III.16, représente la variation de la pression d'alimentation en fonction de By-pass pour les trois configurations membranaires.

On remarque quasiment la même tendance de variation de la pression d'alimentation en fonction de By-pass où on observe une diminution du pression d'alimentation en fonction de By-pass.

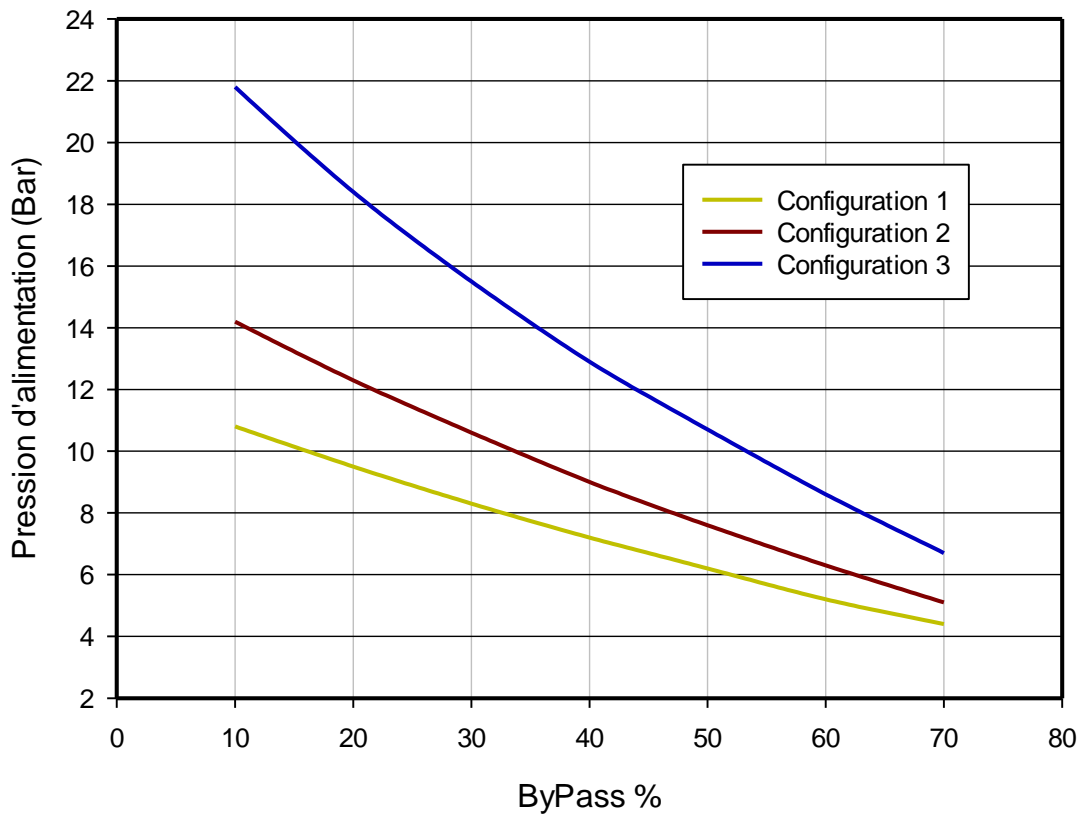


Figure III.16 : Pression d'alimentation en fonction de Bypass pour les configuration 1,2 et 3

En effet, On remarque qu'une augmentation de By-pass de 10 à 70% induit à une variation du pression d'alimentation de 10.8 à 4.4 bar et 14.2 à 5.1 bar et 21.8 et 6.7 bar respectivement pour la configuration 1,2 et 3.

D'un autre côté, la pression d'alimentation devient plus faible si on augmente le By-pass parce que le débit alimentation diminue avec l'augmentation de By-pass.



La figure III.17, représente la variation de l'énergie spécifique en fonction de By-pass pour les trois configurations membranaires.

Dans un premier lieu, on remarque quasiment la même tendance de variation de l'énergie spécifique en fonction de By-pass où on observe une diminution de l'énergie spécifique en fonction de By-pass.

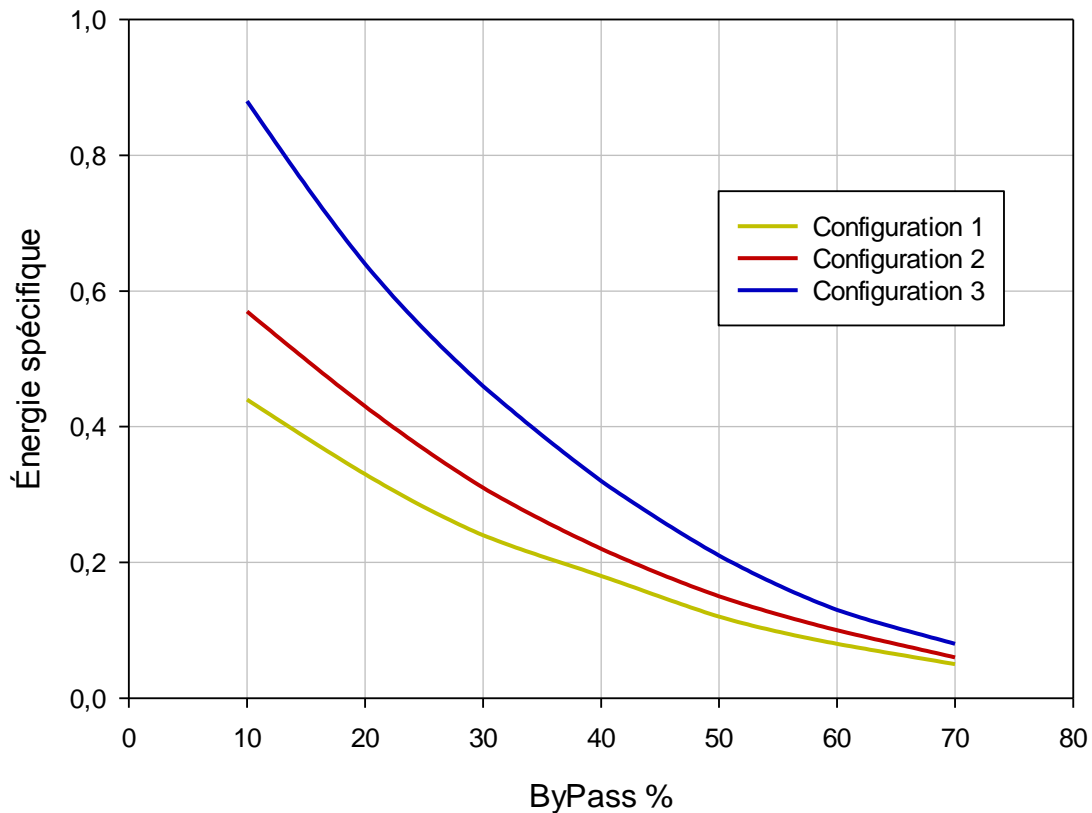


Figure III.17 : Pression d'alimentation en fonction de Bypass pour les configuration 1,2 et 3

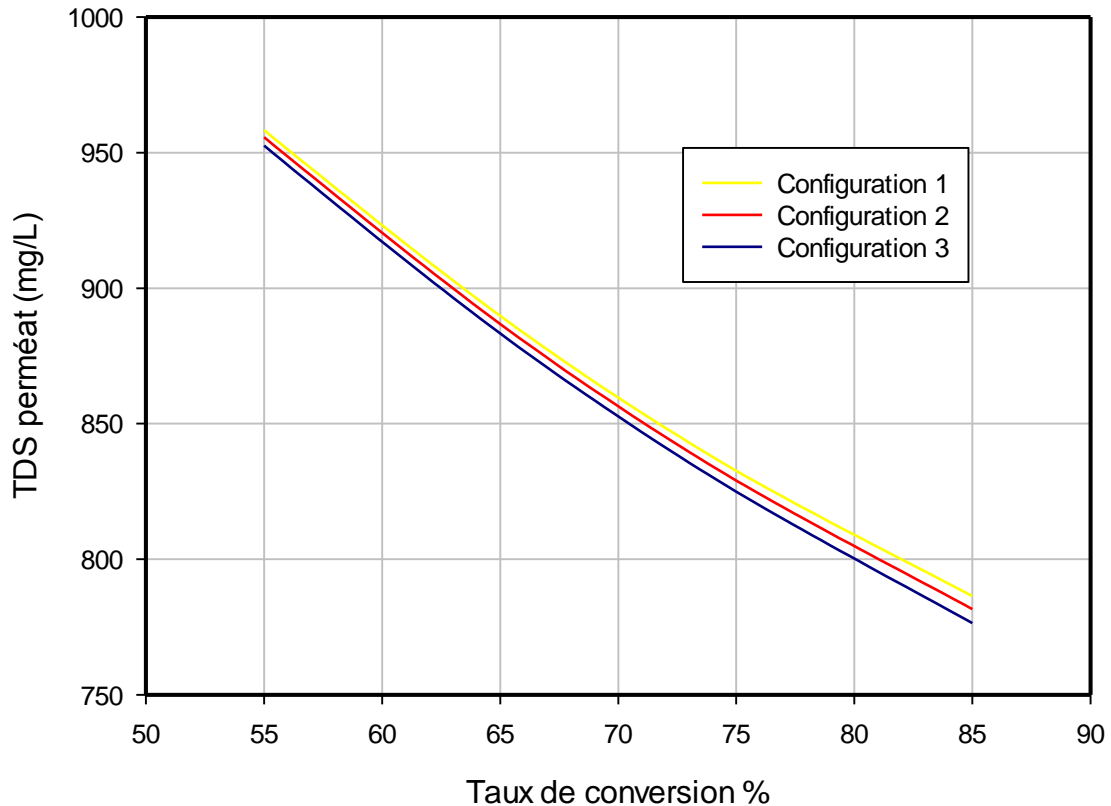
En effet, On remarque qu'une augmentation de By-pass de 10 à 70% induit à une variation de l'énergie spécifique de 0,44 à 0,05 kWh/m<sup>3</sup> bar et 0,57 à 0,06 kWh/m<sup>3</sup> et 0,88 et 0,08 kWh/m<sup>3</sup> respectivement pour la configuration 1,2 et 3.

On remarque aussi c'est-on besoin plus de l'énergie c'est on réduire le nombre des membranes.

### III.5.4 Etude l'effet de taux de conversion sur le TDS de perméat avec reminéralisation

Dans cette étude on a fixé le By-pass a 40% pour les trois configurations.

La figure III.18, représente la variation de la salinité totale en fonction de taux de conversion pour les trois configurations membranaires.



*Figure III.18 : TDS de perméat en fonction de taux de conversion avec reminéralisation pour les configuration 1,2 et 3*

En effet, On remarque qu'une augmentation de taux de conversion de 55 à 85% induit à une variation du TDS de 958 à 786 mg/l et 956 à 782 mg/l et 953 à 776 mg/l respectivement pour les configuration 1,2 et 3.

D'un autre côté, des résultats similaires pour les trois configurations donc on s'intéresse à utiliser la configuration 3 pour réduire les coûts.

### III.5.5 Etude l'effet de taux de conversion sur la pression d'alimentation et l'énergie spécifique avec reminéralisation

La figure III.19, représente la variation de la pression d'alimentation en fonction de taux de conversion pour les trois configurations membranaires..

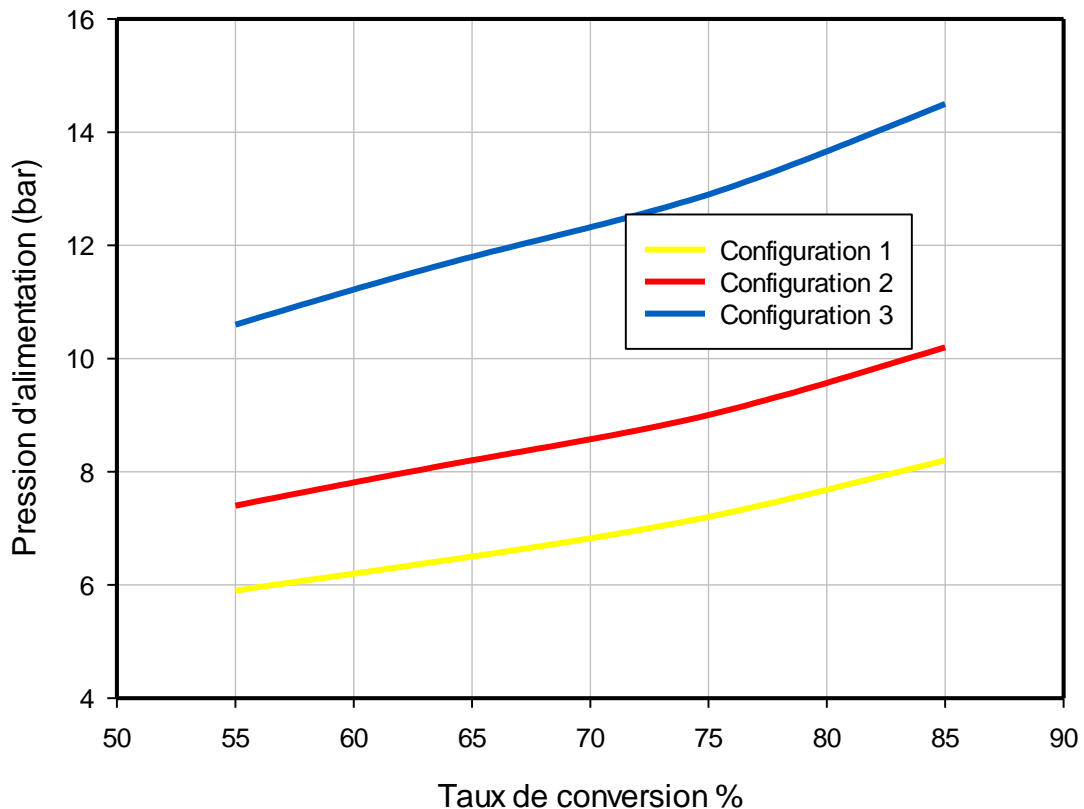


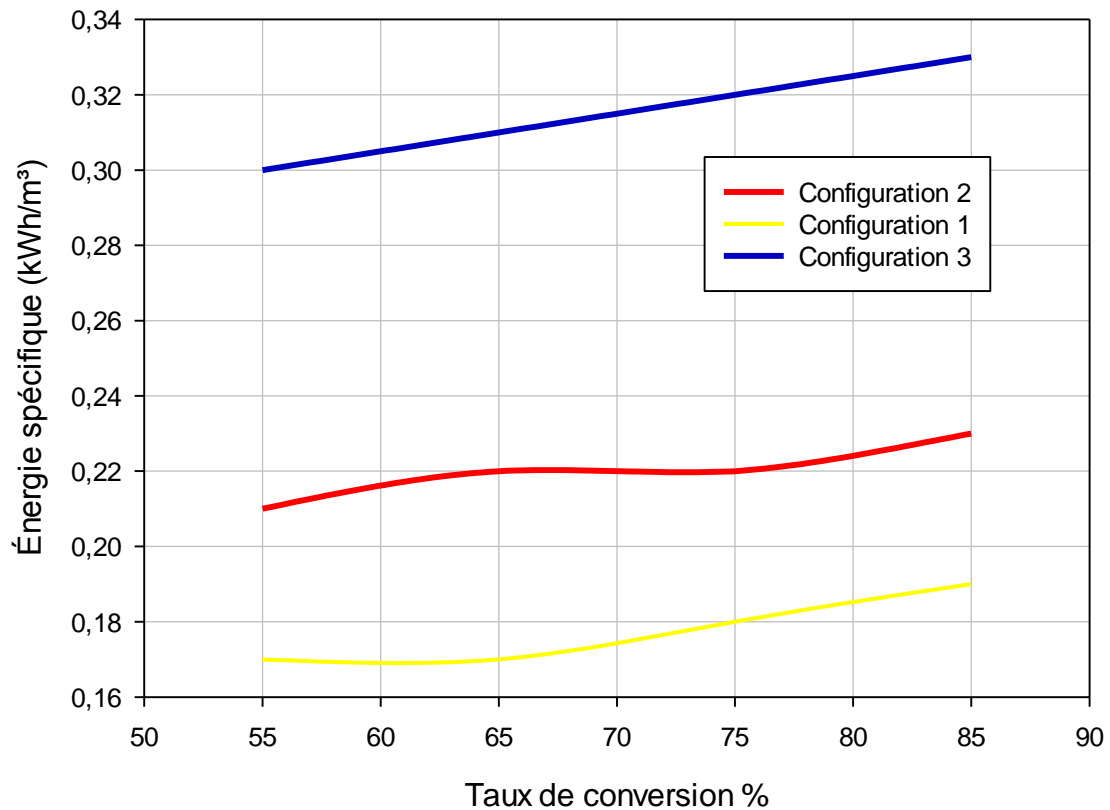
Figure III.19 : La pression d'alimentation en fonction de taux de conversion avec reminéralisation pour les configuration 1,2 et 3

En effet, On remarque qu'une augmentation de taux de conversion de 55 à 85% induit à une variation du pression d'alimentation de 5.9 à 8.2 bar et 7.4 à 10.2 bar et 10.6 à 14.5 bar respectivement pour les configuration 1,2 et 3.

La pression d'alimentation augmente avec la diminution de nombre des membranes à cause de on a moins des pores.

La figure III.20, représente la variation de la pression d'énergie spécifique en fonction de taux de conversion pour les trois configurations membranaires.

Dans un premier lieu, on remarque quasiment la même tendance de variation de l'énergie spécifique en fonction de taux de conversion où on observe une augmentation de l'énergie spécifique en fonction de taux de conversion.



*Figure III.20 : L'énergie spécifique en fonction de taux de conversion avec reminéralisation pour les configuration 1,2 et 3*

En effet, On remarque qu'une augmentation de taux de conversion de 55 à 85% induit à une variation de l'énergie spécifique de 0.17 à 0.19 kWh/m<sup>3</sup> et 0.21 à 0.23 kWh/m<sup>3</sup> et 0.3 à 0.33 kWh/m<sup>3</sup> respectivement pour les configuration 1,2 et 3

## **Conclusion général**

Le but de ce présent travail, est d'étudier les retombés technico-économique sur la possibilité de convertir une installation de traitement d'eau de Hassi-messaoud par osmose inverse en nano-filtration ainsi qu'une optimisation de la taille de l'unité.

D'un point de vue efficacité de réduction de la salinité totale en fonction de la température, du taux de conversion ainsi que par rapport aux différentes configurations élaborées, l'étude a mis en évidence la capacité de l'unité à réduire de manière drastique la salinité totale de l'eau Albien on osmose inverse par rapport à celle de la nano-filtration qui est une technique sélective et qui cible principalement le ions divalents. Cependant la technique de l'osmose inverse ne semble pas tout à fait adéquate pour servir les objectifs de produire une eau domestique ou en d'autres termes sur-conçu dans le contexte d'un traitement d'une eau saumâtre et non pas une eau de mer. En effet un traitement par nano-filtration quel que soit les conditions opératoires de pression d'alimentation de température ou bien d'une reconfiguration apporte une qualité d'eau qui est dans les normes d'eau domestique (500 à 1000 mg/l) contrairement à une eau traitée par osmose inverse qui est nettement inférieure à la norme nationale en terme teneur minérale. Par conséquent le recours à un traitement par osmose inverse oblige une reminéralisations de l'eau traitée, l'étude a démontré qu'un by-pass au niveau de l'unité pour une fraction aux alentours de 20 à 30% permet d'atteindre une teneur minérale admissible pour une eau domestique.

Le traitement d'eau par nano-filtration se distingue clairement par une meilleure efficacité énergétique. Les pressions d'alimentation d'une installation NF sont beaucoup moins faible que celle d'une RO ce qui est donc moins énergivore. Ceci est bien illustré par les énergies spécifiques que requiert chaque filière de traitement d'eau.

Il est intéressant aussi de noté qu'une réduction du nombre de module membranaire induit réduction plus importante de la salinité totale et ce dans les deux cas de la NF et la RO. En contrepartie nous avons remarqués que les pressions d'alimentation deviennent plus importantes en conséquence, une plus grande énergie spécifique de fonctionnement. Dans ce cas de figure il s'agit de trouver un bon compromis entre une consommation énergétique modéré et une taille d'unité plus optimale.

A la fin, une unité de traitement d'eau par NF semble plus adéquate à notre cas d'étude, cependant nous suggérant dans de prochaines études l'introduction de techniques hybrides Membrane-résine échangeuse d'ions (IX). De même un approfondissement sur le système de prétraitement pour l'augmentation de la durée de vie des membranes.

## Références bibliographiques

- [1] Dach, H. (2008). Comparison of nano-filtration and reverse osmosis processes for a selective desalination of brackish water feeds (Doctoral dissertation, Université d'Angers).
- [2] ATALLAH.A (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de mer de HONAIN - TENEURS : CATIONS, ANIONS ET METAUX LOURD. Thèse Master biologie. Université de Tlemcen.
- [3] Dompé, G., & Ahoulé, M. (2016). Performances comparatives des techniques de nanofiltration et d'osmose inverse pour le traitement d'eau de consommation contaminée à l'arsenic au Burkina Faso (Doctoral dissertation, Université Montpellier ; Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement).
- [4] MERABET, M. et BELABED, M. Traitement par nanofiltration des eaux d'injection de Lias : application à la récupération assistée des hydrocarbures dans le gisement de TFT (Ingénieur d'état en hydraulique, École Nationale Polytechnique).
- [5] C. Galus, Les techniques de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor, extrait du Monde, 12 Janvier 2000.
- [6] Samcotech, A Fundamental Guide to Reverse Osmosis and Nanofiltration Membrane Systems MAY 16, 2017.
- [7] Chafik l'étude de l'équilibre calco-carbonique des eaux saumâtres de la région de hassi messoud 2016
- [8] Mona A Abdel-Fatah, Marwa M Elsayed, Gh A Al Bazed Design of Reverse Osmosis Desalination Plant in Suez City (Case Study) 2016
- [9] Monnot, M. (2015). Conception d'une filière intensifiée par membrane pour le dessalement autonome d'eau de mer : étude du prétraitement et de son effet sur le biocolmatage (Doctoral dissertation, INSA de Toulouse).
- [10] Younos, T., & Tulou, K. E. (2005). Overview of desalination techniques. Journal of Contemporary Water Research & Education, 132(1), 3-10.
- [11] Bouchoux, A. (2004). Étude de la nanofiltration pour son intégration dans les procédés de production d'acides organiques (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

[12] Hérenger, N. (2012). Etude expérimentale du transitoire de remplissage des cavités d'injection des organes de combustion du moteur VINCI (Doctoral dissertation, Université de Grenoble).

[13] C.le guern (2003) dessalement et recherche artificielle synthèse technico-économique.