

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Chadli Bendjedid El-Tarf
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de Master Professionnel

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Dessalement et Traitement des Eaux

Thème :

***Étude par simulation de l'optimisation de la déminéralisation
des eaux par osmose inverse***

Présenté par :

MESTOUR Ramzi

Encadré par :

Dr. BOUOUDEN Walid

Soutenue le : 18/06/2026 devant le jury composé de :

Dr. OUCHENE Abdelali	Président	MCB	Université Chadli ben Djedid El-Tarf
Dr. OTMANI Lhadi	Examineur	MCB	Université Chadli ben Djedid El-Tarf
Dr. BOUOUDEN Walid	Encadreur	MCB	Université Chadli ben Djedid El-Tarf
Dr. BOUGHRARA Boudjema	Co-encadreur	MCA	Université Chadli ben Djedid El-Tarf

Remerciements

*En préambule à ce mémoire, nous tenons avant tout à remercier **ALLAH**, le Tout-Puissant et le Très Miséricordieux, qui nous a accordé la santé, la force, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail. Grâce à Sa bénédiction et à Son soutien, nous avons pu surmonter les difficultés rencontrées tout au long de notre parcours universitaire et achever ce mémoire dans les meilleures conditions.*

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre **encadreur, Dr. BOUOUDEN Walid**, pour la confiance qu'il nous a accordée, son encadrement rigoureux, sa disponibilité constante, sa patience, ses précieux conseils ainsi que ses orientations scientifiques, qui nous ont permis de mener ce travail à son terme. Son expérience, son expertise et ses encouragements ont été d'une aide précieuse et ont largement contribué à la réalisation de cette étude.*

*Nous exprimons également notre profonde reconnaissance à **M. BOUGHRARA Boudjema**, notre **co-encadrant**, pour son accompagnement, son soutien, sa disponibilité et les nombreuses recommandations qu'il nous a apportées tout au long de ce travail. Ses remarques pertinentes, son aide précieuse et l'intérêt qu'il a porté à notre étude ont largement contribué à l'amélioration de la qualité de ce mémoire.*

Nous remercions chaleureusement les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et de consacrer une partie de leur temps à sa lecture et à son appréciation. Nous sommes honorés de leur présence et reconnaissants pour leurs observations ainsi que pour leurs remarques constructives.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du Département de Génie des Procédés, qui nous ont transmis leur savoir, leurs connaissances et leur expérience tout au long de notre cursus universitaire. Leur dévouement et la qualité de leur enseignement ont joué un rôle essentiel dans notre formation scientifique et professionnelle.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire, que ce soit par leurs conseils, leur soutien moral, leur aide technique ou leurs encouragements.

À toutes ces personnes, nous exprimons notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance.

Dédicaces

À celui qui m'a toujours dit : « **Tu peux le faire** », et à qui je réponds aujourd'hui : « Oui, je l'ai fait grâce à toi ».

Le chemin n'a pas toujours été facile. Les rêves semblaient parfois lointains et les obstacles nombreux, mais j'ai continué à avancer avec foi, persévérance et détermination. Chaque difficulté rencontrée a renforcé ma volonté d'atteindre mon objectif et de réaliser ce projet qui me tenait tant à cœur.

À mon père, mon soutien, ma force et ma fierté, je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour tous les sacrifices consentis, pour tes précieux conseils, ton affection, ton soutien inconditionnel et pour la confiance que tu as toujours placée en moi. Tu as été un modèle de courage, de travail et de persévérance, et je te dois une grande partie de cette réussite.

À ma mère, source inépuisable de tendresse, de patience et de prières, toi qui as illuminé mes jours difficiles et accompagné chacun de mes pas vers la réussite, je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance. Merci pour ton dévouement, ton affection sans limite et les valeurs que tu m'as transmises. Tes encouragements et tes prières ont toujours été ma plus grande source de motivation.

Je dédie également ce mémoire à mes frères, mes sœurs et à tous les membres de ma famille, pour leur soutien moral, leur présence et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

Je dédie aussi ce mémoire à toutes les personnes qui ont été à mes côtés dans les moments de doute comme dans les instants d'espoir, et qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce parcours.

Grâce à Dieu, aujourd'hui, un rêve devient réalité. Louange à Dieu pour tout le chemin parcouru, pour Sa guidance, Sa miséricorde et les forces qu'Il m'a accordées pour atteindre cet objectif.

À mes parents, avec tout mon amour, mon respect et mon infinie gratitude.

Que Dieu vous protège et vous accorde santé, bonheur et longue vie.

Ramzi

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux	v
Liste des Acronymes et Symboles.....	vi

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction	3
I.2. Différents types d'eau salées.....	4
I.2.1. Les eaux saumâtres.....	4
I.2.2. Eaux de mer.....	4
I.3. Propriétés physico-chimiques.....	4
I.3.1. Température.....	4
I.3.2. pH.....	5
I.3.3. Conductivité électrique.....	5
I.3.4. Dureté(TH).....	5
I.3.5. Alcalinité.....	5
I.3.6. Les Matières en suspension.....	5
I.4. Les normes de potabilités d'une eau (OMS).....	5
I.5. Les procédés de dessalement des eaux.....	6
I.5.1. La distillation.....	8
I.5.2. L'osmose inverse.....	8
I.6. Description du phénomène osmose inverse.....	9
I.6.1. Principe de l'osmose inverse.....	9
I.6.2. Force motrice.....	10
I.6.3. Mécanisme de transfert.....	10
I.6.4. Paramètre de fonctionnement.....	11
I.6.4.1. Taux de conversion.....	11
I.6.4.2. Sélectivité.....	12
I.6.4.3. Débit spécifique ou densité du flux volumique.....	12
I.7. Limitations de l'osmose inverse.....	12
I.8. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse.....	13
I.8.1. Les avantages.....	13
I.8.2. Les inconvénients.....	14
I.9. Mise en œuvre des membranes.....	14
I.9.1. Écoulement frontal.....	14
I.9.2. Filtration Tangentielle.....	14
I.10. Types de modules.....	14

I.10.1. Les modules tubulaires.....	14
I.10.2. Les Modules spiralé.....	15
I.10.3. Les Modules plans.....	16
I.10.4. Les Modules fibres creuses.....	17

Chapitre II : Simulation des données par le logiciel IMS-design

II.1. Présentation du logiciel IMS-Design.....	19
II.1.1. Fonctionnalités principales.....	19
II.1.2. Avantages du logiciel IMS-Design.....	20
II.1.3. Domaine d'application.....	20
II.1.4. Limites du logiciel.....	20
II.2. Objectif de la simulation.....	21
II.3. Données d'entrée de la simulation.....	21
II.3.1. Caractéristiques de l'eau d'alimentation.....	21
II.3.2. Conditions de fonctionnement souhaitées.....	22
II.3.3. Conditions limites.....	22
II.4. Étapes de simulation avec le logiciel IMS-Design.....	23
II.4.1. Saisie des données de l'eau brute (Feed Water).....	23
II.4.2. Choix du type de membrane.....	24
II.4.3. Configuration du système.....	24
II.4.4. Définition des limites de conception.....	24
II.4.5. Lancement de la simulation.....	24
II.4.6. Analyse des résultats.....	24
II.5. Relation entre IMS-design et l'osmose inverse.....	25
II.5.1. Optimisation des membranes et de leur agencement.....	25
II.5.2. Réduction de la consommation d'énergie.....	26
II.5.3. Durabilité des membranes.....	26
II.5.4. Systèmes de contrôle intelligents.....	26
II.5.5. Gestion des concentrats.....	26
II.6. Étapes pour simuler un système avec IMS-Design.....	27
II.7. Présentation de la Société Hydranautics.....	29
II.8. Présentation du Logiciel Toray RO Design Software.....	30
II.9. Étapes pour simuler un système avec Toray DS.....	32

Chapitre III :

III.1. Discussion des résultats de la simulation.....	37
III.1.1. Configuration du système.....	37
III.1.2. Performances hydrauliques.....	37
III.1.3. Analyse du colmatage et précipitations.....	37
III.2. Discussion des résultats de la simulation Toray DS.....	42

III.3. Comparaison entre les résultats de IMS-Design et Toray DS2.....	45
Conclusion Générale.....	50
Références bibliographiques.....	52
Annexes.....	56
Résumé	

Figure I-1. Répartition de l'eau sur la planète.....	3
Figure I-2. Les différents procédés existants pour le dessalement.....	7
Figure I-3. Capacité de séparation des techniques membranaires.....	8
Figure I-4. Mise en évidence de l'osmose inverse.....	9
Figure I-5. Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	10
Figure I-6. Phénomène de polarisation de la concentration sur membrane d'OI.....	11
Figure I-7. Schématisation des différents mécanismes de colmatage d'une membrane.....	13
Figure I-8. Filtration frontale et tangentielle à travers une membrane.....	14
Figure I-9. Modules tubulaires.....	15
Figure I-10. Modules spiralés.....	16
Figure I-11. Modules plan.....	17
Figure I-12. Module à fibre creuse.....	17
Figure II-1. L'interface utilisateur du logiciel IMS-Design Cloud.....	19
Figure II-2. Interface de saisie des caractéristiques de l'eau d'alimentation dans IMSDesign.....	23
Figure II-3. Schéma des étapes de simulation d'un système d'osmose inverse sous IMSDesign.....	25
Figure II-4. Interface du logiciel IMSDesign (Paramètres d'entrée pour la simulation de l'eau de mer).....	27
Figure II-5. Configuration du système de traitement d'eau de mer dans IMSDesign – Schéma d'éléments en deux étages avec récupération d'énergie.....	28
Figure II-6. Résultats de calcul de la simulation IMSDesign – Performances hydrauliques et qualité du perméat.....	29
Figure II-7. Logo de société (Hydranautics).....	30
Figure II-8. L'interface du logiciel Toray RO Design Software (TorayDS).....	32
Figure II-9. Interface principale du logiciel Toray Design System 2.0 (DS2).....	34
Figure II-10. Définition de la composition ionique de l'eau d'alimentation dans Toray Design System 2.0.....	34
Figure II-11. Configuration du système d'osmose inverse à une passe dans Toray Design System 2.0.....	35
Figure III-1. Variation du flux à travers les éléments membranaires dans le train d'OI.....	38
Figure III-2. Évolution des concentrations de Ca^{2+} et Cl^- le long des éléments membranaires.....	39
Figure III-3. Variation de la salinité (TDS) selon les flux du système d'osmose inverse.....	40
Figure III-4. Évolution de la pression selon les flux du système d'osmose inverse.....	40
Figure III-5. Pourcentage de saturation des composés dans le concentrat.....	41
Figure III-6. Teneur en solides dissous totaux (TDS) selon les différents flux du procédé.....	44
Figure III-7. Évolution du pH selon les différents flux du procédé.....	44
Figure III-8. Taux de saturation des composés susceptibles de la précipitation.....	45

Tableau I-1. Normes algériennes.....	6
Tableau III-1. Saturations du concentrat.....	37
Tableau III-2. Évolution de la concentration et du flux par élément.....	38
Tableau III-3. Composition ionique globale par flux (streams).....	39
Tableau III-4. Taux de saturation des composés (Saturation Scaling).....	41
Tableau III.5. Configuration et performance globale.....	42
Tableau III.6. Performance par élément (Passes 1-1 et 1-2).....	43
Tableau III.7. Risques d'entartrage (scaling).....	43
Tableau III.8. Caractéristiques par stream.....	43
Tableau III-9. Saturation scaling.....	45

OI : Osmose Inverse

RO : Reverse Osmosis (Osmose inverse en anglais)

IMS-Design / IMS : Intelligent Membrane System Design (logiciel de simulation Hydranautics)

DS / Toray DS : Design System (logiciel de simulation Toray)

TDS : Total Dissolved Solids (Solides Dissous Totaux)

NF : Nanofiltration

UF : Ultrafiltration

MF : Microfiltration

SWRO : Seawater Reverse Osmosis (Osmose inverse de l'eau de mer)

SEC : Specific Energy Consumption (Consommation spécifique d'énergie)

NDP : Net Driving Pressure (Pression nette motrice)

LMH : Litre par mètre carré par heure ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)

TH : Titre Hydrotimétrique (dureté de l'eau)

pH : Potentiel Hydrogène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

NTU : Nephelometric Turbidity Unit (Unité néphélométrique de turbidité)

SDI : Silt Density Index (Indice de densité des sédiments)

CaSO₄ : Sulfate de calcium

SrSO₄ : Sulfate de strontium

BaSO₄ : Sulfate de baryum

SiO₂ : Dioxyde de silicium

CaF₂ : Fluorure de calcium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

MgCO₃ : Carbonate de magnésium

NaCl : Chlorure de sodium

SEC : Specific Energy Consumption

Introduction générale

L'eau douce est une ressource naturelle essentielle à la vie humaine, au développement économique et à la préservation des écosystèmes. Toutefois, l'augmentation rapide de la population mondiale, l'urbanisation croissante, l'industrialisation et les effets du changement climatique ont considérablement accru la pression exercée sur les ressources hydriques conventionnelles. Selon les estimations des organismes internationaux, plusieurs milliards de personnes vivent déjà dans des régions confrontées à un stress hydrique important, une situation qui risque de s'aggraver au cours des prochaines décennies. Face à cette problématique, la recherche de ressources en eau alternatives est devenue une priorité pour de nombreux pays, notamment ceux situés dans les zones arides et semi-arides. [1]

Plusieurs procédés de dessalement sont actuellement utilisés à l'échelle industrielle, parmi lesquels les procédés thermiques, tels que la distillation multi-effets (MED) et la distillation multi-étage (MSF), ainsi que les procédés membranaires. Parmi ces derniers, l'osmose inverse (Reverse Osmosis, RO) s'est imposée comme la technologie dominante grâce à son rendement élevé, sa flexibilité opérationnelle et sa consommation énergétique relativement faible. Aujourd'hui, plus de la moitié de la capacité mondiale de dessalement repose sur cette technologie. [2]

Dans ce contexte, l'utilisation des logiciels de simulation constitue un outil efficace pour comparer les performances de différentes membranes avant leur mise en œuvre à l'échelle industrielle. Ces logiciels permettent de prédire avec précision les paramètres de fonctionnement, la qualité du perméat, la consommation énergétique ainsi que les performances globales des systèmes de dessalement.

Le présent mémoire a pour objectif de réaliser une étude comparative des performances de plusieurs membranes d'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer en utilisant les logiciels de simulation IMSDesign de Hydranautics et Toray DS2 de Toray. L'étude porte sur l'évaluation des principaux indicateurs de performance, notamment le taux de rejet des sels, la qualité du perméat, la pression de fonctionnement, la consommation énergétique spécifique et la fiabilité opérationnelle. Les résultats obtenus permettront d'identifier la membrane offrant le meilleur compromis entre efficacité de dessalement, qualité de l'eau produite, économie d'énergie et rentabilité d'exploitation.

Chapitre I
Etude bibliographique

I.1.Introduction

L'eau est indispensable à tous les êtres vivants, il est possible de jeuner un mois sans danger considérable, mais nous ne pouvons pas être privé d'eau plus de 48 heures sans risque. L'eau nous permet d'éliminer nos déchets par les urines, de lutter contre la chaleur par sudation et la ventilation pulmonaire, de transporter des vitamines hydrosolubles qui seront grâce à l'eau mieux absorbée par les muqueuses intestinales. En revanche une perte d'eau de 12% peut provoquer la mort.

En cas de manque total d'eau, de graves troubles apparaissent dès le 3^{ème} jour et la mort suivra entre le 5^{ème} et le 6^{ème} jour. Comme toutes les cellules vivantes, les cellules microbiennes ne vivent que dans un milieu répondant à certaines caractéristiques. L'eau compose la plus grande partie de nos aliments [3].

Selon les Nations Unies, 97,5% du stock d'eau de la planète est salée et seulement une fraction correspondant à 2,5 % se compose d'eau douce. Environ 70% de cette eau douce est fixée dans les calottes glaciaires des pôles et une partie importante des 30% restants est constituée par des nappes aquifères souterraines (**Figure I-1**). Seule une fraction minuscule de l'eau douce (moins de 1% de l'eau douce totale, soit 0,007 % du stock d'eau mondial) est alors disponible dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs et est facilement accessible à l'homme pour son utilisation directe [4].

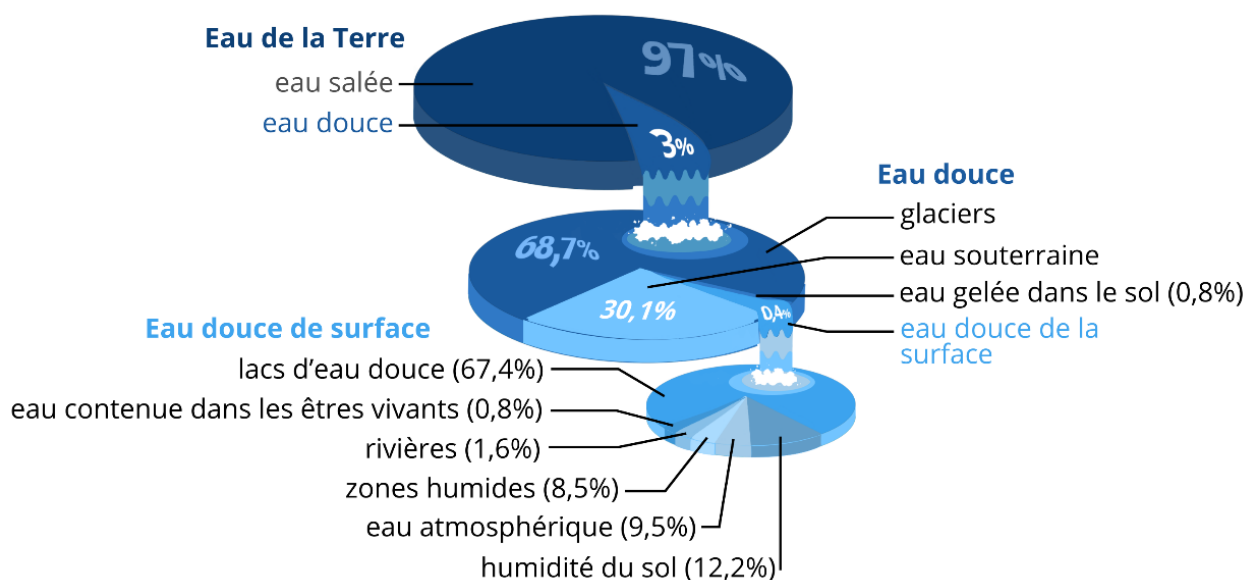


Figure I-1. Répartition de l'eau sur la planète [4]

I.2. Différents types d'eau salées

I.2.1. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La majorité des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10g 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 CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl .

I.2.2. Eaux de mer

L'eau de mer est une source d'eau inépuisable qu'on peut l'utilisée pour s'approvisionner en eau douce après dessalement. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sel dissous ou salinité. La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35g/l et cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations- évaporation. Toutefois, dans le cas des mers ouvertes, la composition des différents sels en présence est relativement constante. En particulier, la somme des ions chlorures et sodium représente environ 85% du poids total des sels. En revanche, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer, conduit quelquefois à des compositions ioniques très particulières [5].

I.3. Propriétés physico-chimiques

I.3.1. Température

Pour l'eau potable la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C, car il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de turbidité [6].

I.3.2. pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau en d'autres termes de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). $pH = -\log [H^+]$. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des Terrains traversés. [7]

I.3.3. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution, il n'existe pas de procédé de modification de la conductivité. Par contre, en production d'eau industrielle ou en dessalement des eaux de mers ou des eaux saumâtres, l'élimination des ions ne se fera pas des traitements d'échange ionique ou de séparation membranaire. [8]

I.3.4. Dureté (TH)

Elle indique la teneur globale de l'eau en sels de calcium et magnésium. Les eaux algériennes sont mi-dures avoisinant les 30F° en dureté dans le nord [9] et sont considérées comme dures (TH supérieurs à 40 et 50F°) au sud du pays. [10]

I.3.5. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H^+ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .

I.3.6. Les Matières en suspension

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui sont insolubles dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. [11]

I.4. Les normes de potabilités d'une eau (OMS)

Tableau I-1. Normes algériennes [12]

Paramètres	Unité	Valeur	Les normes algériennes
Température	°C	34.3	25
pH	-	6.91	≥ 6.5 and ≤ 9
Turbidité	NTU	0.15	5
Alcalinité CaCO ₃	mg/L	—	500
Conductivité	mS/cm à 20°C	2.94/3.14	2.8
Cl	mg/L	495.00	500
Na	mg/L	298.50	200
K	mg/L	22	12
Ca	mg/L	172.33	200
SO ₄	mg/L	567.33	400
NH ₄	mg/L	0.06	0.5
Ba	mg/L	-	0.7
B	mg/L	-	1
Fe	mg/L	0.044	0.3
F	mg/L	0.56–0.63	1.5
Mn	µg/L	0.014	50
NO ₃	mg/L	27.73	50
P	mg/L	25.97	5
As	µg/L	0.0009	10
Mg	mg/L	63/88	150

I.5. Les procédés de dessalement des eaux

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué voir (**Figure I-2**) :

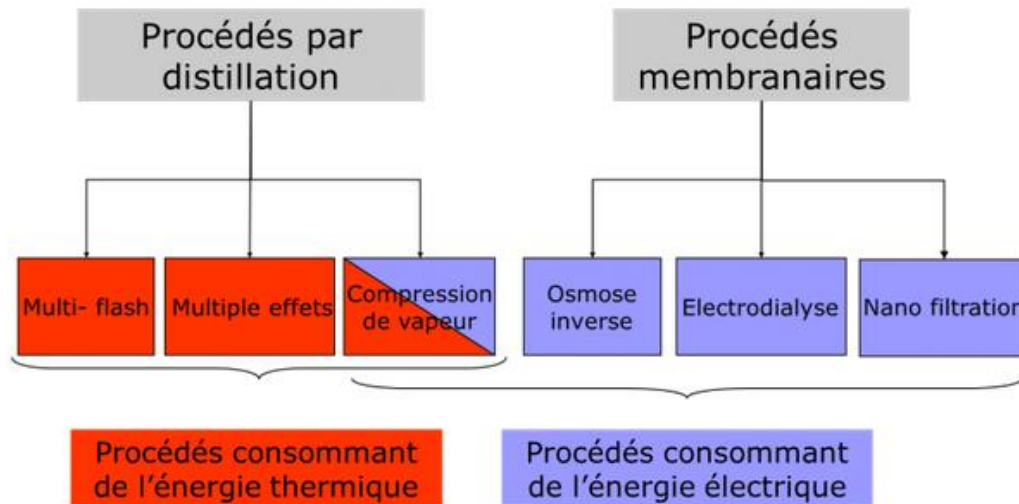


Figure I-2. Les différents procédés existants pour le dessalement

I.5.a. Les procédés utilisant des membranes

- L'osmose inverse et l'électrodialyse.

I.5.b. Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases

- La congélation et la distillation.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement.

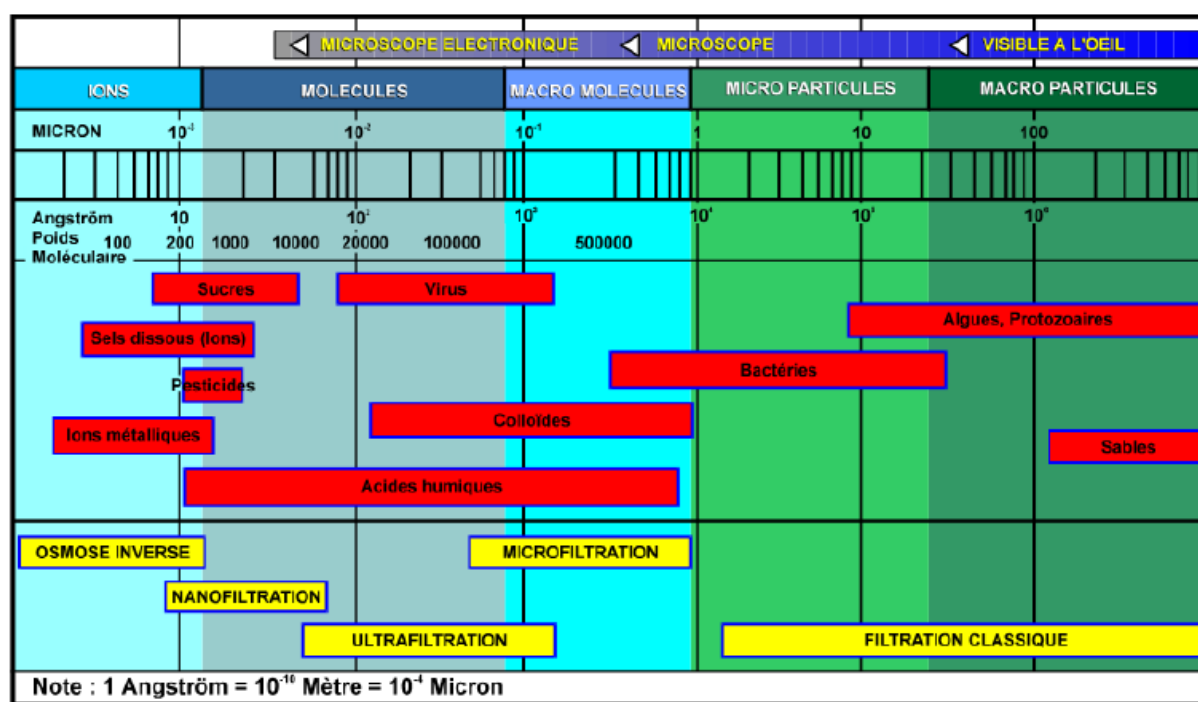


Figure I-3. Capacité de séparation des techniques membranaires [13]

I.5.1. La distillation

La distillation est un procédé de séparation selon lequel un composé volatil d'une solution est évaporé et ensuite condensé. Cette technologie est la plus ancienne utilisée pour dessaler l'eau de mer commercialement. On distingue deux principaux procédés utilisant la distillation : la distillation à multiple effet et la distillation à détente étagée et la distillation à multi flash. [14]

I.5.2. L'osmose inverse

L'Osmose inverse est réalisée en appliquant à la solution à dessaler, une pression supérieure à la pression osmotique de cette solution sous l'effet de laquelle l'eau s'écoule à travers une membrane semi-perméable dans la direction inverse (du compartiment contenant l'eau salée vers le compartiment d'eau douce) (**Figure I-4**). Ce procédé est simple, mais pose un vrai problème au niveau de l'encrassement des membranes, qui nécessite un prétraitement poussé de l'eau de mer. [14]

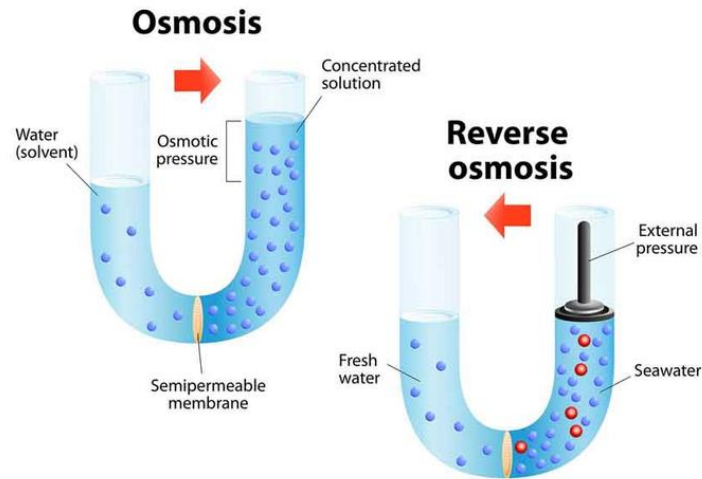


Figure I-4. Mise en évidence de l'osmose inverse [14]

I.6. Description du phénomène osmose inverse

I.6.1. Principe de l'osmose inverse

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique. Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène de l'osmose inverse. [15]

La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante :

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

i : est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté.

C : la concentration molaire du soluté (mol. m⁻³).

T : la température en kelvin(k).

R : la constante des gaz parfaits (8,31 J.mol⁻¹.K⁻¹).

Π : est exprimée en pascal (pression osmotique).

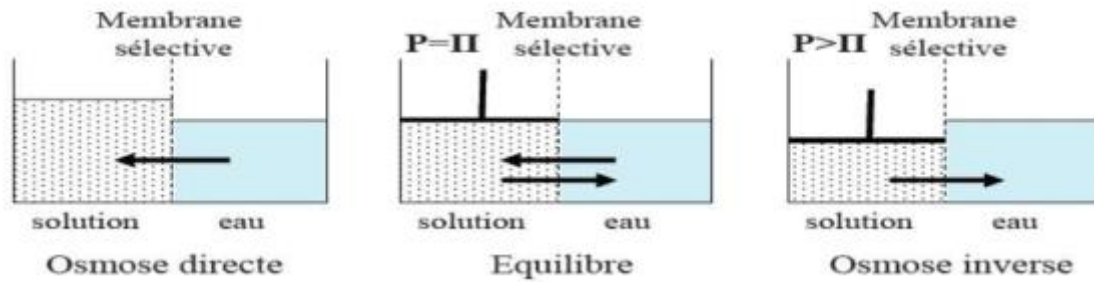


Figure I-5. Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [15]

I.6.2. Force motrice

La force ionique, notée I (ou FI de manière à la distinguer de l'intensité), est un des principaux facteurs influençant l'activité des ions en solution aqueuse. Elle s'exprime en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et est calculée de la manière suivante : [15]

$$I = \frac{1}{2} \sum_i C_i Z_i^2$$

Où

C_i : représente la concentration de l'ion i .

Z_i : sa valence.

I.6.3. Mécanisme de transfert

Dans le cas de l'osmose inverse, les transferts de solvant et de soluté au travers d'une membrane semi-perméable se font par solubilisation-diffusion ; toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. [16]

$$J = \frac{\Delta P - \Delta \Pi}{\mu R_m}$$

Avec :

J : Flux d'eau à travers la membrane ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

ΔP : Différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa).

μ : Viscosité dynamique de l'eau ($\text{Pa} \cdot \text{s}$).

R_m : Résistance de la membrane (m^{-1}).

Un phénomène limitant intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de la concentration au voisinage de la membrane. Comme montré dans la **figure I-6**, la polarisation de la concentration est caractérisée par une accumulation à la surface de la membrane des espèces retenues. La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane (C_m) va augmenter jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse entre: le flux transféré à travers la membrane sous l'action du gradient de pression ($J.C_0$) et le flux qui diffuse en sens inverse sous l'action du gradient de concentration de la couche limite vers la solution (Ddx/dc).

La polarisation de la concentration est un phénomène réversible qui disparaît si la force motrice de transfert est annulée.

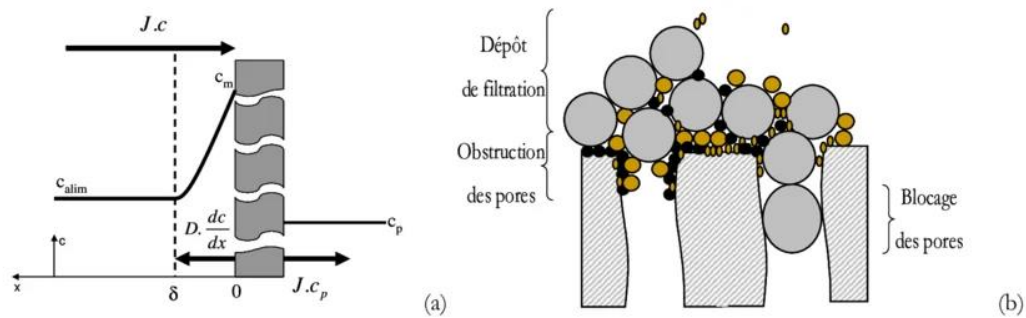


Figure I-6. Phénomène de polarisation de la concentration sur membrane d'OI.

Le phénomène de polarisation de la concentration est décrit selon la théorie du film en introduisant le coefficient de transfert de masse :

$$CP = \frac{(c_m - c_p)}{(c_b - c_p)}$$

I.6.4. Paramètre de fonctionnement

I.6.4.1. Taux de conversion

Le taux de conversion (Y) est, par définition, la fraction du débit de liquide qui traverse la membrane : [17]

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0}$$

Avec :

Y: Le taux de conversion.

Q_p : Débit de perméat en m^3/j .

Q_0 : Débit d'alimentation en m^3/j .

I.6.4.2. Sélectivité

La sélectivité d'une membrane est en général définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir : [17]

$$T_R = [(C_0 - C_p)/C_0] = [1 - (C_p/C_0)]$$

T_R : Taux de rétention.

C_0 : Concentration de l'espèce à retenir dans la solution.

C_p : Concentration de la même espèce dans le perméat

I.6.4.3. Débit spécifique ou densité du flux volumique

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par la même l'investissement. Le débit spécifique s'exprime le plus souvent en litres. $h^{-1}.m^{-2}$. [17]

I.7. Limitations de l'osmose inverse

L'un des principaux facteurs qui limitent l'utilisation des membranes dans presque toutes les applications est le colmatage. Le colmatage c'est l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans la modification des propriétés filtrantes d'une membrane, excepté la compaction et la modification chimique. [18]

Dans le cas de l'osmose inverse, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories suivantes:

- la précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage).
- la formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane.
- la formation du biofilm et l'excrétion in situ d'exopolymères sur la membrane.
- l'adsorption dans la membrane. [16]

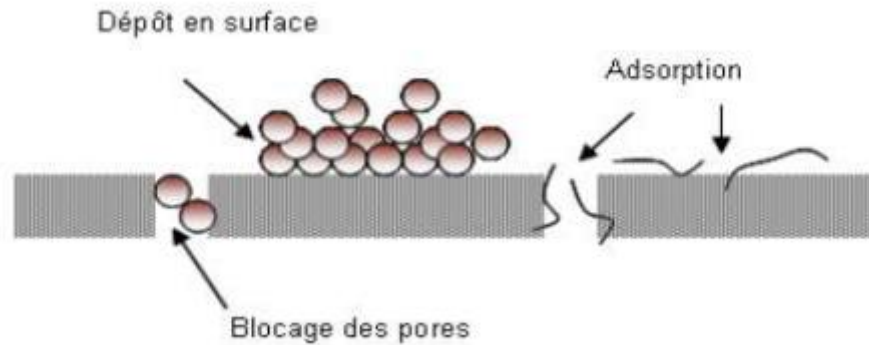


Figure I-7. Schématisation des différents mécanismes de colmatage d'une membrane.

I.8. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse

I.8.1. Les avantages

- Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%).
- Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5Kwh/m³).
- Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau.
- Un coût d'investissement relativement bas.
- Une durée de mise. en œuvre réduite.
- Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bio électroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles.
- pH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibre de pH du sang généralement trop toxique).
- Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins. [19]

I.8.2. Les inconvénients

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients comme:

- ✓ Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions.
- ✓ Nécessité d'un personnel qualifié.
- ✓ Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement.
- ✓ Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.
- ✓ La perte de cinq litres d'eau pour un litre d'eau osmosé car la membrane doit être.
- ✓ Continuellement nettoyée. Comme l'eau est déminéralisée.

- ✓ L'eau perd tous ses minéraux y compris les minéraux bénéfiques comme certains alcalins.
- ✓ Notamment le calcium et le magnésium. Il est donc préférable. [19]

I.9. Mise en œuvre des membranes

Il existe deux types de mise en œuvre des membranes : l'écoulement frontal et l'écoulement tangentiel. [20]

I.9.1. Écoulement frontal

Ce mode de filtration consiste à amener la solution à filtrer perpendiculairement à la membrane. Les molécules retenues se concentrent au niveau de la surface membranaire ce qui provoque une diminution du flux. [20]

I.9.2. Filtration Tangentielle

En filtration tangentielle, le fluide à traiter entre dans le module pour venir au contact de la membrane suivant un flux tangentiel. Dans ce mode de mise en œuvre, il y a donc nécessairement une entrée correspondant à l'alimentation et deux sorties que sont le perméat qui correspond au passage d'une partie du flux initial à travers la membrane et le concentrât ou retentât qui représente le flux qui n'est pas passé à travers la membrane comme l'illustre-la (Figure I-8) [21]

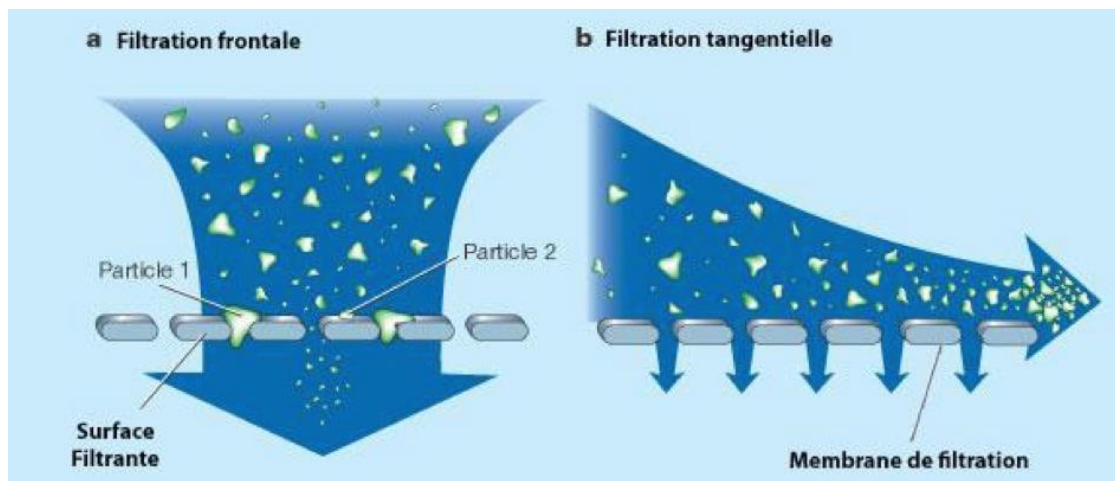


Figure I-8. Filtration frontale et tangentielle à travers une membrane. [22]

I.10. Types de modules

I.10.1. Les modules tubulaires

Les membranes sont placées ou formées à l'intérieur d'un tube support, poreux ou percé de trous de drainage, et de diamètre variant de 10 à 40 nm. Ces tubes sont ensuite placés en parallèle ou en série dans une enveloppe cylindrique pour constituer le module unitaire. L'hydrodynamique de l'écoulement est parfaitement défini et des vitesses de circulation atteindre 6 m. s⁻¹ sont possibles si un régime de forte turbulence. [23] Ces modules ne nécessitent pas de pré filtration fine du liquide à traiter et sont faciles à nettoyer. Leur inconvénient majeur est leur faible compacité et un prix de revient élevé par m² installé. [24]

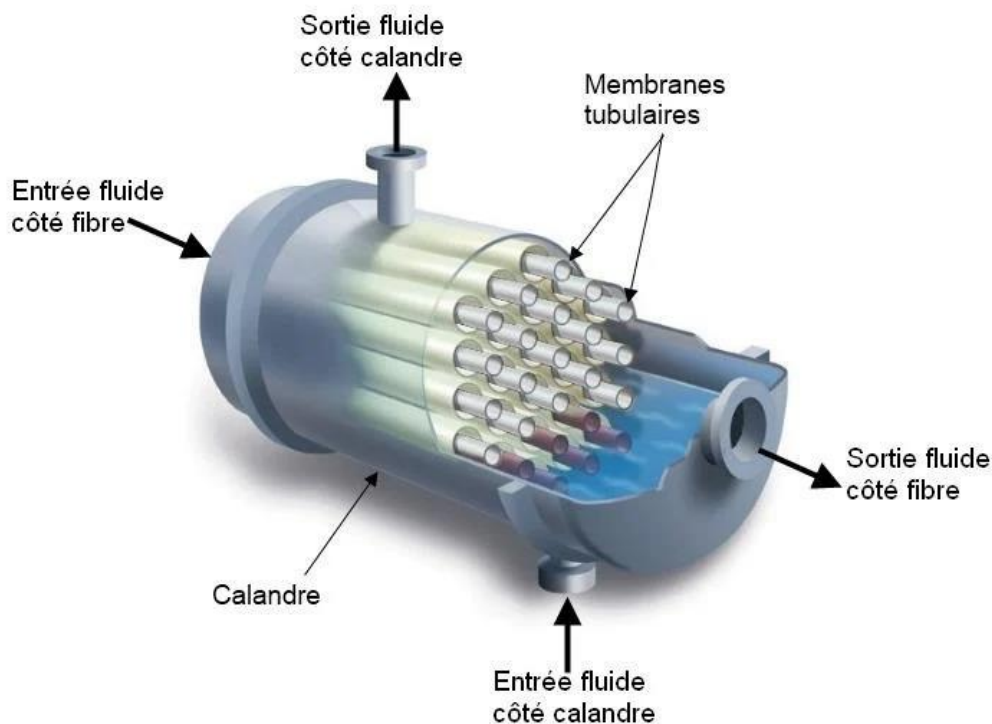


Figure I-9. Modules tubulaires. [25]

I.10.2. Les Modules spiralé

Une feuille poreuse est placée entre deux membranes ; la membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui, recueille le filtrat le sandwich ainsi réalisée est scellée sur trois de ses bords ; le coté ouvert constituant un tube cylindrique collecteur. [26]

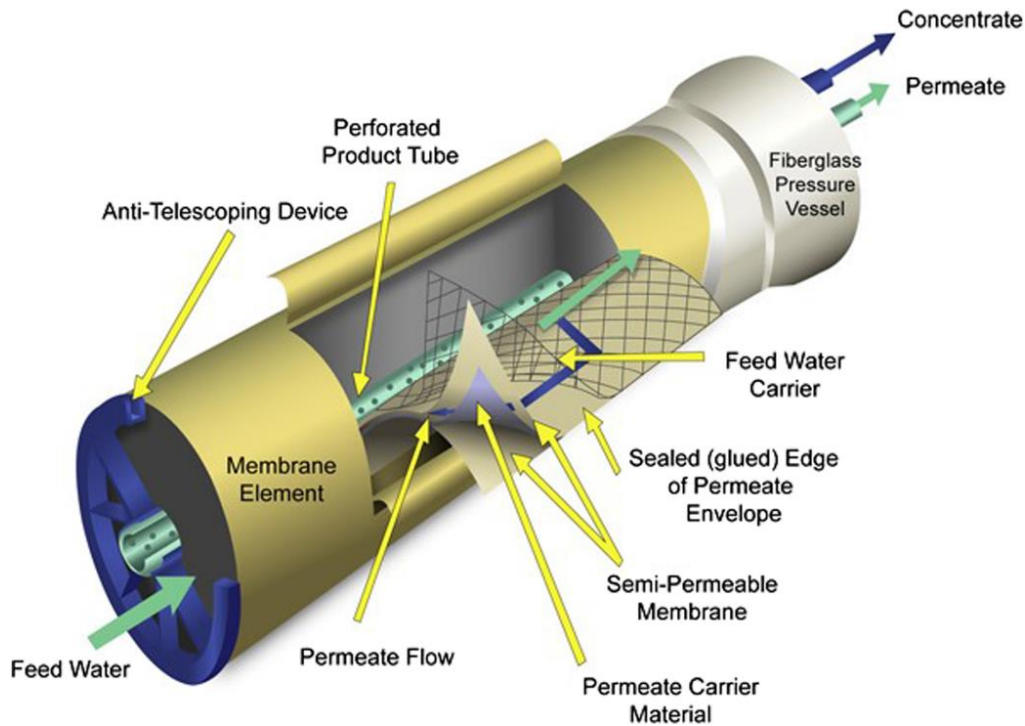


Figure I-10. Modules spirals. [27]

I.10.3. Les Modules plans

Les modules plans de type filtre-presse sont les plus anciens et les plus simples ; les membranes sont disposées parallèlement les unes aux autres, et sont séparées par des séparateurs-joints et des supports, qui font office de compartiments amont et aval. La structure cannelée ou grillagée des séparateurs-joints autorise un maximum de turbulence au plan de l'écoulement ; les supports, indispensable dans les procédés utilisant la pression ; sont généralement poreux et de surface unie, pour éviter le cisaillement de la membrane. [28]

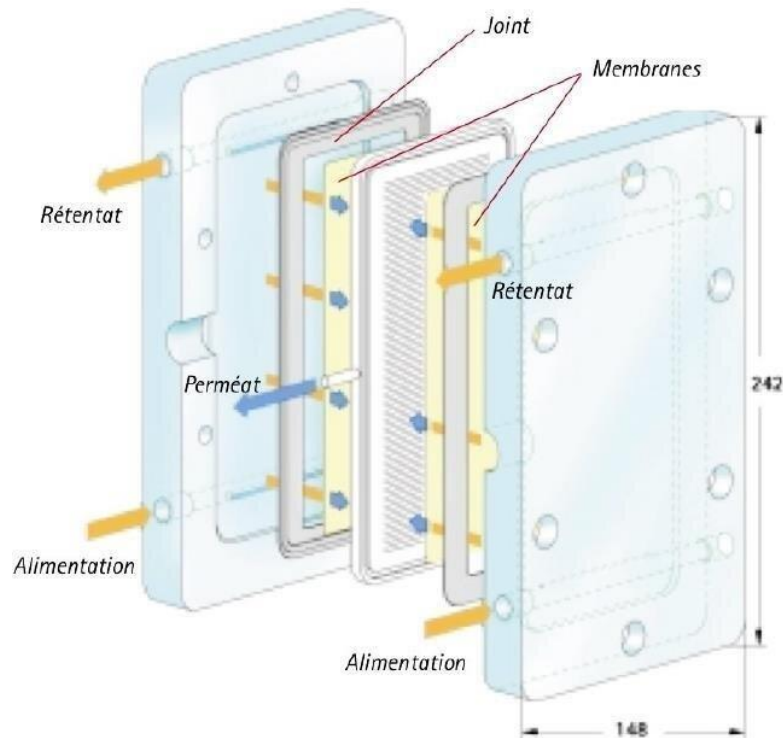


Figure I-11. Modules plan

I.10.4. Les Modules fibres creuses

Ce type de modules se présente comme un ensemble de fibres creuses regroupées dans une enveloppe. La peau est localisée à l'intérieur ou à l'extérieur de chaque fibre selon que le perméat est collecté à l'extérieur ou à l'intérieur des fibres .ces systèmes sont très compacts, peu couteux, particulièrement adaptés pour les fluides peu visqueux présentant de faibles risques de colmatage .une préfiltration est donc fortement recommandée. [29]



Figure I-12. Module à fibre creuse.

Chapitre II

Simulation des données par le logiciel IMS-design

II.1. Présentation du logiciel IMS-Design

Le logiciel IMSDesign est un outil de simulation développé par Hydranautics, une division du groupe Nitto Denko, spécialisée dans la fabrication de membranes pour le traitement de l'eau, notamment pour les technologies de l'osmose inverse (OI), la nanofiltration (NF) et l'ultrafiltration (UF).

Ce logiciel est conçu pour assister les ingénieurs et concepteurs dans le dimensionnement, la configuration et l'optimisation de systèmes membranaires. Il permet de simuler le comportement de membranes Hydranautics dans des systèmes de dessalement et de traitement des eaux en tenant compte de nombreux paramètres physico-chimiques et opérationnels. [30]



Figure II-1. L'interface utilisateur du logiciel IMS-Design Cloud

II.1.1. Fonctionnalités principales

IMSDesign propose une gamme complète de fonctionnalités permettant une conception personnalisée d'unités de traitement d'eau. [31]

Voici quelques exemples :

- ✚ Sélection automatique de membranes adaptées selon la qualité de l'eau d'alimentation (eau de mer, eau saumâtre, eau de surface, eau de puits, etc.)
- ✚ Modélisation précise du système membranaire (nombre d'éléments, de passes, de modules en parallèle, configuration 1:1, 2:1, 3:2, etc.)
- ✚ Calculs énergétiques et hydrauliques : pression de service, perte de charge, consommation énergétique spécifique

- ✚ Analyse qualitative de l'eau : estimation de la salinité du perméat, du concentrat, des rejets ioniques et du taux de récupération
- ✚ Prédiction des performances à long terme, notamment en cas d'encrassement ou de polarisation
- ✚ Analyse de la précipitation de sels (scaling), notamment pour la silice, le carbonate de calcium, le sulfate de baryum, etc.

II.1.2. Avantages du logiciel IMS-Design

Le logiciel IMSDesign présente de nombreux atouts qui en font un outil de référence pour la conception de systèmes de dessalement par osmose inverse. Il est gratuit et régulièrement mis à jour par Hydranautics, ce qui garantit une prise en compte des dernières avancées en matière de membranes et de performance système. Son interface conviviale et interactive facilite la prise en main, même pour les utilisateurs peu expérimentés, tout en offrant des options avancées pour les ingénieurs de traitement.

Le logiciel permet également l'importation et l'exportation de projets complets au format ims, facilitant ainsi la collaboration entre bureaux d'études ou le suivi de projets dans le temps. Il intègre une base de données complète et actualisée des membranes Hydranautics, avec toutes leurs caractéristiques techniques (surface active, taux de rejet, compatibilité chimique, etc.).

Enfin, IMSDesign est capable de générer automatiquement des rapports détaillés comprenant des bilans ioniques, des profils de pression et de conductivité, ainsi que des courbes de performance, offrant ainsi une vision précise et exhaustive du système simulé. [32,33]

II.1.3. Domaine d'application

IMSDesign est utilisé dans les projets de :

- ✚ Dessalement d'eau de mer (usines SWRO)
- ✚ Adoucissement d'eau de forage
- ✚ Traitement tertiaire d'eaux usées (recyclage, réutilisation)
- ✚ Production d'eau ultrapure pour l'industrie (pharmaceutique, électronique)
- ✚ Alimentation de chaudières industrielles

II.1.4. Limites du logiciel

Malgré ses capacités avancées, IMS-Design présente quelques limites :

- ✚ Il ne prend en charge que les membranes Hydranautics (non compatible avec Dow Filmtec, Toray, LG Chem, etc.)

- ✚ Il s'agit d'une modélisation théorique, qui suppose un fonctionnement idéal et continu, sans perturbation hydraulique ou biologique
- ✚ Les phénomènes dynamiques tels que le colmatage biologique ou l'impact de la variation du débit réel ne sont pas entièrement modélisés
- ✚ Ne permet pas la simulation directe du prétraitement chimique (anti-scalants, coagulation)

II.2. Objectif de la simulation

L'objectif principal de la simulation à l'aide du logiciel IMSDesign est de concevoir, évaluer et optimiser un système de traitement par osmose inverse destiné à la production d'eau douce à partir d'une eau de mer ou d'une eau saumâtre. Cette simulation permet de reproduire les conditions réelles de fonctionnement du système afin de prédire ses performances techniques (qualité du perméat, taux de rejet, rendement global) et d'estimer les paramètres opérationnels essentiels, tels que la pression d'alimentation, le taux de récupération ou encore la consommation énergétique spécifique (SEC).

Elle sert également à sélectionner les membranes les plus adaptées en fonction des caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute (salinité, température, concentration ionique, etc.) et à déterminer la configuration optimale du système (nombre d'éléments, de modules, nombre de passes).

Grâce à cette approche, l'utilisateur peut anticiper les risques potentiels liés au colmatage, au scaling ou à la polarisation de concentration, et ainsi mettre en place des solutions de prétraitement adaptées. Enfin, la simulation fournit une base technique solide pour justifier les choix de conception lors de la mise en œuvre industrielle du procédé, et constitue un outil de comparaison entre différents scénarios d'exploitation. [34]

II.3. Données d'entrée de la simulation

Avant de lancer une simulation dans IMSDesign, il est essentiel de renseigner un ensemble de paramètres d'entrée qui conditionnent la performance du système d'osmose inverse. Ces données représentent les caractéristiques de l'eau brute, les conditions opératoires et les préférences de conception du système. [33,35]

II.3.1. Caractéristiques de l'eau d'alimentation

Ces paramètres définissent la composition physico-chimique de l'eau à traiter :

- **Température (°C)** : influence la viscosité de l'eau et le flux à travers la membrane.

- **TDS (Total Dissolved Solids)** (mg/L) : concentration totale en sels dissous.
- **Conductivité** ($\mu\text{S}/\text{cm}$) : corrélée à la salinité.
- **pH** : important pour la stabilité des membranes et les risques d'entartrage.
- **Concentrations ioniques spécifiques** (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , etc.)

II.3.2. Conditions de fonctionnement souhaitées

- **Pression d'alimentation** (bar ou psi)
- **Taux de récupération** (%)
- **Débit d'alimentation** (m^3/h)
- **Type de système** (1, 2 passes, configuration en série/parallèle)
- **Type de membrane choisie** (par exemple : SWC5, ESPA2, etc.)

II.3.3. Conditions limites

IMS-Design permet aussi de fixer des contraintes :

- Concentration maximale en sel dans le perméat
- Perte de charge maximale
- Limite de pH ou de température en fonction du type de membrane

The screenshot shows the IMSDesign software interface. The top menu bar includes 'About', 'Online Help', 'Design Guidelines', 'Analysis', 'Design', 'Calculation', and 'Post Treatment'. Below the menu is a toolbar with icons for 'New', 'Open', 'Save', 'Save As', 'Perm. Blending', 'Perm. Pressure', 'Conc. Recirculation', 'Hybrid', 'ERD', 'Booster Pump', 'Return', 'Floating Diagram', 'Summary Calc.', 'Print', 'Flow Diagram', 'Basic', 'Partial', 'Split Partial', 'Tools', and 'Standard Calculator'. The main workspace is divided into several sections:

- Project Information:** Project: imsdn, Calculated by: ING_RAMZI, Temperature: 25,0 °C, Water Type: Sea Surface Conventional, Date: 12/06/2026.
- Trains:** Pass 1 settings including Feed pH (8,04), Permeate recovery (45,00%), Permeate flow/train (37896,0 m3/d), Average flux (13,5 lmh), Feed flow (84213,3 m3/d), and Reject flow (46317,3 m3/d). Chemical dosing rate is 0,000 mg/l.
- System:** Total plant product flow (37896,00 m3/d) and Number of Trains (1).
- Calculation Results:** A table showing results for Array 1-1 across various parameters like Vessels, Feed, Conc, Flux, and Highest flux.
- Permeate Concentration:** A grid of input fields for various ions and compounds like Ca, Mg, Na, Cu, K, NH4, Ba, Mn, Sr, HCO3, SO4, Fe, Cl, NO3, F, SiO2, B, CO2, CO3, pH, and TDS.
- Concentrate saturations and parameters:** Input fields for CaSO4, BaSO4, Ca3(P04)2, SI, SrSO4, SiO2, CaF2, Osmotic pressure, CAPP, pH, and TDS.

Figure II-2. Interface de saisie des caractéristiques de l'eau d'alimentation dans IMSDesign

(extrait du manuel utilisateur Hydranautics) [35]

La qualité des résultats de simulation dépend fortement de la justesse des données d'entrée. Une mauvaise estimation des paramètres initiaux peut entraîner une conception inefficace, voire irréaliste.

II.4. Étapes de simulation avec le logiciel IMS-Design

La simulation dans IMSDesign suit une démarche progressive et structurée, permettant de concevoir un système de dessalement optimisé en fonction des conditions spécifiques du site et des performances souhaitées. [34] Voici les principales étapes :

II.4.1. Saisie des données de l'eau brute (Feed Water)

Dans cette première étape, on renseigne les paramètres physico-chimiques de l'eau d'alimentation :

- ✚ Température, TDS, pH
- ✚ Concentrations spécifiques en ions (Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , etc.)
- ✚ Pression atmosphérique locale

Objectif : fournir au logiciel un profil précis de l'eau à traiter.

II.4.2. Choix du type de membrane

L'utilisateur sélectionne une membrane parmi la base de données actualisée de Hydranautics. Chaque membrane possède des caractéristiques propres :

- ✚ Surface active (m²)
- ✚ Taux de rejet
- ✚ Plage de fonctionnement en pression/température

Objectif : choisir la membrane la mieux adaptée à la qualité de l'eau et aux exigences du projet.

II.4.3. Configuration du système

On définit ici l'architecture de l'unité RO :

- ✚ Nombre de modules et de passes (ex. 1:2 configurations)
- ✚ Type de montage (en série ou parallèle)
- ✚ Débit d'alimentation, taux de récupération cible

Objectif : concevoir la disposition physique du système et ses paramètres de fonctionnement.

II.4.4. Définition des limites de conception

Le logiciel permet de fixer certaines contraintes techniques :

- ✚ Pression maximale d'opération
- ✚ Rejet maximal admissible
- ✚ Concentration maximale de certains ions dans le perméat

Objectif : assurer la fiabilité du système et la conformité aux normes de qualité de l'eau.

II.4.5. Lancement de la simulation

Le logiciel calcule alors les résultats en fonction des données saisies :

- ✚ Débit de perméat
- ✚ Taux de conversion
- ✚ Flux à travers chaque module
- ✚ Concentration ionique dans le perméat et le rejet

Objectif : obtenir une modélisation réaliste du système RO en conditions simulées.

II.4.6. Analyse des résultats

IMSDesign génère des rapports automatiques comprenant :

- ✚ Profils de pression, flux, conductivité

- ✚ Bilan ionique complet
- ✚ Graphiques de performance
- ✚ Avertissements en cas de dépassement de seuils

Objectif : valider le design ou identifier les points à optimiser (choix de membrane, pression, configuration, etc.).

Le diagramme suivant (**Figure II-3**) représente le flux de travail dans IMSDesign pour la conception d'un système d'osmose inverse, en détaillant les phases de saisie des paramètres, de configuration du système et d'optimisation

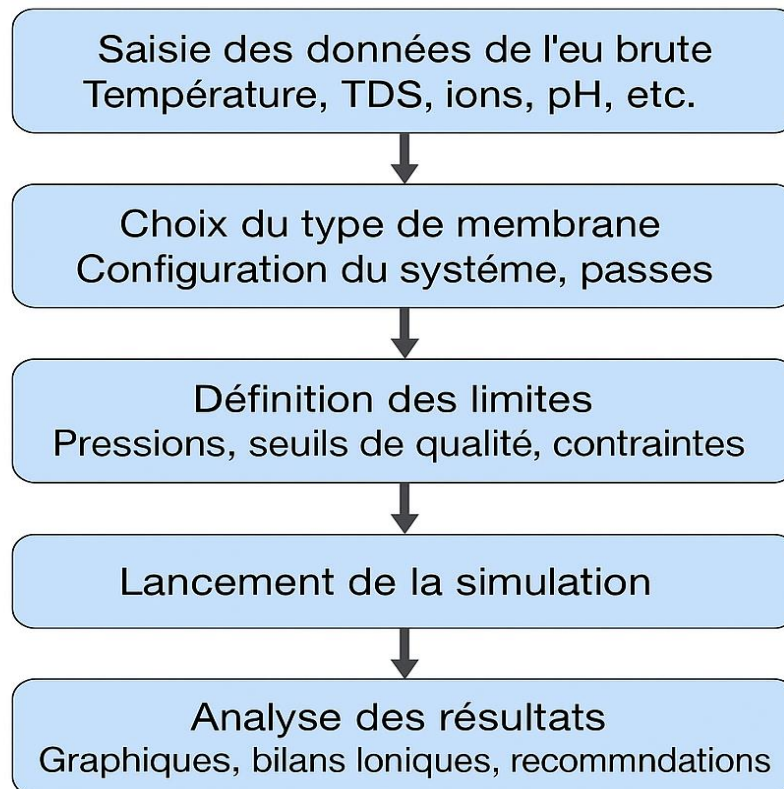


Figure II-3. Schéma des étapes de simulation d'un système d'osmose inverse sous IMSDesign. [36]

II.5. Relation entre IMS-design et l'osmose inverse

La relation entre l'IMS-design (Intelligent Membrane System Design) et l'osmose inverse est principalement axée sur l'optimisation des performances des systèmes de membranes utilisés dans le dessalement de l'eau. [37]) Voici les points clés qui relient ces deux concepts :

II.5.1. Optimisation des membranes et de leur agencement

L'IMS-design vise à concevoir des systèmes de membranes d'osmose inverse plus efficaces, en améliorant leur agencement et leur architecture. Cela permet d'optimiser l'utilisation de l'espace et de maximiser l'efficacité de la filtration. Par exemple, l'IMS-design

peut proposer des configurations spécifiques des modules de membranes qui réduisent les pertes de pression et améliorent la récupération d'eau.

II.5.2. Réduction de la consommation d'énergie

L'osmose inverse est un processus énergivore en raison de la pression élevée requise pour forcer l'eau à travers les membranes. L'IMS-design, en optimisant la disposition des membranes, permet de réduire cette pression tout en maintenant l'efficacité de filtration. De plus, des technologies telles que la récupération d'énergie peut être intégrées dans le design intelligent pour réutiliser l'énergie issue de l'eau rejetée, réduisant ainsi la consommation d'énergie du système. [38]

II.5.3. Durabilité des membranes

L'un des objectifs de l'IMS-design est de prolonger la durée de vie des membranes. En tenant compte des facteurs tels que l'encrassement, l'IMS-design peut recommander des matériaux plus résistants et des configurations permettant de mieux gérer l'accumulation de salissures. Cela réduit la fréquence des nettoyages, ce qui non seulement augmente la durabilité des membranes, mais réduit aussi les coûts opérationnels liés à la maintenance. [39]

II.5.4. Systèmes de contrôle intelligents

Les systèmes de contrôle intégrés dans l'IMS-design permettent de surveiller et d'ajuster en temps réel les paramètres de fonctionnement de l'osmose inverse (pression, température, flux). Ces systèmes intelligents peuvent optimiser la performance en fonction de la qualité de l'eau en entrée et ajuster les paramètres pour maximiser l'efficacité de l'osmose inverse, tout en minimisant les risques d'usure prématurée des membranes. [40]

II.5.5. Gestion des concentrats

L'IMS-design permet également d'améliorer la gestion des concentrats, qui sont souvent un sous-produit problématique de l'osmose inverse. Grâce à des approches intelligentes dans la conception du système, les concentrats peuvent être mieux gérés, réduisant ainsi l'impact environnemental tout en améliorant l'efficacité globale du système. [41]

En résumé, l'IMS-design optimise le processus d'osmose inverse en améliorant la configuration des membranes, en réduisant la consommation d'énergie, en prolongeant la durabilité des membranes, et en intégrant des systèmes de contrôle intelligents pour une gestion plus efficace et durable des ressources en eau.

II.6. Étapes pour simuler un système avec IMS-Design

✚ Télécharger et installer IMS-Design

Le logiciel IMS-Design peut être téléchargé à partir du site officiel de Hydranautics (groupe Nitto), disponible à l'adresse suivante :

<https://membranes.com> ➡ Onglet "Software".

✚ Lancer le logiciel et créer un nouveau projet

- Cliquez sur "New Project".
- Donne un nom à ton projet, choisis les unités (SI ou US).

✚ Définir les caractéristiques de l'eau d'alimentation (Feed Water)

- Dans l'onglet "Feed Water", entre:
- Le TDS (Total Dissolved Solids)
- Les concentrations en ions (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.)
- La température, le pH, la pression, etc.

The screenshot shows the IMS-Design software interface. At the top, there is a menu bar with 'About', 'Online Help', and 'Design Guidelines'. Below it is a toolbar with icons for 'New', 'Open', 'Save', 'Save As', 'Custom Ions', 'Multiple Analysis', 'Open', 'Save As', 'Reset', 'Print', and 'Standard Calculator'. The main window displays various input fields for project parameters.

Project Information:

- Project:
- Calculated by:
- Temperature: °C
- Water Type:

Water Quality Parameters:

- pH:
- CO₃: mg/l
- CO₂: mg/l
- NH₃: mg/l
- E Conductivity: µs/cm

Cations Table:

	mg/l	mg/l CaCO ₃
Ca	340,66	851,65
Mg	1482,54	6075,98
Na	9655,80	20990,87
K	289,34	370,02
NH ₄	0,00	0,00
Ba	0,000	0,00
Sr	0,000	0,00
Cu+2	1,460	2,30
Mn+2	3,500	6,37
Fe+2	2,900	5,19
Total, meq/l		566,05

Anions Table:

	mg/l	mg/l CaCO ₃
HCO ₃	172,46	141,36
SO ₄	2767,63	2882,95
Cl	19224,54	27115,01
F	2,12	5,58
NO ₃	0,51	0,41
PO ₄	0,00	0,00
SiO ₂	0,00	
B	10,10	
	0,000	0,00
	0,000	0,00
Total, meq/l		603,56

Saturations Table:

Calculated TDS	33973	mg/l	
Osmotic pressure	24,5	bar	
Ca ₃ (PO ₄) ₂ SI	0,00		
CCPP	39,94	mg/l	
CaSO ₄	18,1	%	
BaSO ₄	0,0	%	
SrSO ₄	0,0	%	
CaF ₂	65,6	%	
Silica	0,0	%	

select analysis

Pass 1

- ☒ Raw
- ☐ Feed
- ☐ Permeate
- ☐ Concentrate 1

Figure II-4. Interface du logiciel IMSDesign – Paramètres d'entrée pour la simulation de l'eau de mer

✚ Choisir la configuration du système :

- Le type de membrane (par ex. : SWC5 MAX)
- Le nombre de passes (1 ou 2)
- Le nombre de trains.
- Le nombre de pressions étagées (stages) et de membranes par pression vessel.

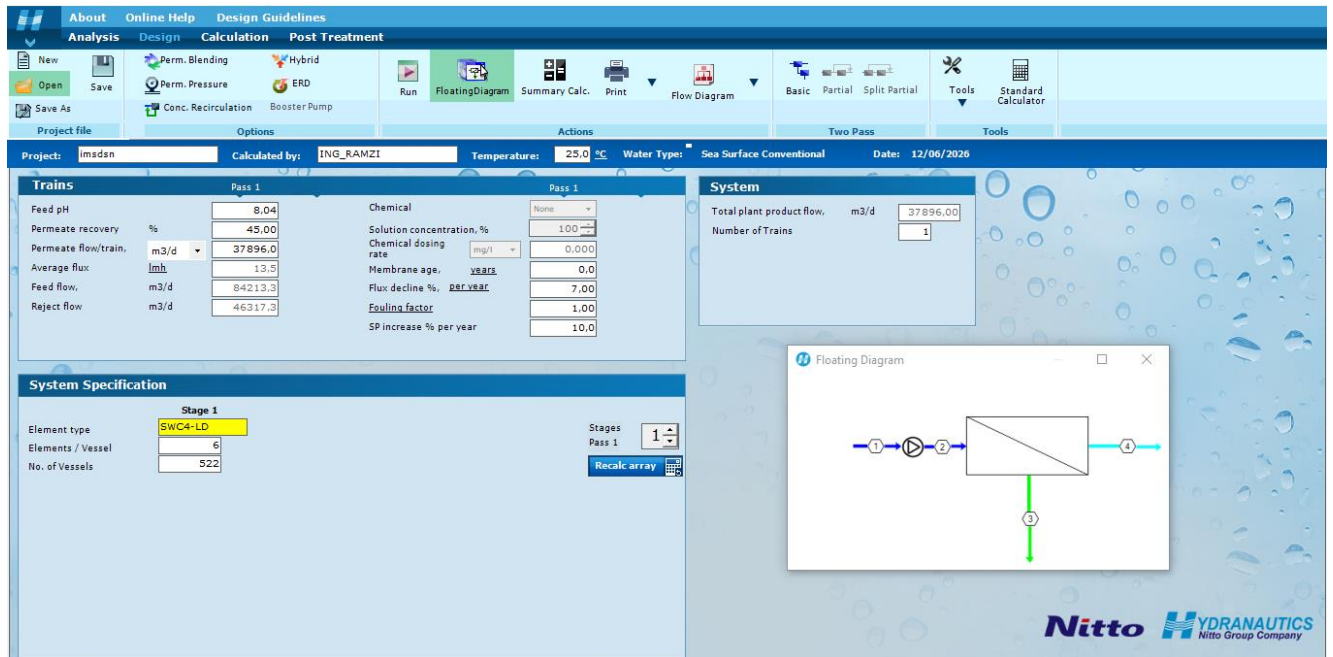


Figure II-5. Configuration du système de traitement d'eau de mer dans IMSDesign – Schéma d'éléments en deux étages avec récupération d'énergie

✚ Définir les débits

- Débit d'alimentation (Feed = 30000 m³/jour)
- Rejet (Concentrate)
- Perméat attendu (60)

✚ Lancer le calcul

- Cliquez sur "Calculate" pour lancer la simulation.
- Le logiciel affiche les résultats : flux, récupération, concentration du perméat, SDI, etc.

✚ Analyser les résultats

- **Performance** → Résultats de flux, taux de récupération, pression nette.
- **Scaling** → Risques d'entartrage (CaSO₄, BaSO₄, etc.)
- **Water Quality** → Qualité de l'eau produite.

The screenshot displays the IMSDesign software interface. The top menu bar includes 'About', 'Online Help', 'Design Guidelines', 'Analysis', 'Design', 'Calculation', and 'Post Treatment'. Below the menu is a toolbar with icons for 'New', 'Open', 'Save', 'Save As', 'Perm. Blending', 'Perm. Pressure', 'Conc. Recirculation', 'Hybrid', 'ERD', 'Booster Pump', 'Return', 'FloatingDiagram', 'Summary Calc.', 'Print', and 'Flow'.

The main window shows the 'Trains' section for 'Pass 1' with the following parameters:

Parameter	Value
Feed pH	8,04
Permeate recovery %	45,00
Permeate flow/train, m3/d	37896,0
Average flux, lmh	13,5
Feed flow, m3/d	84213,3
Reject flow, m3/d	46317,3
Chemical	None
Solution concentration, %	100
Chemical dosing rate, mg/l	0,000
Membrane age, years	0,0
Flux decline %, per year	7,00
Fouling factor	1,00
SP increase % per year	10,0

The 'Calculation Results' section (Flows are per vessel) shows the following data:

Array	Vessels	Feed (bar)	Conc (bar)	Feed (m3/h)	Conc (m3/h)	Flux (lmh)	Highest flux (lmh)	Highest beta
1-1	522	51,5	51,1	6,72	3,7	13,6	24,3	1,05

The 'Permeate Concentration' section shows the following data:

Element	Value
Ca	0,019
K	1,938
Sr	0,000
Cl	78,910
P04	0,000
CO2	0,807
Mg	0,083
NH4	0,000
HCO3	1,273
NO3	0,016
SiO2	0,000
CO3	0,000
Na	51,753
Ba	0,000
S04	2,842
F	0,017
B	1,467
pH	6,4
Cu	0,000
Mn+2	0,000
Fe+2	0,000
TDS	138,32 mg/l

The 'Concentrate saturations and parameters' section shows the following data:

Parameter	Value
CaSO4, %	38
SrSO4, %	0
Osmotic pressure	44,5 bar
pH	8,1
BaSO4, %	0
SiO2, %	0
CCPP	104,19 mg/l
TDS	61617,6 mg/l
Ca3(PO4)2 SI	0,00
CaF2, %	560

Figure II-6. Résultats de calcul de la simulation IMSDesign – Performances hydrauliques et qualité du perméat

✚ Exporter les résultats

- Tu peux exporter les résultats en PDF ou Excel pour analyse ou inclusion dans un rapport.

II.7. Présentation de la Société Hydranautics

Hydranautics, fondée en 1963, est une entreprise de renommée mondiale spécialisée dans le développement de solutions membranaires pour le traitement de l'eau. Depuis son intégration au groupe japonais Nitto Denko Corporation en 1987, la société a consolidé sa position sur le marché international, en s'appuyant sur une forte capacité d'innovation technologique.

Hydranautics conçoit et fabrique des membranes avancées destinées à des applications variées telles que la désalinisation de l'eau de mer et saumâtre, le traitement des eaux usées, ainsi que la production d'eau ultrapure pour les secteurs pharmaceutiques, électronique et industriel. Son expertise couvre plusieurs technologies membranaires, notamment l'osmose inverse (OI), la nanofiltration (NF), l'ultrafiltration (UF) et la microfiltration (MF).

Parmi ses outils de pointe, Hydranautics propose le logiciel IMSDesign, une plateforme de simulation puissante permettant de modéliser, dimensionner et optimiser les systèmes d'osmose inverse en fonction des caractéristiques de l'eau brute et des objectifs de traitement. Ce logiciel est largement utilisé par les ingénieurs et bureaux d'études pour concevoir des installations efficaces, fiables et économiquement viables. [42]



Figure II-7. Logo de société (Hydranautics)

Hydranautics est réputée comme l'un des leaders mondiaux du traitement de l'eau par membranes, grâce à son innovation technologique et à la qualité de ses produits. D'une part, elle participe à des projets mondiaux allant jusqu'à la désalinisation de l'eau de mer à grande échelle. D'autre part, elle fournit des services de purification industrielle sur mesure.

Dans ce mémoire, nous nous concentrerons sur le module de simulation dédié à la déminéralisation d'eau de mer par osmose inverse, et en particulier sur IMSDesign, développé par Hydranautics. Cet outil permet la conception de systèmes optimaux au niveau configurationnel pouvant s'adapter à l'eau brute à traiter. Ils prennent en compte les membranes disponibles et les strictes exigences de qualité de l'eau à sortir. La prochaine section détaillera comment ces simulations sont réalisées, décrira les hypothèses de la simulation ainsi que l'évaluation des résultats.

II.8. Présentation du Logiciel Toray RO Design Software

Le logiciel de conception Toray RO Design est un logiciel de simulation mis au point par Toray Membrane, une filiale de Toray Industries, spécialisée dans les membranes technologiques de traitement de l'eau. Il permet la conception et l'optimisation des systèmes d'osmose inverse (RO) utilisant des membranes Toray, reconnues pour leur performance, durabilité et faible consommation d'énergie. [43]

L'optimisation des procédés est facilitée par une interface intuitive avec une libre sélection, par l'utilisateur, des paramètres hydriques et de leurs conditions de travail. Tels que la température, la pression, le débit, la sélection de la membrane, la configuration du système. Il offre également des calculs approfondis sur :

-  Le taux de récupération,
-  La qualité des perméats de la membrane (TDS, conductivité),
-  La pression de fonctionnement,
-  La consommation d'énergie,
-  Le facteur de polarité et le potentiel d'encrassement.

Le logiciel de conception Toray RO Design est un outil de choix pour les ingénieurs et les bureaux d'études pour évaluer la faisabilité technique des projets, les optimiser et les faire fonctionner à moindre coût. Il permet également de tester plusieurs combinaisons de membranes pour définir celles qui sont les plus adaptées à différents types d'eau brute.

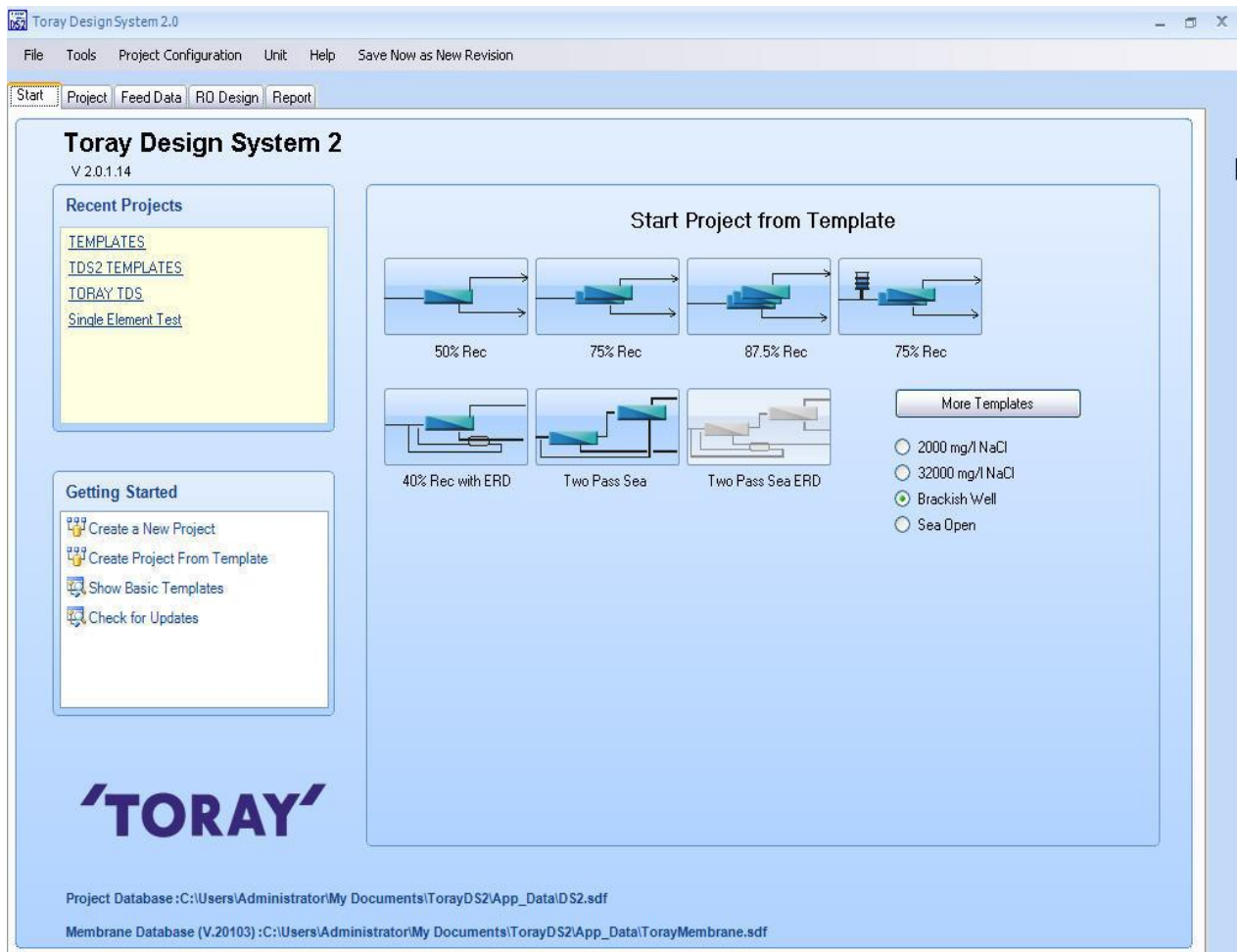


Figure II-8. L'interface du logiciel Toray RO Design Software (TorayDS)

Dans ce mémoire, le logiciel Toray RO Design Software est utilisé en complément du logiciel IMSDesign, développé par Hydranautics. Les deux logiciels permettent de simuler le même procédé de déminéralisation de l'eau de mer, mais chacun avec sa propre méthode de calcul et ses propres paramètres.

II.9. Étapes pour simuler un système avec Toray DS

🔧 Télécharger le logiciel Toray DS

- Va sur le site officiel de Toray Membrane : <https://www.toraywater.com>
- Dans la section "Tools & Software", télécharge TorayDS2 ou ROSA software.

🔧 Lancer le logiciel et créer un nouveau projet

- Ouvre Toray DS.
- Crée un nouveau fichier de simulation.

🔧 Entrer les données de l'eau d'alimentation (Feed Water)

- Dans la section "Feed Water" :
 - TDS ou conductivité
 - Température (°C)
 - pH
 - Pression d'alimentation (si connue)
 - Concentrations ioniques : Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , SiO_2 , etc.

Choisir le type de membrane Toray

- Sélectionne un modèle parmi :
 - **Eau de saumâtre:** TML20D-400, TM720D-400, etc.
 - **Eau de mer:** TM820E, TM820V, etc.
- Choisis les membranes selon la capacité (400 ft²), le rejet nominal, ou la pression de service.

Configurer le système

- Choisis :
 - Nombre de trains
 - Nombre de passes
 - Nombre d'éléments par pressure vessel
 - Nombre de pressure vessels
 - Si tu veux simuler un système en configuration 1:1, 2:1, etc.

Définir les objectifs du système

- Taux de récupération (%)
- Débit d'alimentation ou de perméat
- Pression limite
- Limites de concentration du perméat si nécessaire

Lancer la simulation

- Clique sur "Run" ou "Simulate" pour lancer le calcul.

Analyser les résultats

- Tu obtiens :
 - Débit de perméat
 - Pression nette de transmembrane (NDP)
 - Taux de rejet ionique
 - Flux par membrane
 - Risques d'entartrage

➤ Énergie spécifique (kWh/m³)

✚ Exporter les résultats

- Tu peux générer un rapport PDF ou exporter vers Excel.

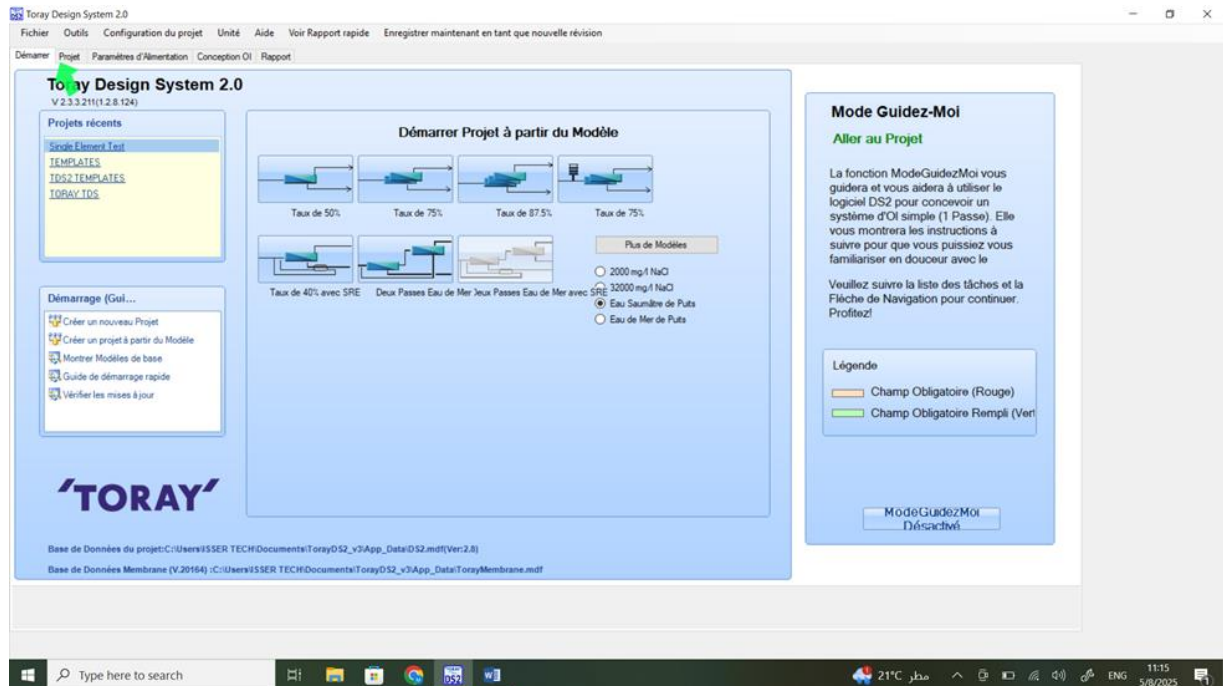


Figure II-9. Interface principale du logiciel Toray Design System 2.0 (DS2)

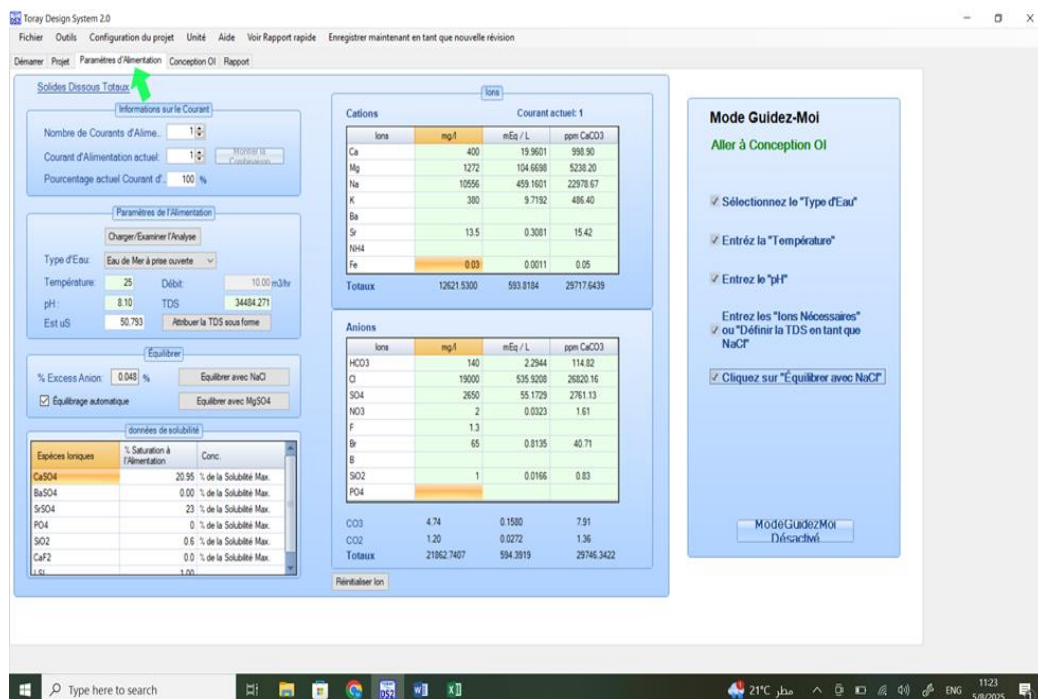


Figure II-10. Définition de la composition ionique de l'eau d'alimentation dans Toray Design System 2.0

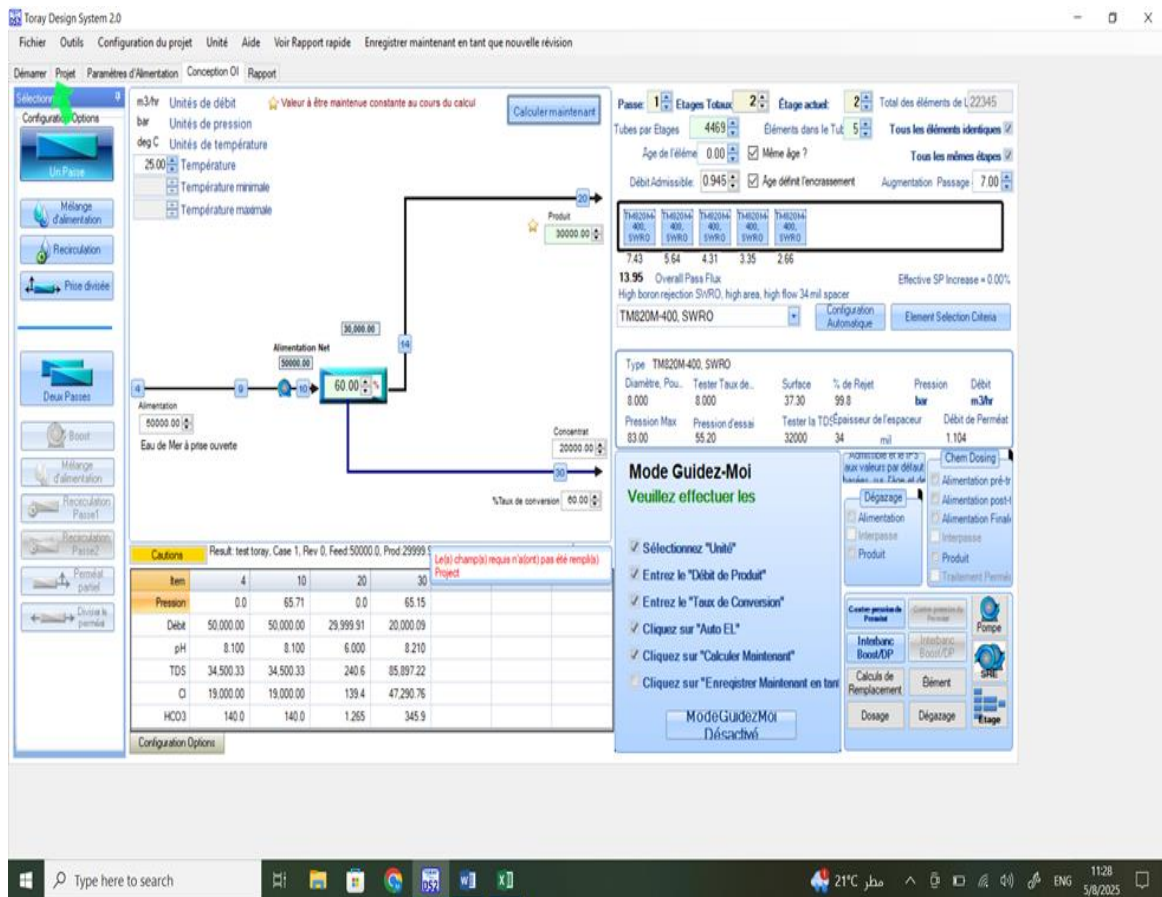


Figure II-11. Configuration du système d'osmose inverse à une passe dans Toray Design System 2.0

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Discussion des résultats de la simulation

III.1.1. Configuration du système

- Type d'eau : Eau de mer (TDS $\approx 34,420$ mg/L)
- Température : 25 °C
- Pression d'alimentation : 44.1 Bar
- Taux de conversion : 60 % (élevé pour de l'eau de mer, mais acceptable avec bonne récupération d'énergie)
- Énergie spécifique : 2.54 kWh/m³ → bonne efficacité énergétique grâce à une turbine de récupération (rendement 80.2 %)

III.1.2. Performances hydrauliques

- Débit total alimentation : 2083.11 m³/h
- Perméat produit : 1,250 m³/h ($\approx 30,000$ m³/j)
- Flux moyen : 15.2 LMH → dans la plage recommandée
- NDP (Net Driving Pressure) : 17.3 Bar → stable, indique que les membranes sont neuves
- Perte de charge inter-étage : 0.207 Bar → très faible, bon design

III.1.3. Analyse du colmatage et précipitations :

Tableau III-1. Saturations du concentrat

Composé	Concentration dans le concentrat	% de saturation / indice	Limite (évaluation)
CaSO ₄	64 %	< 400 %	OK
SrSO ₄	134 %	< 1200 %	OK
SiO ₂	2 %	< 140 %	OK
CaF ₂	987 %	< 50,000 %	OK
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.0	< 2.4	OK

Conclusion : Pas de risque d'entartrage détecté

 **Évolution des concentrations par étage :**

Les concentrations augmentent progressivement à travers les éléments. Cela est typique et conforme à la conception.

✚ Tableaux à utiliser pour les graphiques :

Voici les 3 tableaux clés que tu peux extraire de la simulation pour tracer les graphiques utiles :

Tableau III-2. Évolution de la concentration et du flux par élément

Étape	Pression (bar)	NDP (bar)	Flux (LMH)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Cl (mg/L)
1-1-1	44.1	17.3	24.4	12	37	29,742	45,612
1-1-2	43.5	14.6	20.2	13	42	33,771	51,792
...	...	...	...	...	...	...	...
1-2-8	69.9	7.6	6.1	31	99	78,787	120,878

✚ Représentations graphiques

- Flux vs numéro d'élément
- Concentration de Ca^{2+} , Cl^- vs numéro d'élément

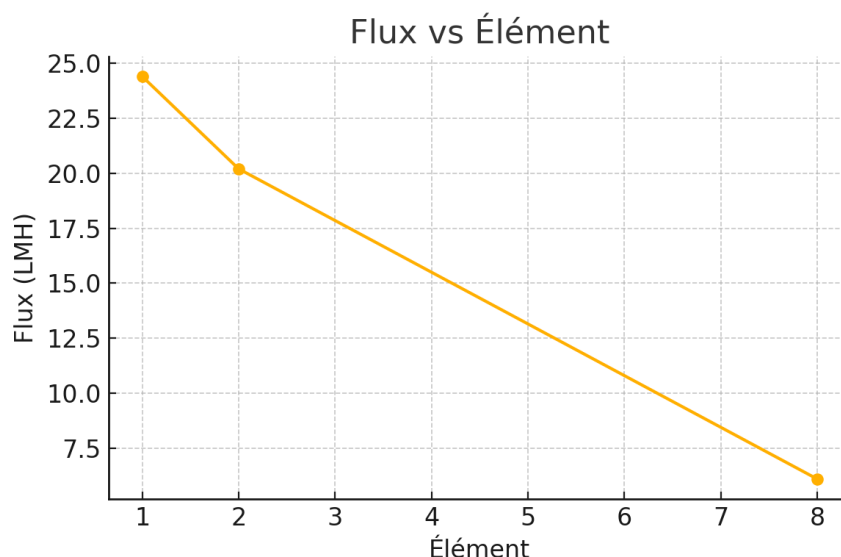


Figure III-1. Variation du flux à travers les éléments membranaires dans le train d'OI

Ce graphique montre la diminution progressive du flux (LMH) au fur et à mesure que l'on avance dans les éléments de la membrane. Cette baisse est typique dans un procédé de

nanofiltration ou d'osmose inverse, en raison de la concentration croissante des sels et de la réduction du gradient de pression nette.

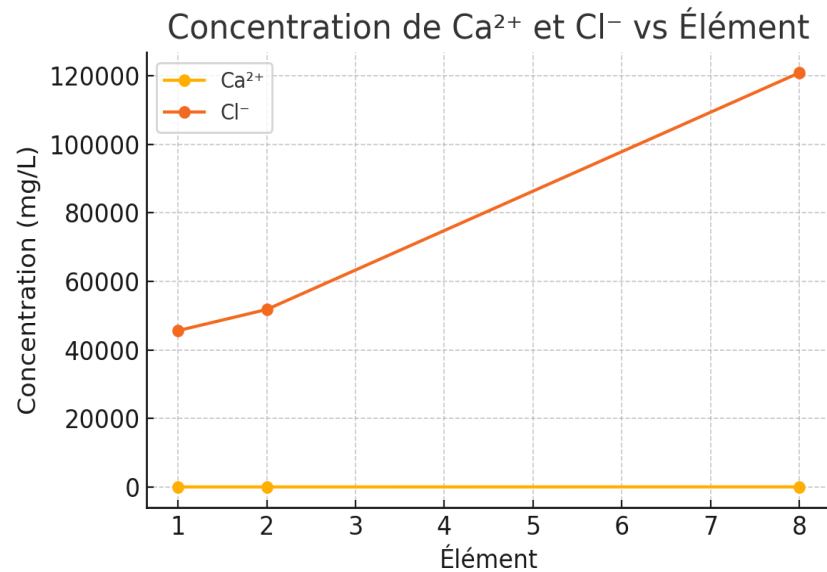


Figure III-2. Évolution des concentrations de Ca^{2+} et Cl^- le long des éléments membranaires.

L'évolution des concentrations de Ca^{2+} et de Cl^- à travers les éléments met en évidence l'effet de la filtration sur les ions dissous. On observe une augmentation continue, indiquant un phénomène de concentration de la saumure le long du module.

Tableau III-3. Composition ionique globale par flux (streams)

Stream	Débit (m ³ /h)	Pression (bar)	TDS (mg/L)	pH
1	2083	0.0	34421	—
2	2083	44.1	34432	8.10
3	1428	40.6	50141	8.23
4	1428	72.8	50141	8.23
5	832	69.6	85910	8.43

- **Représentations graphiques possibles :**
- TDS vs stream
- Pression vs stream

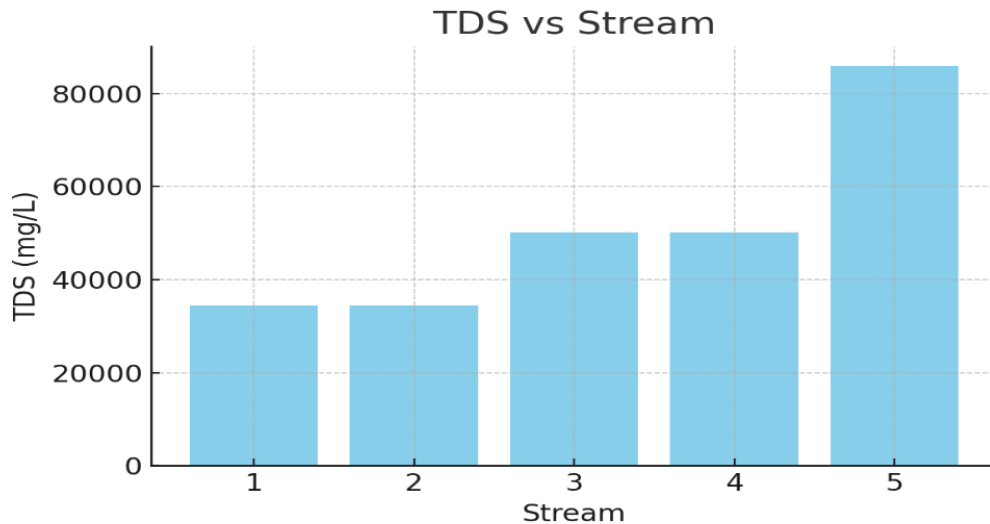


Figure III-3. Variation de la salinité (TDS) selon les flux du système d'osmose inverse

Ce graphique illustre la variation de la salinité (TDS) selon les différents points de collecte (streams) du système. On note une augmentation du TDS dans les flux de rejet (streams 4 et 5), ce qui reflète la séparation effective des sels par les membranes.

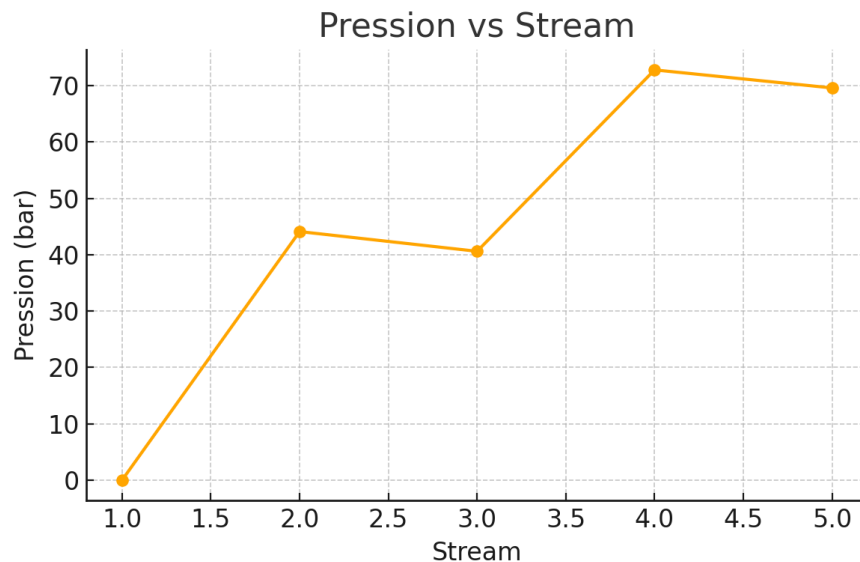


Figure III-4. Évolution de la pression selon les flux du système d'osmose inverse

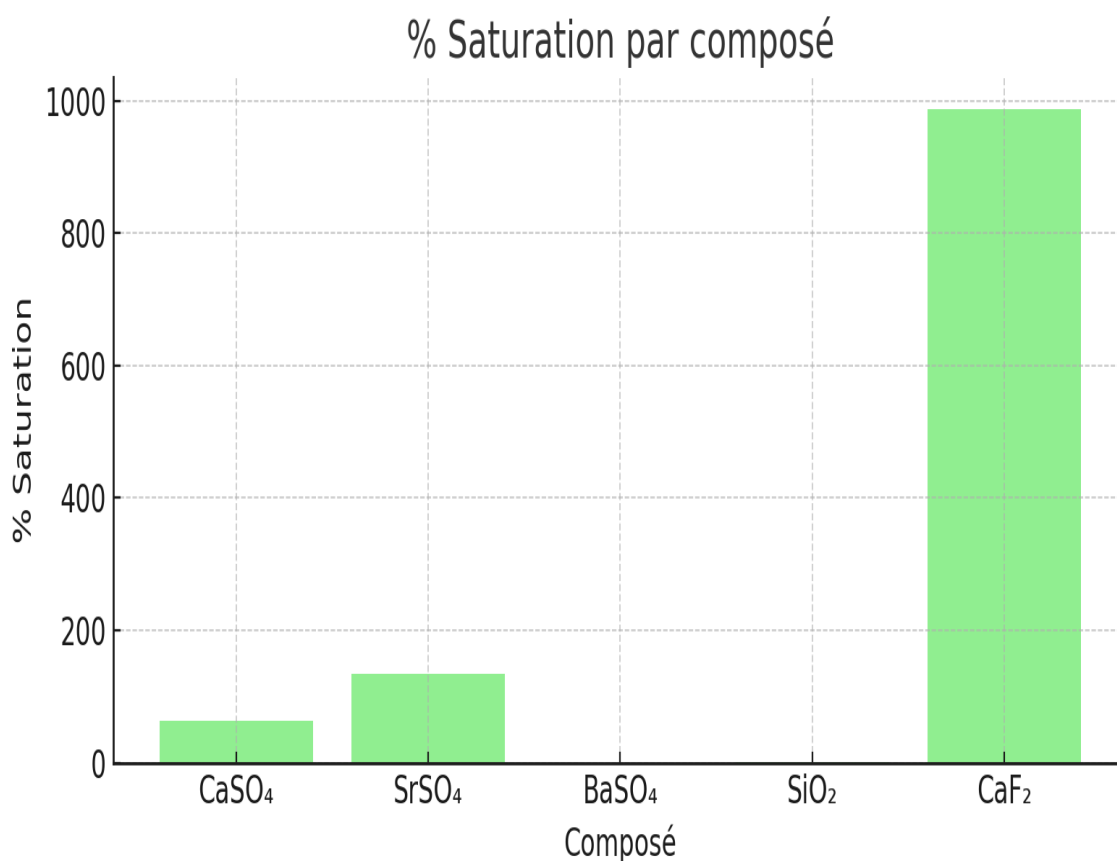
La pression augmente significativement à mesure que l'eau progresse dans le système, atteignant des niveaux plus élevés dans les étapes finales. Cela traduit les pertes de charge et la nécessité d'une pression accrue pour maintenir le flux à travers les membranes plus concentrées en ions.

Tableau III-4. Taux de saturation des composés (Saturation Scaling)

Composant	% de saturation	Limite admissible (%)
CaSO ₄	64	400
SrSO ₄	134	1200
BaSO ₄	0	10000
SiO ₂	2	140
CaF ₂	987	50000

Représentations graphiques

- Diagramme en barres ou radar chart du pourcentage de saturation par composé
- Comparaison avec les limites pour évaluer le risque d'entartrage

**Figure III-5.** Pourcentage de saturation des composés dans le concentrat

Ce diagramme montre le niveau de saturation de différents composés susceptibles de former des dépôts (scaling). Le CaF_2 présente un taux très élevé, indiquant un risque d'entartrage important si aucune mesure antitartre n'est prise. Ce type d'analyse est essentiel pour la prévention des dépôts dans les installations de déminéralisation.

III.1.4. Discussion des résultats de la simulation Toray DS

Une évaluation comparative a été réalisée à l'aide du logiciel **Toray DS2** afin d'évaluer les performances de deux configurations de membranes d'osmose inverse (RO) destinées au dessalement de l'eau de mer. L'eau d'alimentation présentait une salinité d'environ 34 800 mg/L de TDS (solides dissous totaux), avec un taux de récupération du système de 45 % et un débit d'alimentation de 84 213 m³/jour.

L'objectif de cette étude était d'identifier la membrane offrant le meilleur compromis entre la productivité, l'efficacité énergétique et la fiabilité opérationnelle.

Tableau III.5. Configuration et performance globale

Paramètre	Valeur
Type d'eau	Eau de mer (TDS = 34,500 mg/L)
Température	25 °C
Taux de conversion	60 %
Perméat produit	30,000 m ³ /h
TDS du perméat final	240.6 mg/L
TDS du concentrat	85,897 mg/L
Énergie spécifique (SEC)	3.896 kWh/m ³ → élevé comparé à la simulation Hydranautics (2.54 kWh/m ³)

Remarque : l'énergie est plus élevée car le système ne semble pas utiliser de récupération d'énergie efficace (pas de turbine).

Tableau III.6. Performance par élément (Passes 1-1 et 1-2)

Élément	Passage	Flux (LMH)	TDS Perméat (mg/L)	Pression nette (bar)
1	1-1	30.59	66.6	31.3
5	1-2	2.66	1,728.4	3.85

- ❖ Le flux diminue graduellement comme attendu.
- ❖ Le premier élément du passage 1 dépasse la limite recommandée (30.59 LMH > 28 LMH) → **risque de colmatage accru.**
- ❖ Pression nette en forte baisse → perte de performance progressive.

Tableau III.7. Risques d'entartrage (scaling)

Composé	% Saturation Concentrat	Limite (%)	Risque
CaSO ₄	68.4	400	Aucun
SrSO ₄	105.2	1200	Aucun
BaSO ₄	0.0	10,000	Aucun
SiO ₂	1.5	140	Aucun

- ❖ Pas de risque d'entartrage détecté sur les espèces critiques.

Tableau III.8. Caractéristiques par stream

Stream	Débit (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Pression (bar)	pH
Alim Brute	50000	34,500	0	8.1
Perméat Final	30000	240.6	0	6.0
Concentrat	20000	85,897	65.15	8.21
Alim Passe 1	50000	34,500	65.71	8.1

Représentation graphique

- TDS vs Stream
- pH vs Stream

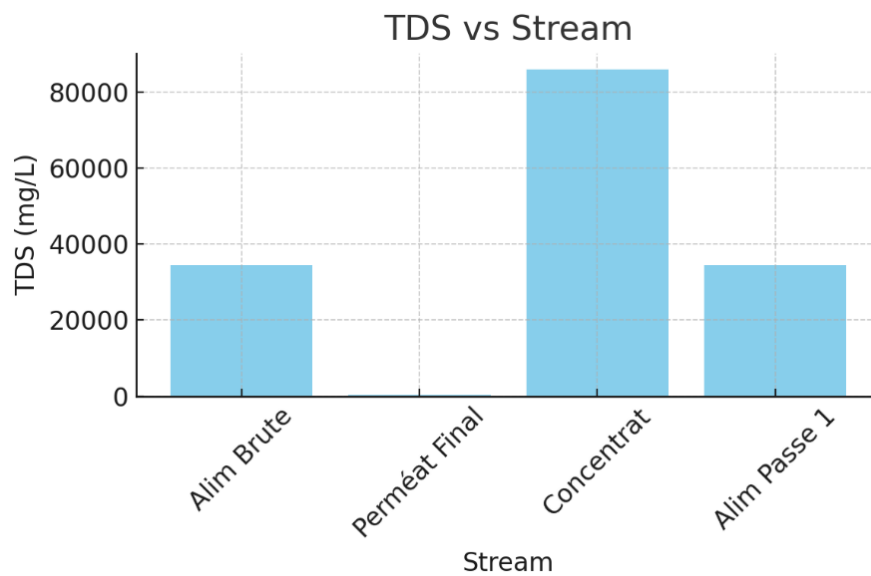


Figure III-6. Teneur en solides dissous totaux (TDS) selon les différents flux du procédé

Ce graphique met en évidence l'efficacité du procédé de dessalement et la séparation nette entre perméat et concentrat.

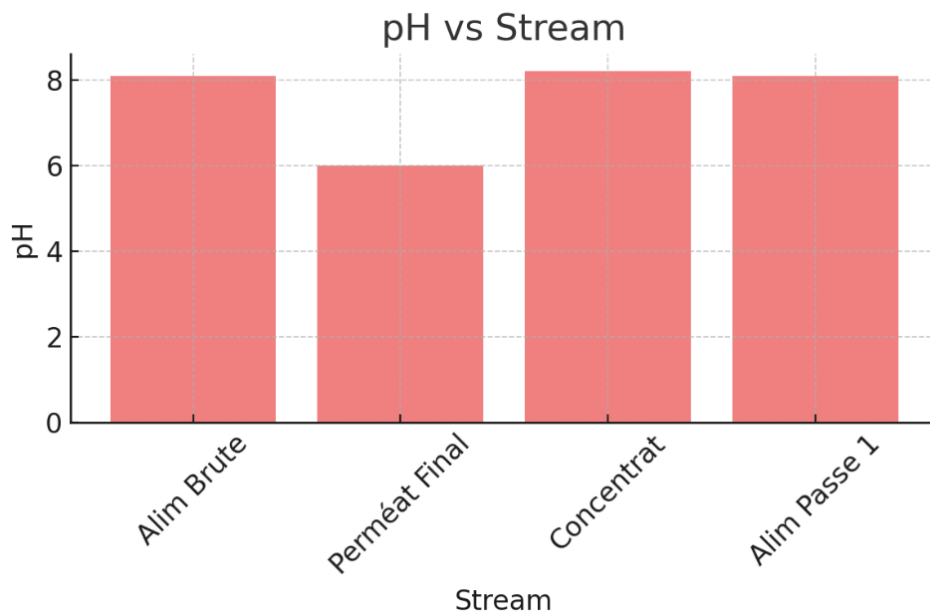


Figure III-7. Évolution du pH selon les différents flux du procédé

La variation de pH est cohérente avec le processus de séparation membranaire.

Tableau III-9. Saturation scaling

Composé	% Saturation Concentrat	Limite (%)
CaSO ₄	68.4	400
SrSO ₄	105.2	1200
BaSO ₄	0.0	10,000
SiO ₂	1.5	140

- Graphique recommandé : bar chart de saturation

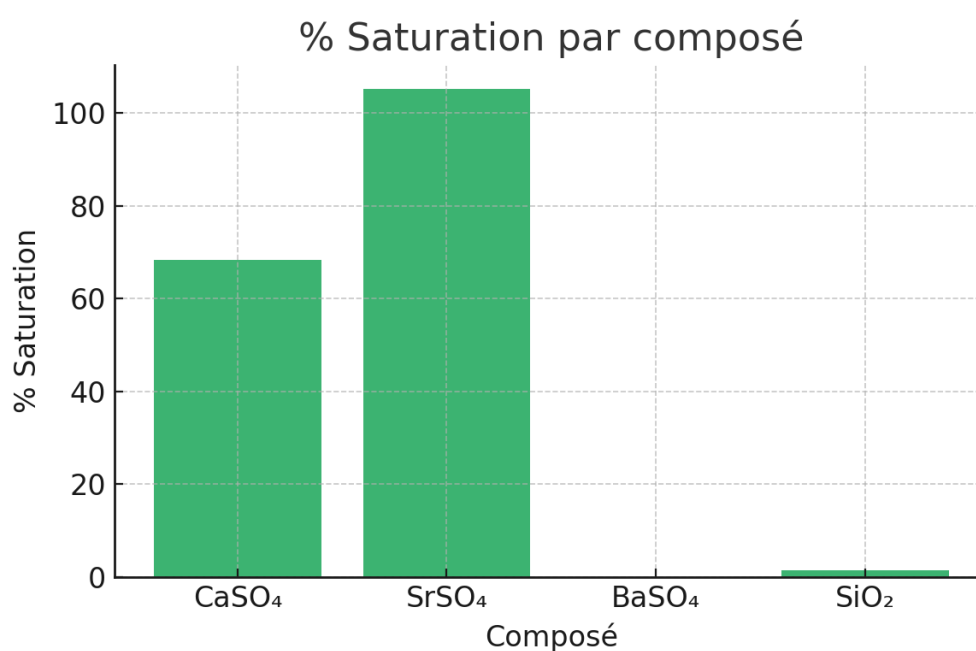


Figure III-8. Taux de saturation des composés susceptibles de précipiter

Le système est globalement bien conçu du point de vue de l'entartrage, mais une attention particulière doit être portée au SrSO₄.

III.3.7. Comparaison entre les résultats de IMS-Design et Toray DS2

Voici une comparaison claire et détaillée entre les deux simulations d'osmose inverse par les étapes suivantes :

 Résumé des conditions de simulation :

Paramètre	IMSDesign (Hydranautics)	Toray DS2 (Toray)
Type de membrane	SWC5 MAX	TM820M-400
Type d'eau	Eau de mer	Eau de mer
TDS eau brute (mg/L)	34,421	34,500
Température	25 °C	25 °C
Taux de récupération	60 %	60 %
Débit alimentation (m ³ /h)	2083.1	50000
Débit perméat (m ³ /h)	1250	30000
Énergie spécifique (kWh/m ³)	2.54	3.90 → plus élevée
TDS perméat (mg/L)	191–240	240.6
TDS concentrat (mg/L)	85,910	85,897
Flux moyen (LMH)	15.2	13.95
Pression alimentation (bar)	44.1	65.7
Récupération d'énergie	Oui (turbo)	Non mentionnée

 Qualité du perméat et rejet :

Paramètre	IMSDesign	Toray DS
TDS Perméat	≈ 191–240 mg/L	240.6 mg/L
pH Perméat	6.28	6.0
Cl ⁻ dans perméat	≈ 139–212 mg/L	≈ 139.4 mg/L

Ces résultats valident la robustesse des deux approches de simulation pour prédire la qualité du perméat. De légères différences peuvent être attribuées aux modèles de calcul internes propres à chaque logiciel, mais sans impact majeur sur l'analyse globale du procédé.

Performance par élément

Élément	IMSDesign (LMH)	Toray DS (LMH)	Commentaire
Élément #1	24.4	30.6	Trop élevé chez Toray
Élément #5	8.6	9.8	Similaire
Élément #8	4.5	2.7 (Toray 2ème passe)	Plus faible en 2ème passe chez Toray

Flux d'entrée trop élevé chez Toray (au-dessus des recommandations), risque de colmatage en tête.

Risques d'entartrage (scaling)

Composé	IMSDesign (% saturation)	Toray DS (% saturation)	Commentaire
CaSO ₄	64	68.4	Acceptable
SrSO ₄	134	105.2	OK (limite 1200 %)
BaSO ₄	0	0	Aucun risque
SiO ₂	2	1.5	Aucun risque

Aucun des deux systèmes ne montre de risque d'entartrage.

Consommation énergétique :

Paramètre	IMSDesign	Toray DS
Énergie spécifique (kWh/m ³)	2.54	3.90

IMSDesign est plus efficace grâce à une turbine de récupération d'énergie.

La simulation réalisée avec le logiciel IMSDesign (Hydranautics) présente un système mieux équilibré, plus économe en énergie et respectant plus rigoureusement les limites de flux admissibles par élément. En comparaison, la configuration proposée par le logiciel Toray affiche un débit initial élevé (30.6 LMH), ce qui n'est pas recommandé sans ajustement préalable. Bien que les deux approches soient performantes en matière de rejet de sels, la conception issue d'IMSDesign se distingue par une optimisation plus aboutie dans l'état actuel de la configuration.

Conclusion générale

Au terme de cette étude, une analyse comparative des performances de plusieurs membranes d'osmose inverse destinées au dessalement de l'eau de mer a été réalisée à l'aide des logiciels IMSDesign et Toray DS2. Cette étude a permis d'évaluer l'influence du type de membrane sur les principaux paramètres de fonctionnement, notamment la qualité du perméat, le taux de rejet des sels, la pression de fonctionnement, la consommation énergétique spécifique et la fiabilité opérationnelle.

Les résultats obtenus avec le logiciel IMSDesign ont montré que la membrane SWC4-LD de Hydranautics présente les meilleures performances en matière de qualité du perméat et de rejet des sels, avec un taux de rejet supérieur à 99,5 % et une faible concentration en solides dissous totaux dans l'eau produite. La membrane SWC5-LD s'est distinguée par une consommation énergétique plus faible et une pression de fonctionnement réduite, mais au détriment d'une légère diminution de la qualité du perméat.

L'analyse réalisée à l'aide du logiciel Toray DS2 a révélé que la membrane TM820M-400 offre un meilleur compromis entre efficacité énergétique et fiabilité opérationnelle, tandis que la membrane TM810V, malgré son excellent rejet des sels, nécessite une pression de fonctionnement très élevée et présente une consommation énergétique plus importante.

La comparaison globale des différentes membranes étudiées a permis de conclure que la membrane SWC4-LD constitue la solution la plus performante pour les conditions de fonctionnement considérées. Elle offre le meilleur équilibre entre qualité de l'eau produite, efficacité de dessalement et consommation énergétique acceptable.

Cette étude confirme l'importance des outils de simulation dans le choix et l'optimisation des membranes d'osmose inverse. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la conception future d'installations de dessalement plus performantes et plus économes en énergie.

Références bibliographique

- [1] UN-Water. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. Paris: UNESCO.
- [2] Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S. M. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657, 1343–1356.
- [3] Michelle et Dominique. (1994). dictionnaire des constantes physique et biologique. Édition maloine, P99.
- [4] Célébration de la décennie internationale d'action : l'eau source de vie. Journée mondiale de l'eau. (2005). Guide de sensibilisation, Rapport de l'OMS.
- [5] Alain Maurel. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2e édition.
- [6] Technique de l'eau, 1978, Mémento Ed. Degremont,
- [7] Rodier, J. 2005, L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9eme édition, Ed. Dunod. Paris
- [8] Roland (2000), Environnement et santé publique
- [9] Achour S. Moussaoui K. (1993). La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation de composés organohalogénés. *Environment Technology*, 14, 885- 890.
- [10] Seghairi, N. (1998). Possibilités de rétention des matières organiques par adsorption sur la bentonite. Thèse de Magister en Sciences Hydrauliques. Université de Biskra. 134 p.
- [11] Salah souabi. (2015, Dec). Suivi de la qualité physicochimique de l'eau du fleuve Sénégal : Cas du captage du Beni Nadji alimentant en eau potable les wilayas de Nouakchott. *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 148-160 Tfeila et al. ISSN : 2028-2508
- [12] Hacene Mahmoudi, Tania Tania, Dimitris Christos Sioutopoulos, Anastasios J. Karabelas, (2004). Brackish water desalination in the Algerian Sahara—Plant design considerations for optimal resource exploitation. *Desalination and water treatment*,
- [13] A.D. Khawajia, I.K. Kutubkhanaha, J-M. Wieb.(2008). Advances in seawater desalination technologies, *Desalination*, 221. 47–69
- [14] P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. *Techniques de l'Ingénieur*, J 2700.Juin.
- [15] MEHDI Ahcene et al, Automatisation et supervision de l'unité de traitement des eaux par osmose inverse du complexe CEVITAL via le logiciel TIA Portal V13 de SIEMENS , 2015.
- [16] Chatkaew TANSAKUL, Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, 13/11/2009.
- [17] SAHBI NAWAL, Étude de dessalement des eaux de mer par l'Osmose inverse de la commune de Bou Haroun - Dimensionnement-, 2012.

- [18] MEHDI METAICHE, optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse: conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique, Juin 2006.
- [19] MOKHTAR OUKACI, optimisation du prétraitement physico-chimique (coagulation-floculation) de dessalement par osmose inverse, 2018.
- [20] AIT BOUDA Yasmina et al, traitement des eaux par osmose inverse au niveau du complexe agro-alimentaire cevital, 13/06/2013.
- [21] BENAÏSSA Fatima Zohra, Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, 03/10/2013.
- [22] DAHOU NESRINE, Traitement membranaire des rejets industriels, 02-06-2016.
- [23] CHABANE MUSTAPHA, étude de la résistance au colmatage et de la rétention des composés toxiques par membranes, 2015.
- [24] DEGAA Ali et al, Etude de déminéralisation des eaux souterraines par osmose inverse dans le sud est Algérien cas de la station d'EI Meghaier-, juin 2019.
- [25] Les modules tubulaires /<https://www.researchgate.net>.
- [26] J. Bruchon, Les EDP: introduction physique, analyse mathématique et discrétisation numérique Cours d'introduction de la Toolbox Simulation Numérique Avancée, septembre - octobre 2017.
- [27] ABIDI ABDENABI, étude de mécanismes de transfert des ortho phosphates travers une membrane de nanofiltration en mode batch. Effet de la matrice expérimentale sur la sélectivité et modélisation phénoménologique, 08 mai 2014.
- [28] MAZARI Lilia, Traitements physico-chimiques associés aux techniques membranaires d'une eau usée urbaine, 15/07/2019.
- [29] MELLAL Nour el houda, contribution à l'étude d'une station de dessalement par osmose inverse, 15/12/2011.
- [30] Mulder, M. (2000). Basic Principles of Membrane Technology. Kluwer Academic Publishers.
- [31] WHO (2017). Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed.). World Health Organization.
- [32] Hydranautics – Nitto Group Company. (2023). IMSDesign – Reverse Osmosis Membrane System Design Software.
- [33] Hydranautics. (2022). Introduction to IMSDesign Training Presentation.
- [34] Kucera, J. (2015). Desalination: Water from Water. Wiley-Scrivener.
- [35] Ezzeghni, U. (2016). Design of 10000 m³/d SWRO desalination plant. ResearchGate
- [36] Hydranautics. (2020). IMSDesign User Manual [Logiciel de simulation]. Nitto Group Company

- [37] Lee, S., & Lee, Y. (2018). "Energy recovery devices in reverse osmosis desalination systems: A review." *Desalination*, 432, 23-37.
- [38] Achilli, A., & Childress, A. E. (2012). "Membrane distillation: A comprehensive review." *Desalination*, 276(1-3), 1-14.
- [39] Yuan, Z., & Al-Mashaqbeh, I. (2020). "Advances in reverse osmosis desalination: From fundamental mechanisms to new membrane materials." *Water Research*, 181, 115849.
- [40] Liu, X., & Liu, W. (2019). "Intelligent design and optimization of membrane processes for desalination: A review." *Desalination*, 453, 29-44.
- [41] Greenlee, L. F., et al. (2009). "Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges." *Water Research*, 43(9), 2317-2348.
- [42] Hydranautics. n.d. Membrane Solutions for Water Treatment. Accessed May 10, 2025.
- [43] Toray Membrane USA. (n.d.). RO System Design Software. Toray Industries. Retrieved May 10, 2025

Annexes

A-1_SWC5 MAX Membrane

Created on: 19/05/2026 12:21:37



Basic Design

Page : 1/3

Project name	imsdsn			Page
Calculated by	ing billet		Permeate flow/train	37896,0 m3/d
HP Pump flow	3508,52	m3/h	Raw water flow/train	84213,3 m3/d
Feed pressure	47,7	bar	Permeate recovery	45,00 %
Feed temperature	25,0	°C(77,0°F)	Element age	0,0 years
Feed water pH	8,04		Flux decline %, per year	7,0
Chem dose, mg/l, -	None		Fouling factor	1,00
Specific energy	3,67	kwh/m3	SP increase, per year	10,0 %
Pass NDP	13,4	bar		
Average flux rate	12.3	lmh		

Pass - Stage	Perm. Flow m3/h	Flow / Vessel		Flux lmh	DP bar	Flux Max lmh	Beta	Feed type			Perm. TDS mg/l	Sea Surface Conventional		
		Feed m3/h	Conc m3/h					Stagewise Pressure				Element Type	Element Quantity	PV # x Elem #
								Perm. bar	Boost bar	Conc bar				
1-1	1578.2	6.7	3.7	12.4	0.8	27.3	1.06	0	0	46.9	220.4	SWC5 MAX	3132	522 x 6M

Ion (mg/l)	Raw Water	Feed Water	Permeate Water	Concentrate 1
Hardness, as CaCO3	6927.63	6927.63	0.616	12591.2
Ca	340.66	340.66	0.030	619.2
Mg	1482.54	1482.54	0.132	2694.6
Na	9655.80	9655.80	82.310	17483.1
K	289.34	289.34	3.081	523.4
NH4	0.00	0.00	0.000	0.0
Ba	0.000	0.000	0.000	0.0
Sr	0.000	0.000	0.000	0.0
Cu+2	1.460	1.460	0.000	2.7
Mn+2	3.500	3.500	0.000	6.4
Fe+2	2.900	2.900	0.000	5.3
H	0.00	0.00	0.000	0.0
CO3	19.54	19.54	0.000	57.8
HCO3	172.46	172.46	2.024	272.7
SO4	2767.63	2767.63	4.523	5026.8
Cl	19224.54	19224.54	125.500	34839.9
F	2.12	2.12	0.028	3.8
NO3	0.51	0.51	0.025	0.9
PO4	0.00	0.00	0.000	0.0
OH	0.11	0.11	0.001	0.2
SiO2	0.00	0.00	0.000	0.0
B	10.10	10.10	2.706	16.1
CO2	0.81	0.81	0.81	1.03
NH3	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	33973.10	33973.10	220.36	61552.59
pH	8.04	8.04	6.58	8.12

Saturations	Raw Water	Feed Water	Concentrate	Limits
CaSO ₄ / ksp * 100, %	18	18	38	400
SrSO ₄ / ksp * 100, %	0	0	0	1200
BaSO ₄ / ksp * 100, %	0	0	0	10000
SiO ₂ saturation, %	0	0	0	140
CaF ₂ / ksp * 100, %	66	66	557	50000
Ca ₃ (PO ₄) ₂ saturation index	0,0	0,0	0,0	2,4
CCPP, mg/l	39,94	39,94	104,01	850
Ionic strength	0,68	0,68	1,24	
Osmotic pressure, bar	24,5	24,5	44,4	

Product performance calculations are based on nominal element performance when operated on a feed water of acceptable quality. The results shown on the printouts produced by this program are estimates of product performance. No guarantee of product or system performance is expressed or implied unless provided in a separate warranty statement signed by an authorized Hydranautics representative. Calculations for chemical consumption are provided for convenience and are based on various assumptions concerning water quality and composition. As the actual amount of chemical needed for pH adjustment is feedwater dependent and not membrane dependent, Hydranautics does not warrant chemical consumption. If a product or system warranty is required, please contact your Hydranautics representative. Non-standard or extended warranties may result in different pricing than previously quoted. Version : 2.231.90 %

Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

 www.membranes.com  +1 760 901 2500 

Basic Design

Page : 2/3

Project name	imsdsn			Page : 2
Calculated by	ing billet		Permeate flow/train	37896,0 m3/d
HP Pump flow		3508,52 m3/h	Raw water flow/train	84213,3 m3/d
Feed pressure		47,7 bar	Permeate recovery	45,00 %
Feed temperature		25,0 °C(77,0°F)	Element age	0,0 years
Feed water pH		8,04	Flux decline %, per year	7,0
Chem dose, mg/l, -		None	Fouling factor	1,00
Specific energy		3,67 kwh/m3	SP increase, per year	10,0 %
Pass NDP		13,4 bar		
Average flux rate		12,3 l/mh		

Pass - Stage	Perm. Flow m3/h	Flow / Vessel		Flux lmh	DP bar	Flux Max lmh	Beta	Feed type			Perm. TDS mg/l	Sea Surface Conventional		
		Feed m3/h	Conc m3/h					Stagewise Pressure				Element Type	Element Quantity	PV# x Elem #
								Perm. bar	Boost bar	Conc bar				
1-1	1578,2	6,7	3,7	12,4	0,8	27,3	1,06	0	0	46,9	220,4	SWC5 MAX	3132	522 x 6M

Pass -	Element	Feed	Pressure	Conc	NDP	Permeate	Permeate				Permeate (Stagewise cumulative)			
Stage	no.	Pressure	Drop	Osmo.		Flow	Flux	Beta		TDS	Ca	Mg	Na	Cl
		bar	bar	bar	bar	m3/h	lmh							
1-1	1	47,7	0,2	29,4	19,1	1,1	27,3	1,06		75,1	0,01	0,045	28,031	42,73
1-1	2	47,5	0,16	34	14,1	0,8	18,7	1,05		96,6	0,013	0,058	36,051	54,956
1-1	3	47,3	0,13	37,9	10	0,5	12,2	1,04		122,4	0,017	0,073	45,668	69,62
1-1	4	47,2	0,11	40,9	6,8	0,3	7,8	1,03		152	0,021	0,091	56,736	86,496
1-1	5	47,1	0,09	43	4,4	0,2	4,8	1,02		185	0,025	0,111	69,072	105,308
1-1	6	47	0,09	44,4	2,9	0,1	3,1	1,01		220,5	0,03	0,132	82,342	125,549

Product performance calculations are based on nominal element performance when operated on a feed water of acceptable quality. The results shown on the printouts produced by this program are estimates of product performance. No guarantee of product or system performance is expressed or implied unless provided in a separate warranty statement signed by an authorized Hydranautics representative. Calculations for chemical consumption are provided for convenience and are based on various assumptions concerning water quality and composition. As the actual amount of chemical needed for pH adjustment is feedwater dependent and not membrane dependent, Hydranautics does not warrant chemical consumption. If a product or system warranty is required, please contact your Hydranautics representative. Non-standard or extended warranties may result in different pricing than previously quoted. Version: 2.231.90 %

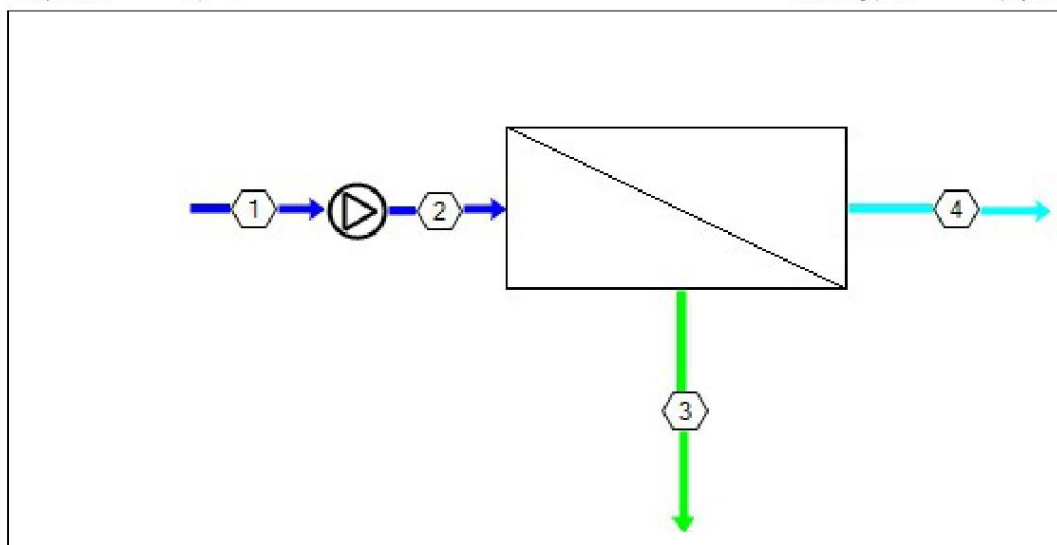
Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

www.membranes.com +1 760 901 2500

Basic Design

Project name: imsdn
 Temperature: 25,0 °C

Page : 3/3
 Element age, P1 : 0,0 years



Stream No.	Flow (m3/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)	pH	Econd (µs/cm)
1	3509	0	33973	8,04	53245
2	3509	47,7	33973	8,04	53245
3	1930	46,9	61553	8,12	93397
4	1579	0	220	6,58	465

Product performance calculations are based on nominal element performance when operated on a feed water of acceptable quality. The results shown on the printouts produced by this program are estimates of product performance. No guarantee of product or system performance is expressed or implied unless provided in a separate warranty statement signed by an authorized Hydranautics representative. Calculations for chemical consumption are provided for convenience and are based on various assumptions concerning water quality and composition. As the actual amount of chemical needed for pH adjustment is feedwater dependent and not membrane dependent, Hydranautics does not warrant chemical consumption. If a product or system warranty is required, please contact your Hydranautics representative. Non-standard or extended warranties may result in different pricing than previously quoted. Version : 2.231.90 %

Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net www.membranes.com +1 760 901 2500

A-2_ TM820M-400_Membrane

Report - System Overview Report

Page 1 of 7



System Overview Report

Project	DESKTOP-IDI9KUS\Walid 93:test toray
Case	1 New Case
Revision	1 Pass, Sea Open, Feed: 84213,3 m3/day, TDS: 34814,2, 0 Perm: 37896,0, TDS: 193, Tot Elem: 3038, 1st Elem: TM820M-400
Calculation Mode	Feed Water Type: Sea Open; AutoBalance is ON
Errors, Warnings, Cautions and Notices	Errors:0, Warnings:0,Cautions:0,Notices:1. See Important Notes at end /E
Database Info :	Project Database :C:\Users\Walid\Documents\TorayDS2_v3\App_Data\DS2.mdf(Ver:2,8) Membrane Database (V.20165) :C:\Users\Walid\Documents\TorayDS2_v3\App_Data\TorayMembrane.mdf.

		Overall	Pass 1		
Raw water TDS	mg/l	34 814,2	34 814,2		
EC @25C / @25,00C	uS	51 166,6 / 51 166,6	51 166,6 / 51 166,6		
Feed Pressure	bar	0,0	53,86		
Temperature	deg C	25,00			
Total DP	bar	0,483	0,483		
Brine Pressure	bar	53,38	53,38		
Flow Allowance	3,00 yrs		0,850		
SP % Increase (Max)	3,00 yrs		22,50%		
Recovery	%	45,00%	45,0%		
Feed Flow	m3/day	84 213	84 213		
Product Flow	m3/day	37 896	37 896		
Average Flux	l/m2/hr	13,934	13,934		
Concentrate Flow	m3/day	46 317	46 317		
Product TDS	mg/l	192,5	192,5		
Concentrate TDS	mg/l	63 146	63 146		
Primary HP Pump kW	kilowatt	6 725,72	6 725,72		
Power Consumption	kWh/m^3	4,259	4,259		
Ions		Feed	Net Feed	Conc	Product
Ca	mg/l	340,7	340,7	618,9	0,573
Mg	mg/l	1 483	1 483	2 693	2,492
Na	mg/l	10 516	10 516	19 065	67,75
K	mg/l	289,3	289,3	523,9	2,607
Ba	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
Sr	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
NH4	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	mg/l	2,900	2,900	5,273	0,0
HCO3	mg/l	172,5	172,5	312,1	1,833
Cl	mg/l	19 225	19 225	34 863	110,6
SO4	mg/l	2 768	2 768	5 028	5,108
NO3	mg/l	0,510	0,510	0,923	0,0051

file:///C:/Users/Walid/Documents/TorayDS2_v3/Report/Html/134238437261026548.... 21/05/2026

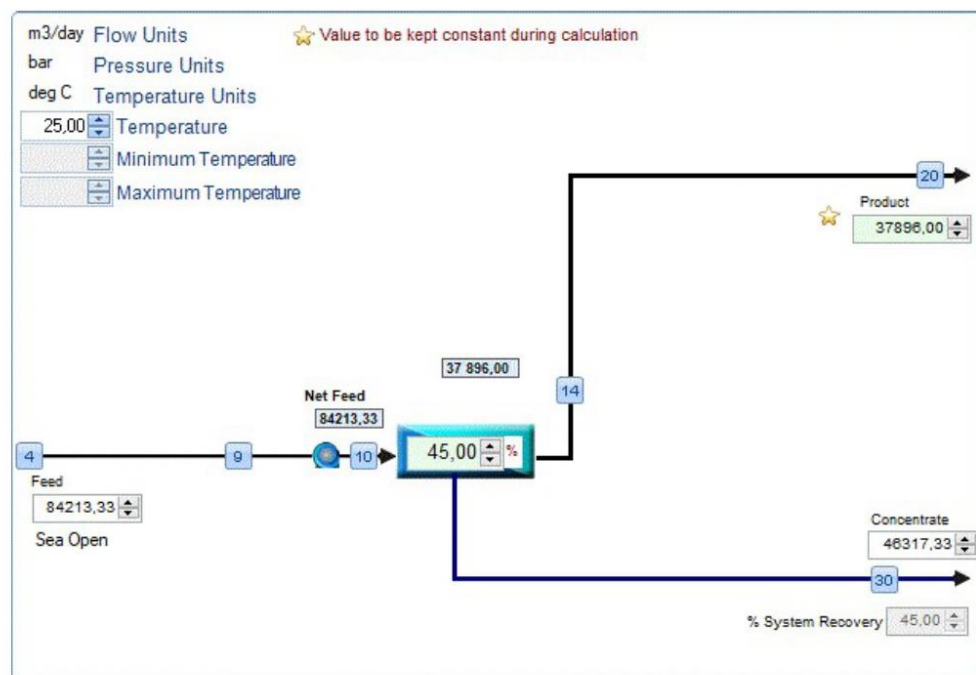
F	mg/l	2,120	2,120	3,837	0,0214
Br	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
B(Boron)	mg/l	10,100	10,100	17,118	1,522
SiO2	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
PO4	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
CO3	mg/l	5,140	5,140	14,613	0,0002
CO2	mg/l	1,688	1,688	2,325	1,682
TDS	mg/l	34 814	34 814	63 146	192,5
EC @25C / @25,00C	uS	51 167 / 51 167	51 167 / 51 167	82 851 / 82 851	395,9 / 395,9
pH	pH	8,040	8,040	8,133	6,234
Osmotic Press (DS1 / Pitzer)	bar	25,692 / 24,99	25,692 / 24,99	46,041 / 46,78	0,159 / 0,16
LSI / SDSI		0,97 / 0,15	0,97 / 0,15	1,83 / 0,61	-5,13 / -5,14
CaSO4 / SrSO4 %	%	18,3% / 0,0%	18,3% / 0,0%	39,2% / 0,0%	0,0% / 0,0%
BaSO4 / SiO2 %	%	0,0% / 0,0%	0,0% / 0,0%	0,0% / 0,0%	
Pitzer % Solubility	Calcite/Dolomite	210% / 15 289%	210% / 15 289%	670% / 162 110%	
Pitzer % Solubility	CaSO4/SrSO4	18% / 0%	18% / 0%	37% / 0%	

Stage/Bank Data	Pass1	Stage 1
Lead Element Type		TM820M-400
Last Element Type		TM820M-400
Total Elements	3038	3038
Total Vessels	434	434
Elements per Vessel		7
Feed Flow	m3/day	84 213
Product Flow	m3/day	37 896
Average Flux	l/m2/hr	13,934
Brine Flow	m3/day	46 317
Recovery %	%	45,00 %
Feed Pressure	bar	53,86
dP Elements	bar	0,483
Boost Pressure	bar	0,0
Piping Loss	bar	0,0
Net (Boost - dP piping)	bar	0,0
Brine Pressure	bar	53,38
Permeate Pressure	bar	0,0
Feed TDS	mg/l	34 814
Perm TDS	mg/l	192,5
Lead Element	Pass1	Stage 1
Feed Flow	m3/day	194,0
Product Flow	m3/day	20,49
Product TDS	mg/l	90,09
Flux	l/m2/hr	22,89
Last Element	Pass1	Stage 1
Product Flow	m3/day	5,655
Product TDS	mg/l	522,6
Brine/Product Ratio	ratio	18,873

file:///C:/Users/Walid/Documents/TorayDS2_v3/Report/Html/134238437261026548.... 21/05/2026

Membrane Database	
Version Number:	20165
ReleaseDate:	04/07/2025
UpdateBy:	YK
Toray DS2 version :	2.4.3.215(1.3.1.125)

Flow Diagram:



Stream Details					
Stream Number	Flow	Pressure	TDS	Est uS	pH
20. Final Product	37 895,98	0,0	192,5	395,9	6,234
4. Feed Net	84 213,33	0,0	34 814,16	51 166,6	8,040
10. Feed to Pass 1	84 213,33	53,86	34 814,16	51 166,6	8,040
30. Conc to brine	46 317,35	53,38	63 146,22	82 851,3	8,133

Element Details in Pass1

Pass 1 Stage 1	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	Element 5
Model	TM820M-400	TM820M-400	TM820M-400	TM820M-400	TM820M-400
Area m ² / dia inch	37,30 / 8	37,30 / 8	37,30 / 8	37,30 / 8	37,30 / 8
Age	3	3	3	3	3
SPI %/yr	7	7	7	7	7
SPI Applied	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50
Flow Allowance	0,850	0,850	0,850	0,850	0,850
Recovery %	10,562	10,123	9,418	8,479	7,374
Feed Flow(m3/day)	194,0	173,5	156,0	141,3	129,3
Perm Flow(m3/day)	20,49	17,568	14,689	11,980	9,536

file:///C:/Users/Walid/Documents/TorayDS2_v3/Report/Html/134238437261026548.... 21/05/2026

A-3 SWC4-LD Membrane

Integrated Membranes Solutions Design Software

Created on: 19/05/2026 12:03:02



Basic Design

Page : 1/3

Project name	imsdsn			Page
Calculated by	ing billet		Permeate flow/train	37896,0 m3/d
HP Pump flow	3508,52 m3/h		Raw water flow/train	84213,3 m3/d
Feed pressure	51,5 bar		Permeate recovery	45,00 %
Feed temperature	25,0 °C(77,0°F)		Element age	0,0 years
Feed water pH	8,04		Flux decline %, per year	7,0
Chem dose, mg/l, -	H2SO4		Fouling factor	1,00
Specific energy	3,96 kwh/m3		SP increase, per year	10,0 %
Pass NDP	17,6 bar			
Average flux rate	13,5 lmh			

Feed type

Sea Surface Conventional

Pass -	Perm.	Flow / Vessel		Flux	DP	Flux	Beta	Stagewise Pressure			Perm.	Element	Element	PV# x
Stage	Flow	Feed	Conc			Max		Perm.	Boost	Conc	TDS	Type	Quantity	Elem #
	m3/h	m3/h	m3/h	lmh	bar	lmh		bar	bar	bar	mg/l			
1-1	1578.2	6.7	3.7	13.6	0.4	24.3	1.05	0	0	51.1	138.4	SWC4-LD	3132	522 x 6M

Ion (mg/l)	Raw Water	Feed Water	Permeate Water	Concentrate 1
Hardness, as CaCO3	6927.63	6927.63	0.387	12591.0
Ca	340.66	340.66	0.019	619.1
Mg	1482.54	1482.54	0.083	2694.5
Na	9655.80	9655.80	51.753	17507.5
K	289.34	289.34	1.938	524.3
NH4	0.00	0.00	0.000	0.0
Ba	0.000	0.000	0.000	0.0
Sr	0.000	0.000	0.000	0.0
Cu+2	1.460	1.460	0.000	2.7
Mn+2	3.500	3.500	0.000	6.4
Fe+2	2.900	2.900	0.000	5.3
H	0.00	0.00	0.000	0.0
CO3	19.54	19.54	0.000	58.0
HCO3	172.46	172.46	1.273	273.1
SO4	2767.63	2767.63	2.842	5028.0
Cl	19224.54	19224.54	78.910	34876.9
F	2.12	2.12	0.017	3.8
NO3	0.51	0.51	0.016	0.9
PO4	0.00	0.00	0.000	0.0
OH	0.11	0.11	0.000	0.2
SiO2	0.00	0.00	0.000	0.0
B	10.10	10.10	1.467	17.2
CO2	0.81	0.81	0.81	1.03
NH3	0.00	0.00	0.00	0.00
TDS	33973.10	33973.10	138.32	61617.56
pH	8.04	8.04	6.38	8.12

Saturations	Raw Water	Feed Water	Concentrate	Limits
CaSO ₄ / ksp * 100, %	18	18	38	400
SrSO ₄ / ksp * 100, %	0	0	0	1200
BaSO ₄ / ksp * 100, %	0	0	0	10000
SiO ₂ saturation, %	0	0	0	140
CaF ₂ / ksp * 100, %	66	66	560	50000
Ca ₃ (PO ₄) ₂ saturation index	0,0	0,0	0,0	2,4
CCPP, mg/l	39,94	39,94	104,19	850
Ionic strength	0,68	0,68	1,24	
Osmotic pressure, bar	24,5	24,5	44,5	

Product performance calculations are based on nominal element performance when operated on a feed water of acceptable quality. The results shown on the printouts produced by this program are estimates of product performance. No guarantee of product or system performance is expressed or implied unless provided in a separate warranty statement signed by an authorized Hydranautics representative. Calculations for chemical consumption are provided for convenience and are based on various assumptions concerning water quality and composition. As the actual amount of chemical needed for pH adjustment is feedwater dependent and not membrane dependent, Hydranautics does not warrant chemical consumption. If a product or system warranty is required, please contact your Hydranautics representative. Non-standard or extended warranties may result in different pricing than previously quoted. Version : 2.231.90 %

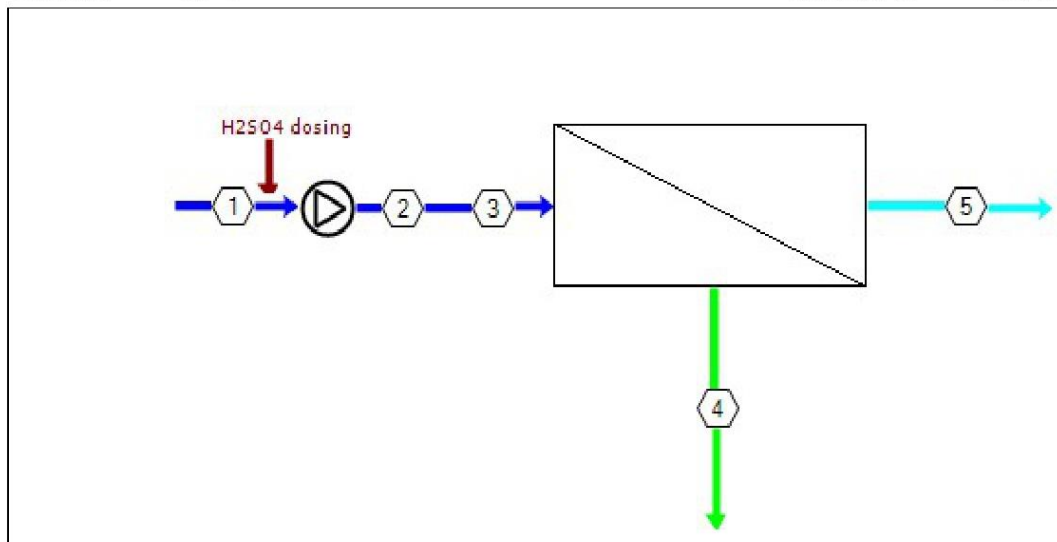
Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

 www.membranes.com +1 760 901 2500

Basic Design

Project name: imsdn
Temperature: 25,0 °C

Page : 3/3
Element age, P1 : 0,0 years



Stream No.	Flow (m3/h)	Pressure (bar)	TDS (mg/l)	pH	Econd (µs/cm)
1	3509	0	33973	8,04	53245
2	3509	51,5	33973	8,04	53245
3	1930	51,1	61618	8,12	93486
4	1579	0	138	6,38	293

Product performance calculations are based on nominal element performance when operated on a feed water of acceptable quality. The results shown on the printouts produced by this program are estimates of product performance. No guarantee of product or system performance is expressed or implied unless provided in a separate warranty statement signed by an authorized Hydranautics representative. Calculations for chemical consumption are provided for convenience and are based on various assumptions concerning water quality and composition. As the actual amount of chemical needed for pH adjustment is feedwater dependent and not membrane dependent, Hydranautics does not warrant chemical consumption. If a product or system warranty is required, please contact your Hydranautics representative. Non-standard or extended warranties may result in different pricing than previously quoted. Version : 2.231.90 %

Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

www.membranes.com +1 760 901 2500

Basic Design

Page : 2/3

Project name	imdsdn	Page : 2	
Calculated by	ing bilfel	Permeate flow/train	37896,0 m3/d
HP Pump flow	3508,52 m3/h	Raw water flow/train	84213,3 m3/d
Feed pressure	51,5 bar	Permeate recovery	45,00 %
Feed temperature	25,0 °C(77,0°F)	Element age	0,0 years
Feed water pH	8,04	Flux decline %, per year	7,0
Chem dose, mg/l, -	H2SO4	Fouling factor	1,00
Specific energy	3,96 kwh/m3	SP increase, per year	10,0 %
Pass NDP	17,6 bar		
Average flux rate	13,5 l/mh		

Pass - Stage	Perm. Flow m3/h	Flow / Vessel		Flux lmh	DP bar	Flux Max lmh	Beta	Feed type			Perm. TDS mg/l	Sea Surface Conventional		
		Feed	Conc					Stagewise Pressure				Element Type	Element Quantity	PV# x Elem #
		m3/h	m3/h					Perm. bar	Boost bar	Conc bar				
1-1	1578,2	6,7	3,7	13,6	0,4	24,3	1,05	0	0	51,1	138,4	SWC4-LD	3132	522 x 6M

Pass -	Element	Feed	Pressure	Conc	NDP	Permeate Water	Permeate Water	Beta		Permeate (Stagewise cumulative)			
Stage	no.	Pressure bar	Drop bar	Osmo. bar	bar	Flow m3/h	Flux l/mh		TDS	Ca	Mg	Na	Cl
1-1	1	51,5	0,11	28,3	23,9	0,9	24,3	1,05	58,4	0,008	0,035	21,845	33,301
1-1	2	51,4	0,09	32,3	19,9	0,7	19,2	1,04	69,8	0,01	0,042	26,116	39,813
1-1	3	51,3	0,08	36,1	16,1	0,5	14,6	1,03	83,5	0,011	0,05	31,222	47,6
1-1	4	51,2	0,06	39,4	12,3	0,4	10,5	1,03	99,9	0,014	0,06	37,353	56,948
1-1	5	51,2	0,06	42,2	9,3	0,3	7,5	1,03	118,3	0,016	0,071	44,26	67,482
1-1	6	51,1	0,05	44,5	7	0,2	5,4	1,02	138,4	0,019	0,083	51,775	78,944

Product performance calculations are based on nominal element performance when operated on a feed water of acceptable quality. The results shown on the printouts produced by this program are estimates of product performance. No guarantee of product or system performance is expressed or implied unless provided in a separate warranty statement signed by an authorized Hydronautics representative. Calculations for chemical consumption are provided for convenience and are based on various assumptions concerning water quality and composition. As the actual amount of chemical needed for pH adjustment is feedwater dependent and not membrane dependent, Hydronautics does not warrant chemical consumption. If a product or system warranty is required, please contact your Hydronautics representative. Non-standard or extended warranties may result in different pricing than previously quoted. Version : 2.231.90 %

Email : imsd-support@hydranauticsprojections.net

 www.membranes.com +1 760 901 2500

A-4_ TM810V Membrane

Report - System Overview Report

Page 1 of 7



System Overview Report

Project	94:TM820M-400
Case	1 test ro TM820M-400
Revision	0 TM820M-400
Calculation Mode	Feed Water Type: Sea Open; AutoBalance is ON
Errors, Warnings, Cautions and Notices	Errors:0, Warnings:12,Cautions:3,Notices:1. See Important Notes at end /E
Database Info :	Project Database :C:\Users\Walid\Documents\TorayDS2_v3\App_Data\DS2.mdf(Ver:2,8) Membrane Database (V.20165) :C:\Users\Walid\Documents\TorayDS2_v3\App_Data\TorayMembrane.mdf.

		Overall	Pass 1		
Raw water TDS	mg/l	34 813,2	34 813,2		
EC @25C / @25,00C	uS	51 165,4 / 51 165,4	51 165,4 / 51 165,4		
Feed Pressure	bar	0,0	140,5		
Temperature	deg C	25,00			
Total DP	bar	5,802	5,802		
Brine Pressure	bar	134,7	134,7		
Flow Allowance	3,00 yrs		0,850		
SP % Increase (Max)	3,00 yrs		22,50%		
Recovery	%	45,00%	45,0%		
Feed Flow	m3/day	84 213	84 213		
Product Flow	m3/day	37 896	37 896		
Average Flux	l/m2/hr	66,27	66,27		
Concentrate Flow	m3/day	46 317	46 317		
Product TDS	mg/l	97,62	97,62		
Concentrate TDS	mg/l	63 222	63 222		
Primary HP Pump kW	kilowatt	17 548,61	17 548,61		
Power Consumption	kWh/m^3	11,114	11,114		
Ions		Feed	Net Feed	Conc	Product
Ca	mg/l	340,7	340,7	619,1	0,288
Mg	mg/l	1 483	1 483	2 694	1,252
Na	mg/l	10 516	10 516	19 092	34,07
K	mg/l	289,3	289,3	525,0	1,311
Ba	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
Sr	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
NH4	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	mg/l	2,900	2,900	5,273	0,0
HCO3	mg/l	172,5	172,5	312,6	1,175
Cl	mg/l	19 224	19 224	34 907	55,63
SO4	mg/l	2 768	2 768	5 030	2,567
NO3	mg/l	0,510	0,510	0,925	0,0026
F	mg/l	2,120	2,120	3,846	0,0108

file:///C:/Users/Walid/Documents/TorayDS2_v3/Report/Html/134238450277914898.... 21/05/2026

Br	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
B(Boron)	mg/l	10,100	10,100	17,286	1,317
SiO2	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
PO4	mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0
CO3	mg/l	5,140	5,140	14,641	8,66E-05
CO2	mg/l	1,688	1,688	2,329	1,405
TDS	mg/l	34 813	34 813	63 222	97,62
EC @25C / @25,00C	uS	51 165 / 51 165	51 165 / 51 165	82 936 / 82 936	202,2 / 202,2
pH	pH	8,040	8,040	8,133	6,126
Osmotic Press (DS1 / Pitzer)	bar	25,691 / 24,99	25,691 / 24,99	46,097 / 46,84	0,082 / 0,08
LSI / SDSI		0,97 / 0,15	0,97 / 0,15	1,83 / 0,61	-5,70 / -5,74
CaSO4 / SrSO4 %	%	18,3% / 0,0%	18,3% / 0,0%	39,2% / 0,0%	0,0% / 0,0%
BaSO4 / SiO2 %	%	0,0% / 0,0%	0,0% / 0,0%	0,0% / 0,0%	
Pitzer % Solubility	Calcite/Dolomite	210% / 15 289%	210% / 15 289%	670% / 162 478%	
Pitzer % Solubility	CaSO4/SrSO4	18% / 0%	18% / 0%	37% / 0%	

Stage/Bank Data	Pass1	Stage 1
Lead Element Type		TM810V
Last Element Type		TM810V
Total Elements	3038	3038
Total Vessels	434	434
Elements per Vessel		7
Feed Flow	m3/day	84 213
Product Flow	m3/day	37 896
Average Flux	l/m2/hr	66,27
Brine Flow	m3/day	46 317
Recovery %	%	45,00 %
Feed Pressure	bar	140,5
dP Elements	bar	5,802
Boost Pressure	bar	0,0
Piping Loss	bar	0,0
Net (Boost - dP piping)	bar	0,0
Brine Pressure	bar	134,7
Permeate Pressure	bar	0,0
Feed TDS	mg/l	34 813
Perm TDS	mg/l	97,62
Lead Element	Pass1	Stage 1
Feed Flow	m3/day	194,0
Product Flow	m3/day	14,243
Product TDS	mg/l	65,93
Flux	l/m2/hr	75,67
Last Element	Pass1	Stage 1
Product Flow	m3/day	10,471
Product TDS	mg/l	153,1
Brine/Product Ratio	ratio	10,192
Brine Flow	m3/day	106,7

file:///C:/Users/Walid/Documents/TorayDS2_v3/Report/Html/134238450277914898.... 21/05/2026

TEL +65-6226-0525 FAX +65-6226-0509

Toray Bluestar Membrane Co., Ltd.
Zone B, Tianzhu Airport Industrial Zone, Beijing 101318, China
TEL +86-10-80485216 FAX +86-10-80485217

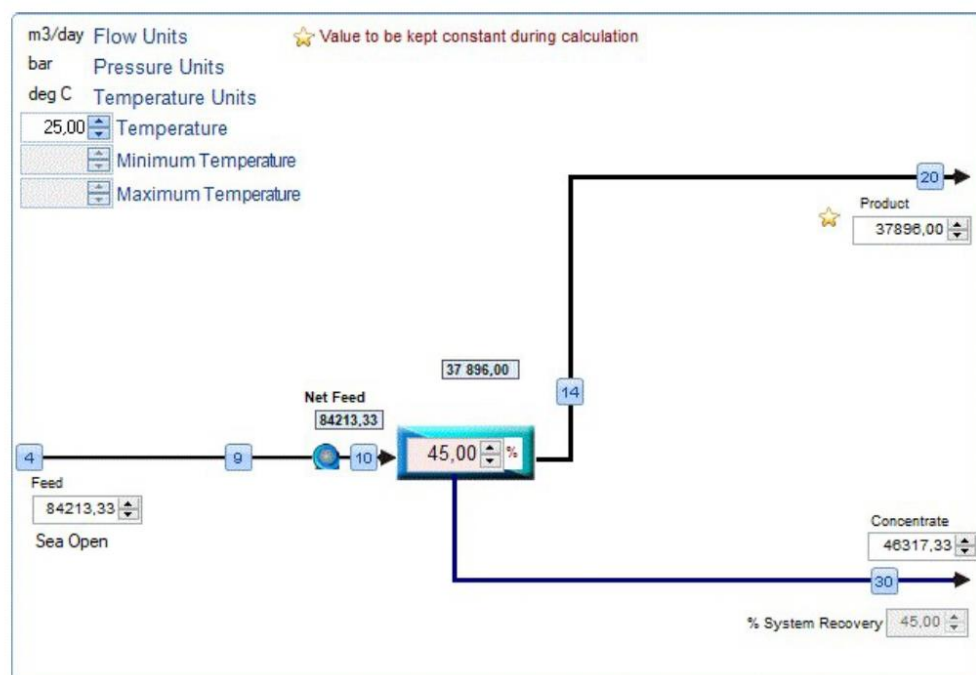
Toray Membrane Middle East LLC
P.O. Box 20279, Al Khobar 31952, Kingdom of Saudi Arabia
TEL +966-13-568-0091 FAX +966-13-568-0093

Toray Advanced Materials Korea Inc.
Korea Toray R&D Center 7, Magokdong-ro10-gil, Gangseo-gu, Seoul, 07790, Republic of Korea
TEL +82-2-3279-7389 FAX +82-2-3279-7088

<http://www.toraywater.com/>

Date/Time :	21/05/2026 15:50:27
Project	94:TM820M-400
Case :	1:test ro TM820M-400
Revision :	0:TM820M-400
User name :	ramzi
Prepared for :	
Notes :	
Membrane Database	
Version Number:	20165
ReleaseDate:	04/07/2025
UpdateBy:	YK
Toray DS2 version :	2.4.3.215(1.3.1.125)

Flow Diagram:



Stream Details

file:///C:/Users/Walid/Documents/TorayDS2_v3/Report/Html/134238450277914898.... 21/05/2026

Résumé :

Ce mémoire porte sur l'étude et l'optimisation d'un procédé de déminéralisation des eaux par osmose inverse à travers une approche basée sur la simulation numérique. L'objectif principal est d'évaluer les performances d'un système de dessalement d'eau de mer et de comparer deux outils de conception : IMSDesign et Toray RO Design Software. Une étude bibliographique présente les principes du dessalement, le fonctionnement des membranes d'osmose inverse, ainsi que les principaux paramètres influençant le procédé comme la pression, le flux, la récupération et les phénomènes de colmatage et d'entartrage. Les simulations réalisées montrent que les deux logiciels permettent d'obtenir une bonne qualité de perméat avec un rejet efficace des sels dissous. La configuration obtenue avec IMSDesign présente de meilleures performances énergétiques avec une consommation spécifique de 2,54 kWh/m³, contre 3,90 kWh/m³ pour Toray DS2. L'analyse des risques d'entartrage confirme la stabilité du système étudié, avec des niveaux de saturation acceptables pour les principaux composés susceptibles de former des dépôts. Cette étude met en évidence l'intérêt de la simulation numérique pour optimiser les installations d'osmose inverse, réduire la consommation énergétique et améliorer la conception des systèmes de dessalement.

Mots clés : Osmose inverse, dessalement, membranes, simulation, IMSDesign, Toray DS.

Summary :

This thesis focuses on the study and optimization of a water demineralization process by reverse osmosis using a numerical simulation approach. The main objective is to evaluate the performance of a seawater desalination system and compare two design and simulation tools: IMSDesign and Toray RO Design Software. A bibliographic study presents the principles of desalination, the operating mechanism of reverse osmosis membranes, and the main parameters affecting the process, such as pressure, flux, recovery rate, and fouling and scaling phenomena. The simulations carried out show that both software tools provide good permeate quality with efficient removal of dissolved salts. The configuration obtained using IMSDesign provides better energy performance, with a specific energy consumption of 2.54 kWh/m³, compared with 3.90 kWh/m³ for Toray DS2. The scaling risk analysis confirms the stability of the studied system, with acceptable saturation levels for the main compounds likely to cause deposits. This study highlights the importance of numerical simulation tools for optimizing reverse osmosis systems, reducing energy consumption, and improving the design of desalination plants.

Keywords: Reverse osmosis, desalination, membranes, simulation, IMSDesign, Toray DS.

الملخص :

يتناول هذا البحث دراسة وتحسين عملية نزع المعادن من المياه بواسطة التناضح العكسي باستخدام منهجية تعتمد على المحاكاة العددية. الهدف الرئيسي هو تقييم أداء نظام تحلية مياه البحر ومقارنة أداتين متخصصتين في التصميم والمحاكاة هما IMSDesign و Toray RO Design Software. تتضمن الدراسة النظرية مبادئ تحلية المياه، وآلية عمل أغشية التناضح العكسي، إضافة إلى أهم العوامل المؤثرة على أداء العملية مثل الضغط، التدفق، نسبة الاسترجاع، وظواهر الانسداد والترسبات المعدنية. أظهرت نتائج المحاكاة أن كلا البرنامجين يعطيان جودة جيدة للمياه المنتجة مع فعالية عالية في إزالة الأملاح الذائبة. كما أظهرت نتائج برنامج IMSDesign أداءً أفضل من حيث استهلاك الطاقة، حيث بلغت الطاقة النوعية المستهلكة 2.54 كيلوواط ساعة/م³ مقارنة بـ 3.90 كيلوواط ساعة/م³ بالنسبة لبرنامج Toray DS2. أكد تحليل مخاطر الترسبات المعدنية استقرار النظام المدروس، مع تسجيل مستويات تشبع مقبولة للمركبات الرئيسية التي يمكن أن تسبب تكوين الرواسب. تبرز هذه الدراسة أهمية استخدام أدوات المحاكاة العددية في تحسين أنظمة التناضح العكسي، وتقليل استهلاك الطاقة، وتحسين تصميم محطات تحلية المياه.

الكلمات المفتاحية: التناضح العكسي، تحلية المياه، الأغشية، المحاكاة العددية، IMSDesign، Toray DS.
