

Table des Matières

| | |
|------------------------------|----|
| Liste des tableaux | i |
| Liste des figures | v |
| Liste des abréviations | xi |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Introduction générale | 01 |
|------------------------------------|-----------|

Partie I : Partie théorique

CHAPITRE I : NOTIONS D'EAU

| | |
|--|-----|
| I. Généralités sur l'eau..... | 004 |
| I.1. Définition de l'eau..... | 004 |
| I.2. Importance de l'eau..... | 004 |
| I.3. Les besoins en eau..... | 004 |
| I.3.1. Besoins physiologiques..... | 004 |
| I.3.2. Besoins domestiques..... | 004 |
| II.Caractéristiques des eaux | 004 |
| II.1. Les eaux marines..... | 004 |
| II.2. Les eaux saumâtres..... | 005 |
| III.Composition de l'eau de mer..... | 005 |
| III.1 Espèces inorganiques | 005 |
| III.1.1. Constituants majeurs | 005 |
| III.1.2. Les éléments traces métalliques | 006 |
| III.1.3. Les éléments nutritifs | 006 |
| III.2.Matières organiques | 007 |
| III.2.1. Matières organiques dissoutes | 007 |
| III.2.2 Matières organiques particulières | 007 |
| IV.Répartition de l'eau douce sur la planète..... | 008 |
| V.Propriétés de l'eau..... | 009 |
| VI.Les paramètres de potabilité de l'eau..... | 009 |
| VI.1. Paramètres organoleptiques..... | 009 |
| VI.1.1. La couleur..... | 009 |
| VI.1.2. Goûts et odeurs..... | 009 |
| VI.1.3. La turbidité..... | 010 |
| VI.2. Paramètres physicochimiques..... | 010 |
| VI.2.1. La température..... | 010 |
| VI.2.2. pH..... | 010 |
| VI.2.3. Matières en suspension..... | 010 |
| VI.2.4. La conductivité électrique..... | 010 |
| VI.2.5. La dureté totale..... | 010 |
| VI.2.6. Solubilité des gaz dans l'eau..... | 011 |
| VI.2.7. L'alcalinité..... | 011 |
| VI.2.8. Cations et anions..... | 011 |
| VI.2.9. Les nitrates et les nitrites..... | 011 |
| VI.2.10. Pollution des eaux par les métaux lourds..... | 012 |
| VI.3. Paramètres microbiologiques..... | 012 |

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

| | |
|--|-----|
| I. Définition..... | 014 |
| II. Histoire du dessalement..... | 014 |
| III. Dessalement en Algérie..... | 014 |
| IV. Conception d'une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse..... | 014 |
| V. Etapes de dessalement par osmose inverse..... | 015 |
| V.1. Poste de pompage..... | 015 |
| V.2. Poste de prétraitement..... | 015 |
| V.3. Poste de dessalement (OI)..... | 016 |
| V.3.1. Constitution d'un système d'osmose inverse..... | 016 |
| V.3.2. Fonctionnement d'un poste d'osmose inverse..... | 016 |
| V.4. Poste de traitement..... | 017 |
| V.4.1. Les traitements de neutralisation ou de reminéralisation des eaux..... | 017 |
| V.4.2. La désinfection..... | 017 |
| V.4.3. L'aération..... | 018 |
| VI. Impacts environnementaux..... | 018 |
| VI.1. Evacuation de la saumure..... | 018 |
| VI.2. Rejet des produits de traitement..... | 018 |
| VII. coût d'investissement et d'exploitation..... | 018 |

CHAPITRE III : SEPARATION MEMBRANAIRE

| | |
|--|-----|
| I. Historique des membranes..... | 019 |
| II. Généralités sur les procédés membranaires..... | 019 |
| III. Osmose inverse..... | 020 |
| III.1. Définition..... | 020 |
| III.2. Principes de l'osmose inverse..... | 021 |
| III.2.1. Pression osmotique..... | 021 |
| III.2.2. Mécanisme diffusionnel..... | 021 |
| III.3. Condition de fonctionnement..... | 022 |
| III.4. Modèle phénoménologique de transfert de matière..... | 023 |
| III.4.1. Grandeurs de transferts caractéristiques..... | 023 |
| III.4.2. Polarisation de concentration..... | 025 |
| III.4.3. Prédiction de la sélectivité à partir de grandeurs phénoménologiques..... | 028 |
| III.5. Récupération d'énergie..... | 029 |
| III.5.1. Installation avec récupération sur un turbo compresseur..... | 029 |
| III.5.2. Installation avec échangeur de pression (PX)..... | 030 |
| III.6. Configuration des modules..... | 031 |
| III.6.1. Module plan ou filtre-presse..... | 031 |
| III.6.2. Modules spirales (SW)..... | 032 |
| III.6.3. Modules tubulaires..... | 032 |
| III.6.4. Modules fibres creuses..... | 032 |
| III.7. Avantage..... | 032 |
| III.7.1. Avantages des techniques membranaires..... | 032 |
| III.7.2. Avantages en exploitation..... | 032 |
| III.8. Comparaison avec d'autres procédés..... | 032 |
| IV. Membrane..... | 033 |
| IV.1. Définition..... | 033 |
| IV.2. Modes de fonctionnement..... | 033 |
| IV.2.1. Filtration frontale..... | 033 |
| IV.2.2. Filtration tangentielle..... | 034 |
| IV.3. Types de membrane..... | 034 |
| IV.3.1. De par leur nature..... | 034 |
| IV.3.2. De par leur porosité..... | 035 |
| IV.3.2.1. Membranes poreuses..... | 035 |

| | |
|---|-----|
| IV.3.2.2 Membranes denses..... | 035 |
| IV.3.3. De par leur fabrication..... | 035 |
| IV.3.3.1 Membranes anisotropes (ou asymétriques)..... | 036 |
| IV.3.3.2 Membranes composites..... | 036 |
| IV.3.3.3 Membranes à charge électrique..... | 036 |
| IV.4 Structure de matériaux membranaire..... | 037 |
| IV.4.1- Les membranes organiques..... | 037 |
| IV.4.2. Les membranes minérales ou inorganiques..... | 037 |
| IV.4.3. Les membranes composites..... | 038 |
| IV.4.4. Les membranes liquides..... | 038 |
| IV.4.5. Les membranes échangeuses d'ions (MEI)..... | 038 |
| IV.4.6. Les sites fonctionnels utilisés..... | 039 |
| IV.4.7. Les textiles échangeurs d'ions..... | 039 |
| IV.5.Caractéristiques des membranes..... | 040 |
| IV.5.1. Sélectivité d'une membrane..... | 040 |
| IV.5.2. Perméabilité d'une membrane..... | 041 |
| IV.5.3. Résistance d'une membrane..... | 042 |
| IV.6.Vie utile des membranes..... | 042 |
| IV.7. Les ennemis de la membrane..... | 043 |
| IV.7.1. Pression d'opération..... | 043 |
| IV.7.2. Température..... | 044 |
| IV.7.3. Une sève mal filtrée..... | 044 |
| IV.7.4 Le développement bactérien..... | 044 |
| IV.8. L'entretien des membranes..... | 045 |
| V. Colmatage..... | 046 |
| V.1 Concepts liés au colmatage..... | 046 |
| V.2 Colmatage d'une membrane..... | 047 |
| V.3 Facteurs influençant le colmatage..... | 048 |
| V.4 Modèle des résistances en série..... | 048 |
| V.5 Lois du colmatage..... | 049 |
| V.6 Impact des prétraitements sur le colmatage membranaire..... | 052 |
| V.6.1 Ozonation..... | 052 |
| V.6.2 Filtration sur charbon actif biologique..... | 052 |

Partie II : Partie expérimentale

CHAPITRE IV : Matériels et méthodes

| | |
|--|-----|
| IV.1. Introduction..... | 053 |
| IV.2. Objectif..... | 053 |
| IV.3. Le pilote TE200..... | 053 |
| IV.4. Description du pilote..... | 054 |
| IV.4.1. Construction..... | 054 |
| IV.4.2. Instrumentation..... | 055 |
| IV.4.3. Liste des vannes..... | 057 |
| IV.5. Expériences..... | 058 |
| IV.5.1. Préliminaires..... | 058 |
| IV.5.2. Procédure de démarrage du pilote..... | 059 |
| IV.5.3. Production d'eau osmosée..... | 060 |
| IV.5.4. Procédure générale d'arrêt..... | 060 |
| IV.5.5. Détermination de la perméabilité de la membrane..... | 061 |
| IV.5.6.Manipulation (Rétention globale du module)..... | 061 |
| IV.6. Description des appareillages de mesure..... | 062 |
| IV.6.1. Le conductimètre..... | 062 |
| IV.6.2. Agitateur..... | 062 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| IV.6.3. La balance électronique..... | 063 |
|--------------------------------------|-----|

CHAPITRE V : Résultats et Interprétations

| | |
|---|-----|
| V.1. Perméabilité de la membrane au solvant..... | 064 |
| <u>Pour une pression de 5 bars</u> | |
| V.2 Etude de la rétention globale du module..... | 065 |
| V.2.1 pour une concentration de 2 g/l..... | 065 |
| V.2.1.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 065 |
| V.2.1.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 066 |
| V.2.1.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 066 |
| V.2.1.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 068 |
| V.2.1.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 069 |
| V.2.2 pour une concentration de 2,5 g/l..... | 069 |
| V.2.2.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 069 |
| V.2.2.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 070 |
| V.2.1.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 070 |
| V.2.2.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 072 |
| V.2.1.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 073 |
| V.2.3 pour une concentration de 3 g/l..... | 073 |
| V.2.3.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 074 |
| V.2.3.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 074 |
| V.2.3.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 075 |
| V.2.3.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 076 |
| V.2.3.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 077 |
| <u>Pour une pression de 7 bars</u> | |
| V.2.4 pour une concentration de 3 g/l..... | 077 |
| V.2.4.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 077 |
| V.2.4.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 078 |
| V.2.4.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 078 |
| V.2.4.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 080 |
| V.2.4.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 081 |
| V.2.5 pour une concentration de 3,5 g/l..... | 081 |
| V.2.5.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 082 |
| V.2.5.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 082 |
| V.2.5.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 083 |
| V.2.5.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 084 |
| V.2.5.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 085 |
| V.2.6 pour une concentration de 4 g/l..... | 085 |
| V.2.6.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 086 |
| V.2.6.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 086 |
| V.2.6.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 087 |
| V.2.6.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 088 |
| V.2.6.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 089 |
| <u>Pour une pression de 9 bars</u> | |
| V.2.7 pour une concentration de 4 g/l..... | 089 |
| V.2.7.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 089 |
| V.2.7.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 090 |
| V.2.7.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 090 |
| V.2.7.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 092 |
| V.2.7.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 093 |
| V.2.8 pour une concentration de 4,5 g/l..... | 093 |
| V.2.8.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 094 |
| V.2.8.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 094 |
| V.2.8.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 095 |
| V.2.8.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 096 |

| | |
|--|-----|
| V.2.8.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 097 |
| V.2.9 pour une concentration de 5 g/l..... | 097 |
| V.2.9.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 098 |
| V.2.9.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 098 |
| V.2.9.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 099 |
| V.2.9.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 100 |
| V.2.9.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 101 |
| V.2.10 pour une concentration de 5,5 g/l..... | 101 |
| V.2.10.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 102 |
| V.2.10.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 102 |
| V.2.10.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 103 |
| V.2.10.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 104 |
| V.2.10.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 105 |
| <u> Pour une pression de 11 bars</u> | |
| V.2.11 pour une concentration de 3 g/l..... | 105 |
| V.2.11.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 106 |
| V.2.11.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 106 |
| V.2.11.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 107 |
| V.2.11.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 108 |
| V.2.11.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 109 |
| V.2.12 pour une concentration de 3,5 g/l..... | 109 |
| V.2.12.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 109 |
| V.2.12.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 110 |
| V.2.12.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 110 |
| V.2.12.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 112 |
| V.2.12.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 113 |
| V.2.13 pour une concentration de 4 g/l..... | 113 |
| V.2.13.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 113 |
| V.2.13.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 114 |
| V.2.13.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 114 |
| V.2.13.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 116 |
| V.2.13.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 117 |
| V.2.14 pour une concentration de 4,5 g/l..... | 117 |
| V.2.14.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 117 |
| V.2.14.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 118 |
| V.2.14.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 118 |
| V.2.14.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 120 |
| V.2.14.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 121 |
| V.2.15 pour une concentration de 5 g/l..... | 121 |
| V.2.15.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 121 |
| V.2.15.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 122 |
| V.2.15.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 122 |
| V.2.15.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 124 |
| V.2.15.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 125 |
| V.2.16 pour une concentration de 5,5 g/l..... | 125 |
| V.2.16.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 125 |
| V.2.16.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 126 |
| V.2.16.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 126 |
| V.2.16.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 128 |
| V.2.16.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 129 |
| V.2.17 pour une concentration de 6 g/l..... | 129 |
| V.2.17.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 130 |
| V.2.17.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 130 |
| V.2.17.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 131 |
| V.2.17.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 132 |

| | |
|--|------------|
| V.2.17.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 133 |
| V.2.18 pour une concentration de 6,5 g/l..... | 133 |
| V.2.18.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 134 |
| V.2.18.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 134 |
| V.2.18.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 135 |
| V.2.18.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 136 |
| V.2.18.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 137 |
| V.2.19 pour une concentration de 7 g/l..... | 137 |
| V.2.19.1 : La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps..... | 138 |
| V.2.19.2 : La variation du volume du perméat en fonction du temps..... | 138 |
| V.2.19.3 : La variation du volume de la rétention globale du module..... | 139 |
| V.2.19.3.1 : La variation de la rétention globale en fonction du temps..... | 140 |
| V.2.19.3.2 : La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat..... | 141 |
| V.3. Etudes concernant la pression d'alimentation..... | 141 |
| V.3.1. pour une concentration de 3 g/l..... | 141 |
| V.3.1.1. pression 5 bar..... | 141 |
| V.3.1.2. Pression 7 bar..... | 141 |
| V.3.1.3. Pression 11 bar..... | 142 |
| V.3.2. Pour concentration =4g/l..... | 142 |
| V.3.2.1. Pression 7 bar..... | 142 |
| V.3.2.2. Pression 9 bar..... | 143 |
| V.3.2.3. Pression 11 bar..... | 143 |
| V.3.3. pour une concentration de 5.5 g/l : | 144 |
| V.3.3.1. pression 9bar..... | 144 |
| V.3.3.2. Pression 11 bar..... | 144 |
| V.4. Interprétations des Résultats..... | 145 |
| V.4.1. Pour une pression de 5 bars..... | 145 |
| V.4.2. Pour les pressions de 7, 9 et 11 bars..... | 146 |
| V.4.3. Etudes concernant la différence de pression de part et d'autre de la membrane (ΔP)..... | 146 |
| V.4.4. Etudes concernant la pression d'alimentation : | 147 |
| Conclusion générale..... | 152 |
| Annexe..... | 154 |
| Bibliographie..... | 180 |

Liste des Tableaux

Chapitre I : Notion D'Eau

- Tableau 1.1 :** Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35 mg.kg^{-1}
- Tableau 1.2 :** Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer.
- Tableau 1.3 :** Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer
- Tableau 1.4 :** La répartition de l'eau douce et salée sur la planète.
- Tableau 1.5 :** Pourcentage de la population privée d'accès à l'eau potable et l'assainissement par région.
- Tableau 1.6 :** Principaux effets associés aux métaux lourds
- Tableau 1.7 :** Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables

Chapitre III : Séparation Membranaire

- Tableau 3.1 :** corrélations de sherwood principales – Coefficients $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ (éq)
- Tableau 3.2 :** Lois du colmatage selon le modèle d'Hermia (1982)
- Tableau 3.3 :** Les différents UEFI dans la littérature

Chapitre V : Résultats et Interprétations

- Tableau 5.1 :** Résultats des débits de perméat en fonction de pression
- Tableau 5.2 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 10 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 2$ g/l)
- Tableau 5.3 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 2$ g/l)
- Tableau 5.4 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C = 2$ g/l)
- Tableau 5.5 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 1,5$ bar ; $C = 2$ g/l)
- Tableau 5.6 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 2,5$ g/l)
- Tableau 5.7 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 2,5$ g/l)
- Tableau 5.8 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C = 2,5$ g/l)
- Tableau 5.9 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 5 bars ; $\Delta P = 1,5$ bar ; $C = 2,5$ g/l)
- Tableau 5.10 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 10 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 3$ g/l)
- Tableau 5.11 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 10 bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 3$ g/l)
- Tableau 5.12 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 10 bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C = 3$ g/l)
- Tableau 5.13 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.
(Pentrée = 10 bars ; $\Delta P = 1,5$ bar ; $C = 3$ g/l)
- Tableau 5.14 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.

Liste des Figures

Chapitre I : Notion D'Eau

Figure I.1 : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer

Chapitre II : Généralités Sur Le Dessalement De L'eau De Mer

Figure II.1 : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

Figure II.2 : Photos de trois unités d'ultrafiltration différentes : (a)- Unité d'Ultrafiltration avec des membranes céramiques, (b)- Unité d'Ultrafiltration avec des membranes spiralées, (c)- Unité d'Ultrafiltration avec des membranes tubulaires.

Chapitre III : Séparation Membranaire

Figure III.1 : Profils du potentiel chimique, de la pression et de l'activité (Concentration molaire) d'une espèce perméant par diffusion sous l'action d'un gradient de pression.

Figure III.2 : Représentation schématique du profil de concentration d'un soluté et de son accumulation en surface d'une membrane sélective au sein de la couche limite de polarisation de concentration.

Figure III.3 : Rétention intrinsèque et observée en fonction du flux de perméation.

Figure III.4 : Installation avec turbo-compresseur

Figure III.5 : Turbo sur une unité SH62-918 pour un débit eau de mer de 18m³/h.

Figure III.6 : Osmoseur.SSH62-928 équipé d'un turbo

Figure III.7 : Installation avec échangeur de pression PX

Figure III.8 : Echangeur type PX 180 sur l'une des unités SLCE de 500 m³/jour de l'installation d'Anau sur l'île de Bora-Bora

Figure III.9 : Présentation du fonctionnement de la filtration frontale

Figure III.10 : Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle.

Figure III.11 : Description des différents types de membrane

Figure III.12 : Image prise par MEB d'une membrane composite de polypyrrole préparée par Polymérisation interfaciale

Figure III.13 : Représentation schématique d'une membrane échangeuse de cations

Figure III.14 : Evolution du taux de rejet en fonction du ratio rayon de soluté/ rayon du pore.

Figure III.15 : Evolution du taux de rejet observé avec le flux (ou le nombre de Péclet)

Figure III.16 : Vie utile théorique d'une membrane exprimée en perte d'efficacité en fonction du temps d'opération.

Figure III.17 : Courbes schématiques illustrant les causes d'une perte d'efficacité d'une membrane O.I.

Figure III.18 : Courbes théoriques illustrant les causes et le taux de développement des populations bactériennes dans la sève.

Figure III.19 : Filtration d'eau de surface par une membrane UF (Carbure de silicium, $D_{\text{pores}} = 0,005 \mu\text{m}$, 100 l/mh)

Figure III.20 : Cycle de filtration d'eau de rivière par une membrane céramique UF (Carbure de silicium, $D_{\text{pores}} = 0.005 \mu\text{m}$, 100 l/mh)

Figure III.21 : Différentes résistances hydrauliques s'appliquant lors du colmatage d'une membrane

Figure III.22 : Calcul des UMFI, cas de l'ultrafiltration d'une eau de surface (Carbure de silicium, $D_{\text{pores}} = 0.005 \mu\text{m}$, 100 l/mh).

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

Figure IV.1: photo de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

Figure VI.2: Construction de pilot TE 200.

Figure IV.3: Photo de conductimètre (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

Figure IV.4: Photo de l'agitateur (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

Figure IV.5: Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)

Chapitre V : Résultats et Interprétations

Figure V.1: Perméabilité de la membrane au solvant.

Figure V.2: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2\text{g/l}$).

Figure V.3: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2\text{g/l}$).

Figure V.4: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2 \text{ g/l}$).

Figure V.5: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2 \text{ g/l}$).

Figure V.6: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2 \text{ g/l}$).

Figure V.7: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5\text{g/l}$).

Figure V.8: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5\text{g/l}$).

Figure V.9: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5 \text{ g/l}$).

- Figure V.10:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5$ g/l).
- Figure V.11:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5$ g/l).
- Figure V.12 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.13:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.14:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.15:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.16:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.17:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.18:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.19:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.20:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.21:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.22 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.23:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.24:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.25:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.26:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.27:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.28:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.29:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.30:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.31:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.32:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.33:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l)
- Figure V.34:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.35:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).

- Figure V.36:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4$ g/l).
- Figure V.37:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5$ g/l).
- Figure V.38:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5$ g/l)
- Figure V.39:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5$ g/l).
- Figure V.40:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5$ g/l).
- Figure V.41:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5$ g/l).
- Figure V.42:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l).
- Figure V.43:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l)
- Figure V.44:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l).
- Figure V.45:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l).
- Figure V.46:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l).
- Figure V.47 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).
- Figure V.48:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l)
- Figure V.49:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).
- Figure V.50:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).
- Figure V.51:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).
- Figure V.52:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.53:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l)
- Figure V.54:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.55:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.56:** La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).
- Figure V.57:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.58:** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l)
- Figure V.59:** La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).
- Figure V.60:** La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).

0.5;1; 1.5 ; C=6 g/l).

Figure V.87: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5g/l).

Figure V.88: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5g/l)

Figure V.89: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

Figure V.90: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

Figure V.91: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

Figure V.92: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l).

Figure V.93: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l)

Figure V.94: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

Figure V.95: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

Figure V.96: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0$; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

Figure V.97: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 ; 7 ; 11$ bars ; $\Delta P=1$; C=3 g/l).

Figure V.98: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7 ; 9 ; 11$ bars ; $\Delta P=1$; C=4 g/l).

Figure V.99: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}= 9 ; 11$ bars ; $\Delta P=1$; C=5,5 g/l).

Liste des Abréviations

A : Perméabilité au solvant.
B : La perméabilité de la membrane au soluté.
C : Concentration.
C_m : La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane.
C_p : Concentration de perméat.
FC : Facteur de conversion.
i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte.
J_m: Flux massique de solvant.
J_{soluté} : Le flux massique de soluté.
J_{solvant} : Le flux massique de solvant.
J_{v1} : Flux volumique de solvant.
MES : Matière en suspension.
MF : Microfiltration.
MFI: Modified Fouling Index.
MFI-UF: Modified Fouling Index by using Ultrafiltration membrane.
MSF: Multi-Flash.
NF: Nanofiltration.
OI : Osmose Inverse.
P : Pression
P_e : Pression efficace.
PH : Potentiel d'Hydrogène.
PS : Passage de sels.
Q₀ : Débit d'alimentation.
Q_A : Débit d'alimentation.
Q_c : Débit de concentrât.
Q_p : Débit de perméat.
R : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol⁻¹K⁻¹).
R : Sélectivité.
R_m: Réention globale du module.
RS : Rejet de sels.
S : Surface.
SDI : Silt Density Index.
T : Température.
TDS : Total de Sel Dissous.
UF : Ultrafiltration.
V : Volume.
VC : Compression de Vapeur.
Y : Taux de conversion.
γ : Facteur de polarisation.
ΔP : La différence de pression de part et d'autre de la membrane ;
ΔΠ: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.
Π : Pression osmotique.
ρ: La masse volumique.

Introduction Générale

Introduction Générale :

L'eau est source de vie pour la flore et la faune, elle est une substance essentielle pour la survie de l'humanité et de son développement.

Si l'eau douce disponible au niveau des lacs, fleuves, rivières et eaux souterraines ne représente que **2,5 %** du volume total d'eau sur la planète, les mers et les océans couvrent par contre **74%** de la terre et représentent **97%** du volume d'eau.

La répartition de l'eau douce et salée sur la planète d'établit comme suit :

- Eau douce 35 millions de Km³ soit 2,5 %
- Eau souterraine 8 millions de Km³ soit 0,56 %
- Lacs et réservoirs 105.000 Km³ soit 0,3%
- Eau salée 1.365.000.000 Km³ soit 97%

Dix pays de l'hémisphère Nord se partagent **60%** des réserves d'eau douce, tandis que trente pays d'Afrique et du moyen orient sont confrontés à des pénuries d'eau. Cela signifie que **700 millions de** personnes souffrent d'un manque d'eau, que la mortalité infantile est très importante dans ces pays selon l'OMS due aux maladies d'origine hydrique et aux agents microbiologiques responsables de choléra, de fièvre typhoïde, de dysenterie et de gastro entérite. Le PNUE (programme des nations unies pour l'environnement) estime que **2,5 milliards** de personnes souffriront du manque d'eau à cause de l'explosion démographique **en 2050**. Cela s'accompagnera sans doute par des tensions entre pays qui partagent des ressources communes voir même des conflits entre pays voisins (partage problématique des eaux du Nil entre l'Égypte, le Soudan, et l'Éthiopie. Le Tigre, l'Euphrate et le Jourdain n'échappent pas à la logique de survie des peuples et constituent un foyer de tension régional au moyen orient).

L'eau dans la région est une arme politique et de contrôle, elle affaiblit les populations adverses en restreignant leurs accès à l'eau. En 1996 Israël et la Jordanie ont signé un traité de partage des eaux du Yarmouk et du Jourdain. La Chine par exemple accepte de laisser couler le fleuve Irtych et la rivière Ili jusqu'au Kazakhstan qui accepte en échange des prix favorables sur le pétrole Kazakh. Certains pays développés comme la Chine, l'Australie ou encore l'Inde amorcent le même virage. Toujours est-il que le problème de la rareté de l'eau subsistera en raison des changements climatiques

qui bouleverseront les données socio-économiques des pays à faible pluviométrie (déplacement des populations vers les régions plus clémentes).

Les nouvelles techniques de production d'eau potable viendront sans doute au secours des populations constamment en déplacement, permettront un développement économique durable , apaiseront les tensions entre pays voisins et conduiront peut être vers une rationalisation dans la gestion de l'eau. Il s'agit du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres facilement accessible pour les pays ayant une façade sur la mer.

Pour les pays d'Afrique subsaharienne à faible pluviométrie , les techniques de production d'eau potable consistent dans les traitements des eaux de surface et des eaux souterraines(lacs , fleuves etc ...). La technique du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres devient ainsi la solution indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans les régions de pénuries en eau douce à forte concentration humaine essentiellement (**70% de la population mondiale occupent les régions près des côtes maritimes**).

La première usine de dessalement d'eau saumâtre par osmose a vu le jour à la fin des années 1960. Le procédé de purification par osmose inverse est actuellement le procédé le plus utilisé à travers le monde par la plupart des unités de dessalement de l'eau de mer. Cette technique est la solution salutaire face à cette problématique.

Le marché pour les équipements des stations de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres est en pleine expansion *de l'ordre de 9% par an*. La banque *Goldman Sachs* estime que le marché compte plus *de 15.000 usines* dont la moitié est localisée au moyen orient , *évalué à plus de 5Milliards de Dollars* . Le marché est donc porteur eu égard à la situation de stress hydrique des deux tiers de la population mondiale et au déplacement des populations des zones rurales des pays en développement. Deux types de procédés sont utilisés pour dessaler l'eau de mer :

- 1/ Les procédés thermiques de distillation qui se sont fortement développés à partir des années 1940
- 2/ Les procédés membranaires qui ont vu le jour à la fin des années 1960

A l'heure actuelle , **53%** des capacités mondiales d'eau produites par dessalement selon le procédé membranaire est l'osmose inverse qui a largement dépassé celui de la distillation depuis 2001. L'osmose inverse présente l'intérêt de pouvoir fonctionner à température ambiante et de produire une eau de bonne qualité et constante quelles que soient les variations de la qualité de l'eau brute. Le taux de rejet de sel peut être **supérieur à 99%**. Toutefois, le principal problème rencontré lors de l'utilisation de l'osmose inverse est le colmatage des membranes. Les membranes d'osmose arrêtent toutes les matières en suspension. Pour conserver l'efficacité de

celles-ci, il est indispensable de rendre l'eau de mer aussi limpide que possible avant leur utilisation. Le pré-traitement constitue un point critique pour ce procédé puisqu'une eau de mauvaise qualité réduit la durée de vie des membranes.

L'objectif du travail que nous avons entrepris consiste à étudier et analyser le procédé d'osmose inverse dans le dessalement des *eaux fortement saumâtres* à l'aide *du pilote TE200* qui est considéré comme une petite station de dessalement par osmose inverse.

Le manuscrit se décompose en deux parties principales *A et B*, qui à leur tour se divisent en plusieurs chapitres. La partie *A* concerne l'étude bibliographique et comporte trois chapitres :

Chapitre I : Etude bibliographique sur les différentes propriétés, origines et sources des eaux et les principales caractéristiques des eaux pouvant être dessalées (eaux marines et saumâtres)

Chapitre II : Présentation de la connaissance générale sur les techniques de dessalement

Chapitre III : Etude théorique sur la filière de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse

La partie *B* présente l'étude expérimentale sur le procédé d'osmose inverse dans le dessalement des eaux fortement saumâtres subdivisée en deux chapitres :

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Chapitre V : Résultats et interprétations

Chapitre I :

Notion d'Eau

1. Généralités sur l'eau :

L'eau est une ressource vitale essentielle conditionnant la vie et l'existence des êtres vivants, Sans cet élément la terre ne serait qu'un astre mort, semblable à ce que la lune est demeurée depuis sa formation.

La terre est souvent appelé la planète bleue parce que l'eau recouvre la majorité de la surface de la terre ; environ 71% [1].

1.1. Définition de l'eau :

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur à l'état pur, et est liquide a température ordinaire. Elle est formée de deux volumes hydrogénés et un volume d'oxygène.

Une eau pure est une eau de haute qualité garantissant une bonne santé. La qualité de l'eau doit impérativement être conforme aux normes de potabilité au niveau bactériologiques et physico-chimique [2].

1.2. Importance de l'eau :

L'eau est indispensable à tous les êtres vivants, il est possible de jeuner un mois sans danger considérable, mais on ne peut 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 et de transporter des vitamines hydrosolubles qui seront grâce à l'eau mieux absorbées par les muqueuses intestinales. En revanche une perte d'eau de 12% peut provoquer la mort [3].

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 ces caractéristiques.

1.3. Les besoins en eau :

Les besoins en eau des hommes sont de nature variée, physiologiques pour une part, liés à leurs cultures et à leurs industries d'autre part [4].

1.3.1. Besoins physiologiques :

Premièrement, on distingue les besoins physiologiques qui sont faibles, Il suffit, en climat tempéré, d'un litre et demi de boissons chaque jour. Alors que durant les temps chauds, (l'été) les besoins sont multipliés et dépassent parfois les 5 litres.

1.3.2. Besoins domestiques :

Les besoins domestiques sont des besoins liés à la culture et à l'industrie. Ces besoins la sont plus divers. Les propriétés calorifiques de l'eau sont utilisées pour la cuisson aussi bien pour les usages industriels, le refroidissement et le chauffage.

A partir de cela, on constate l'utilité et l'importance de l'eau dans la création et le maintien de la vie, dans l'essor techno-industriel devient évident [5].

2. Caractéristiques des eaux

2.1. Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.L⁻¹ (27,2 g.L⁻¹ de NaCl, 3,8 g.L⁻¹ de MgCl₂, 1,7 g.L⁻¹ MgSO₄, 1,26 g.L⁻¹ CaSO₄, 0,86 g.L⁻¹ K₂SO₄).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

mer Méditerranée : 36 à 39 g.L⁻¹, mer Rouge : environ 40 g.L⁻¹, mer Caspienne : 13 g.L⁻¹, mer Morte : 270 g.L⁻¹, Golfe Arabo-Persique : 36 à 39 g.L⁻¹.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique [6].

2.2. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversé. 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 CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl[7].

3. Composition de l'eau de mer

Le terme eau de mer regroupe l'eau salée des mers et des océans à la surface de la terre. Elles occupent un volume estimé à 1 340 millions de km³, ce qui représente 97 % de la capacité totale des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre. L'existence des sels dans l'eau de mer modifie les caractéristiques de l'eau : par exemple la masse volumique moyenne de l'eau de mer est de 1,03×10³ kg.m⁻³. Les paragraphes suivants présentent la composition de l'eau de mer : un ensemble complexe d'espèces inorganiques et organiques.

3.1. Espèces inorganiques

3.1.1. Constituants majeurs

En 1819, Marcet fait analyser des eaux de mer provenant de diverses parties du domaine océanique et remarque que si les spécimens diffèrent les uns des autres par leur teneur globale en sel, ils contiennent tous les mêmes ingrédients, et dans des proportions identiques les uns par rapport aux autres. Des décennies plus tard, Maury (1855) et Dittmar (1884) affirment comme une règle générale que les constituants de l'eau de mer sont aussi constants que ceux de l'atmosphère, hors éléments polluants apportés par l'activité humaine. Cette propriété est évoquée sous l'appellation de « principe de Marcet », tandis qu'en français l'expression « loi de Dittmar » est plus volontiers utilisée. Plus de 92 éléments naturels ont été analysés et détectés dans l'eau de mer. En pratique, on retient comme constituants principaux ceux qui sont présents en concentration supérieure à 1 mg.kg⁻¹. Ils sont énumérés dans le tableau 01.

Tableau 1.1. : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35 mg.kg⁻¹ [8].

| constituant | Concentration (mg*kg ⁻¹) |
|---|--------------------------------------|
| Na ⁺ | 10 770 |
| Mg ⁺² | 1 290 |
| Ca ⁺² | 412.1 |
| K ⁺ | 399 |
| Sr ⁺² | 7.9 |
| | 4.5 |
| B _{total} | 19 354 |
| Cl ⁻ | 2 712 |
| SO ₄ ⁻² | 118-146 |
| HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻² | 67.3 |
| B ⁺ | 1.3 |
| F ⁻ | |

3.1.2. Les éléments traces métalliques

Les « éléments traces métalliques » (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (10^{-3} mg.kg⁻¹) en masse, ou moins. Le tableau 2 représente les principaux éléments traces métalliques dans l'eau de mer.

Tableau 1.2. Concentration moyenne des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer.

| Constituant | Concentration (*10 ⁻³ mg kg ⁻¹) |
|---------------|--|
| Titane, Ti | 1 |
| Zinc, ZN | 0.5 |
| Nickel, Ni | 0.48 |
| Aluminium, Al | 0.4 |
| Chrome, Cr | 0.3 |
| Cadmium, Cd | 0.1 |
| Cuivre, Cu | 0.1 |
| Fer, Fr | 0.055 |
| Manganèse, Mn | 0.03 |
| Plombe, Pb | 0.002 |
| Mercure, Hg | 0.001 |

3.1.3. Les éléments nutritifs

Le carbone est un élément essentiel à la vie sur terre. Cependant, du fait de la prédominance du dioxyde de carbone parmi les gaz dissous, la disponibilité du carbone dissous n'est généralement pas considérée comme un facteur limite pour l'assimilation biologique, et le carbone n'est donc pas classifié comme un nutriment. Le terme d'« éléments nutritifs » comprend donc principalement le nitrate (NO³⁻) et l'ammoniac (NH⁴⁺), le phosphore sous forme phosphate (PO⁴³⁻) et le silicium tel que la silice (SiO₂). Les nutriments sont utilisés par les phytoplanctons, cellules végétales de taille d'un à quelques centaines de microns qui dérivent à la surface des océans et photosynthétisent des hydrates de carbone, de l'oxyde de carbone et de l'eau. Le tableau 03 présente les teneurs moyennes en éléments nutritifs dans l'eau de mer.

Tableau 1.3. Principaux éléments nutritifs dans l'eau de mer [9].

| Élément nutritifs | Espèces dissoutes possibles | Concentration (mg kg ⁻¹) |
|-------------------|--|--------------------------------------|
| Azote | N ₂ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁻ | 11.5 |
| Silicium | Si(OH) ₄ | 2 |
| Phosphore | HPO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ | 0.06 |

3.2. Matières organiques

L'océan est le réservoir principal du carbone organique sur terre, qui contient environ 1018 g de carbone [10]. La plupart du carbone organique dans l'océan est sous la forme de matière organique dissoute et principalement de molécules à faible poids moléculaire. Seulement 1% du carbone organique est de la matière organique particulaire [11]. Environ 75 % du carbone organique dissous est de la matière organique

dissoute de faible poids moléculaire. Une procédure largement utilisée pour séparer les matières organiques dissoutes des fractions particulières est une filtration à travers une membrane ayant des pores de 0,2 à 1,0 µm. Le plus souvent, une membrane avec des pores de 0,45 µm est utilisée [9,12]. La figure 1 donne une représentation très schématique et simplifiée de la gamme de taille et des types de matières organiques dans l'eau de mer. La concentration des matières organiques dissoutes et particulières dépend de la profondeur de l'océan : l'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur [11,13].

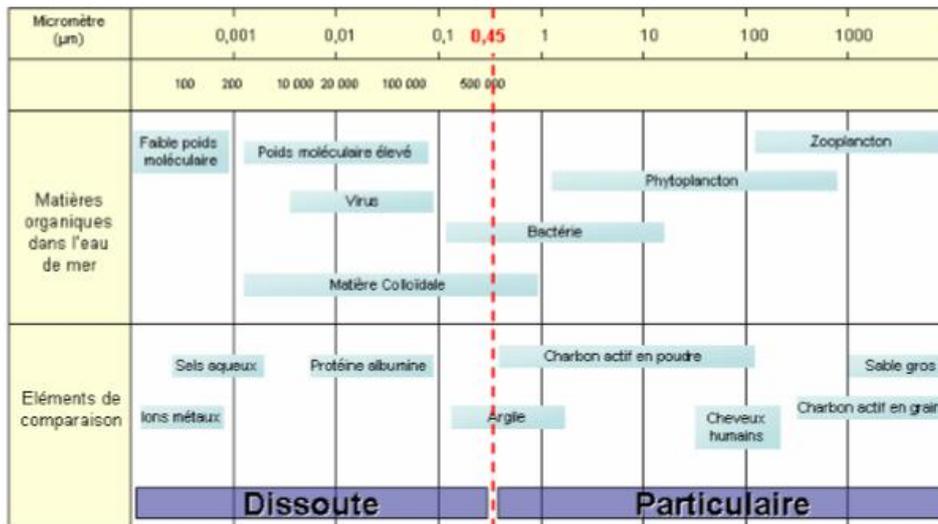


Figure I.1 : Schéma de la taille des matières organiques dans l'eau de mer

3.2.1. Matières organiques dissoutes

La matière organique dissoute (MOD) est un mélange complexe de molécules d'origines diverses trouvées dans l'eau de mer. La concentration de chaque molécule est très faible, mais on peut trouver dix milliers de molécules différentes dans l'eau de mer. Grâce au grand volume des océans, ceux-ci sont considérés comme un réservoir majeur des matières organiques non vivantes. La quantité de matière organique dissoute dans l'océan est de 685×10^{15} g de C [14]. Le carbone organique dissous est un facteur important dans le cycle du carbone et la chaîne alimentaire marine. Il influence la pénétration de la lumière, l'échange de gaz à la surface de l'océan, la disponibilité des métaux traces et les nutriments pour les organismes. Le phytoplancton est une source primaire de la MOD.

3.2.2. Matières organiques particulières

Les matières particulières dans l'eau de mer peuvent être classifiées selon leur taille. Dans l'eau de mer surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique. Les plus petites particules (moins de 1 µm jusqu'à quelques dizaines de µm) se composent de bactéries et de cellules algales, d'autres débris organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que $Fe(OH)_3$. La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de µm comporte des grands débris et des agglomérats fécaux, produits de l'agrégation biologique.

4. Répartition de l'eau douce sur la planète

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total d'eau sur la planète.

Le tableau 1.4. La répartition de l'eau douce et salée sur la planète.

| Répartition de l'eau douce et salée sur la planète | Km ³ | % |
|--|-----------------|------|
| Eau douce | 36 000 000 | 2.5 |
| Dont Glaciers et couverture neigeuse permanente | 24 000 000 | 68.9 |
| Eau souterraine | 8 000 000 | 30.8 |
| Lacs et réservoirs | 105 000 | 0.3 |
| Eau salée | 1 365 000 000 | 97.5 |
| Volume total d'eau | 1 400 000 000 | 100 |

L'eau douce est très inégalement distribuée. Certaines régions bénéficient d'excédents considérables, c'est le cas par exemple du Canada, du Chili, de la Nouvelle-Zélande ou de la Norvège où les disponibilités en eau dépassent les 50 000 m³ par personne et par an. D'autres, au contraire, souffrent de pénuries chaque année plus graves, c'est le cas des pays du Maghreb, du Golfe ou de l'Asie Centrale où les disponibilités en eau sont inférieures à 1 000m³ par personne et par an.

La consommation en eau par personne dans les pays industrialisés est de 320 litres par jours (données 2001). Dans les pays en voie de développement, l'industrialisation par personne est de 70 litres/jour en moyenne.

On dit qu'une région souffre de stress hydrique lorsque ses ressources annuelles en eau sont inférieures à 1700m³ par an et par personne. On parle de pénurie d'eau lorsque la quantité d'eau prélevée des lacs, des rivières ou du sous-sol constitue des ressources inférieures à 1000m³ par an et par personne, et ne peuvent plus répondre aux besoins humains ni aux écosystèmes.

Dans le tableau 06 ci-dessous, on constate qu'entre 1990 et 1996, 48% de la population d'Afrique subsaharienne n'avait pas accès à l'eau potable. En Asie de l'Est, ce sont 73% des habitants qui ne profitaient pas, sur la même période, d'un réseau d'assainissement.

Tableau 1.5. Pourcentage de la population privée d'accès à l'eau potable et l'assainissement par région.

| Région | Eau potable | Assainissement |
|--|-------------|----------------|
| <i>Afrique subsaharienne</i> | 48 | 55 |
| <i>Pays les moins avancés</i> | 43 | 64 |
| <i>Asie du Sud-Est et pacifique</i> | 35 | 45 |
| <i>Asie de l'Est</i> | 32 | 73 |
| <i>Pays en développement</i> | 29 | 58 |
| <i>Amérique latine et caraïbes</i> | 23 | 29 |
| <i>Etats arabes</i> | 21 | 30 |
| <i>Asie du Sud</i> | 18 | 64 |
| <i>Asie de l'est (hormis la Chine)</i> | 13 | - |

En 2003, 450 millions de personnes étaient exposées à des pénuries ou à des stress hydriques. Le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) prévoit que, vers 2025, 3 milliards d'êtres humains se retrouveront dans cette situation. En 2050, ce chiffre pourrait passer à 4 milliards, soit 40% de la population mondiale projetée à 9,4 milliards (estimation basse des Nations Unies).

Le problème de la ressource en eau douce est donc crucial pour une zone côtière où se concentre une grande partie de la population mondiale (plus de 70% de la population du globe se répartissent sur une bande côtière de 80 km de large).

Le problème étant donné de taille, les états n'ont d'alternative que la solution de désalinisation de l'eau de mer ou l'exploitation de sources sous-marines d'eau douce [15].

5. Propriétés de l'eau

L'eau est une molécule remarquable dont les propriétés sont présentées ci-dessous :

- ❖ L'eau a une force de cohésion élevée (difficile à évaporer)
- ❖ (Température d'ébullition particulièrement élevée pour une molécule de cette masse molaire).
- ❖ Cela permet à une importante phase liquide d'exister aux températures, connues sur terre (phase liquide indispensable à la vie telle que nous la connaissons).
- ❖ Ses propriétés de solvant « doux » (un très grand nombre de réactions biochimiques possible)
- ❖ Le fait que la densité de l'eau soit plus grande à l'état liquide que solide, (conséquence remarquable : la glace flotte sur l'eau liquide)
- ❖ La densité de l'eau douce soit maximale à 4 °C fait que la température au fond d'un lac ne peut pas descendre en dessous de 4 °C (sauf cas extrêmes). Cela permet à la vie aquatique de survivre aux périodes glacées, car l'eau reste liquide sous son manteau de glace isolant.
- ❖ La tension superficielle particulièrement élevée permet le phénomène de capillarité (qui permet, entre autres, à la sève des végétaux de monter) et à de nombreux êtres vivants de se déplacer sur la surface de l'eau [16].
- ❖ L'eau est aussi la seule substance qui existe en trois états : liquide, solide et vapeur.

Toutes les autres substances ne peuvent revêtir que deux états physiques seulement [17].

6. Les paramètres de potabilité de l'eau

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques [18]. En ce sens, les normes fixent les concentrations maximales admissibles (CPA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

6.1. Paramètres organoleptiques

6.1.1. La couleur

Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV.

Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [19].

6.1.2. Goûts et odeurs

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [20].

6.1.3. La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important vis-à-vis de ce

paramètre dans les superficielles et souterraines selon leur origine [21].

6.2. Paramètres physicochimiques

6.2.1. La température

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes.

6.2.2. Le pH

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates [22].

6.2.3. Matières en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. [23]. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution.

6.2.4. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm . L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau.

6.2.5. La dureté totale

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins Na^+ , K^+ et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et

Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de $CaCO_3$ par litre [18]. Dans l'eau, sont déterminés :

- * la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- * la dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- * la dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- * la dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

6.2.6. Solubilité des gaz dans l'eau

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère gazeux avec laquelle elle est en contact. La loi de HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau.

6.2.7. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrate. Deux titres qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité utilisée est le degré français ($1^{\circ}f = 10 \text{ mg. L}^{-1} \text{ de CaCO}_3 = 0,2 \text{ milliéquivalent.L}^{-1}$).

6.2.8. Cations et anions

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [23].

● **Le Calcium (Ca^{2+})** : L'ion calcium est le composé principal de la dureté de l'eau, il se trouve en général à une concentration de 5-500mg/l exprimé en CaCO_3 (2-200mg en Ca^{2+}).

● **Le Magnésium (Mg^{2+})** : La dureté magnésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale, les deux tiers restants correspondent à la dureté calcique, sa valeur est de 10 à 50 mg/l (environ 40-200 mg /l en CaCO_3).

Les Bicarbonates (HCO_3^-) : L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500mg/L exprimée en CaCO_3 .

● **Le Chlore (Cl^-)** : Puisque tous les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg /l [24].

6.2.9. Les nitrates et les nitrites

Ces paramètres sont des indicateurs pertinents de la dégradation des ressources en eau utilisée pour la production d'eau potable. La présence de nitrates dans l'eau d'alimentation peut avoir plusieurs origines :

- une origine liée aux activités humaines (rejets industriels, agricoles et urbains) ;

- une origine naturelle dans la mesure où les nitrates résultent des transformations de l'azote dans les eaux et les sols (cycle de l'azote).

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre 'Nitrosomonas', puis en nitrates par les bactéries du genre 'Nitrobacter'. Les nitrates sont très solubles dans l'eau (INSQ, 2013). Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques: la méthémoglobinémie et le risque de cancer [25].

6.2.10. Pollution des eaux par les métaux lourds

La pollution des eaux se fait par des métaux lourds souvent sous forme de traces, qui peuvent provoquer des intoxications chez l'homme par la consommation de l'eau contaminée en dépassant les limites fixées par la réglementation et l'OMS. Ces métaux lourds sont en particulier : Le cadmium, le fer, le plomb, l'arsenic, le nickel, et le bore. Les principaux effets associés aux éléments ci-dessus sont présentés au tableau 07.

Tableau 1.6. Principaux effets associés aux métaux lourds [26].

| Elément | Effets |
|--------------|---|
| Arsenic(As) | Toxique, possible cancérigène |
| Cadmium(Cd) | Hypertension, dommage sur le foie, affections respiratoires |
| Chrome(Cr) | Cancérigène sous forme de Cr(VI), troubles dermatologiques, anémie |
| Cuivre (Cu) | Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés |
| Mercure(Hg) | Toxique chronique et aigue, troubles du système nerveux (mémoire, fonctions sensorielles de coordination) |
| Nickel(Ni) | Maladies respiratoires, asthme, malformations congénitales |
| Plombs(Pb) | Toxique, trouble du système nerveux et cardiovasculaire, fatigue, cancérigène, affection du foie et des reins |
| Sélénium(Se) | Essentiel à faibles doses, toxique à doses élevées |
| Zinc(Zn) | Toxique pour les végétaux à de fortes teneurs |

6.3. Paramètres microbiologiques

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de micro-organismes pathogènes, ou potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes (Tableau 08 ; [27])

Tableau 1.7. Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables [28].

| origine | maladies | Agents pathogènes |
|-------------|----------------------------------|--|
| Parasitaire | Dysenterie amibienne | Entamoeba histolyca |
| | Gastro-entérites | Giardia lamblia Cryptosporidium parvum |
| Bactérienne | Fièvres typhoïde paratyphoïde | Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B |
| | Dysenterie bacillaire | Shigella |
| | Cholera | Vibrio cholerae |
| | Gastro-entérites | Escherichia coli enterotoxigène Campylobacter jejuni Yersinia enterocolitica |
| Virale | Hépatites A et E | Virus hépatite A et E |
| | Poliomyélite | Virus poliomyélitique |
| | Gastro-entérites | Rotavirus Enterovirus Calicivirus Adenovirus..... |

Chapitre II :

Généralités sur le

Dessalement de

l'Eau de Mer

1. Définition

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, d'extraire de l'eau douce.

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

2. Histoire du dessalement :

L'idée de fabriquer de l'eau pure à partir de l'eau de mer tourmente les populations assoiffées depuis des centaines, pour ne pas dire des milliers d'années. La prémisse originale reposait sur l'idée que, par ébullition ou évaporation, l'eau pouvait être séparée du sel. Cette théorie – évaporation ou distillation – constituait le fondement de la technologie des premières installations de dessalement à grande échelle qui apparurent dans les années 50 et 60, principalement au Moyen- Orient. Ces régions, pauvres en eau mais riches en combustible, convertissaient leurs ressources énergétiques en ce qui leur manquait le plus : de l'eau.

3. Dessalement en Algérie :

L'Algérie est un pays qui possède des ressources hydriques limitées pour des raisons climatiques capricieuses, caractérisé par une pluviométrie irrégulière oscillant entre 100 et 600 mm/an et enregistrant un déficit hydrique estimé à 20% durant les cinq dernières années.

L'accroissement de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que besoins incompressibles ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de plus en plus de ressources superficielles.

La mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où la surexploitation des nappes superficielles. Le recours au dessalement d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans cette région [29].

Dans le cas algérien, le dessalement réduit de manière durable les pénuries d'eau car plus de la moitié de la population réside sur la longue bande littorale de 1600km, théâtre, d'un déficit chronique en eau potable.

En vertu d'une réforme institutionnelle engagée en 2001, l'Algérienne Des Eaux a lancé la réalisation d'une série de 21 petites unités de dessalement de 2500m³/j chacune totalisant une production de 57500m³/j.

4. Conception d'une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse :

Une usine de dessalement par osmose inverse comprend essentiellement :

- Un système d'alimentation en eau de mer ;
- Un ensemble de prétraitement physicochimique de l'eau de mer ;
- Un dispositif de mise en pression de l'eau prétraitée ;
- Un osmoseur proprement dit ;
- Un système de récupération de l'énergie du concentrât ;
- Un ensemble de post-traitements du perméat ;
- Un poste de nettoyage chimique des membranes [30].

5. Etapes de dessalement par osmose inverse :(cas de Souk Tlata dans la wilaya de Tlemcen)

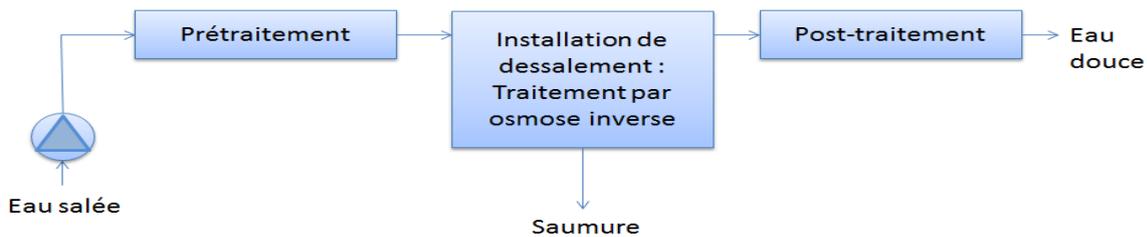


Figure II.1 : Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse

5.1. Poste de pompage

La première opération s'effectue au niveau de « la tour de captage de l'eau de mer » qui consiste à pomper l'eau de mer par le biais de plusieurs pompes dont une de réserve, par aspiration à vide. Cette tour est dotée d'un système de préfiltration comprenant trois tubes de grilles à gros grains et des tamis autonettoyants. Cette filtration d'eau permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marins et homogène.

5.2. Poste de prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'OI sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau en entrée des modules d'OI est indispensable pour assurer des performances stables de sur le long terme. Le prétraitement a pour objectif la réduction du colmatage, l'augmentation de la durée de vie des membranes, l'amélioration de la qualité de l'eau produite et la maintenance des performances de l'OI. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : physiques et chimiques. Les prétraitements physiques incluent les préfiltres mécaniques, les filtres à cartouche, la filtration à sable et la filtration membranaire. Le prétraitement chimique consiste en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de coagulants, de désinfectants et de poly-électrolytes. Actuellement, la plupart des usines d'OI utilisent un procédé de prétraitement conventionnel mais avec la baisse constante du prix des éléments membranaires et la dégradation de la qualité des ressources en eau, le prétraitement par procédé membranaire trouve de plus en plus sa place dans les étapes de prétraitement avant osmose inverse. Nous allons détailler à présent le type de filière de prétraitement à membrane.

Prétraitement par les procédés membranaires

En raison des limitations du prétraitement conventionnel qui viennent d'être évoquées, un intérêt croissant s'est porté sur l'utilisation de procédés membranaires basse pression tels que la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et la nano-filtration (NF). Les avantages majeurs des procédés membranaires sont [31] :

- Flux de l'osmose inverse significativement élevé
- Plus faible consommation de produit chimique
- Meilleure compacité (-33 %)
- Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse
- Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée
- Désinfection et nettoyage de l'osmose inverse moins nécessaire [32].

Parmi les trois procédés UF, MF et NF, l'UF semble le choix le plus courant dans les recherches et les essais à l'échelle pilote. A l'échelle industrielle, nous trouvons des prétraitements par UF ou MF seulement. De

Chapitre II : Généralités Sur Le Dessalement De L'eau De Mer

nombreux essais pilotes ont été menés avec des membranes d'UF en prétraitement avant osmose inverse et des installations industrielles ont vu le jour depuis quelques années [33-36].

L'ultrafiltration : La force motrice de la séparation est une différence de pression de part et d'autre de la membrane. Les masses des molécules retenues par l'Ultrafiltration sont comprises entre 1000 et 500000 Da selon la membrane choisie. Les constituants arrêtés peuvent être des bactéries, des macromolécules, des agrégats moléculaires ou des particules issus de divers procédés.

Les membranes d'ultrafiltration sont asymétriques, constituées d'une peau mince (couche filtrante) déposée sur un support qui peut être de même nature ou de nature différente.

L'ultrafiltration utilise des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 10 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes). Cette technique est utilisée pour l'élimination de macrosolutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usages domestique, industriel, ou médicaux (figures 3 a, b, c).



Figure II.2 : Photos de trois unités d'UF différentes : (a)- Unité d'UF avec des membranes céramiques, (b)- Unité d'UF avec des membranes spiralées, (c)- Unité d'UF avec des membranes tubulaires.

5.3. Poste de dessalement (OI)

5.3.1. Constitution d'un système d'osmose inverse :

Le système d'osmose inverse, est constitué principalement de :

- Une pompe de mise à pression du liquide afin de lui donner la pression efficace de production qui doit être supérieure à la pression osmotique des modules ;
- Un module d'osmose inverse contenant la membrane ;
- Une vanne placée sur la canalisation rejet pour maintenir la pression de rejet à l'intérieur du module qui peut être dans certains cas par une turbine de récupération d'énergie ;
- Une ou plusieurs cuves de stockage ainsi que tous les appareils de mesures nécessaires (pression, débits, température, etc....)

5.3.2. Fonctionnement d'un poste d'osmose inverse :

Le fonctionnement d'une telle installation peut se faire selon divers procédés :

- Procédé discontinu ou batch ;
- Procédé continu à recyclage ;
- Procédé continu ;

Dans le cas du dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, seul le procédé continu est utilisé [37].

5.4. Poste de traitement

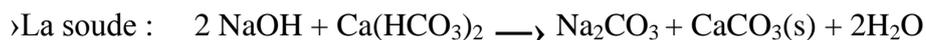
5.4.1. Les traitements de neutralisation ou de reminéralisation des eaux

Tous les procédés visant à réduire la concentration en CO₂ sont envisageables pour amener une eau à l'équilibre.

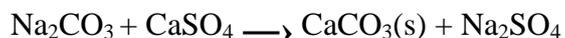
Hélas, un traitement de ce type ne peut avoir que des effets temporaires limités car le CO₂ est particulièrement labile et les variations de pression subies par l'eau lors de son transport dans le réseau peuvent contribuer à sa disparition. En outre, toute élévation de température va raviver le phénomène de précipitation en déplaçant la courbe d'équilibre.

Décarbonatation

Il a été observé que des eaux trop dures présentent un pH d'équilibre tellement bas qu'il ne permet pas la formation de carbonate de plomb et qu'il est impossible de garantir le seuil prévu par la limite de qualité de 10 µg/L pour le plomb lorsque le réseau est constitué de tuyauteries et accessoires comportant ce métal !... Il est donc préconisé d'effectuer une décarbonatation. Les réactifs utilisables sont :



Si l'eau a une dureté « permanente » suffisamment importante (liée aux chlorures ou aux sulfates), le carbonate de soude (Na₂CO₃) peut être utilisé



Il peut être observé qu'avec la chaux, les baisses de TAC (2HCO₃) et de TCa (1 Ca⁺²) sont équivalentes. Par contre avec la soude, l'abaissement du TCa est double (1 Ca²⁺) de celui du TAC (1 HCO₃) mais il est compensé par une augmentation du TNa (remplacement de 1 Ca²⁺ par 2 Na⁺). Autrement dit, avec la soude, le calcium est mieux éliminé que les bicarbonates mais l'eau est enrichie en sodium ! Par contre s'il est fait référence à la variation du TCa, il est produit deux fois moins de précipité de carbonate de calcium par addition de soude, mais l'eau est plus « salée ». Avant de choisir un réactif de traitement il conviendra :

- de calculer qu'elle sera la composition de l'eau obtenue,
- de vérifier que les concentrations ioniques ne sont pas modifiées de façon « négative » (indice de Larson).

5.4.2. La désinfection :

Bien que le perméat soit d'une qualité bactériologique excellente, il est nécessaire de le désinfecter avant distribution pour protéger l'eau contre toute pollution ultérieure lors de son stockage et de sa distribution.

La désinfection permet également :

- De pallier à toute fuite au niveau des membranes, qui pourrait apporter des éléments indésirables (bactéries, virus) ;
- D'oxyder les polluants pouvant être apportés par l'injection des solutions de produits de post-traitements.

La désinfection est assurée par injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'une solution d'hypochlorite de calcium.

5.4.3. L'aération :

Le perméat peut présenter un déficit en oxygène, surtout si du bisulfate de sodium est employé. Il est donc nécessaire de l'aérer en ménageant une ou plusieurs chutes d'eau (la hauteur totale de chute pour atteindre la saturation est de 1,2m). Cette chute peut s'effectuer à l'entrée du bassin de stockage de l'eau à distribuer.

- La chloration de l'eau devra s'effectuer en aval de cette chute, afin de ne pas détruire le chlore [38].

6. Impacts environnementaux

Ils sont liés aux rejets de saumures concentrées et aux effets de différents additifs nécessaires au traitement. On en a vu quelques aspects plus hauts.

6.1. Evacuation de la saumure.

Il faut d'abord rappeler que les rejets sont soumis à la réglementation du protocole dit "Tellurique" de la Convention de Barcelone qui donne des limites des valeurs de nombreux types de rejet.

Bien entendu, l'effet du rejet dépend très largement des conditions physiques, chimiques et biologiques de la zone où les saumures sont évacuées. Par exemple, plusieurs études ont montré que *Posidonia* était très sensible à la salinité.

6.2. Rejet des produits de traitement

Il s'agit des résidus de corrosion, des produits d'ajustement du pH de l'eau, des produits anti tartres et des agents anti-salissures, des agents antimousses et des dérivés du chlore.

Leurs taux doivent être inférieurs à la norme. Un aspect à ne pas négliger est l'impact que pourrait avoir des installations pompant des grands débits dans des mers fermées (Mer Rouge, Golfe Persique). Les capacités des grosses usines devront probablement être ajustées en fonction du taux de renouvellement des eaux dans ces espaces marins restreints. [39]

7. Coût d'investissement et d'exploitation

Le coût du dessalement a baissé de moitié au cours des dix dernières années, avec cependant une remontée de prix récente, conséquence de la hausse de coût des matières premières, dont l'acier inox. Au plan économique, les coûts d'investissement sont de 1000 à 1200 €/m³/j pour la distillation en thermique MED, et de 900 à 1000 €/m³/j pour l'Osмосe Inverse. Le coût de l'eau saumâtre dessalée est nettement inférieur à celui de l'eau de mer dessalée. Il ressort, pour de grandes unités, à 0,2 à 0,3€/m³ en eau saumâtre contre 0,4 à 0,6€/m³ en eau de mer (Source Constructeurs, coûts vérifiés). L'effet de taille fait baisser le coût de l'eau douce obtenue, d'où l'intérêt de construire des installations de capacité importante, si la demande le justifie et en veillant aux impacts environnementaux. Il est également important de rappeler que le coût de mobilisation d'un mètre cube d'eau conventionnelle est compris entre 0,1 et 0,3 €/m³ et celui de la réutilisation des eaux usées entre 0,3 et 0,5 €/m³ 4. L'eau dessalée pour de grandes unités coûte donc environ 2 fois plus que l'eau conventionnelle et 1,5 fois plus que l'eau réutilisée, mais avec des grandes différences selon les situations de terrain. A capacité identique, le recyclage des eaux usées est nettement moins cher que le dessalement d'eau de mer (l'énergie dépensée est réduite au moins de moitié) [40].

Chapitre III :

Séparation

Membranaire

1. Historique des membranes

Les XVII et XVIII siècle ont vu les grandes expérimentations prendre place dans les domaines de la chimie, de la physique et de la biologie. Le français L. Pasteur (1822–1895) utilise les membranes dans ses travaux de biologie, tandis que le prix Nobel 1920, W. Nernst (1864–1941) définit en 1890 le système membranaire.

Après la guerre 1939-1945, commence le développement industriel des membranes. Au début des années 1950, C.E Reid étudie l'osmose inverse. Vers la fin de cette décennie, Loeb et Sourirajan fabriquent la première membrane en acétate de cellulose asymétrique [41]. Sourirajan interpréta, pour ce faire, la loi d'excès de soluté de Gibbs. À la fin des années 1960, la recherche s'intensifie du côté des polyamides comme matériaux de remplacement. Aux États-Unis, les modules de type spiralé et de type fibres creuses apparaissent vers les années 1970. À la fin de cette décennie et au début des années 1980, les membranes composites, puis inorganiques, voient le jour. De 1982-1987 les Japonais investissent dans un programme national de recherche sur les membranes [42].

2. Généralités sur les procédés membranaires

Les procédés à membrane sont utilisés pour séparer et surtout concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et/ou pour séparer des particules ou des micro-organismes en suspension dans un liquide ; ces procédés sont basés sur la mise en œuvre des membranes permselectives [43,44].

Les séparations par membranes sont fondées sur le concept de déplacement sélectif de certains composants à travers une membrane, composant sur lequel, il faut appliquer une force [44-46].

La majorité des opérations de séparation et/ou de concentration met en œuvre la filtration

Tangentielle ; ou le fluide traité circule tangentiellement à la membrane (filtre) pour limiter l'accumulation de la matière occasionnée par le flux transversal généré par le gradient de pression [47,44].

Les composants de flux d'alimentation qui passent à travers la membrane sont connus sous le nom de "perméat"; le fluide retenu, appelé "retentât", constitue le flux contenant les composants qui ne peuvent pas traverser la membrane [48].

Le terme technologie membranaire est un terme générique regroupant différents procédés de séparation. Ces procédés sont du même type, car dans chacun d'eux une membrane est utilisée. Les membranes sont de plus en plus utilisées pour des procédés de traitements ; et les raisons de ce formidable succès industriels sont :

- Leur faible consommation énergétique (micro et ultrafiltration tangentielle 1 à 15 KW/h/m³ de perméat ; nanofiltration 3 à 7 KW/h/m³ et osmose inverse 940 KW/h/m³) [44], et leur relative bonne sélectivité [49], c'est pour cette raison que les secteurs de l'environnement et de traitement de l'eau ont adopté ces dernières années de telles technologies [50].

- La meilleure qualité des produits, la membrane est un filtre physique, elle fonctionne sans ajout de produit chimique et constitue une barrière absolue pour beaucoup des Composés [51].

- La facilité d'intégration industrielle et la fiabilité [44].

- Une technologie propre intervient à titre préventif en amont dès le stade de la production, ce qui la différencie de l'opération classique de dépollution qui intervient en aval de ce processus (traitement des eaux [47], des effluents gazeux, et solides). L'objectif est de réduire les consommations d'eau, de matières premières, et d'énergie, afin de générer le minimum d'effluents et de déchets, donc de faire des économies, ce qui conduit à des temps de retours sur investissements plus court.

- L'innovation en matière de produits et de procédés répondant à une demande de variétés et de spécificité par le consommateur [44].



Enfin, selon Proot et al, 2001, les technologies propres utilisées dans l'industrie permettent de réduire significativement le niveau d'impact sur l'environnement et l'importance des traitements de dépollution. Une technologie propre peut être une optimisation, une modification ou un changement radical de procédé. [52]

3. Osmose inverse

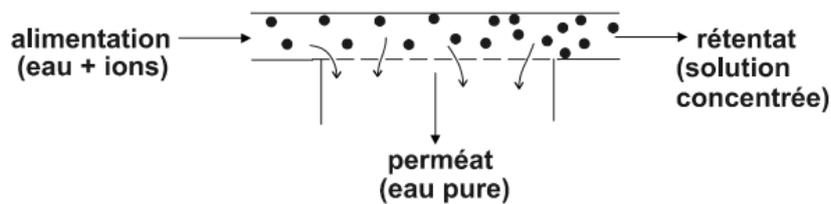
3.1. Définition

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression.

L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

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



La fraction de débit qui traverse la membrane est le taux de conversion Y défini par : $Y = Q_p / Q_0$

Le flux de matière intéressant est suivant les cas le perméat (cas de la déminéralisation d'eau) ou le concentrat (concentration de produits alimentaires). Le débit de la solution d'alimentation peut atteindre une valeur 500 fois supérieure à celle du débit de perméat.

Lors d'une filtration classique la suspension à traiter est amenée perpendiculairement au milieu filtrant ; l'accumulation de matières forme une couche qui diminue la porosité et ainsi le débit de filtration.

L'écoulement tangentiel permet au contraire de limiter l'accumulation sur la membrane des diverses espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière.

La sélectivité d'une membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir :

$$R = \frac{C_0 - C_p}{C_0} = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

Où C_0 est la concentration de l'espèce à retenir dans la solution et C_p est la concentration de la même espèce dans le perméat.

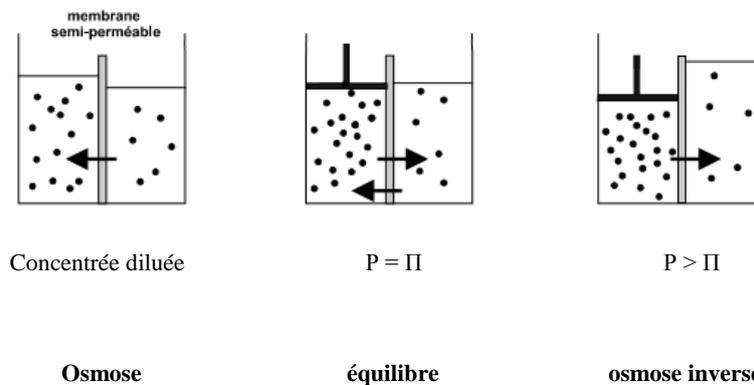
L'osmose inverse utilise des membranes denses sans porosité qui laissent passer le solvant et arrêtent les ions.

3.2.Principes de l'osmose inverse

3.2.1. Pression osmotique:

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère 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 dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée.

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



La pression osmotique des électrolytes est donnée par la relation suivante: $\Pi = \dot{I}.C.R.T$

Où i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté, C la concentration molaire du soluté (mol.m^{-3}), T la température (K) et R la constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Π est exprimée en pascals. Cette relation est valable pour des solutions diluées.

Exemple : la pression osmotique de l'eau de mer (3 % en masse de chlorure de sodium) à 25 °C est environ de 25 bars.

3.2.2. Mécanisme diffusionnel :

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par solubilisation – diffusion : toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression. Le transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

Le flux massique J_{solvant} ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de solvant et le débit volumique de solvant ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) traversant la membrane sont donnés par les relations :

$$J_{\text{solvant}}=A*(\Delta P-\Delta \Pi) \text{ et } Q_p=\frac{A*S}{\rho} *(\Delta P-\Delta \Pi)$$

Où A est la perméabilité de la membrane au solvant ($\text{m}^{-1}.\text{s}$), S la surface de la membrane (m^2), ρ la masse volumique du solvant (kg.m^{-3}), ΔP la différence de pression de part et d'autre de la membrane et $\Delta \Pi$ la

différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane. $\Delta\Pi$ est la pression osmotique du flux d'alimentation si le perméat est une solution très diluée. Les pressions sont exprimées en pascals.

Le flux massique $J_{\text{soluté}}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) de soluté traversant la membrane est donné par la relation :

$$J_{\text{soluté}} = B \cdot (C_0 - C_p)$$

Où B est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), C_0 et C_p sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

On montre donc que le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace $\Delta P - \Delta\Pi$ tandis que le flux de soluté en est indépendant. On montre également que le taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente.

La sélectivité des membranes d'osmose inverse pour les différentes espèces chimiques dépend de leur possibilité de solvatation par l'eau. Les espèces les plus fortement solvatées ont un taux de rejet toujours plus important. On peut en tirer les indications suivantes :

- les ions sont mieux retenus que les molécules.
- les protéines ont une rétention plus faible pour des pH proches du point isoélectrique.
- pour les acides faibles, le taux de rejet est élevé lorsque le pH est supérieur au pK.
- pour des ions de valence différente, le taux de rejet croît avec la valence des ions.
- pour des ions de même valence, le taux de rejet diminue si leur masse molaire augmente.

3.3. Condition de fonctionnement

Au niveau industriel, les modules employés sont majoritairement spiralés de taille 4040 ou 8040 et présentent des surfaces membranaires allant de 7 à 3150 m^2 . Le critère d'efficacité majoritairement étudié est la rétention des sels (Total Dissolved Solids TDS, conductivité) avec de très bons taux de rétention (98 à 99,6%). L'abattement de la DCO ou du carbone organique total (COT) fait aussi partie des finalités de l'osmose inverse, mais dans une moindre mesure au niveau industriel. Ici encore les taux de rétention sont bons (98,9100%). La gamme de pression utilisée est très large, de 9 à 60 bars, car elle dépend énormément de la pression osmotique de l'alimentation. Du fait de la sensibilité des membranes à la chaleur, la gamme de température est-elle assez restreinte (15 à 35°C). Le pH est parfois ajusté de manière à obtenir de meilleures performances. Le taux de conversion est très variable, de 10 à 94% et dépend beaucoup de la composition de l'alimentation. Le débit d'alimentation, lui, dépend de l'application et de la surface membranaire mise en jeu. Il varie donc dans une large gamme, de 10 à 44 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Les densités de flux de perméat ont des valeurs classiques, dépendant de la pression transmembranaire, comprises entre 13 et 27 $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2$.

Au niveau prospectif, les pilotes employés vont du petit pilote de laboratoire à membranes planes (de 20 à 360 cm^2) au pilote à module(s) spiralé(s) de taille variable. Majoritairement, ce type d'études est réalisé avec des pilotes munis d'un module 2540 (2,3 m^2 en moyenne) mais on trouve également des études avec un ou plusieurs modules 4040 (7 m^2 environ). Dans ces cas, l'abattement de la DCO devient un enjeu important, ce qui montre l'intérêt de plus en plus élevé qui est porté à ce type de séparation (molécules organiques). Les taux de rétention obtenus sont parfois moins bons qu'au stade industriel : de 90 à 99,8% en moyenne pour la DCO avec ponctuellement des valeurs assez mauvaises (50%) et 72 à 99,5% pour les sels avec également des valeurs à 50%. Les taux de conversion, eux, sont assez élevés, de 60 à 95%. Comme au niveau industriel, les pressions varient de 15 à 70 bars et les températures de 15 à 40°C. On trouve quelques essais

d'osmose inverse basse pression ($P < 10$ bar), mais ces exemples sont encore assez rares. Les débits d'alimentation varient de $0,1$ à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Les flux obtenus sont très variables également puisque parfois des problèmes inattendus de colmatage peuvent survenir. Ils varient entre 5 et $50 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ avec des valeurs exceptionnelles inférieures à $1 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ [53].

3.4. Modèle phénoménologique de transfert de matière

3.4.1. Grandeurs de transfert caractéristiques

Le transport d'un solvant et d'un soluté sous l'action d'un gradient de pression à travers une membrane dense peut être décrit par le modèle de transfert par solubilisation-diffusion [54]. Dans ce cas, le transfert résulte de la combinaison d'un partage interfacial entre une solution et la couche active de la membrane suivi de la diffusion à travers cette couche (Figure 05).

Ce modèle phénoménologique est commodément appliqué pour décrire le transfert d'eau et de solutés à travers une membrane OI dense, partiellement chargée [55]. Il établit des grandeurs de transfert caractéristiques des réelles performances de sélectivité de ces membranes, dépendant d'interactions physico-chimiques et de propriétés en solution et au sein de la membrane.

A l'état stationnaire, le flux de matière perméant par solubilisation-diffusion peut être exprimé par la 1ère forme de la loi de Fick, en suivant la théorie de la thermodynamique irréversible (équation III.1). Comme exprimée dans la bibliographie, la contribution de la convection au transfert est négligeable [55,56].

Les équations de transfert sont, dans un cadre simplifié, proposées dans le cas d'une solution binaire composée d'un soluté, référé par l'indice s et d'un solvant, l'eau

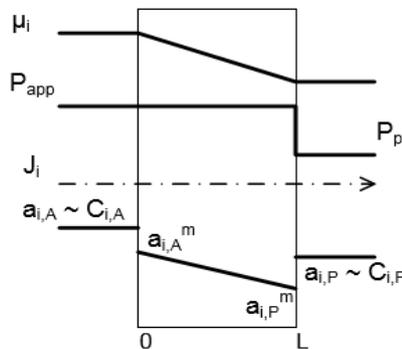


Figure III.1 : Profils du potentiel chimique, de la pression et de l'activité (Concentration molaire) d'une espèce perméant par diffusion sous l'action d'un gradient de pression.

$$J_{i,x} = - \frac{D_i^m C_{i,0}^m}{RT} \frac{\partial \mu_{i,x}^m}{\partial x} \quad (\text{III.1})$$

Où $J_{i,x}$ est le flux transféré de l'espèce i , eau ou soluté dans cet exemple, $\mu_{i,x}^m$ (dérivée partielle en x) est le gradient de potentiel chimique à travers la membrane (m), D_i^m est le coefficient de diffusion moyen à travers la membrane, $C_{i,0}^m$ est la concentration molaire de l'espèce i en entrée de la membrane, R est la constante des gaz parfaits et T est la température absolue.

En thermodynamique chimique, le potentiel chimique est exprimé par l'équation III.2 :

$$\mu_i^M = (T, P, C_i^m) = \mu_i^0(T, P^0) + RT \ln(a_i^m) + \bar{V}_i^m(P - P^0) \quad (\text{III.2})$$

Où :

μ^0 est le potentiel chimique de l'espèce i à la pression de référence P^0 , a_i^m est l'activité de l'espèce i au sein de la membrane et \bar{V}_i^m est le volume molaire de l'espèce i au sein de la membrane, indépendant de la pression

A ce stade, certaines hypothèses, simplificatrices et expérimentalement vérifiées, sont émises. En supposant que les milieux, au cœur de la solution et au sein de la membrane, sont à l'équilibre côté alimentation et perméat, il y a donc pour chaque espèce i égalité des potentiels chimique, tel que : $\mu_{i,A} = \mu_{i,A}^m$, côté alimentation et $\mu_{i,p} = \mu_{i,p}^m$, côté perméat.

Par ailleurs, le modèle de solubilisation-diffusion suppose que la pression est constante à travers la membrane et égale à la pression appliquée en solution P_{app} . Le volume molaire de l'espèce i au sein de la membrane est considéré égal au volume molaire de cette espèce en solution, \bar{V} est de ce fait constant au sein de la membrane. En remplaçant l'activité de l'eau en solution $a_{i,A}$ et $a_{i,p}$ par son expression en fonction de la pression osmotique, $a_{i,A}^m$, et $a_{i,p}^m$ sont reliés par l'équation III.3 :

$$\frac{a_{i,p}^m}{a_{i,A}^m} = \exp \left[-\frac{\bar{V}}{RT} (P_{app} - \Delta\pi) \right] = \exp \left[-\frac{\bar{V}}{RT} (\Delta P) \right] \quad (\text{III.3})$$

Où la pression motrice ΔP , force agissante pour le transfert d'eau qui correspond à la différence entre la pression appliquée moyenne P_{app} et la pression osmotique transmembranaire $\Delta\pi$.

De ces hypothèses, il est également possible d'approximer le gradient du potentiel chimique de l'espèce i au sein de la membrane par le gradient de $(RT \ln a_{i,x}^m)$. En combinant les équations III.1, III.2 et III.3, le flux transféré sur l'épaisseur de la membrane, de 0 à L , peut être réécrit par l'équation suivante :

$$J_{i,m} = \frac{D_i^m C_i^m}{L} \ln \left[\exp \left[-\frac{\bar{V}}{RT} (\Delta P) \right] \right] \quad (\text{III.4})$$

Cette expression devient, ainsi :

$$J_{i,m} = \frac{D_i^m C_i^m}{L} * \frac{\bar{V}}{RT} * \Delta P \quad (\text{III.5})$$

La concentration de l'espèce i au sein de la membrane est liée à la concentration de cette espèce en solution, en surface de la membrane par le coefficient de partage K_i .

Dans le cas d'eau ultrapure (eau UP), C_{eau} est considérée égale à la masse volumique de l'eau. Le transfert d'eau par diffusion sous l'action d'un gradient de pression s'écrit alors sous la forme plus connue (III.6) [55]:

$$J_{pem,s} = \frac{P_{eau}}{L} * \frac{\rho_{eau} \bar{V}}{RT} * \Delta P = A_s (P_{app} - \Delta\pi) \quad (\text{III.6})$$

Dans cette équation le flux de perméation $J_{perm,s}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) mesuré durant l'osmose inverse d'une solution aqueuse est lié à P_{eau} ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), la perméabilité à l'eau, propriété intrinsèque de la couche active de la membrane, fonction du coefficient de partage K_{eau} ($\text{g}_{eau} \cdot \text{cm}^{-3}$ de polymère hydraté / $\text{g}_{eau} \cdot \text{cm}^{-3}$ en solution) et

Chapitre III : Séparation Membranaire

du coefficient de diffusion moyen de l'eau à travers la membrane D_{eau}^m . La perméabilité à l'eau de la membrane A_s ($\text{m.s}^{-1}.\text{bar}^{-1}$), pendant l'osmose inverse d'un soluté, est une grandeur de perméabilité couramment communiquée par les fabricants de membrane. Elle dépend notamment de l'épaisseur de la couche active L (m) et du soluté perméant. Le produit de la masse volumique ρ_{eau} et du volume molaire de l'eau à 20 °C V ($0,018 \text{ L.mol}^{-1}$) correspond à la masse molaire de l'eau M_{eau} (kg.mol^{-1}).

Le transfert d'un soluté est régi principalement par le gradient de concentration. En supposant que l'activité de l'eau puisse être exprimée par la concentration molaire, dans les plages de concentration considérées en dessalement, et en combinant les équations III.1 et III.2, le flux de soluté est exprimé par la relation suivante, la forme 1^{ère} de la loi de Fick :

$$J_s = \frac{P_s}{L} \Delta C_s = B_{app}(C_m - C_p) \quad (\text{III.7})$$

Le flux transféré de soluté J_s ($\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$) est lié à P_s la perméabilité intrinsèque du soluté ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$), dépendant de façon analogue du coefficient de diffusion moyen du soluté D_s^m et du coefficient de partage K_s , et de ΔC_s (mol.L^{-1}), le gradient de concentration transmembranaire du soluté, force motrice pour le transfert de soluté, correspondant à la différence entre la concentration de soluté en surface de la membrane C_m et la concentration de soluté dans le perméat C_p . Le flux de soluté peut être dans une première approximation lié à la perméabilité apparente de soluté B_{app} (m.s^{-1}). Cette grandeur dépend comme A_s de l'épaisseur de la couche active de la membrane L (m) et des conditions opératoires de filtration, le flux de perméation $J_{perm,s}$ et la rétention à la membrane du soluté R_m (équation III.9).

$$R_m = 1 - \frac{C_p}{C_m} \quad (\text{III.8})$$

R_m traduit donc la capacité de réjection apparente d'une membrane, propriété dépendant de la nature du soluté et des conditions de perméation, influençant notamment le phénomène de polarisation de concentration.

La perméabilité au soluté apparente B_{app} peut être exprimée en fonction de $J_{perm,s}$ et de R_m selon l'équation suivante, en appliquant le principe de conservation de la masse :

$$B_{app} = J_{perm,s} \frac{1-R_m}{R_m} \quad (\text{III.9})$$

Cette équation reflète le transfert moyen d'un soluté à travers une membrane par osmose inverse. Il apparait de cette équation, que le passage en sel diminue, ou la concentration finale dans le perméat diminue, lorsque P_{app} augmente [57].

3.4.2. Polarisation de concentration

La polarisation de concentration est un phénomène inhérent au sein de membranes sélectives. Il correspond à l'accumulation progressive de matière ou concentration en surface de matières retenues. Elle engendre généralement une augmentation de la pression osmotique et donc une diminution du flux de perméation lorsque la pression appliquée moyenne est constante et une diminution de la rétention observée [58].

La rétention observée est la grandeur de rétention déterminée directement par la mesure de la concentration au sein du retentât, C_R , et du perméat :

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{C_R} \quad (III.10)$$

La rétention est corrigée pour obtenir R_m en tenant compte de la polarisation de concentration.

Le profil de concentration du soluté à travers la couche limite présente à la surface de la membrane (définissant la polarisation de concentration) peut être décrit par le modèle du film. Dans ce modèle, le coefficient de transfert de matière (k) est relié au flux de perméation $J_{perm,s}$ et aux concentrations C_m , C_p et C_0 selon l'équation III.11.

$$FC = \frac{C_m - C_p}{C_R - C_p} = e^{\frac{J_{perm,s}}{k}} \quad (III.11)$$

Le coefficient de transfert de matière au sein de la couche limite de polarisation de concentration dépend, selon le modèle du film, du coefficient de diffusion du soluté et de l'épaisseur de la couche limite (δ).

Le module de polarisation de concentration (FC) définit le taux de concentration du soluté en surface de la membrane. Comme pour k , FC dépend de conditions hydrodynamiques en surface de la membrane, conditionnées principalement par la vitesse de balayage tangentiel, des caractéristiques géométriques de l'enceinte au sein de laquelle l'écoulement est réalisé, mais également du flux de perméation. Un flux de perméation plus important modifie l'équilibre de flux de transfert à travers la couche limite de polarisation de concentration et induit une accumulation plus importante en surface de la membrane (figure 06).

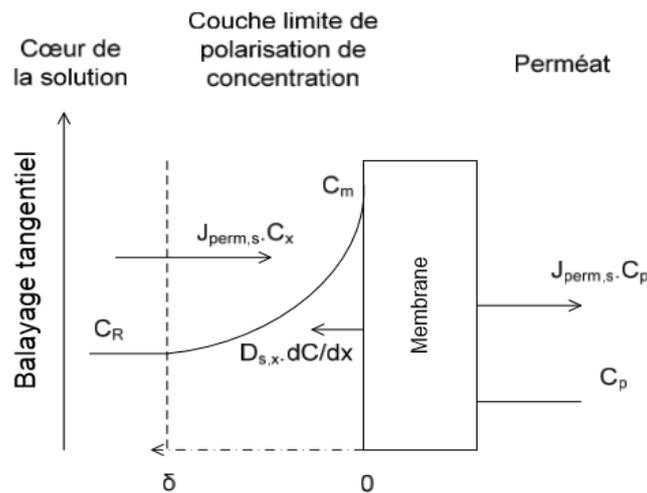


Figure III.2 : Représentation schématique du profil de concentration d'un soluté et de son accumulation en surface d'une membrane sélective au sein de la couche limite de polarisation de concentration.

Le coefficient de transfert est de manière générale déterminé à partir de relations empiriques reliant les nombres adimensionnels de Sherwood (Sh), Reynolds (Re) et le nombre de Schmidt (Sc) sous la forme suivante :

$$Sh = \frac{k d_h}{D_s} = \alpha_1 Re^{\alpha_2} Sc^{\alpha_3} \quad (III.12)$$

Dans cette équation d_h est le diamètre hydraulique et D_s est le coefficient de diffusion de Stokes du soluté dans une solution aqueuse et α_1 est une constante dépendant de paramètres hydrodynamiques et géométriques spécifiques.

Chapitre III : Séparation Membranaire

Ces relations sont généralement établies pour des régimes hydrodynamiques et des géométries spécifiques. Le comportement hydrodynamique présent dans des modules industriels de filtration a été étudié afin d'établir en particulier une relation liant le diamètre hydraulique aux caractéristiques géométriques des espaceurs placés en surface de la membrane [59]. Plusieurs corrélations (du nombre de Sherwood) ont été proposées dans la bibliographie. Les principales sont répertoriées dans le tableau suivant :

Tableau 3.1. Principales – Coefficients α_1 , α_2 , α_3 (équation III.12)

| Régime | α_1 | | α_2 | α_3 | conditions | Références |
|---------------|------------|-------------|------------|------------|---|------------------|
| | Constante | $(d_H/L)^x$ | | | | |
| Laminaire | 0.664 | 0.33 | 0.5 | 0.33 | $L < 0.029 d_H Re$ | Grober |
| Laminaire | 1.86 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | $L > 0.029 d_H Re$ | Graetz- Lévêque |
| Turbulent | 0.023 | - | 0.875 | 0.25 | $1 < Sc < 1000$ | Deissler |
| Turbulent | 0.0096 | - | 0.91 | 0.35 | $Sc > 1000$ | Harriot-Hamilton |
| Avec espaceur | 0.065 | - | 0.875 | 0.25 | $Sc < 1000$ $100 < Re < 1000$ $2 * 10^{-3} < d_H/L < 4 * 10^{-3}$ | Schock-Miquel |

Sutzkover et al, 2000 proposent une approche afin de déterminer la concentration de soluté à la membrane. Dans leur étude portant sur les effets de la polarisation de concentration durant l'osmose inverse de chlorure de sodium, les auteurs ont défini une relation liant le facteur de polarisation de concentration au flux de perméation et aux pressions osmotiques en supposant que la perméabilité à l'eau (A), une propriété du polyamide aromatique déterminée par l'équation III.13, n'est pas affectée par la présence de ce sel, notamment par adsorption ou gonflement de la structure. Ceci est acceptable pour des membranes sélectives au sein desquelles la viscosité de la solution aqueuse peut être prise comme égale à celle de l'eau UP

$$J_{perm,eau} = \Delta P - \frac{1}{R_{hyd}\mu_{eau}} = \Delta P - A \quad (III.13)$$

Le flux de perméation $J_{perm,eau} (m.s^{-1})$ est mesuré durant la filtration d'eau ultra pure. La pression motrice ΔP est égale dans ce cas à la pression appliquée moyenne P_{app} . A est liée à la résistance hydraulique $R_{hyd} (m^{-1})$, propriété de la couche active, et à μ_{eau} la viscosité dynamique de l'eau (Pa.s).

La pression osmotique en surface de la membrane Π_m peut donc être déterminée en combinant les équations III.6 et III.13 :

$$\pi_m = \pi_p + P_{app} \left(1 - \frac{J_{perm.s}}{J_{perm,eau}} \right) \quad (III.14)$$

La concentration du soluté à la membrane peut être déduite de la pression osmotique Π_m à partir de la relation de Van't Hoff.

3.4.3. Prédiction de la sélectivité à partir de grandeurs phénoménologiques

Les grandeurs phénoménologiques, R_m et le nombre adimensionnel de Péclet au sein de la couche limite de polarisation de concentration et au sein de la membrane, peuvent être utilisées pour prédire le taux de rétention à partir des conditions de transfert au sein de la couche limite de polarisation de concentration et de la membrane. Le nombre adimensionnel Péclet, pour la couche limite, est écrit sous la forme suivante :

$$Pe_{cl} = \frac{J_{perm,s} \delta}{D_{cl}} = \frac{J_{perm,s}}{k} \quad (III.15)$$

Le Pe au sein de la membrane est écrit selon l'équation I.17bis

$$Pe_{mem} = \frac{J_{perm,s} L}{D_{mem}} \quad (III.15bis)$$

La rétention observée peut être réécrite en fonction de ces trois grandeurs, exprimant l'équilibre entre le transfert de soluté convectif et diffusif sur la rétention observée :

$$R_{obs} = 1 - \frac{C_p}{C_R} = \frac{1}{1 + \frac{1-R_m}{R_m} \frac{e^{Pe_{cl}}}{1 - e^{-Pe_{mem}}}} \quad (III.16)$$

A de faibles flux de perméation, le nombre de Péclet est $\ll 1$. Le transfert est essentiellement diffusif au sein de la membrane et de la couche limite de polarisation de concentration. Dans ces conditions, la rétention observée est faible, essentiellement en raison du flux diffusif au sein de la membrane, et tend vers 0 pour un flux de perméation nul. Lorsque le flux de perméation augmente la rétention observée augmente de façon monotone continue (Figure 07). Au-delà d'une certaine valeur du Pe, la variation de R_{obs} est inversée avec l'augmentation de $J_{perm,s}$, en raison de l'augmentation de la concentration de C_m et de C_p , induisant ainsi une diminution de R_{obs} . La figure 07 montre par ailleurs, que l'effet de la polarisation de concentration influe d'autant plus que le coefficient de transfert k est faible ou que Pe_{cl} est élevé.

La figure 07 montre que R_m tend vers une asymptote, correspondant à une rétention absolue R_∞ , lorsque le flux de perméation est très important, résultat du modèle de solubilisation diffusion.

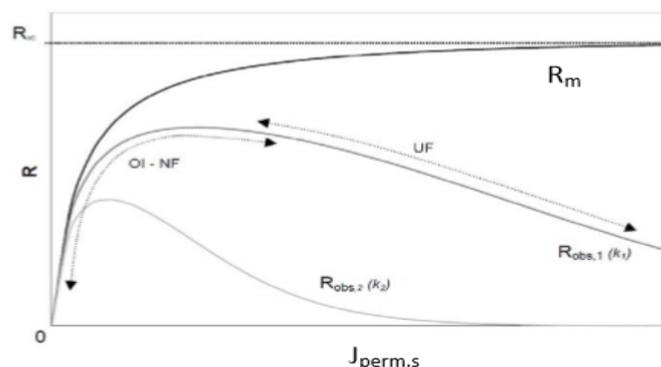


Figure III.3 : Rétention intrinsèque et observée en fonction du flux de perméation.

3.5. Récupération d'énergie

3.5.1. Installation avec récupération sur un turbo compresseur

Les grosses installations (Unités au-delà de 150 à 200 tonnes/jour) utilisent des systèmes à turbines qui remplace la vanne de régulation et permettent de récupérer 30% à 35% de l'énergie perdue au rejet. Ces unités fonctionnent sur le schéma de principe suivant :

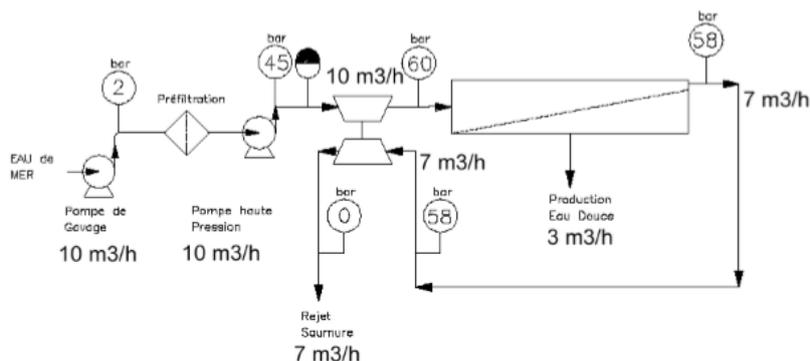


Figure III.4 : Installation avec turbocompresseur

Le rejet de saumure ($7 \text{ m}^3/\text{h}$ à 58 bars) est envoyé sur la turbine réceptrice d'un turbocompresseur fonctionnant à l'eau de mer. Cette turbine joue le rôle de la vanne de pression en créant une perte de charge sur le rejet de saumure, l'énergie ainsi récupérée permettant d'élever la pression de l'eau de mer au refoulement de la pompe HP, de 15 bar environ sur un débit de $10 \text{ m}^3/\text{h}$. (Le rendement du turbo est donc d'environ 35%: transformation de $7 \text{ m}^3/\text{h}$ à 58 bar vers $10 \text{ m}^3/\text{h}$ à 15 bar). Dans ce cas, la pompe haute pression ne doit plus délivrer que $10 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 45 bars soit une économie énergétique de 25%

Dans ces nouvelles conditions, le bilan énergétique de l'installation devient:

Pompe de Gavage : $10 \text{ m}^3/\text{h}$ à 2 bar = 2 kW

Pompe Haute pression : $10 \text{ m}^3/\text{h}$ à 45 bar = 15 kW

Soit 17 kW pour une production de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ et donc un ratio de 5,66 kWh/m³

Compte tenu du coût élevé des turbo compresseur compatibles eaux de mer, ce type d'équipement n'est rentable que sur des installations de capacité plus élevée, au moins $200 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figure III.5 : Turbo sur une unité SH62-918 pour

un débit eau de mer de $18 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figure III.6 : Osmoseur.SSH62-928 équipé d'un turbo

3.5.2. Installation avec échangeur de pression (PX)

Depuis deux ans, un nouveau concept de récupération fait ses preuves sur les installations de dessalement par osmose inverse et permet de récupérer 95% de l'énergie du rejet de saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (Pressure Exchanger) de la compagnie américaine ERI. Le schéma de l'installation est fortement modifié par rapport à un système standard, le principe de base est de transmettre la pression de la saumure à la même quantité d'eau de mer nouvelle entrant dans le circuit et ainsi de réduire la taille de la pompe haute pression à un débit correspondant non plus au débit d'eau de mer (10 m³/h dans notre exemple) nécessaire au bon fonctionnement des membranes, mais seulement au débit de perméat (Volume d'eau douce produite; 3 m³/h dans l'exemple.) entraînant ainsi un gain important de puissance.

Le système fonctionne suivant le nouveau schéma:

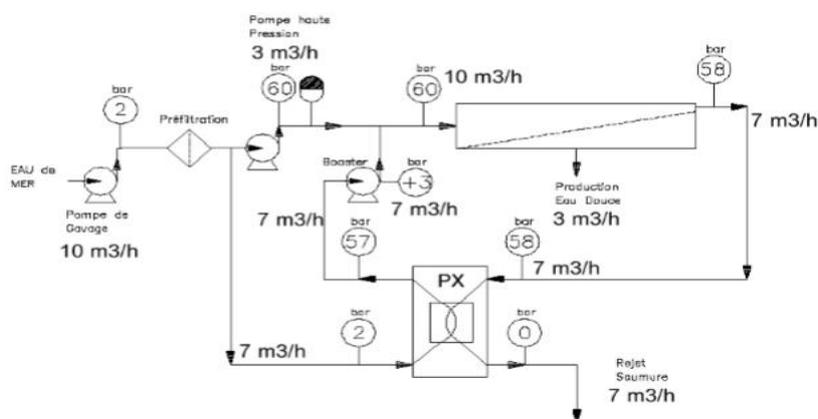


Figure III.7 : Installation avec échangeur de pression PX

La pompe de gavage fournit à l'installation la même quantité d'eau de mer (10 m³/h) à 2 bar, mais cette fois, seulement 3 m³/h sont dirigés vers une pompe HP trois fois plus petite. Le complément de 7 m³/h est envoyé vers l'échangeur de pression PX qui transmet la pression de 58 bars des 7 m³/h de saumure à cette nouvelle eau de mer. L'eau de mer montée à 57 bar sort de l'échangeur, récupère sur un booster en ligne les 3 bars qui lui manque pour rejoindre l'eau de mer sortant de la pompe haute pression et c'est bien un débit de 10 m³/h à 60 bar qui entre dans le module d'osmose inverse, donc dans les mêmes conditions que le schéma standard. La production est donc identique à savoir 3 m³/h d'eau douce. La différence de 7 m³/h se retrouve à la sortie saumure sous 58 bar et revient vers l'échangeur pour fournir l'énergie à l'eau de mer. La saumure, après avoir cédé sa pression sort de l'échangeur vers le rejet à pression atmosphérique.

Le nouveau bilan énergétique de l'installation devient:

Pompe de Gavage : $10 \text{ m}^3/\text{h}$ à 2 bar = 2 kW

Pompe Haute pression : $3 \text{ m}^3/\text{h}$ à 60 bar = 6 kW

Booster: $7 \text{ m}^3/\text{h}$ à 3 bar = 1,5 kW

Soit 9,5 kW pour une production de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ et donc un ratio de $3,2 \text{ kWh}/\text{m}^3$ [60].



Figure III.8 : Echangeur type PX 180 sur l'une des unités SLCE de 500 m³/jour de l'installation d'Anaux sur l'île de Bora-Bora

3.6. Configuration des modules

3.6.1. Module plan ou filtre-presse

Cette configuration dérivée des filtres-presses est constituée d'un empilement de membranes sous forme de feuilles. Les membranes sont disposées parallèlement les unes aux autres et sont séparées par des grilles ou support.

3.6.2. Modules spirales (SW)

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât.

3.6.3. Modules tubulaires

Ils sont constitués d'une ou plusieurs membranes inorganiques ou organiques de forme tubulaire, ayant des diamètres internes entre 4 et 25 MM. Plusieurs tubes individuels peuvent être placés dans un module. Le module multicanaux (monolithes) fait d'assemblage de tubes parallèles dans une même matrice représente la forme optimisée actuelle.

3.6.4. Modules fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 MM. Les faisceaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne-externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse. [61]

3.7. Avantage

Les techniques membranaires présentent de nombreux avantages par rapport aux autres procédés de traitement des eaux salines, en particulier la distillation par bouilleur, l'électrodialyse ou l'échange d'ions.

3.7.1. Avantages des techniques membranaires

- Simplicité d'exploitation de l'unité de traitement (technique "presse-bouton")
- Peu ou pas de produits chimiques, d'où absence de sous-produits engendrés par le traitement
- Meilleure qualité de l'eau traitée. (Turbidité de l'eau produite toujours inférieure à 0,1 NTU)
- Stérilisation totale d'où une simple désinfection de sécurité après filtration

3.7.2. Avantages en exploitation

Le matériel est compact léger et simple d'installation : seuls sont nécessaires les raccordements sur canalisations d'alimentation et de rejet, ainsi que l'alimentation électrique. Le concept modulaire offre très facilement la possibilité d'une extension ultérieure en cas d'augmentation du besoin en eau à traiter. Les manœuvres sont quasi inexistantes, toutes les commandes de l'osmoseur sont accessibles par pression sur un bouton situé sur le tableau de commande. Une grande souplesse est apportée par le temps de réponse très bref d'un osmoseur : moins de 3 minutes sont nécessaires après un démarrage pour obtenir de l'eau potable.

3.8.Comparaison avec d'autres procédés

Le principe de l'osmose inverse est d'ordre mécanique de conception « tout ou rien » : la membrane produit de l'eau de parfaite qualité ou ne produit pas. Contrairement aux autres procédés de distillation et surtout à l'électrodialyse ou l'échange d'ions l'osmose inverse permet d'obtenir des eaux de qualité constante, très pures et très sûres, même en cas de fluctuations sur la qualité de l'eau brute.

Comparativement au bouilleur il ne nécessite pas de changement d'état, et donc pas d'échauffement : La seule source d'énergie nécessaire est l'électricité, utilisée pour entraîner les pompes. La consommation électrique est faible. Seul le circuit haut pression doit résister à une pression de 70 bars. Les matériaux composites permettent d'y parvenir sans alourdir le système. L'utilisation de matériaux synthétiques permet de garantir la tenue parfaite à la corrosion. Seules les pièces de structure et les raccords sont en inox 316L ou 316 Ti. L'appareil est compact et léger. Les membranes d'osmose inverse éliminent parfaitement tous types de particules, colloïdes, bactéries, virus et macromolécules. L'eau produite par osmose inverse est donc potable et ne nécessite pas de post traitement complexe [60].

4. Membrane

4.1.Définition

Une membrane [62] peut être définie comme étant une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. La force de transfert recouvre le gradient de pression, de concentration, d'activité, de potentiel électrique ou encore de température. De ce fait, les membranes incluent une grande variété de matériaux et de structures qui forment autant de possibilités de configuration et de classification

4.2.Modes de fonctionnement

Les membranes peuvent être utilisées en filtration selon deux fonctionnements principaux. La filtration frontale (dead-end) ou la filtration tangentielle (cross-flow). Ces deux modes sont très importants et correspondent à deux technologies et deux approches complètement différentes de la filtration.

4.2.1. Filtration frontale

La plus simple à mettre en œuvre et la moins onéreuse est la filtration frontale dont le principe est de filtrer la solution perpendiculairement à la surface de la membrane (Figure 13). Toute la matière retenue s'accumule sur la membrane. Ce type de procédé n'atteint jamais un état stationnaire. La filtration frontale est une technique qui nécessite un faible investissement, et des coûts énergétiques de fonctionnement qui sont faibles par rapport à la filtration tangentielle. Par contre, ce type de fonctionnement permet essentiellement de filtrer des suspensions qui sont considérées comme faiblement colmatantes dans un secteur d'activité donné. En effet si la solution est fortement colmatante le dépôt devient tel que les flux deviennent trop faibles pour que l'opération puisse fonctionner avec des débits raisonnables. Cette technique est utilisée en traitement de l'eau pour sa potabilisation, mais aussi dans le secteur médical pour enlever toute trace de virus ou de bactérie d'une eau de type « eau du réseau » qui est faiblement colmatante. Dans ce dernier domaine la filtration frontale est aussi appréciée du fait que cette technologie est compacte et donc plus facilement stérilisable qu'un circuit qui fait intervenir plusieurs pompes.

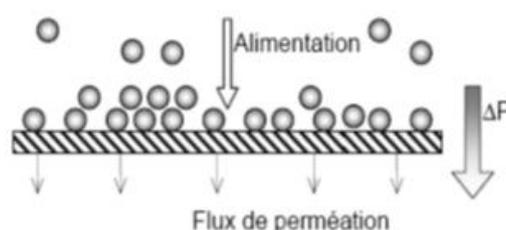


Figure III.9 : Présentation du fonctionnement de la filtration frontale

4.2.2. Filtration tangentielle

En filtration tangentielle, le fluide circule parallèlement à la surface de la membrane avec une vitesse moyenne U_z , imposant ainsi un gradient de cisaillement à la surface de la membrane qui limite ainsi l'accumulation de matière. En filtration tangentielle lors d'un changement de pression, les espèces arrivant près de la membrane ainsi que le dépôt (dans le cas où il y en a un) mettent un certain temps à se construire, durant cette phase, le flux décroît (Figure 14). Ensuite, un équilibre peut être atteint et le flux peut se stabiliser dans un état stationnaire.

La filtration tangentielle est souvent utilisée en industrie car elle permet de travailler – une fois que le régime est établi (entre quelques minutes et quelques heures) – avec un flux de perméat à peu près constant.

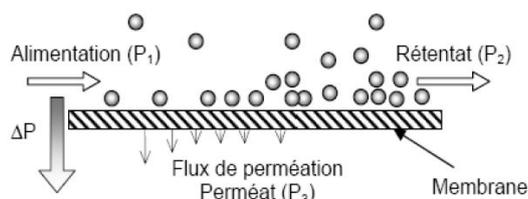


Figure III.10 : Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle.

Dans le cas de la filtration tangentielle, la pression transmembranaire est calculée de la façon suivante:

$$\Delta P = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) - P_3 = PTM$$

Avec :

ΔP : la pression transmembranaire

P_1 : la pression en entrée de module s'appliquant sur la membrane

P_2 : la pression en sortie de module (reliée à P_1 par la perte de charge dans le module)

P_3 : la pression dans le compartiment retentât souvent égale à la pression atmosphérique.

Il est possible avec ce type de fonctionnement, lorsque l'opération fonctionne à des faibles pressions d'éviter l'apparition d'un dépôt à la surface de la membrane cela correspond à des conditions de fonctionnement en dessous du flux critique. En biotechnologie, dans le cas de la filtration de moûts de fermentation, ne pas former un dépôt de surface permet d'éviter l'éclatement par compression dans le dépôt des cellules vivantes. Les points faibles de ce type de fonctionnement sont le prix de l'investissement et de l'énergie consommée par les pompes de circulation [63].

4.3.Types de membrane

4.3.1. De par leur nature

Les membranes sont fabriquées à partir de différents matériaux, de type organique ou minéral. Les membranes minérales ou céramiques sont de type composite (zircone ZrO_2 sur support carbone macroporeux ou sur alumine Al_2O_3 , ou oxyde de titane TiO_2 sur alumine ou encore totalement en carbone ou en alumine). Elles sont largement répandues car elles sont très sélectives, très perméables et peuvent être soumises plus facilement à des procédés de nettoyage assez agressifs sans trop être altérées. Elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique.

Les membranes organiques sont fabriquées à partir de polymères. Les dérivés cellulosiques restent encore très utilisés, ainsi que les polyamides (en OI et NF). D'autres polymères, tels les polyacrylonitriles (PAN), les polysulfones (PS) et les polyfluorures de vinylidène (PVDF) sont de plus en plus répandus car ils résistent mieux à l'oxydation, au pH ou à la température.

4.3.2. De par leur porosité

4.3.2.1.Membranes poreuses

Ce type de membrane est similaire par sa structure au filtre conventionnel (de diamètre de pore supérieur au micron), mais elle diffère par la taille de ses pores 0,01 à 1 micron. Les particules plus grosses que les pores sont tous retenus, celle de taille comprise entre les plus gros pores et les plus petits sont partiellement retenus, et les particules de plus petites tailles passent en totalité. La séparation de soluté par des membranes poreuses est donc principalement une fonction de taille moléculaire et de distribution de taille de pores. En général, seulement les molécules qui diffèrent largement de taille peuvent être séparées par des membranes poreuses, par exemple en microfiltration ou ultrafiltration.

Généralement, en vue d'une meilleure sélectivité, une membrane poreuse est confectionnée de façon à comporter une distribution des diamètres des pores centrée autour d'une seule valeur :

- soit un diamètre inférieur à 2 nm environ dans le cas de micropores ;
- soit un diamètre compris entre 2 et 50 nm dans le cas des méso pores ;
- soit une taille supérieure à 50 nm dans le cas des macros pores.

Le mécanisme de transfert de matière sous l'effet de la pression est exclusivement convectif pour le solvant, celui n'entraîne avec lui que les espèces dont la taille est plus petite que celle des pores (effet tamis).

4.3.2.2. Membranes denses

Cette membrane consiste en un film dense à travers lequel le perméat est transporté par diffusion sous l'effet d'une force de pression, de concentration ou de gradient de potentiel électrique. La séparation des composés d'un mélange est directement reliée à leur diffusivité et leur solubilité à travers la membrane. Ainsi, une membrane dense peut séparer des composés de taille voisine si leur solubilité diffère.

Dans une membrane dense, lorsque les pores se réduisent aux espaces libres situés entre les chaînes de polymères, leur taille est voisine de celles des molécules organiques simples ou des ions hydratés. L'effet tamis devient donc négligeable.

4.3.3. De par leur fabrication

Pour obtenir une perméabilité sélective élevée, compatible avec un usage industriel, il est nécessaire que la barrière soit la plus mince possible. Il en résulte une certaine fragilité qui a été palliée par la consolidation de la barrière mince par différents moyens que ce soit, un support à pores de même nature ou de nature différente, un support tissé.

4.3.3.1. Membranes anisotropes (ou asymétriques)

Ces membranes sont formées d'une couche de surface très fine déposée sur un support poreux plus épais. Les propriétés de séparation et de perméabilité sont assurées par la fine couche extérieure, alors que la structure interne assure le support mécanique. Les bénéfices résultant en gain de flux sont tels que la plupart des procédés de séparation commerciaux utilisent des membranes anisotropes. Le flux à travers une membrane est inversement proportionnel à son épaisseur. Des flux élevés sont recherchés pour des raisons économiques, donc les membranes devraient être aussi fines que possible. Les technologies de fabrication conventionnelles de membranes permettent de fabriquer des membranes suffisamment résistantes et sans défaut, d'épaisseur minimale de 20 μm .

Les membranes organiques de microfiltration à nanofiltration ont une matrice organique de 100 à 200 μm qui sert de support à la membrane filtrante ou peau dont l'épaisseur se situe entre 0,1 et 1 μm .

Les membranes minérales, aussi asymétriques, sont composées d'une matrice à base d'alumine ou de carbone sur laquelle sont appliquées une ou plusieurs couches d'oxydes minéraux. La dernière couche est appliquée par frittage. Ainsi, la taille des pores est déterminée par granulométrie de la poudre initiale.

La peau peut être dense ou poreuse selon l'application envisagée et la tenue mécanique peut encore être améliorée par l'incorporation d'un support textile.

4.3.3.2. Membranes composites

Ces membranes sont de type organique et anisotrope. Cependant les deux couches la composant sont formées de polymères différents. Les membranes composites de nanofiltration et d'osmose inverse sont formées d'une matrice de 200 μm au centre, sur laquelle est appliquée une couche anisotrope de 40 μm de polymère poreux qui supporte une fine couche de 0,3 à 3 μm de polymère ajouté conférant à la membrane ses propriétés de rétention et de flux.

4.3.3.3. Membranes à charge électrique

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions. Par exemple, les ions monovalents sont plus difficilement retenus que les ions bivalents et, dans les solutions à force ioniques élevées, la sélectivité diminue. On rencontre ce type de membranes principalement en électrodialyse, mais aussi en osmose inverse. Les différents types de membranes décrits ci-dessus sont présentés à la Figure 15.

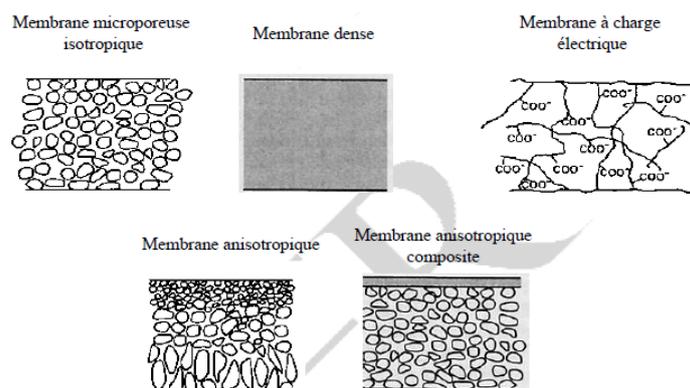


Figure III.11 : Description des différents types de membrane [64].

4.4. Structure des matériaux membranaires

La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes : les membranes isotropes, (elles ont des propriétés structurales constantes sur toute leur épaisseur) ; les membranes anisotropes (leur microstructure varie de la surface de la membrane vers l'intérieur). Nous ferons également une distinction de structure entre les différentes membranes, organiques, minérales, composites, liquides, textiles et échangeuses d'ions. Il est évident qu'une membrane donnée peut appartenir à plus d'une famille de cette classification. Par exemple, une membrane peut être échangeuse d'ions organique ou minérale, liquide ou solide...

4.4.1. Les membranes organiques

Les matériaux organiques les plus courants sont synthétisés à base de polymères standards semi-cristallins comme le polyéthylène, le polypropylène, les polyamides, le Téflon®, les polyfluorures, PVDF, la cellulose ou de polymères amorphes à l'état vitreux tels que les esters cellulosiques, le PVC et les polysulfones. D'autres polymères plus spéciaux sont utilisés comme les polyimides, les polyuréthanes, les polymères perfluorés, les polyamides au rapport hydrophilie/hydrophobie contrôlé par réaction interfaciale ...

Les qualités (flexibilité, résistance mécanique, résistance chimique...), les propriétés chimiques (réactivité...) et physico-chimiques (sélectivité, perméabilité...) confèrent à ces membranes une grande adaptabilité aux différentes applications. Les espèces chimiques utilisent les espaces entre les chaînes macromoléculaires du polymère pour se déplacer d'une face de la membrane à l'autre. Ces espaces, nommés interstices, peuvent être de très petites tailles (de l'ordre du nm), donnant à la membrane un aspect continu et

homogène, comme ils peuvent être de grandes tailles (de l'ordre du μm) allant rendre la membrane hétérogène, voire microporeuse.

4.4.2. Les membranes minérales ou inorganiques

De commercialisation plus tardive que les membranes organiques, ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement de céramiques, de métaux frittés ou de verres inorganiques.

Les membranes inorganiques possèdent plusieurs propriétés :

- Une stabilité mécanique élevée ce qui n'entraîne pas de déformation même pour des gradients de pressions élevés.
- Elles résistent à de fortes températures (par exemple pour la filtration d'huiles ou de pétrole)
- Une stabilité chimique dans des solutions acides et basiques même si elle dépend tout de même du matériau. Cela est vrai par exemple pour les membranes en zircon mais la stabilité est limitée pour les membranes en alumine gamma.
- Une durée de vie élevée : en effet, le CEA utilise des membranes en céramique pour la séparation de l'uranium, en place depuis 40 ans [65].

L'arrivée de ces membranes inorganiques a ouvert de nouvelles voies pour les applications industrielles. De même que pour les membranes organiques, la taille des interstices fixe la nature homogène ou poreuse de la membrane [66].

4.4.3. Les membranes composites

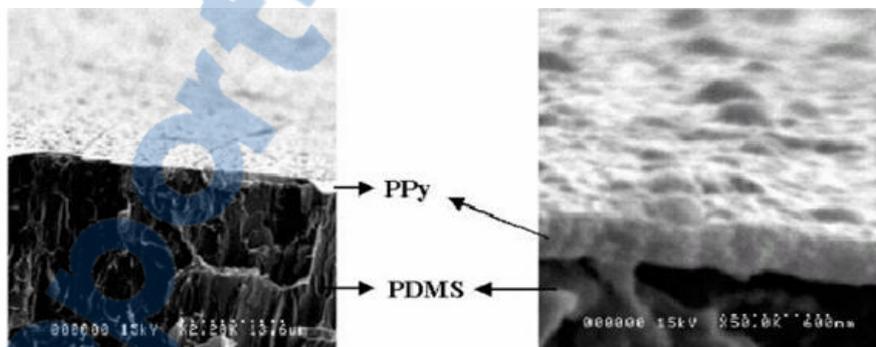


Figure III.12 : Image prise par MEB d'une membrane composite de polypyrrole (polymérisation interfaciale)

Apparues depuis plus de dix ans [67], elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la « peau » est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une éventuelle superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique (figure 16). Elles peuvent être purement organiques (superposition de différents films de polymères organiques), organo-minérales dites aussi hybrides [68] (association de polymères avec des métaux comme du Zr, du Ti, du Pt... ou d'oxydes de métaux (alumine, silice...) ou purement minérales (superposition de plusieurs couches inorganiques de propriétés chimiques et mécaniques différentes).

4.4.4. Les membranes liquides

Découvertes en 1968 par LI [69], et connaissant un certain développement ces dernières années, ces membranes sont obtenues soit par émulsion d'un tensioactif dans un mélange de liquides non miscibles, soit

Chapitre III : Séparation Membranaire

par imprégnation d'un support poreux inerte par un liquide non miscible aux solutions externes. Ces membranes offrent une grande surface de contact facilitant l'échange ou le transfert de matière, et de très grandes mobilités pour les ions ou les molécules, mêmes les plus lourds et les plus encombrants stériquement [70-76].

4.4.5. Les membranes échangeuses d'ions (MEI)

Introduites en 1950 [77], elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions en fonction de leur charge et cela grâce à la présence de sites fonctionnels dissociables et fixes. Ces membranes peuvent être hétérogènes (distinction possible, à une échelle macroscopique, de différentes parties de la membrane : trame, grains, défauts de structure, pores... avec une répartition non uniforme de sites fonctionnels) ou homogènes (une seule phase avec une répartition uniforme des sites fonctionnels dans toute la membrane).

Une membrane échangeuse d'ions constitue une phase insoluble capable d'échanger les ions qu'il contient avec ceux d'une solution d'électrolyte. Les ions échangés peuvent être des anions ou des cations.

Chacune de ces membranes peut porter des sites fonctionnels tous de même signe pour donner des membranes dites homopolaires (membranes échangeuses de cations (MEC) si les sites sont chargés négativement et membranes échangeuses d'anions (MEA) dans le cas contraire), ou les deux types de sites pour les membranes dites bipolaires [78] (collage de deux membranes homopolaires différentes MEA et MEC) ou mosaïques [79-84] (alternance des deux types de sites fonctionnels fixés sur une même matrice).

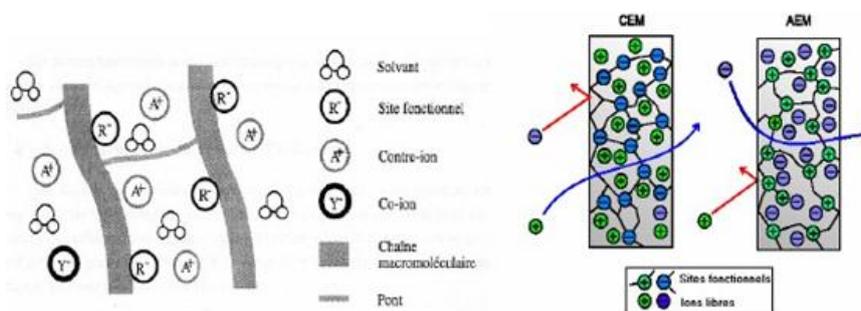


Figure III.13 : Représentation schématique d'une membrane échangeuse de cations.

Ces sites ioniques ont tendance à se solvater, et pour empêcher la dispersion des chaînes en milieu aqueux, elles sont souvent pontées. Un réseau tridimensionnel rigide est alors obtenu formant un polyanion.

Pour assurer l'électroneutralité du matériau il faut que la structure contienne un nombre équivalent d'ions mobiles de charge contraire à celle des sites fonctionnels, appelés contre-ions. Ces derniers sont donc très abondants au sein de la matrice polymérique. L'électrolyte et le solvant pénètrent dans cette structure et tous les ions de même signe que les sites fixes, dits co-ions accompagnant l'électrolyte ont tendance à être exclus de la membrane. Il s'agit de l'effet d'exclusion de DONNAN. Nous pouvons d'ailleurs représenter schématiquement un échangeur de cations par la figure 17.

Par conséquent, lors d'une opération de transfert ou d'échange de matière entre une membrane échangeuse d'ions et le milieu extérieur, presque exclusivement les contre-ions peuvent se déplacer dans la phase membranaire et s'échanger avec d'autres contre-ions. Nous disons alors que la membrane est sélective (quand il s'agit d'échange) ou permsélective (quand il s'agit de transfert) au contre-ions. Lorsque la concentration de l'électrolyte externe augmente, l'exclusion des co-ions s'affaiblit et la membrane perd sa

sélectivité. De plus, dans un milieu très polaire (aqueux ou/et organique), les sites fonctionnels fixés sur les chaînes macromoléculaires ont tendance à se solvater et à se disperser à cause du gonflement.

4.4.6. Les sites fonctionnels utilisés

Dans le cas d'un échangeur de cations, le réseau macromoléculaire est constitué de charges négatives et forme un polyanion (sulfonique SO_3^- , phosphorique PO_3^{2-} pour les membranes à groupe acides fort ; carboxylique COO , arsonique 2AsO_3^- pour celles à groupes acides faibles).

Pour un échangeur d'anions, les sites fixes ont une charge positive et forment un polycation

4.4.7. Les textiles échangeurs d'ions

Lors de ces dernières années, nous notons l'apparition d'un nouveau matériau échangeur d'ions dit « textile échangeur d'ions : TEI » [85]. Les textiles échangeurs d'ions sont nés des recherches effectuées pendant plus de 20 ans par l'Institut Textile de France et résultent de l'association par machines textiles de fibres à fonction échangeur d'ions. Ils peuvent être constitués de fibres naturelles, artificielles ou synthétiques sur lesquels ont été fixés des sites fonctionnels échangeurs d'ions et se présentent sous la forme d'un média tissé, non-tissé, tricoté, sous forme de papier ou de poudre suivant le domaine d'application et les conditions d'utilisation envisagée [86]. La fonction d'échange d'ions est conférée au matériau textile par une copolymérisation de monomères ioniques spécifiques initiée par voie radio chimique, soit sous un rayonnement Gamma, soit sous un faisceau d'électrons accélérés [87]. Les textiles échangeurs d'ions sont des matériaux macroporeux régénérables, non-réticulés, qui possèdent de par leur structure et la mobilité des greffons échangeurs d'ions, une haute cinétique d'échange, supérieure à celle des résines échangeuses d'ions. En traitement d'effluents, ces TEI permettent notamment de traiter d'importants volumes sans perte de charge notable. Ces matériaux sont utilisés en traitement d'effluent liquides et gazeux, en traitement des boues et en protection des sols [88], en catalyse, en production d'eau ultrapure [89] et comme moyen de destruction de l'algue *Caulerpa Taxifolia* [90] qui s'étend en Méditerranée. Ils ne sont pas utilisés en tant que séparateurs mais permettent d'optimiser certains procédés électro membranaires en augmentant la conductivité électrique des solutions diluées en conséquence celle de tout le module.

L'équipe de BERDOUS [80] a mis au point un procédé utilisant des membranes échangeuses d'ions pour la récupération de métaux tels que le cuivre et l'argent, par dialyse de DONNAN. Toutefois, le phénomène d'osmose réduit l'efficacité de l'opération. Les auteurs ont alors combiné MEI et TEI, ce qui a permis d'améliorer le rendement car les propriétés hydrophiles du textile permettent de diminuer le flux d'eau et donc favorisent le transfert d'ions.

4.5. Caractéristiques des membranes

4.5.1. Sélectivité d'une membrane

Une membrane retient des solutés selon :

- leur taille : c'est l'effet stérique qui résulte de la structure « tamis » du matériau.
- leur charge : une membrane peut être chargée générant ainsi des interactions électrostatiques avec des composés chargés.
- leur hydratation : dans le cas de petit soluté le cortège d'eau d'hydratation qui l'entoure peut participer à la rétention.

Chapitre III : Séparation Membranaire

Dans le cas d'une rétention stérique, il est possible d'estimer à partir de considérations basées sur l'écoulement du solvant et du soluté dans un pore de rayon, r_p , de définir le taux de rejet par la loi de Ferry :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_m} = (1 - (1 - \lambda)^2)^2$$

Où $\lambda = \frac{r_s}{r_p}$: est le rapport du rayon du soluté sur le rayon du pore. L'évolution du taux de rejet en fonction de λ selon cette relation est représentée sur la figure III.14.

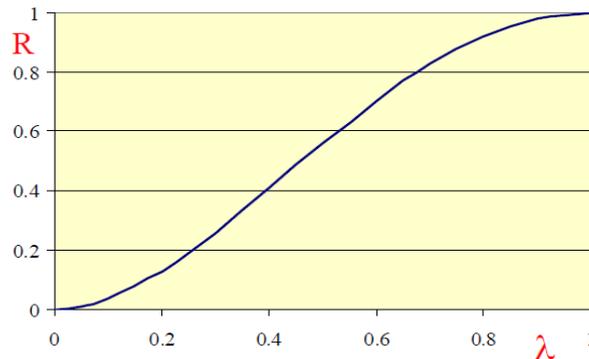


Figure III.14 : Evolution du taux de rejet en fonction du ratio rayon de soluté/ rayon du pore.

Une membrane n'est donc pas un séparateur séparant « parfaitement » les espèces par taille : le transfert d'un soluté deux fois plus petit que le pore est réduit de 40 %. Il faut, pour en rajouter encore sur « l'imperfection » des membranes, garder à l'esprit qu'une membrane possède une distribution de taille de pore !

Les conditions opératoires, et plus particulièrement le flux, ont un effet important sur le taux de rejet. En effet, le taux de rejet observé expérimentalement est défini par rapport à la concentration en solution, c_0 (et non la concentration à la membrane) :

$$R_{abs} = 1 - \frac{C_p}{C_0}$$

Le taux de rejet observé est alors dépendant du flux (ou du nombre de Péclet, Pe) qui conditionne la concentration à la membrane. De façon générale (fig 18), pour des flux faibles -dans le cas de l'osmose inverse- le taux de rejet croît avec le flux (à cause d'une moindre importance de la diffusion qui favorise le transfert des solutés à travers les pores) alors qu'au contraire pour des flux plus importants -ultrafiltration ou microfiltration- le flux décroît avec le flux (à cause d'une concentration de polarisation plus élevée due à la moindre importance de la diffusion qui limite l'accumulation). Dans le cas intermédiaire de la nanofiltration, il est souvent observé des taux de rejet quasi-constant correspondant au maximum sur la figure III.15.

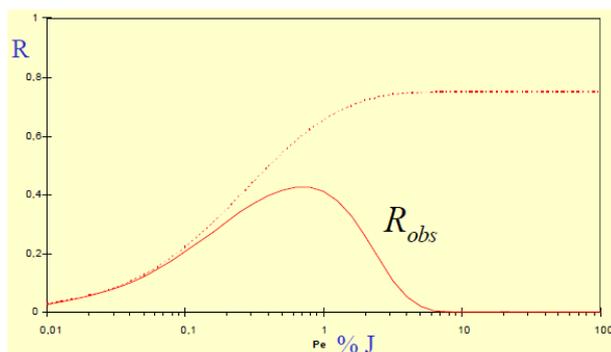


Figure III.15 : Evolution du taux de rejet observé avec le flux (ou le nombre de Péclet)[91].

4.5.2. Perméabilité d'une membrane

La perméabilité (A) d'une membrane est une caractéristique intrinsèque de la membrane qui dépend de sa structure. De façon pratique, la perméabilité peut être définie comme étant le rapport entre le flux de perméat (U_p) et la pression transmembranaire effective (ΔP) :

$$A = \frac{U_p}{\Delta P} \quad (\text{III.17})$$

Le flux de perméat (appelée aussi vitesse de perméat) est un débit de perméat unitaire, c'est-à-dire, le rapport entre le débit volumétrique de perméat (Q_p) et la surface effective de la membrane (S) :

$$U_p = \frac{Q_p}{S} \quad (\text{III.18})$$

En remplaçant le flux de perméat U_p défini par l'équation (III.18), dans l'équation (III.17), on obtient :

$$A = \frac{Q_p}{S * \Delta P}$$

En pratique, la perméabilité d'une membrane, est déterminée comme la pente de la droite U_p en fonction de ΔP .

Il faut mentionner qu'il existe des différences significatives de perméabilité entre divers coupons d'une même feuille de membrane à cause des irrégularités de fabrication. Pour cette raison, c'est la perméabilité moyenne qui est utilisée pour caractériser une membrane [92].

4.5.3. Résistance d'une membrane

La résistance hydraulique (R_m) d'une membrane peut être définie comme étant sa résistance à l'écoulement du fluide à filtrer à travers cette membrane. La résistance d'une membrane est l'inverse de sa perméabilité :

$$R_m = \frac{1}{A} = \frac{S * \Delta P}{Q_p}$$

Cette relation nous permet de calculer de façon pratique la résistance d'une membrane à partir des mesures de flux de perméat et de la pression transmembranaire.

Chapitre III : Séparation Membranaire

En supposant que les pores d'une membrane soient cylindriques et rectilignes, la loi de Poiseuille permet d'exprimer la résistance d'une membrane comme :

$$R_m = \frac{8e_m}{n_p * \pi * r_p^4}$$

Avec :

e_m : l'épaisseur de la couche active de la membrane

n_p : le nombre de pores par unité de surface

r_p : le rayon des pores

Cette équation montre que la résistance de la membrane augmente avec l'augmentation de l'épaisseur de la membrane et diminue avec sa porosité [93].

4.6. Vie utile des membranes

Théoriquement, une membrane utilisée dans d'excellentes conditions, c'est-à-dire avec une solution ne contenant pas d'impuretés, qui ne permet pas la multiplication d'une flore bactérienne, qui est maintenue à une température de 22 °C et à une pression à la pompe n'excédant pas 3 400 kPa, aurait une durée de vie pratiquement illimitée (figure 20).

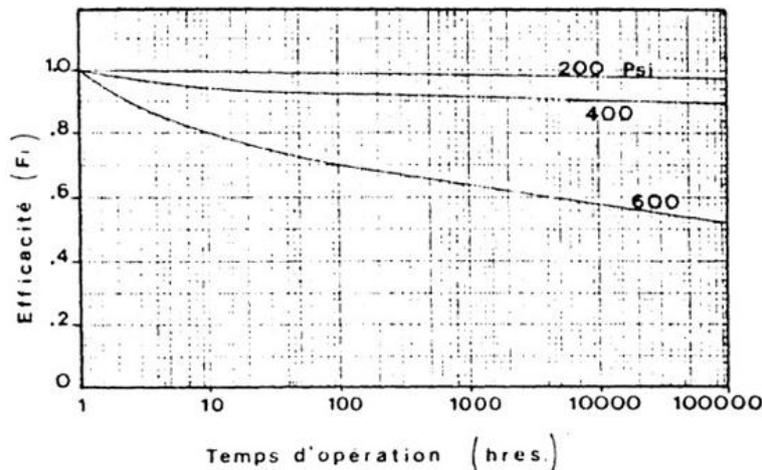


Figure III.16 : Vie utile théorique d'une membrane exprimée en perte d'efficacité en fonction du temps.

La sève d'érable ne peut cependant pas être considérée comme une solution idéale. Si toutes les précautions ne sont pas prises, les membranes peuvent être mises hors d'usage après seulement quelques centaines d'heures d'opération, ce qui pénalise lourdement l'économie d'opération que l'osmose inversée permet par rapport au système conventionnel d'évaporation.

4.7. Les ennemis de la membrane

Les principaux agents responsables de la dépréciation accélérée d'une membrane sont de deux natures: ceux qui résultent d'une mauvaise opération du concentrateur telle que la pression et la température, et ceux qui tiennent à la nature même de la sève.

4.7.1. Pression d'opération

Pour certains appareils, la pression à la sortie de la pompe est fixée alors que pour d'autres, on peut la modifier en changeant le taux de recirculation du concentré à travers la membrane. Fonctionner de façon permanente près de la limite supérieure prévue par le manufacturier, et à plus forte raison, la dépasser, va provoquer un foulage ou une compaction des différents éléments de la membrane les uns sur les autres.

Au début, la concentration moyenne que l'on peut obtenir sera élevée

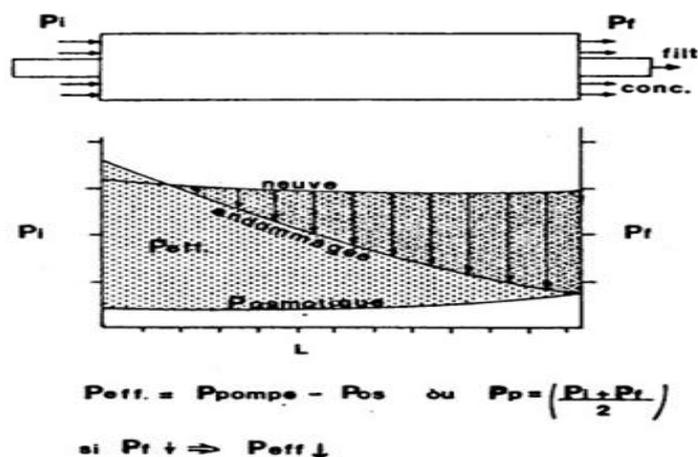


Figure III.17 : Courbes schématiques illustrant les causes d'une perte d'efficacité d'une membrane O.I.

Cependant, sous l'effet de cette compaction, l'espace destiné à la circulation du concentré entre deux épaisseurs successives de membrane va se rétrécir. Une plus grande partie de l'énergie fournie par la pompe sera utilisée pour forcer la solution dans cet espace, provoquant une chute de pression entre l'entrée et la sortie du module. La pression moyenne s'exerçant sur la membrane va donc être diminuée causant ainsi une baisse de la pression efficace et, par conséquent, diminuer le taux de passage de l'eau à travers la membrane.

Ce phénomène est illustré à la figure 21. La zone pointillée représente la pression efficace ou utile. Dans le cas de la membrane endommagée, la pression finale est égale à la pression osmotique à l'extrémité du module. La perte de rendement de la membrane est représentée par la zone hachurée. Il faut noter que ce type de dommage est irréparable et, dans une telle situation, on devra changer le module.

4.7.2. Température

Étant donné que les composantes de la membrane sont faites de matière plastique, une température plus élevée que celle recommandée risque de diminuer leur résistance mécanique. Même si le concentrateur opère à l'intérieur des limites de pression prévues, le phénomène de foulage décrit plus haut va se produire avec les mêmes résultats. Il s'agit également d'un dommage permanent. Le préchauffage de la sève avec la vapeur produite par l'évaporateur présente donc un danger considérable, à moins de se conserver une marge de sécurité substantielle.

4.7.3. Une sève mal filtrée

L'utilisation d'un pré-filtre en mauvaise condition ou qui ne répond pas aux spécifications du manufacturier peut permettre le passage de particules qui vont obstruer l'espace prévu pour la circulation du concentré. Il en résulte un phénomène similaire à celui déjà décrit, soit, une diminution de la pression finale et une perte

de rendement. Si le problème est corrigé assez tôt, il est théoriquement possible de restaurer la membrane par un lavage avec un produit acide. Il faut alors s'en référer au manufacturier.

4.7.4. Le développement bactérien

Dès que l'eau d'érable vient en contact avec l'air et avec les équipements de collecte, elle est colonisée par une flore composée de bactéries, de levures, et de moisissures qui vont se développer dans le temps suivant une progression géométrique; une température plus élevée accélère ce développement. Les producteurs connaissent bien le résultat de ce phénomène. En début de saison, la sève est translucide et le sirop qui résulte de son évaporation est de couleur pâle. Plus la saison progresse, la contamination des équipements augmente et la multiplication des bactéries est accélérée par une température moyenne plus élevée. Le sirop qui en résulte est généralement plus foncé et de saveur plus âcre. Les paramètres qui influencent le développement bactérien dans l'eau d'érable sont illustrés à la figure 22

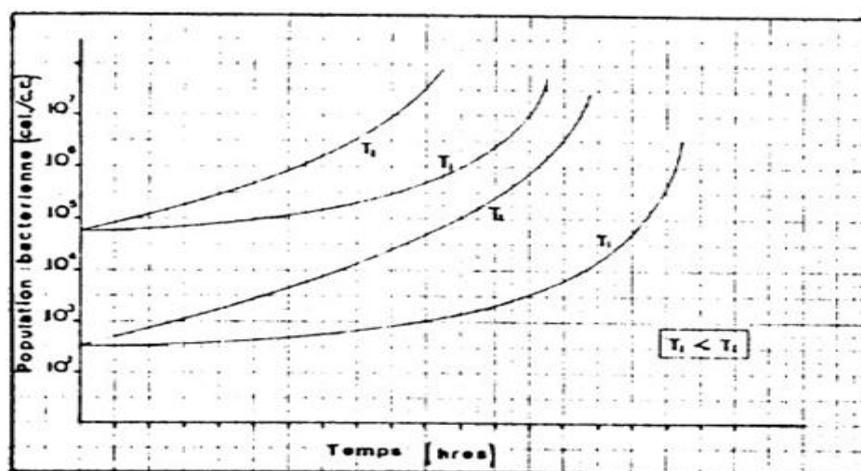


Figure III.18 : Courbes théoriques illustrant les causes et le taux de développement des populations bactériennes dans la sève.

Les bactéries représentent donc un danger permanent pour les membranes. Le diamètre d'une cellule, étant trop petite pour être filtrée, elles sont entraînées avec le concentré et introduites dans le corps de la membrane. Elles peuvent donc se fixer sur les surfaces et se multiplier suivant les courbes montrées à la figure 22. Après un certain temps, leur nombre peut devenir tel que les colonies prennent l'apparence d'un gel (gélatine) qui obstrue presque complètement le passage du concentré. Même pour une concentration très faible, la pression efficace tend vers zéro et la membrane n'est plus opérationnelle.

Il est virtuellement impossible d'éviter tout développement bactérien dans la membrane. Il existe cependant des moyens préventifs et probablement correctifs dont l'efficacité reste cependant à démontrer pour assurer une durée de vie des membranes se rapprochant de celle illustrée à la figure 20. Les principaux moyens préventifs sont les suivants:

- assurer la propreté des équipements de collecte et d'entreposage de la sève;
- traiter la sève le plus rapidement possible après la collecte ou, à défaut, l'entreposer dans des réservoirs refroidis par une circulation d'eau froide;
- pasteuriser la sève, juste avant son admission dans le concentrateur à l'aide d'appareils utilisés dans le traitement des eaux domestiques. Pour être efficace, ces appareils doivent pouvoir détruire 99,99% des bactéries présentes initialement dans la sève. D'autres développements et améliorations devront

cependant être apportés aux pasteurisateurs expérimentés avant que l'on puisse parler d'une technique vraiment opérationnelle.

4.8.L'entretien des membranes

Essentiellement, l'entretien des membranes vise à limiter le développement bactérien et à débarrasser périodiquement les espaces destinés à la circulation du concentré des colonies qui s'y seraient développées. Un rinçage fréquent au filtrat complété, pour certains types d'appareils, par un lavage au moyen d'un produit acide, peut s'avérer adéquat. Il est cependant difficile de prévoir la fréquence de ces "lavages" en terme de temps ou de volume de sève traitée, puisque la sève varie énormément en contenu bactérien d'un jour à l'autre.

Des développements devront sans doute améliorer cet aspect du fonctionnement des concentrateurs par osmose inversée. Entre-temps, l'acheteur éventuel devra obtenir par écrit de son vendeur une cédula précise d'entretien indiquant le type et la quantité de produit à utiliser, la fréquence des opérations d'entretien (rinçage et/ou lavage, ainsi qu'une garantie explicite concernant la performance des membranes). Il est très important que cette garantie précise la façon dont sera évaluée la membrane dans le cas d'un mauvais fonctionnement.

Le producteur devrait également éviter toute expérimentation qui pourrait lui être suggérée, à moins que la suggestion provienne de son vendeur et qu'un document signé par une personne autorisée assure la validation de la garantie [94].

5. Colmatage

5.1.Concepts liés au colmatage

Durant la filtration membranaire, les solides s'accumulant sur la paroi membranaire causent une perte de charge qui entraîne une augmentation de la pression à appliquer afin de maintenir le débit de perméat constant. La différence de pression entre l'amont (alimentation) et l'aval (perméat) de la membrane est appelée la pression transmembranaire (PTM). La PTM est l'indicateur du colmatage d'une membrane lorsque cette dernière est opérée à flux de perméat constant. Les MBP peuvent aussi être opérées à PTM constante et débit variable, mais cela est plus courant dans les laboratoires que dans les usines qui ont des besoins de production à respecter [95]. La figure 23 est un exemple de cycle de filtration frontale d'une membrane UF (carbure de silicium, diamètre nominal des pores : 0,005 μm) opérée à un flux spécifique de 100 l/mh. La PTM augmente linéairement en fonction du temps, et double après seulement 60 $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$ de perméat produit par surface de membrane. Un lavage physique a été effectué afin de diminuer la PTM. Un lavage physique est typiquement constitué d'un lavage à contre-courant (ou rétrolavage) à débit plus élevé qui peut être couplé ou non avec un lavage à air sous pression. On peut voir que le deuxième cycle de filtration ne commence pas à la même PTM que le premier : l'augmentation de la PTM est causée par l'adsorption de particules sur la membrane et dans ses pores et qui ne peuvent être enlevées par des opérations de lavage physique [96]. Ce colmatage est dit physiquement irréversible. Des lavages à base de produits chimiques permettent en général de diminuer ce colmatage.

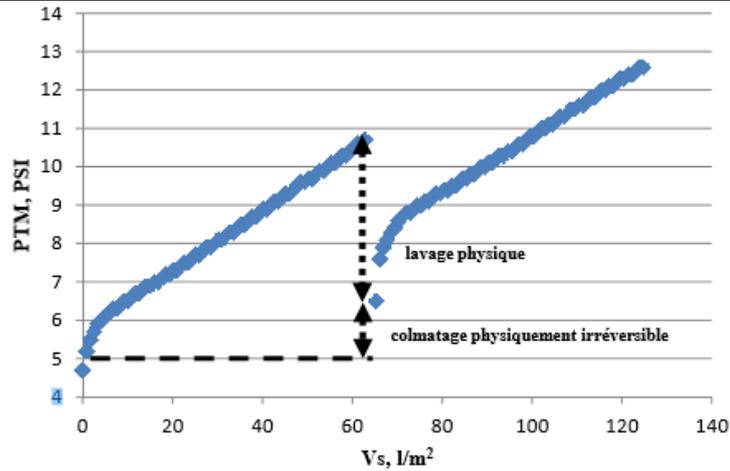


Figure III.19 : Filtration d'eau de surface par une membrane UF (Carbure de silicium, $D_{\text{pores}} = 0,005 \mu\text{m}$, 100 lmh)

La perméabilité membranaire (L_p) correspond au flux de perméat (J) à 20°C divisé par la pression transmembranaire (PTM). C'est le paramètre le plus utilisé pour suivre le colmatage. La perméabilité permet de prendre en compte la viscosité de l'eau en corrigeant avec la température. La perméabilité est exprimée généralement en lmhbar ($\text{L m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{bar}^{-1}$).

$$L_p(\text{lmh bar}) = \frac{J^{20c}(\text{lmh})}{PTM(\text{bar})} \quad \text{Eq III.19}$$

Le flux spécifique de perméat (J^{20C}) est dérivé de l'équation d'Arrhenius, qui, exprimée sous la forme d'un développement limité, à la forme suivante [97]:

$$J^{20c} = J^T * \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = J^T * (1.784 - 0.0575 * T + 0.0011 * T^2 - 10^{-5} * T^3) \quad \text{Eq III.20}$$

Avec

J^T : flux de perméat à T Celsius

μ_T : viscosité de l'eau à T Celsius

5.2. Colmatage d'une membrane

Le colmatage membranaire est reconnu comme étant la barrière principale au développement de la filtration membranaire dans l'industrie du traitement de l'eau [98,99]. Le colmatage d'une membrane correspond à une diminution de la perméabilité de la membrane due au dépôt de matières lors de la filtration. Les coûts énergétiques afin de maintenir un flux ou une pression constante peuvent alors devenir conséquents. Le colmatage a été classifié par Kimura et al. (2004) comme étant soit physiquement réversible ou irréversible suivant sa capacité à récupérer la perméabilité initiale par des opérations de nettoyage physique. Cependant, le colmatage physiquement irréversible peut être aussi fractionné en une partie réversible ou non par des opérations de nettoyage chimique. Pour plus de clarté, les différents colmatages qui seront abordés dans ce mémoire sont résumés par la figure 24, qui présente le colmatage d'une membrane céramique UF par une eau de surface (Rivière L'Assomption, Québec) suivi d'un lavage physique puis chimique. On y distingue trois types de colmatage :

- le colmatage total correspond à la perte de perméabilité après un cycle de filtration ($L_p^0 - L_p^{\text{cycle1}}$) ;
- le colmatage physiquement irréversible est la différence entre la perméabilité initiale et celle récupérée après un lavage physique ($L_p^0 - L_p^{LP}$), typiquement un rétrolavage à l'eau propre avec ou sans injection d'air;

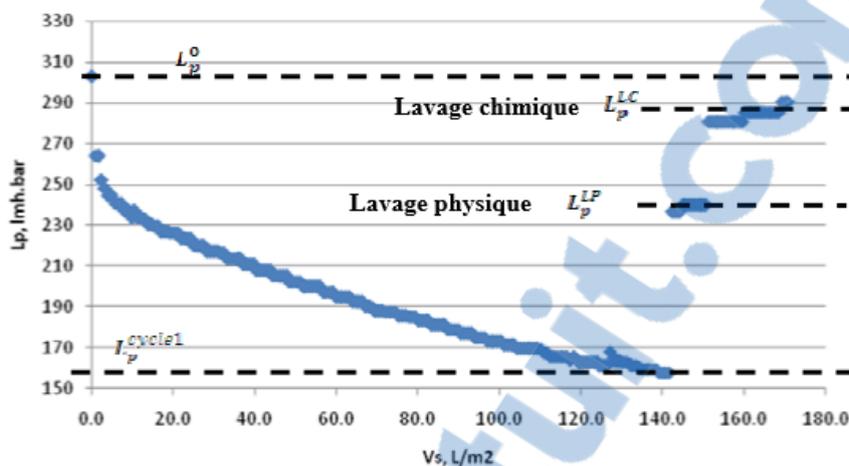


Figure III.20 : Cycle de filtration d'eau de rivière par une membrane céramique UF (Carbure de silicium, $D_{\text{pores}} = 0.005 \mu\text{m}$, 100 lmh)

- le colmatage chimiquement irréversible correspond à une perte irrémédiable de la perméabilité observée après un lavage chimique ($L_p^{LP} - L_p^{LC}$). Il est à noter que les définitions de colmatage réversible et irréversible ne sont pas des valeurs absolues. En effet, l'appréciation de ces colmatages est intimement liée à la nature des procédures de lavage mises en œuvre. Par exemple, un lavage chimique plus intensif pourrait permettre une meilleure récupération de la perméabilité et, ainsi, diminuer la valeur du colmatage irréversible.

5.3. Facteurs influençant le colmatage

La matière organique naturelle (MON), omniprésente dans les eaux de surface, est reconnue comme l'un des acteurs les plus importants du colmatage [100]. La nature de la MON (allotigène, autochtone ou microbienne) joue un rôle sur son potentiel colmatant [101-104], mais aucune généralisation ne peut être obtenue, tant le colmatage est spécifique au couple eau-membrane. De nombreuses études pointent les substances humiques [105], les polysaccharides et les protéines [101] et la matière colloïdale organique [106,103] comme étant les agents les plus importants du colmatage. Il n'existe pas de corrélation entre le colmatage et les paramètres physico-chimiques de l'eau utilisée [107,104]. Dans le cas des substances humiques, trois paramètres ont été identifiés comme étant importants [105]: le pH, la force ionique et la présence d'ions divalents. Un pH faible peut aggraver le colmatage des substances humiques en améliorant leur adsorption par attraction hydrophobique [108]. Une force ionique élevée entraîne quant à elle une coagulation de la matière colloïdale et ainsi augmente le phénomène de gâteau se formant le long de la membrane [109]. La présence d'ions divalents comme le calcium augmente le colmatage des substances humiques en formant des complexes précipitant avec la MON [110]. La propriété de la membrane va influencer sa réactivité avec la MON et donc son colmatage. L'hydrophobicité [111], le diamètre des pores [112] et la charge (potentiel Zeta) [113] de la membrane vont influencer l'adsorption et la formation de gâteaux plus ou moins réversibles.

Le mode d'opération de la membrane affecte aussi son colmatage, comme le montre l'existence d'un flux critique en dessous duquel aucun colmatage significatif n'est observé [114]. Le flux d'opération a été relié à la compressibilité du gâteau se formant lors de la filtration [115].

5.4. Modèle des résistances en série

Une manière de décrire le colmatage est de considérer que chaque substance colmatante contribue à augmenter la résistance hydraulique qui s'oppose au flux de la membrane. Durant la filtration d'eau naturelle, un gâteau se forme composé des substances retenues par la membrane. Ce gâteau agit comme un filtre dynamique qui permet de retenir des particules de tailles inférieures au seuil de coupure initial de la membrane. Il agit ainsi comme une résistance hydraulique additionnelle à la membrane et nécessite d'être contrôlé par des opérations de lavages physiques. La formation d'un gâteau est un mécanisme universel de colmatage car il ne dépend pas d'attractions favorables existant entre les substances colmatantes et la membrane [116]. Cependant, d'autres mécanismes sont à l'œuvre durant le colmatage, comme le montre la figure 25. On peut les regrouper sous forme de résistance réversible ou irréversible suivant qu'elles puissent être diminuées par des opérations de lavages ou non

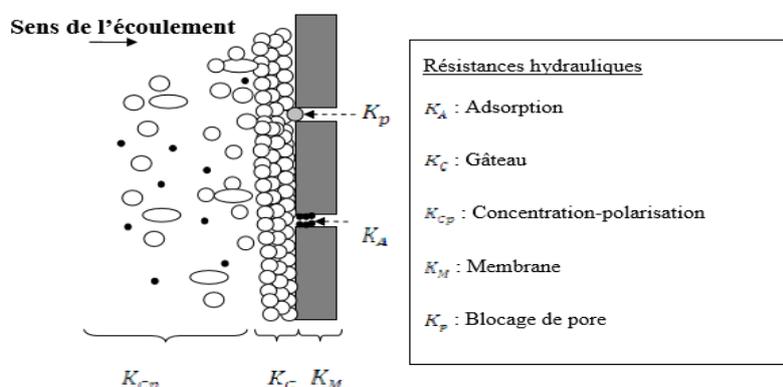


Figure III.21 : Différentes résistances hydrauliques s'appliquant lors du colmatage d'une membrane

Le modèle de résistance en série est décrit par la loi de Darcy qui peut s'écrire sous la forme suivante :

$$J = \frac{PTM}{\mu(K_m + \sum_i K_i)} \quad \text{Eq III.21}$$

Où J est le flux de perméat ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), PTM la pression transmembranaire (Pa), la viscosité de l'eau (Pa.s), la résistance hydraulique initiale de la membrane (m^{-1}) et la somme des résistances hydrauliques qui s'appliquent lors du colmatage.

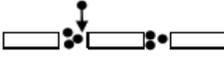
5.5. Lois du colmatage

En 1982, Hermia [117] a proposé un modèle basé sur quatre mécanismes idéaux afin de décrire le colmatage d'une membrane. Ces mécanismes sont décrits au tableau n°12. Le modèle d'Hermia, valide dans les cas de filtration frontale et à pression constante, est de la forme suivante :

$$\frac{dt^2}{d^2V} = k * \left(\frac{dt}{dV}\right)^n \quad \text{Eq III.22}$$

Où « t » est le temps de filtration (s) et V le volume cumulé d'eau produite (m^3). « k » et « n » sont deux constantes dont la valeur et l'unité varient selon le modèle utilisé.

Tableau 3.2 : Lois du colmatage selon le modèle d'Hermia (1982)

| Mécanismes | Concepts | Description |
|--|---|--|
| Cake layer formation (filtration sur gâteau) |  | Les particules s'accumulent le long de la paroi, constituant une résistance supplémentaire |
| Pore sealing surimposed (blocage intermédiaire) |  | Seule les particules à la surface de la membrane contribuent au blocage des pores |
| Pore restriction (blocage standard) |  | Les particules se déposent à l'intérieur des pores, diminuant leur diamètre effectif |
| Pore sealing (blocage complet) |  | Toutes les particules à la surface de la membrane contribuent au colmatage |

Le modèle d'Hermia a permis de mettre en place des indices de colmatage comme le Silt Density Index (SDI) et le Modified Fouling Index (MFI) en suivant expérimentalement le temps de filtration et le volume de filtrat produit. La principale critique de ces indices est qu'ils ne permettent pas d'utiliser la membrane d'intérêt (cas du SDI utilisé pour la NF/OI : filtration sur une membrane Millipore 0,45µm à 2 bar) ou la configuration d'intérêt (cas du MFI : filtration à pression constante au lieu d'une filtration à flux constant, plus classique dans l'industrie). L'Unified Membrane Fouling Index (UMFI) a été développé en 2008 par Huang et al. (2008) dans le but de standardiser les tests de colmatage de MBP. L'UMFI est une singularisation du modèle d'Hermia pour les MBP opérées à flux ou à pression constante. Cet indice de colmatage est fondé sur le modèle de colmatage par cake-layer, qui est considéré dans la littérature comme étant le principal mécanisme de colmatage des MBP par des eaux naturelles. L'UMFI est calculé selon l'équation suivante :

$$\frac{1}{J'_s} = 1 + UMFI * V_s \quad \text{Eq III.23}$$

Où :

J_s : flux spécifique de perméat, équivalent à la perméabilité L_p (Imhbar)

$J'_s = J_s / J_{s,0}$; flux spécifique normalisé par le flux spécifique initial $J_{s,0}$ sans unité

V_s ; volume spécifique $L m^{-2}$ ou $m^3 m^{-2}$

UMFI : indice de colmatage de l'eau, $m^2 L^{-1}$ ou $m^2 m^{-3}$

L'UMFI possède l'avantage de pouvoir être évalué directement sur la membrane d'intérêt et dans le mode d'opération voulu (pression ou flux constants, filtration tangentielle ou frontale). L'UMFI permet notamment de distinguer le colmatage total du colmatage physiquement et chimiquement irréversible [104]:

- $UMFI_T$ correspond à l'indice du colmatage de la membrane durant le cycle de filtration, soit le colmatage total ;
- $UMFI_R$ correspond à l'indice du colmatage qui ne peut être enlevé physiquement (par rétrolavage), soit le colmatage physiquement irréversible ;

• $UMFI_C$ correspond à l'indice du colmatage qui reste malgré un lavage chimique, soit le colmatage chimiquement irréversible. La figure 26 est un exemple de calcul des UMFI pour l'essai réalisé avec une membrane céramique UF (carbure de silicium, $D_{pores}=0.005 \mu m$, opérée à 100 l/h).

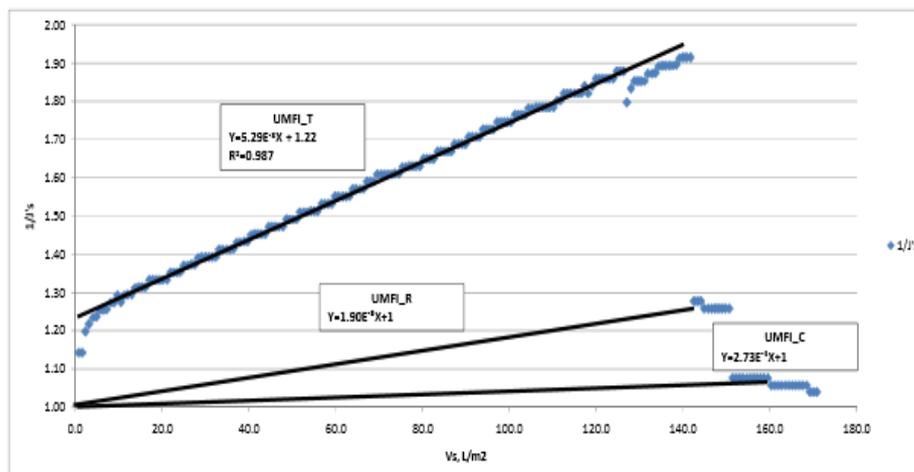


Figure III.22 : Calcul des UMFI, cas de l'ultrafiltration d'une eau de surface (Carbure de silicium, $D_{pores} = 0.005 \mu m$, 100 l/h)

L' $UMFI_T$ est calculé par une régression linéaire non forcée sur le cycle de filtration. L' $UMFI_R$ et l' $UMFI_C$ sont généralement calculés de la manière suivante :

$$UMFI_{R,C} = \frac{\frac{1}{J'_s} - 1}{V_s} \quad \text{Eq III.24}$$

Les UMFI peuvent être évalués sur un seul cycle de filtration ou sur plusieurs [107]. Dans ce dernier cas, deux autres UMFI sont alors définis : $UMFI_{LI}$ et $UMFI_{150}$. $UMFI_{LI}$ correspond à l' $UMFI_T$ évalué pour le premier cycle de filtration. $UMFI_{150}$ correspond quant à lui au colmatage physiquement irréversible. C'est une moyenne statistique des $UMFI_R$ de chaque cycle calculés après environ $150 L.m^{-2}$ de filtration. Ces deux UMFI peuvent être utilisés sur des pilotes à échelle réelle afin de caractériser le colmatage membranaire en continu. Une des limites du modèle UMFI pointée par Nguyen et al. (2011) est qu'il est basé sur le modèle d'Hermia et suppose que seul le mécanisme de cake layer cause le colmatage. Durant l'opération d'une membrane à l'échelle réelle, il est probable que plusieurs mécanismes de colmatage sont à l'œuvre simultanément. En repartant des équations du modèle des résistances en série, les auteurs ont réussi à obtenir une équation mathématiquement identique à l' $UMFI$, qui possède cependant l'avantage de ne plus se baser sur le modèle d'Hermia. Ainsi, seule la vérification d'une augmentation linéaire de $1/J'_s$ (soit, pour le cas d'une filtration à flux constant d'une augmentation linéaire de la pression transmembranaire en fonction du volume d'eau filtrée) en fonction du volume spécifique V_s permet d'appliquer l'équation pour déterminer les UMFI, sans plus se soucier du type de colmatage. Le tableau 13 récapitule les différences entre les UMFI en fonction des modèles utilisés et de leur utilité.

Tableau 3.3 : Les différents UMFI dans la littérature

| Modèles de référence | Modèle d’Herminia | | Modèle résistance en série |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Référence | Huang et al.(2007) | Huang et al.(2009) | Nguyen et al.(2011) |
| Type de cycle | Unique | multiple | Multiple |
| Colmatage total | UMFI _T | UMFI _i | TFI |
| Physiquement irréversible | UMFI _R | UMFI ₁₅₀ | HIFI |
| Chimiquement irréversible | UMFI _C | N/A | CIFI |

La connaissance des UMFI pour un type d’eau permettrait d’optimiser les cycles de filtration et de lavage chimique en fonction du pouvoir colmatant de l’eau. En effet, si l’on reprend l’équation III.23 pour le cas d’une filtration à flux constant, on peut exprimer la variation de la pression transmembranaire en fonction de la pression transmembranaire initiale, Vs et l’UMFI:

$$\frac{1}{J_s} = \frac{J_{so}}{J_s} = \frac{\Delta P}{\Delta P_0} = 1 + UMFI * V_s \Leftrightarrow \Delta P = \Delta P_0 * (1 + UMFI)V_s \quad \text{Eq III.25}$$

L’équation 7 peut être utilisée pour optimiser les différents cycles de lavage en fixant une pression transmembranaire maximum à atteindre. Cela est particulièrement intéressant si UMFI_R et UMFI_C sont connus, permettant ainsi d’optimiser les rétro-lavages et les lavages chimiques.

5.6.Impact des prétraitements sur le colmatage membranaire

Les prétraitements visent à diminuer le pouvoir colmatant d’une eau en altérant ses caractéristiques physico-chimiques. Nous aborderons dans cette partie deux prétraitements qui ont prouvé leur efficacité pour diminuer le colmatage membranaire : l’ozonation et la filtration sur CAB

5.6.1. Ozonation

L’ozone est un oxydant puissant qui, en solution aqueuse, réagit avec les liaisons insaturées et les sites de fortes densités électroniques tels les liens doubles et triples. La majorité du temps, l’ozone se décompose aussi en partie en radicaux libres qui permettent une oxydation moins sélective [118] et plus puissante. L’ozone a tendance à briser les macromolécules et les substances aromatiques pour former des substances de masse moléculaire plus faible [119]. L’ozone semble donc bien adapté comme prétraitement pour la filtration membranaire, puisque les substances colmatantes identifiées précédemment sont des biopolymères et des substances humiques possédant des cycles aromatiques et de longues chaînes carbonées. Des doses d’ozone comprises entre 2 et 3 mg O₃ L⁻¹ ont permis d’améliorer de quatre à cinq fois la perméabilité de membranes MF en polyfluorure de vinylidène (PVDF) [120-121]. Le maintien d’un résiduel le long des fibres de la membrane semble être cependant essentiel afin de maintenir une perméabilité stable et élevée [122]. Le maintien d’un résiduel d’ozone à la surface de la membrane possède cependant l’inconvénient de

ne pouvoir être appliqué que sur des membranes résistantes à l'ozone, ce qui n'est pas le cas de la majorité des membranes en polymère [123]. Cela explique notamment pourquoi les études sur l'effet de la pré-ozonation sur le colmatage des membranes se sont concentrées principalement sur des membranes en céramique ou en PVDF. Deux inconvénients à l'ozonation doivent cependant être soulevés : l'ozonation d'une eau contenant des ions bromures entraîne la production de bromates, composés sujets à une réglementation [124]. De plus, la diminution de la masse moléculaire de la MON et l'augmentation de groupes oxygénés conduits à la formation de composés facilement biodégradables. Ces composés, généralement trop petits pour être enlevés par de la MF ou de la UF, sont notamment des précurseurs de sous-produits de désinfection (SPD) qui sont eux aussi sujets à une réglementation par le Ministère du Développement Durable. L'ozonation peut donc nécessiter la mise en place d'autres traitements pour rencontrer les exigences en matière de qualité d'eau produite

5.6.2. Filtration sur charbon actif biologique

La filtration sur CAB consiste en un filtre dont les capacités d'adsorption sont épuisées. L'enlèvement de la matière organique et autres polluants s'effectue par la biomasse qui s'est développée sur le matériau filtrant. La biofiltration peut être utilisée seule ou en combinaison avec des prétraitements comme la coagulation ou l'ozonation. La combinaison de l'ozonation et de la biofiltration permet d'améliorer la biodégradabilité de la MON, ce qui améliore globalement son enlèvement par rapport à la biofiltration seule [125]. La combinaison ozonation /biofiltration/filtration membranaire (UF-PVDF, D_{pores} : $0.04\mu\text{m}$) a déjà été testée sur une eau synthétique [126] et a permis de réduire en moyenne 63% de son absorbance $UV_{254\text{nm}}$, 79% de sa couleur apparente et 28% de son COD. Plus récemment, les travaux de Hallé et al. (2009) ont mis en évidence l'efficacité des biofiltres seuls pour réduire le colmatage de membranes d'ultrafiltration, ainsi que l'importance du temps de contact en fût vide comme paramètre de conception.

Chapitre IV :

Matériels et

Méthodes

1. Introduction :

L'osmose inverse est une technique de séparation par membrane dense dont la force motrice est un gradient de pression. Ce procédé peut être défini comme un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane semi-perméable.

L'intérêt de cette technique réside dans le fait qu'elle permet d'arrêter des molécules ou des ions et laisse passer les molécules d'eau.

Le pilote TE 200 utilisé pour cette étude expérimentale est un appareil qui consiste en un bac d'alimentation doté de membrane semi-perméable et en un système de pompe destiné à assurer la pression requise. Les essais ont été réalisés au laboratoire de TTE du

Département d'Hydraulique à l'université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen sur des échantillons d'eaux saumâtres préparés par la dissolution de sel avec l'eau de robinet.

2. Objectif :

Les objectifs principaux des expériences que nous avons menées se résument par les points suivants:

-Etude des caractéristiques de la membrane :

- ❖ Recherche de la pression osmotique à l'eau.

-Etude du procédé d'osmose inverse pour une solution de sels :

- ❖ Recherche de l'évolution de la rétention globale du module en fonction de la pression de filtration et de la concentration initiale de la solution saline.
- ❖ Evolution du taux de conversion de la membrane.
- ❖ Choix de la différence de pression de part et d'autre de la membrane et de pression d'alimentation.

3. Le pilote TE200 :



Figure IV.1 : photo de pilot TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

4. Description du pilote:

4.1. Construction:

L'appareil consiste essentiellement en une cartouche contenant la membrane filtrante, montée sur un panneau lui-même supporté par une charpente, ainsi que ses organes de stockage de contrôle et de mesure.

1 : Cuve d'alimentation de la solution, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 60 l, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

2 : Canalisations d'alimentation de la solution dans la cartouche d'osmose inverse en PVC, DN 10, PN 16.

3 : Cartouche d'osmose inverse, de type enroulée en spirale; membrane en film mince; pression maximum d'utilisation 21 B; débit d'alimentation maximum 660 l/h; diamètre 50 mm, longueur 1000 mm.

4 : Cuve de réception du perméat, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 40 l, avec vanne de vidange de type trois voies (prélèvement ou recyclage) à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

5 : Echangeur de chaleur sur le circuit du concentrât, de type LIEBIG (monotubulaire), en acier inoxydable 316, surface totale d'échange 0,03 m².

6 : Cuve de réception du concentrât, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 60 l, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

7 : Charpente de supportage en tube carrés en acier inoxydable 304 L; L*P*H: 1100*600*1500.

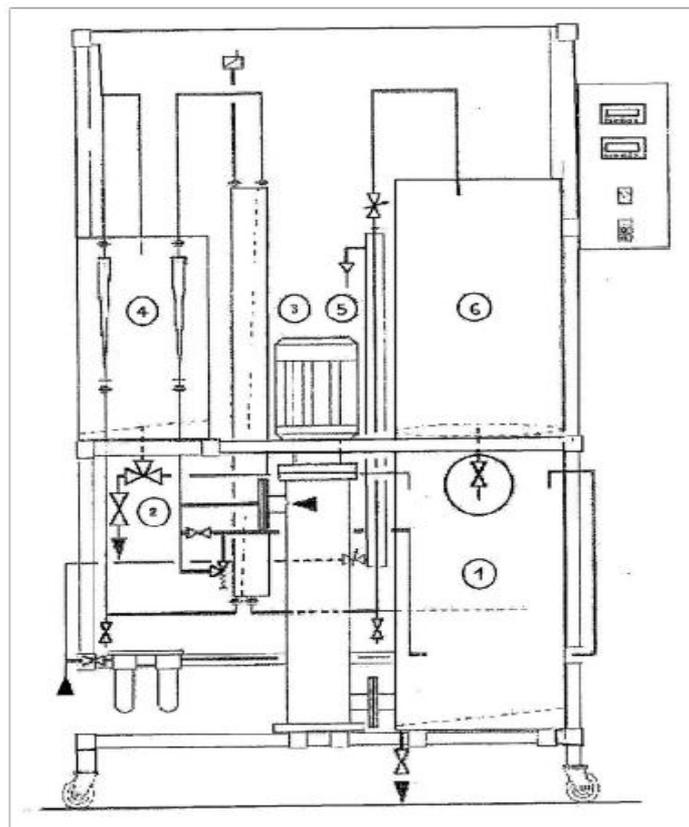


Figure VI. 2 : Construction de pilot TE 200.

4.2. Instrumentation:

- Débitmètre à flotteur du circuit de sortie du perméat, en PVC transparent, DN 15; échelle (20-160 l/h) ; précision +/- 5 %.

- Débitmètre à flotteur du circuit d'alimentation de la solution, en PVC transparent, DN 20; échelle (100 - 1000 l/h); précision +/- 5 %.
- Sonde de mesure de conductivité en plastique; électrodes de mesure en graphite spécial; gamme de service (0 - 100 °C); sonde de correction de température incluse.
- Transmetteurs de conductivité; gamme de mesure (0 - 200 $\mu\text{s/cm}$) et (0 - 200 ms/cm) ; fréquence de mesure 3 KHz; écart de mesure +/- 2 %; correction automatique de la température de mesure; sortie analogique 4 - 20 mA.
- Pompe centrifuge d'alimentation d type multi étagée, corps et aubages en acier inoxydable 316 ; moteur électrique monophasé, 220 v, 50 Hz, 2,2 KW.
- Détecteur de niveau de sécurité de la cuve d'alimentation, de type à flotteur magnétique en plastique.
- Afficheur digital multivoies de la conductivité du perméat et du concentrât; entrée (4- 20 mA); alimentation électrique monophasé, 220 v, 50 Hz.
- Armoire de contrôle et de commande située sur la charpente comprenant:
 - ❖ Arrêt/Marché général;
 - ❖ Fusibles de protection de tour les appareils électriques;
 - ❖ Arrêt/Marche de la pompe d'alimentation avec protection par thermique de sécurité;
 - ❖ Alimentations stabilisées 220V, 50Hz / 5V DC des transmetteurs de conductivité ;
 - ❖ Alimentation stabilisée 220V 50Hz /24V DC des transmetteurs de conductivité, Transmetteurs de conductivité 200 ms/cm et 200 $\mu\text{s/cm}$;
 - ❖ Afficheur digital de conductivité.
- Deux manomètres l'un pour mesurer la pression à l'entrée du module (16 bars max) et l'autre pour mesurer la pression à la sortie du concentrât.

4.3. Liste des vannes :

- Vanne manuelle d'arrêt alimentation eau naturelle.
- Vanne manuelle d'arrêt échangeur concentrât.
- Vanne manuelle d'arrêt sortie perméat.
- Vanne manuelle sortie cuve alimentation.
- Vanne manuelle sortie cuve perméat.
- Vanne manuelle sortie cuve concentrât.
- Vanne manuelle vidange canalisation concentrât.
- Vanne manuelle vidange canalisation perméat.
- Vanne manuelle de réglage by-pass pompe alimentation.
- Vanne manuelle de réglage sortie concentrât.

5. Expériences :

5.1. Préliminaires :

Bien lire le protocole pour éviter de détruire le module

- ❖ La pompe ne doit jamais fonctionner sans eau à l'intérieur.
- ❖ La pression à l'entrée du module ne doit pas excéder 15 bars.
- ❖ Dans la suite des explications le terme « eau » sans précision particulière signifie toujours de l'eau brute.
- ❖ On signale que la différence de pression ΔP est définie comme étant la différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane. ΔP est finalement égale à la valeur de la pression relative lue sur le manomètre en amont de la membrane car la pression en aval est égale à la pression atmosphérique aux pertes de charge près. Cette approximation n'est pas gênante pour un essai comparatif entre différentes conditions opératoires.
- ❖ On définit la pression efficace P_e par la relation : $P_e = \Delta P - \Delta\pi$
 $\Delta\pi$ est la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane ; dans le cas d'un perméat très dilué (c'est le cas dans notre travail) $\Delta\pi$ devient la pression osmotique du flux d'alimentation (eau salée).
- ❖ Le passage d'eau et de soluté à travers la membrane entraîne de fort dégagement de chaleur. Ce dégagement de chaleur est transmis à la solution (perméat et concentrât) et au module. La température du bac d'alimentation augmente jusqu'à parvenir à une température de stabilisation qui est de l'ordre de 30 °C (en 1h30 - 2h environ).

5.2. Procédure de démarrage du pilote:

- Raccorder le câble d'alimentation électrique général sur une prise de courant électrique 220 V, monophasé, 50 Hz, 10 A,
- Raccorder un tuyau souple à la vidange de la cuve d'alimentation vers une évacuation de laboratoire pourvue de traitements d'effluents ;
- Raccorder un tuyau souple d'évacuation de l'échangeur du concentrât a une évacuation de laboratoire;
- Raccorder un tuyau souple à la sortie de la soupape de sécurité située sur le circuit de recyclage de la cuve d'alimentation vers une évacuation de laboratoire pourvue de traitements d'effluents ;
- Raccorder un tuyau souple d'alimentation d'eau brute du réseau sur le pilote ;
- Raccorder un tuyau souple à la vidange de la cuve de réception du perméat ;
- Mettre sous tension le pilote par le contacteur général sur la position "MARCHE" ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1 ;
- Fermer la vanne de remplissage d'eau brute de la cuve d'alimentation VA1 ;
- Ouvrir la vanne de vidange de la cuve de réception, du concentrât VS3 ;
- Ouvrir vanne d'alimentation générale d'eau brute,
- Ouvrir en plein la vanne de réglage de débit de recyclage de l'alimentation VR1 ;
- Ouvrir à moitié la vanne de réglage de débit de sortie du concentrât VR2,
- Positionner la vanne trois voies de sortie de la cuve de réception du perméat VS2 de manière à recycler celui-ci vers la cuve d'alimentation (L orienté à droite) ;
- Ouvrir la vanne d'alimentation de l'eau de refroidissement de l'échangeur du circuit concentrât VA2 ;
- Le pilote est prêt pour une manipulation.

5.3. Production d'eau osmosée:

- Mettre en marche le pilote ;
- Positionner le tuyau de sortie de la cuve de réception du perméat dans un bidon de stockage d'eau osmosée ;
- Ouvrir VA1 faiblement de manière à faire passer l'eau brute d'alimentation à travers le filtre lentement ;
- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine fermer VA1 ;
- Mettre en marche la pompe d'alimentation ;
- Régler la pression d'alimentation de la cartouche à 8 bars en fermant VA1 ;
- Régler le débit d'alimentation à 500 l/h avec VR2 ;
- Ajuster à nouveau la pression d'alimentation avec VR1 à 10 bars ;
- Ajuster à nouveau le débit d'alimentation avec VR2 à 500 l/h ;
- Procéder par étapes successives avec les vannes de réglage VR1 et VR2 pour obtenir les paramètres de fonctionnement correctes ;
- Le perméat et le concentrât sont recyclés pendant cette période de réglage ;
- Lorsque la conductivité du perméat ($CI2 < 10 \mu\text{s/cm}$), il convient de le prélever ;
- Positionner VS2 de manière à prélever l'eau osmosée ;
- Lorsque la conductivité du perméat remonte ($CI2 > 10 \mu\text{s/cm}$), il convient de le recycler ;
- Positionner VS2 de manière à recycler l'eau osmosée vers la cuve d'alimentation ;
- Ouvrir au maximum VRI et VR2 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Vidanger la cuve d'alimentation par VS1 ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation VS1 ;
- Si la quantité d'eau osmosée produite n'est pas suffisante, il convient de recharger la cuve d'alimentation en eau brute ;
- Remplir à nouveau la cuve d'alimentation d'eau brute par VA1 ;
- Lorsque la cuve d'alimentation est pleine, fermer VA1 ;
- Recommencer les opérations décrites ci-dessus jusqu'à obtention de la quantité d'eau osmosée nécessaire ;
- Lorsque la quantité d'eau osmosée nécessaire est obtenue, il convient d'arrêter le pilote.

5.4. Procédure générale d'arrêt:

- Ouvrir au maximum VR1 et VR2 ;
- Arrêter la pompe d'alimentation ;
- Fermer la vanne d'alimentation d'eau de refroidissement VA2 ;
- Fermer VA1 ;
- Vidanger la cuve d'alimentation par VS1 ;
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du concentrât par VS3 dans la cuve d'alimentation ;
- Vidanger si nécessaire la cuve de réception du perméat par VS2 (L orienté à gauche) - Positionner le tuyau d'évacuation de la sortie de la cuve de réception du perméat vers l'égout du laboratoire ;
- Nettoyer les cuves d'alimentation et de réception ;
- Rincer les cuves avec de l'eau déminéralisée ;
- Fermer les vannes VS1, VS3 et VA1 et à trois voies (L orienté à droite) ;
- Arrêter le coffret général électrique « ARRET » ;
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau ;
- Le pilote est prêt pour une autre manipulation [84].

5.5. Détermination de la perméabilité de la membrane :

But: Détermination de la perméabilité de la membrane.

Mode opératoire:

Le perméat et le concentrât sont recyclés dans le bac d'alimentation afin de travailler sur une quantité d'eau raisonnable (50 l).

- ❖ Remplir le bac d'alimentation avec une solution de 2 g/l de sels.
- ❖ Régler la pression à l'entrée du module d'osmose à une pression fixe de 5 bars. Noter les débits d'entrée et de perméat.
- ❖ Renouveler l'opération pour des pressions de 7, 9 et 11 bars.
- ❖ Tracer la courbe $Q_p=f(\Delta p)$.

Δp est la différence de pression de part et d'autre de la membrane, donner, en faisant un bilan sur les débits, l'équation de la courbe.

Nous rappelons que le flux massique de solvant est:

$$J_m = A * \Delta p$$

$$[J_m]: \text{Kg. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ou dans notre cas:

$$J_m = A * S * \Delta p$$

$$[J_m]: \text{Kg. s}^{-1}; [S]: \text{m}^2; [\Delta p]: \text{Pa}; [A]: \text{s.m}^{-1}.$$

A partir de la courbe nous déduirons la valeur du produit $A*S$ en (m. s).

5.6. Manipulation (Rétention globale du module):

But: Déterminer dans quel sens les paramètres principaux (pression appliqué en amont, différence de pression de part et d'autre de la membrane, concentration en sels de la solution d'alimentation et taux de conversion) doivent évoluer pour parvenir à obtenir un taux de rejet élever tout en gardant un débit de perméat important.

Mode opératoire:

- ❖ Préparer une solution par dilution de l'eau de mer concentrée à 2 g/l de sels.
- ❖ Remplir le bac d'alimentation avec 50 l de cette solution.
- ❖ Mesurer la conductivité de la solution.
- ❖ On utilisant un thermomètre pour lire la température de la solution.
- ❖ Démarrer l'installation en laissant la recirculation et se placer à une pression d'alimentation de 5 bars et une différence de pression de part et d'autre de la membrane $\Delta p = 0$ (pression de sortie est 5bars).
- ❖ Noter alors les débits de perméat Q_p et d'alimentation Q_a , les conductivités de perméat et de concentrât et puis pour la même pression d'alimentation faire varier Δp (0.5 ; 1 ; 1.5).

❖ Pour chaque couple de valeurs calculer:

- Y
- Sp
- Cp
- Rm

❖ Faire de même pour des concentrations de 2.5 ; 3 g/l de sels.

❖ Ensuite, recommencer les étapes décrites ci-dessus pour une pression d'alimentation de 7 bars avec les concentrations de 3; 3.5 et 4 g/l de sels, une pression d'alimentation de 9 bars avec les concentrations de 4; 4.5 ; 5 et 5.5 g/l de sels, et une pression d'alimentation de 11 bars avec les concentrations de 3; 3.5; 4 ; 4.5 ; 5 ; 5.5 ; 6 ; 6.5 et 7 g/l de sels.

Pour les résultats obtenus tracer les courbes :

- ❖ Conductivité du perméat en fonction de temps de différente pression de sortie pour une concentration donnée.
- ❖ Conductivité du concentrât en fonction de temps de différente pression de sortie pour une concentration donnée.
- ❖ Pour chaque concentration en sels, $R_m = f(t)$ pour des différentes de pression de part et d'autre de la membrane.
- ❖ $R_m = f(C_p)$ de chaque concentration en sels de la solution d'alimentation pour différentes pressions de sortie.

6. Description des appareillages de mesure :

- **Le conductimètre :**



Figure IV. 5: Photo de conductimètre (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

- Agitateur :



Figure IV.6 : Photo de l'agitateur (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

- La balance électronique :



Figure IV.7: Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen)

Chapitre V : Résultats et Interprétations

1. Perméabilité de la membrane au solvant :

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 5.1. Résultats des débits de perméat en fonction de pression

| Pression (bar) | Débit d'alimentation (l/h) | Volume De perméat (ml) | Débit de perméat (l/h) | Pression d'alimentation *10 ⁶ (pascal) | Débit de perméat *10 ⁻⁵ m ³ /s |
|----------------|----------------------------|------------------------|------------------------|---|--|
| 5 | 733 | 190 | 11.4 | 0.5 | 0.306 |
| 7 | 359 | 270 | 16.2 | 0.7 | 0.444 |
| 9 | 339 | 248 | 14.9 | 0.9 | 0.389 |
| 11 | 307 | 270 | 16.2 | 1.1 | 0.444 |

La courbe tracée (Figure V.1) montre la variation du flux de solvant en fonction de la pression appliquée de part et d'autre de la membrane.

$$Q_p \text{ (m}^3\text{/s)} = J_{v1} \text{ (flux volumique de solvant).}$$

On ne connaît pas la surface de la membrane :

$$J_{v1} = J_{m1}/\rho = (A*S)/\rho * (\Delta P - \Delta \pi)$$

$\Delta \pi = 0$ car l'eau utilisée est considérée comme pure (5µs/cm).

$\Delta P = P$ en sortie du concentrât – P en sortie du perméat.

P en sortie du perméat = 0 car la pression de sortie de la membrane est à l'atmosphère et les manomètres indiquent des pressions relatives. Donc $\Delta P = P$ en sortie du concentrât.

L'équation de la droite donne :

$$A*S = 1,163 * 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s.}$$

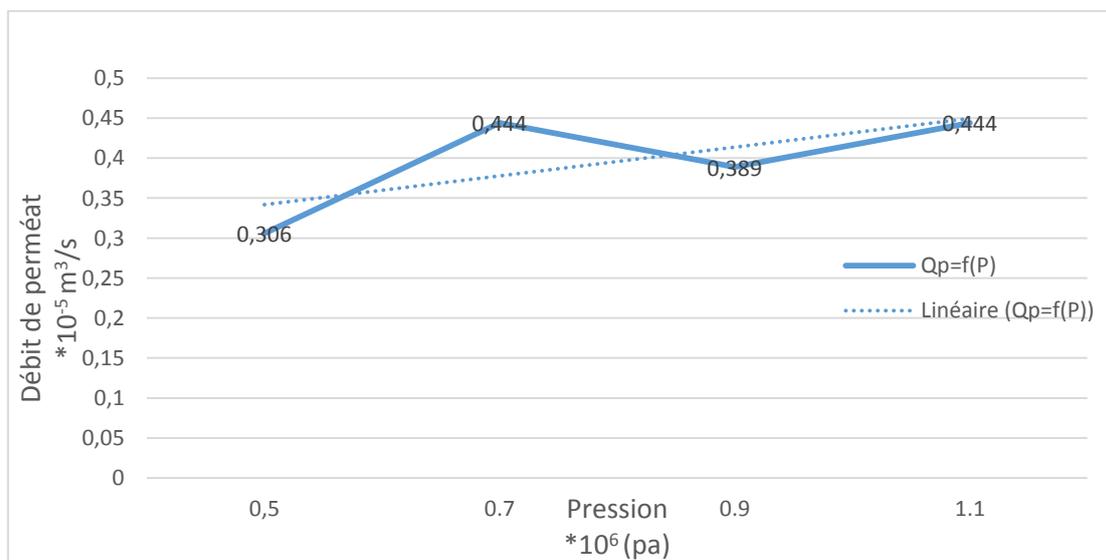


Figure V.1 : Perméabilité de la membrane au solvant.

Partie I : Une pression de 5 bars

2. Etude de la rétention globale du module.

Pour cette étude nous utiliserons des concentrations de sels de 2 g/l jusqu'à 7 g/l. On fait changer la différence de pression de part et d'autre de la membrane ΔP.

Le perméat et le concentrât sont recyclés dans le bac d'alimentation afin de maintenir une concentration constante de sels.

La durée de chaque manipulation est de 23 minutes.

2.1. Pour une concentration de 2 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 3600 (μs/cm)

Température avant 22 °C Température après 30 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$C = 2 \text{ g/l} = 34.19 \text{ Mol/m}^3$

$\pi = 2 * 34.19 * 8,316 * (22 + 273,5)$

Donc : $\pi = 1.68 * 10^5 \text{ Pa}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 1 dans l'annexe :

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 2 dans l'annexe :

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 3 dans l'annexe :

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 4 dans l'annexe :

2.1.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

*** La variation de la conductivité du perméat.**

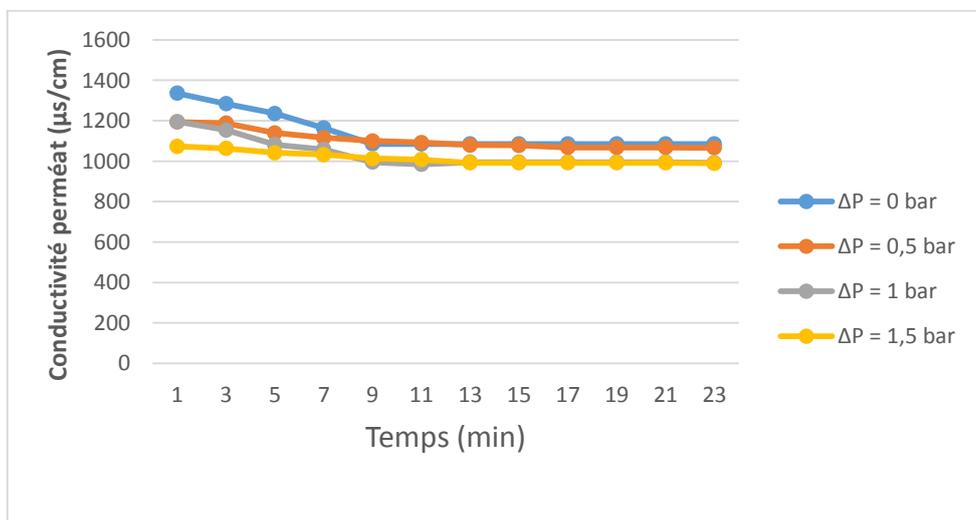


Figure V.2: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

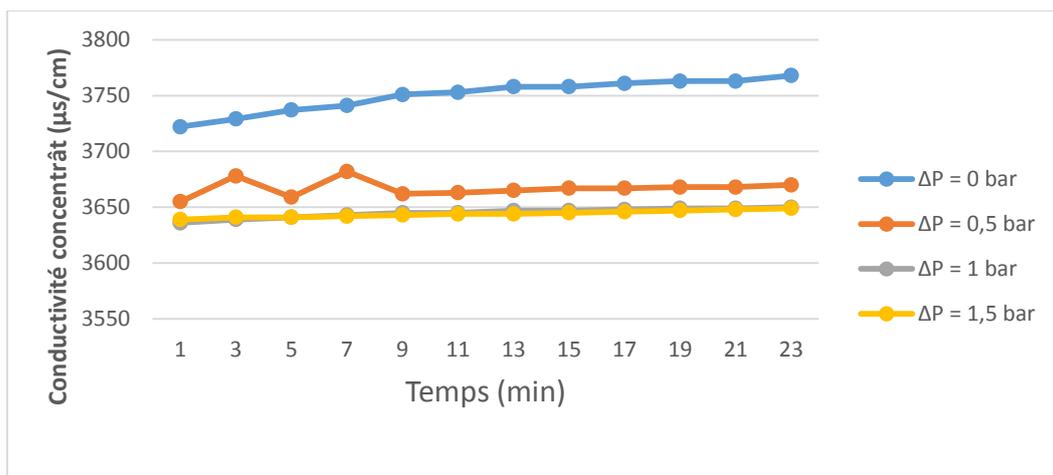


Figure V.3: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2$ g/l).

2.1.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

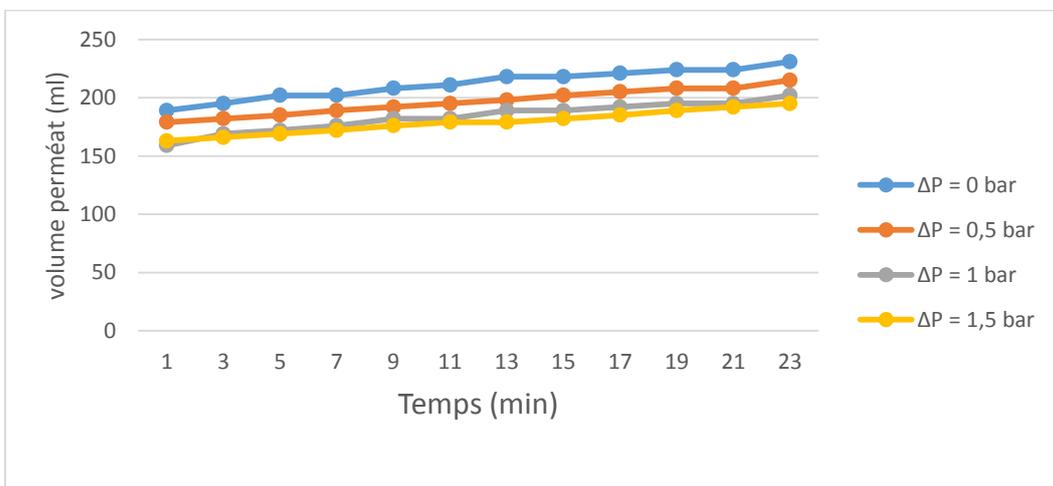


Figure V.4: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2$ g/l).

2.1.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Remarque :

Du fait de la faible concentration en sels dans le perméat on peut calculer la conductivité par la formule suivante :

$$\text{Conductivité} = (C_{\text{Na}^+} * Z_{\text{Na}^+} * \lambda_{0\text{Na}^+}) + (C_{\text{Cl}^-} * Z_{\text{Cl}^-} * \lambda_{0\text{Cl}^-})$$

$$Z_{\text{Na}^+} = Z_{\text{Cl}^-} = 1$$

$$C_{\text{Na}^+} = C_{\text{Cl}^-} = C_{\text{NaCl}}$$

Donc :

$$\text{Conductivité} = C_{\text{NaCl}} * (\lambda_{0\text{Na}^+} + \lambda_{0\text{Cl}^-})$$

$$\lambda_{0\text{Na}^+} + \lambda_{0\text{Cl}^-} = 126$$

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.2 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 2 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 10,6032 | 0,3101 | 0,6899 |
| 3 | 10,1905 | 0,2981 | 0,7019 |
| 5 | 9,8095 | 0,2869 | 0,7131 |
| 7 | 9,2381 | 0,2702 | 0,7298 |
| 9 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 11 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 13 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 15 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 17 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 19 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 21 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |
| 23 | 8,6111 | 0,2519 | 0,7481 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.3 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 2 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 9,4762 | 0,2772 | 0,7228 |
| 3 | 9,4286 | 0,2758 | 0,7242 |
| 5 | 9,0476 | 0,2646 | 0,7354 |
| 7 | 8,8571 | 0,2591 | 0,7409 |
| 9 | 8,7302 | 0,2554 | 0,7446 |
| 11 | 8,6667 | 0,2535 | 0,7465 |
| 13 | 8,5714 | 0,2507 | 0,7493 |
| 15 | 8,5556 | 0,2503 | 0,7498 |
| 17 | 8,4762 | 0,2479 | 0,7521 |
| 19 | 8,4762 | 0,2479 | 0,7521 |
| 21 | 8,4762 | 0,2479 | 0,7521 |
| 23 | 8,4603 | 0,2475 | 0,7525 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.4 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 2 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 9,4841 | 0,2774 | 0,7226 |
| 3 | 9,1587 | 0,2679 | 0,7321 |
| 5 | 8,5873 | 0,2512 | 0,7488 |
| 7 | 8,3968 | 0,2456 | 0,7544 |
| 9 | 7,8968 | 0,2310 | 0,7690 |
| 11 | 7,8095 | 0,2284 | 0,7716 |
| 13 | 7,8968 | 0,2310 | 0,7690 |
| 15 | 7,8968 | 0,2310 | 0,7690 |
| 17 | 7,8968 | 0,2310 | 0,7690 |
| 19 | 7,8968 | 0,2310 | 0,7690 |
| 21 | 7,8968 | 0,2310 | 0,7690 |
| 23 | 7,8730 | 0,2303 | 0,7697 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.5 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 2 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 8,5159 | 0,2491 | 0,7509 |
| 3 | 8,4365 | 0,2468 | 0,7532 |
| 5 | 8,2698 | 0,2419 | 0,7581 |
| 7 | 8,1905 | 0,2396 | 0,7604 |
| 9 | 8,0397 | 0,2352 | 0,7648 |
| 11 | 8,0000 | 0,2340 | 0,7660 |
| 13 | 7,8730 | 0,2303 | 0,7697 |
| 15 | 7,8730 | 0,2303 | 0,7697 |
| 17 | 7,8730 | 0,2303 | 0,7697 |
| 19 | 7,8730 | 0,2303 | 0,7697 |
| 21 | 7,8730 | 0,2303 | 0,7697 |
| 23 | 7,8571 | 0,2298 | 0,7702 |

2.1.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

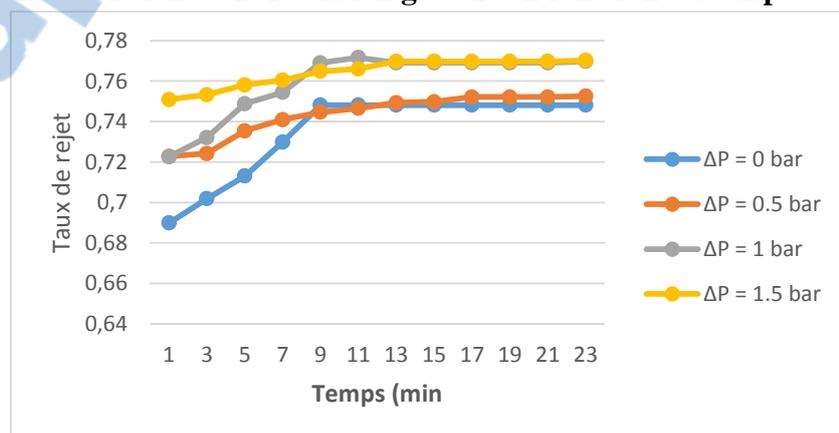


Figure V.5: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$; $C = 2 \text{ g/l}$).

2.1.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

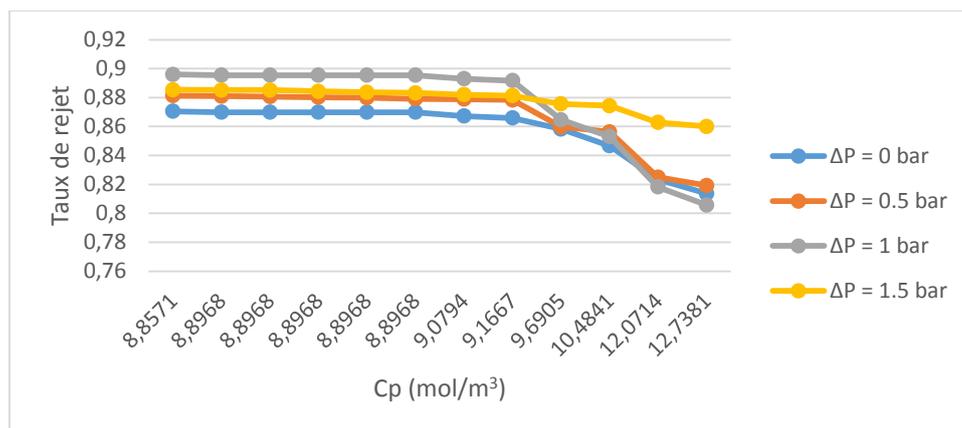


Figure V.6: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2 g/l).

2.2. Pour une concentration de 2,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4000 (μs/cm)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique : $\pi = i * C * R * T$

$$C = 2,5 \text{ g/l} = 42,74 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 42,74 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.1 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 5 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 6 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 7 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 21 °C Température après 30 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 8 dans l'annexe.

2.2.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

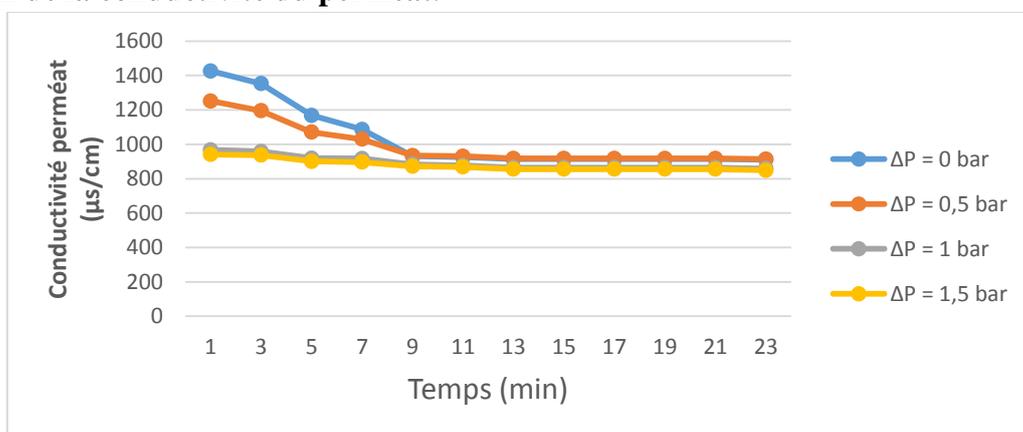


Figure V.7: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2.5g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

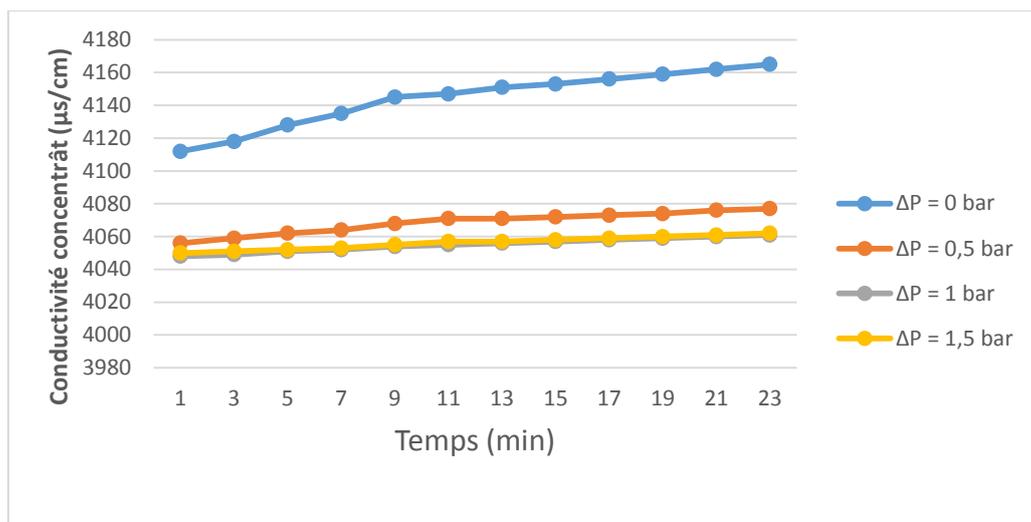


Figure V.8: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5$ g/l).

2.2.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

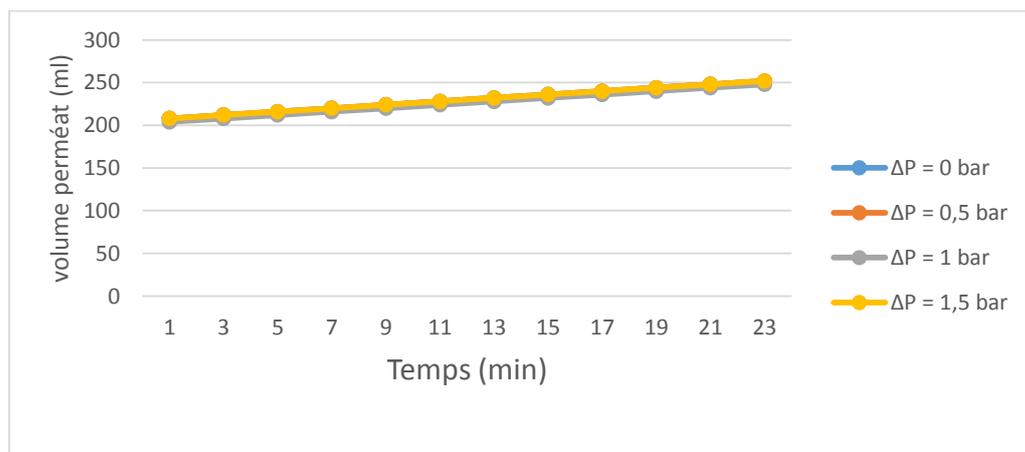


Figure V.9: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=2.5$ g/l).

2.2.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.6 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 2,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 11,3175 | 0,2648 | 0,7352 |
| 3 | 10,7381 | 0,2513 | 0,7487 |
| 5 | 9,2698 | 0,2169 | 0,7831 |
| 7 | 8,6190 | 0,2017 | 0,7983 |
| 9 | 7,3889 | 0,1729 | 0,8271 |
| 11 | 7,3492 | 0,1720 | 0,8280 |
| 13 | 7,2619 | 0,1699 | 0,8301 |
| 15 | 7,2619 | 0,1699 | 0,8301 |
| 17 | 7,2619 | 0,1699 | 0,8301 |
| 19 | 7,2619 | 0,1699 | 0,8301 |
| 21 | 7,2619 | 0,1699 | 0,8301 |
| 23 | 7,2302 | 0,1692 | 0,8308 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.7 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 2,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 9,9365 | 0,2325 | 0,7675 |
| 3 | 9,4841 | 0,2219 | 0,7781 |
| 5 | 8,5000 | 0,1989 | 0,8011 |
| 7 | 8,1746 | 0,1913 | 0,8087 |
| 9 | 7,4127 | 0,1735 | 0,8265 |
| 11 | 7,3810 | 0,1727 | 0,8273 |
| 13 | 7,2778 | 0,1703 | 0,8297 |
| 15 | 7,2778 | 0,1703 | 0,8297 |
| 17 | 7,2778 | 0,1703 | 0,8297 |
| 19 | 7,2778 | 0,1703 | 0,8297 |
| 21 | 7,2778 | 0,1703 | 0,8297 |
| 23 | 7,2540 | 0,1697 | 0,8303 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.8 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 2,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 7,6825 | 0,1798 | 0,8202 |
| 3 | 7,6032 | 0,1779 | 0,8221 |
| 5 | 7,2937 | 0,1707 | 0,8293 |
| 7 | 7,2778 | 0,1703 | 0,8297 |
| 9 | 7,0079 | 0,1640 | 0,8360 |
| 11 | 6,9603 | 0,1629 | 0,8371 |
| 13 | 6,8651 | 0,1606 | 0,8394 |
| 15 | 6,8651 | 0,1606 | 0,8394 |
| 17 | 6,8651 | 0,1606 | 0,8394 |
| 19 | 6,8651 | 0,1606 | 0,8394 |
| 21 | 6,8651 | 0,1606 | 0,8394 |
| 23 | 6,8175 | 0,1595 | 0,8405 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.9 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 2,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 7,4683 | 0,1748 | 0,8252 |
| 3 | 7,4365 | 0,1740 | 0,8260 |
| 5 | 7,1508 | 0,1673 | 0,8327 |
| 7 | 7,1111 | 0,1664 | 0,8336 |
| 9 | 6,9206 | 0,1619 | 0,8381 |
| 11 | 6,8889 | 0,1612 | 0,8388 |
| 13 | 6,7857 | 0,1588 | 0,8412 |
| 15 | 6,7857 | 0,1588 | 0,8412 |
| 17 | 6,7857 | 0,1588 | 0,8412 |
| 19 | 6,7857 | 0,1588 | 0,8412 |
| 21 | 6,7857 | 0,1588 | 0,8412 |
| 23 | 6,7381 | 0,1577 | 0,8423 |

2.2.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

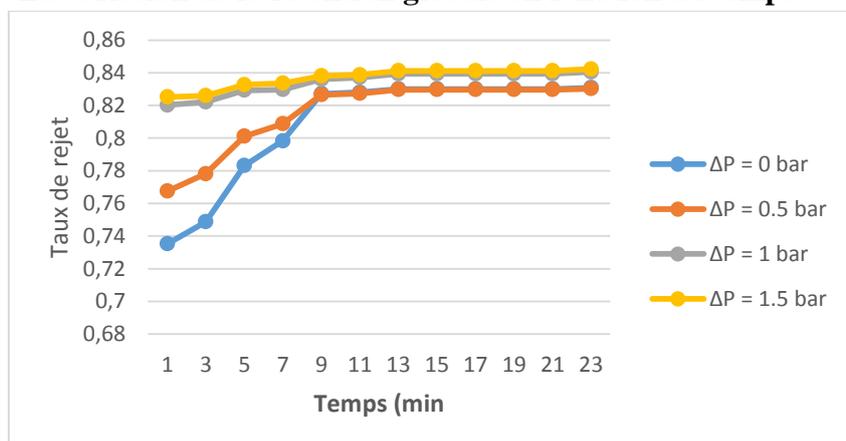


Figure V.10: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0,5;1; 1,5$; $C=2,5 \text{ g/l}$).

2.2.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

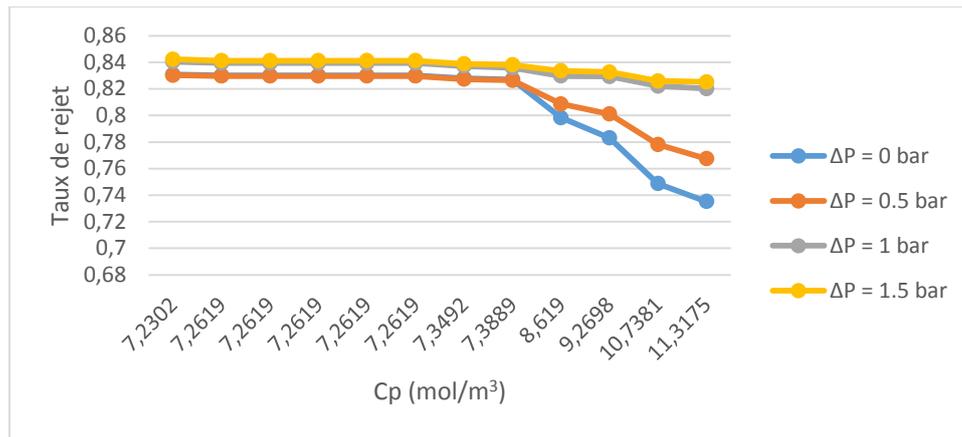


Figure V.11: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2.5 g/l).

2.3. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4850 (μs/cm)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 3 \text{ g/l} = 51.28 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 51.28 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.52 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 9 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 10 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 19 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 11 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 12 dans l'annexe.

2.3.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

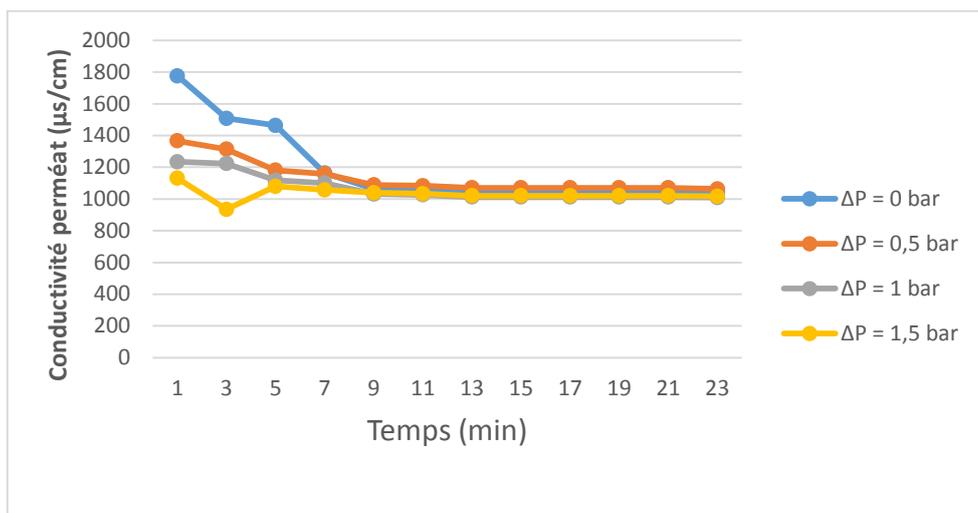


Figure V.12 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât.

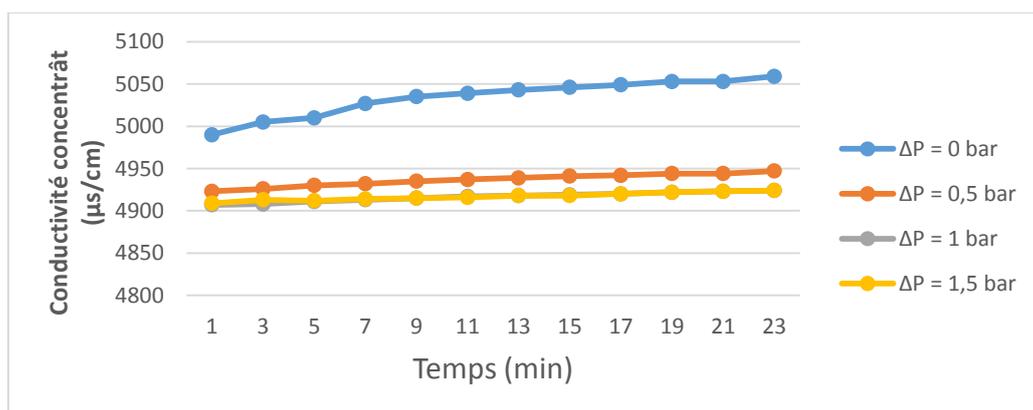


Figure V.13: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3\text{g/l}$).

2.3.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

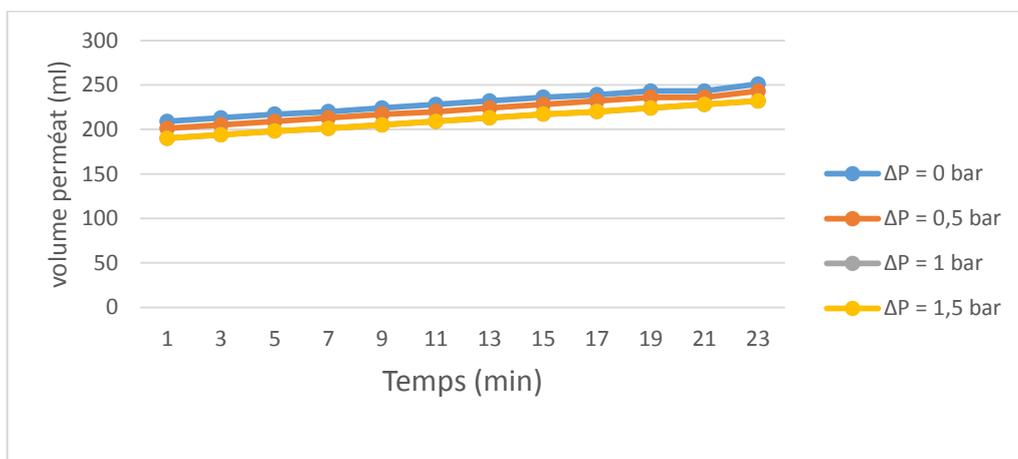


Figure V.14: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3$ g/l).

2.3.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.10 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 10$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 3$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 14,0952 | 0,2749 | 0,7251 |
| 3 | 11,9683 | 0,2334 | 0,7666 |
| 5 | 11,6190 | 0,2266 | 0,7734 |
| 7 | 9,2381 | 0,1801 | 0,8199 |
| 9 | 8,4444 | 0,1647 | 0,8353 |
| 11 | 8,4048 | 0,1639 | 0,8361 |
| 13 | 8,3095 | 0,1620 | 0,8380 |
| 15 | 8,3095 | 0,1620 | 0,8380 |
| 17 | 8,3095 | 0,1620 | 0,8380 |
| 19 | 8,3095 | 0,1620 | 0,8380 |
| 21 | 8,3095 | 0,1620 | 0,8380 |
| 23 | 8,2698 | 0,1613 | 0,8387 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.11 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 10$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 3$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 10,8413 | 0,2114 | 0,7886 |
| 3 | 10,4286 | 0,2034 | 0,7966 |
| 5 | 9,3730 | 0,1828 | 0,8172 |
| 7 | 9,1984 | 0,1794 | 0,8206 |
| 9 | 8,6429 | 0,1685 | 0,8315 |
| 11 | 8,5952 | 0,1676 | 0,8324 |
| 13 | 8,4921 | 0,1656 | 0,8344 |
| 15 | 8,4921 | 0,1656 | 0,8344 |
| 17 | 8,4921 | 0,1656 | 0,8344 |
| 19 | 8,4921 | 0,1656 | 0,8344 |
| 21 | 8,4921 | 0,1656 | 0,8344 |
| 23 | 8,4365 | 0,1645 | 0,8355 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.12 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 9,7937 | 0,1910 | 0,8090 |
| 3 | 9,7063 | 0,1893 | 0,8107 |
| 5 | 8,8730 | 0,1730 | 0,8270 |
| 7 | 8,7381 | 0,1704 | 0,8296 |
| 9 | 8,1825 | 0,1596 | 0,8404 |
| 11 | 8,1429 | 0,1588 | 0,8412 |
| 13 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 15 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 17 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 19 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 21 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 23 | 8,0079 | 0,1562 | 0,8438 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.13 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 10 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 8,9762 | 0,1750 | 0,8250 |
| 3 | 7,4206 | 0,1447 | 0,8553 |
| 5 | 8,5635 | 0,1670 | 0,8330 |
| 7 | 8,3889 | 0,1636 | 0,8364 |
| 9 | 8,2460 | 0,1608 | 0,8392 |
| 11 | 8,1984 | 0,1599 | 0,8401 |
| 13 | 8,0952 | 0,1579 | 0,8421 |
| 15 | 8,0952 | 0,1579 | 0,8421 |
| 17 | 8,0952 | 0,1579 | 0,8421 |
| 19 | 8,0952 | 0,1579 | 0,8421 |
| 21 | 8,0952 | 0,1579 | 0,8421 |
| 23 | 8,0714 | 0,1574 | 0,8426 |

2.3.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

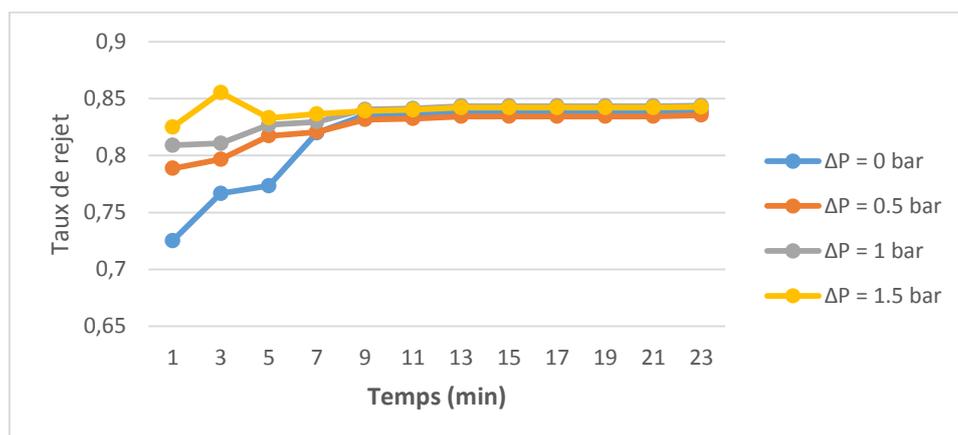


Figure V.15 : La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 5 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5$; $C = 3 \text{ g/l}$).

2.3.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

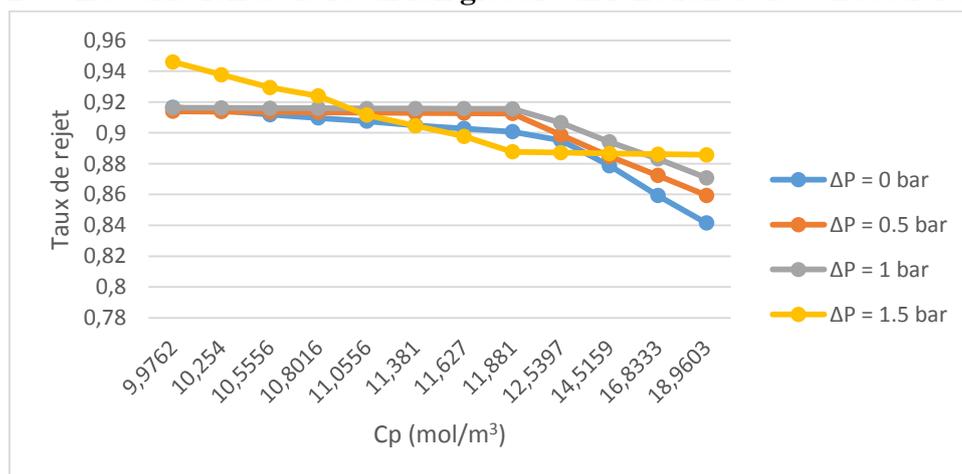


Figure V.16: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=3$ g/l).

Partie II : Une pression de 7 bars

2.4. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4850 ($\mu\text{s/cm}$)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 13 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 14 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 15 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 16 dans l'annexe.

2.4.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

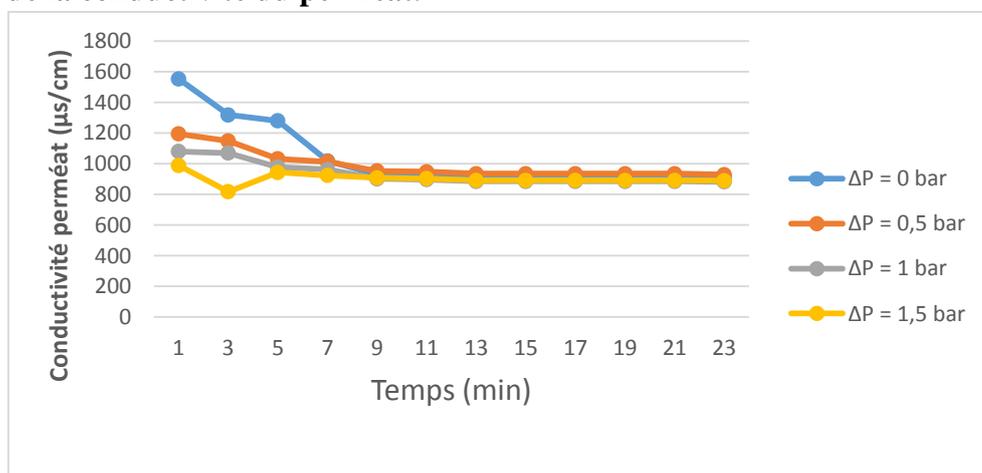


Figure V.17: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=3$ g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

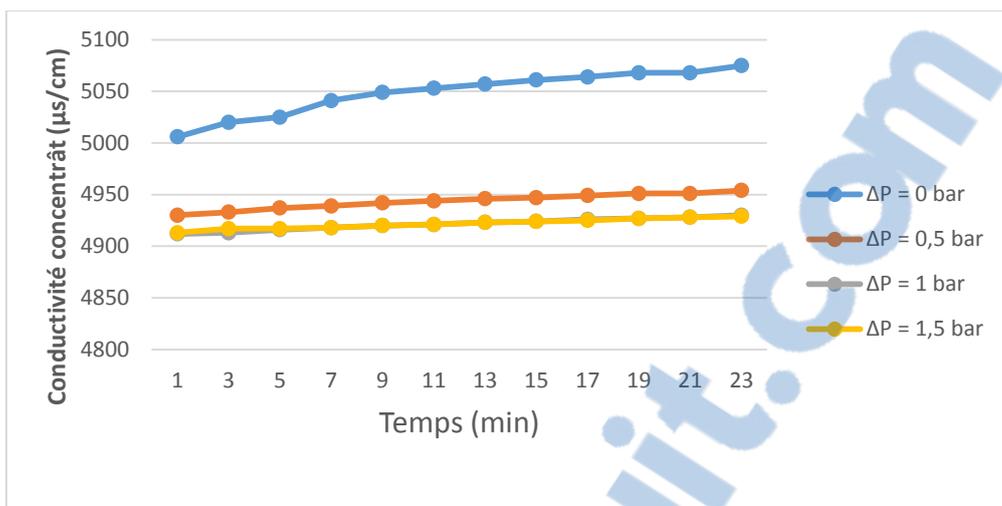


Figure V.18: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=3\text{g/l}$).

2.4.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

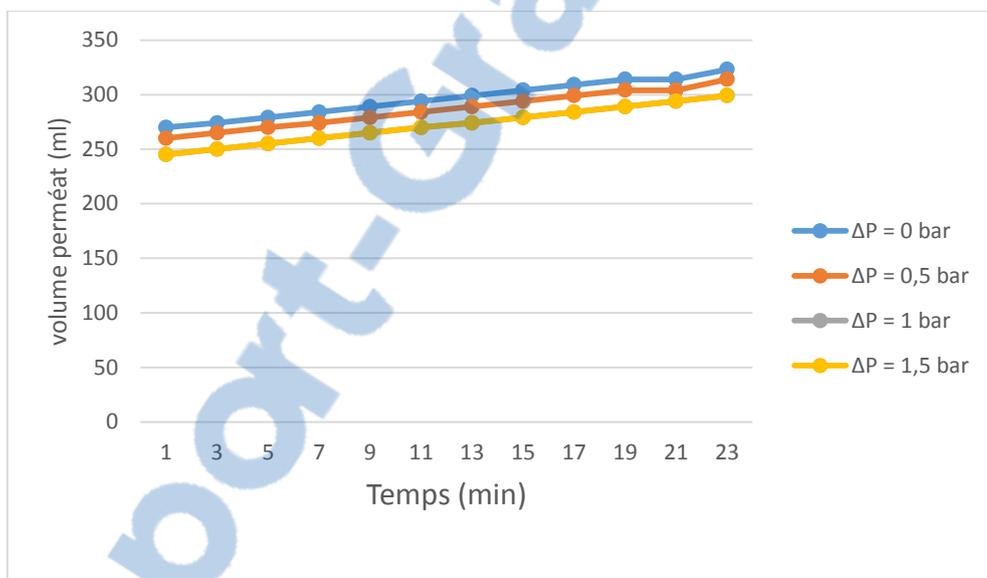


Figure V.19: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=3$ g/l).

2.4.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Chapitre V : Résultats et interprétations

Tableau 5.14 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,3175 | 0,2402 | 0,7598 |
| 3 | 10,4603 | 0,2040 | 0,7960 |
| 5 | 10,1508 | 0,1979 | 0,8021 |
| 7 | 8,0794 | 0,1575 | 0,8425 |
| 9 | 7,3810 | 0,1439 | 0,8561 |
| 11 | 7,3413 | 0,1432 | 0,8568 |
| 13 | 7,2619 | 0,1416 | 0,8584 |
| 15 | 7,2619 | 0,1416 | 0,8584 |
| 17 | 7,2619 | 0,1416 | 0,8584 |
| 19 | 7,2619 | 0,1416 | 0,8584 |
| 21 | 7,2619 | 0,1416 | 0,8584 |
| 23 | 7,2302 | 0,1410 | 0,8590 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.15 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 9,4762 | 0,1848 | 0,8152 |
| 3 | 9,1111 | 0,1777 | 0,8223 |
| 5 | 8,1905 | 0,1597 | 0,8403 |
| 7 | 8,0397 | 0,1568 | 0,8432 |
| 9 | 7,5556 | 0,1473 | 0,8527 |
| 11 | 7,5159 | 0,1466 | 0,8534 |
| 13 | 7,4206 | 0,1447 | 0,8553 |
| 15 | 7,4206 | 0,1447 | 0,8553 |
| 17 | 7,4206 | 0,1447 | 0,8553 |
| 19 | 7,4206 | 0,1447 | 0,8553 |
| 21 | 7,4206 | 0,1447 | 0,8553 |
| 23 | 7,3730 | 0,1438 | 0,8562 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.16 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 8,5635 | 0,1670 | 0,8330 |
| 3 | 8,4841 | 0,1654 | 0,8346 |
| 5 | 7,7540 | 0,1512 | 0,8488 |
| 7 | 7,6349 | 0,1489 | 0,8511 |
| 9 | 7,1508 | 0,1394 | 0,8606 |
| 11 | 7,1111 | 0,1387 | 0,8613 |
| 13 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 15 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 17 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 19 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 21 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 23 | 7,0000 | 0,1365 | 0,8635 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.17 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 7,8413 | 0,1529 | 0,8471 |
| 3 | 6,4841 | 0,1264 | 0,8736 |
| 5 | 7,4841 | 0,1459 | 0,8541 |
| 7 | 7,3254 | 0,1428 | 0,8572 |
| 9 | 7,2063 | 0,1405 | 0,8595 |
| 11 | 7,1667 | 0,1398 | 0,8603 |
| 13 | 7,0714 | 0,1379 | 0,8621 |
| 15 | 7,0714 | 0,1379 | 0,8621 |
| 17 | 7,0714 | 0,1379 | 0,8621 |
| 19 | 7,0714 | 0,1379 | 0,8621 |
| 21 | 7,0714 | 0,1379 | 0,8621 |
| 23 | 7,0556 | 0,1376 | 0,8624 |

2.4.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

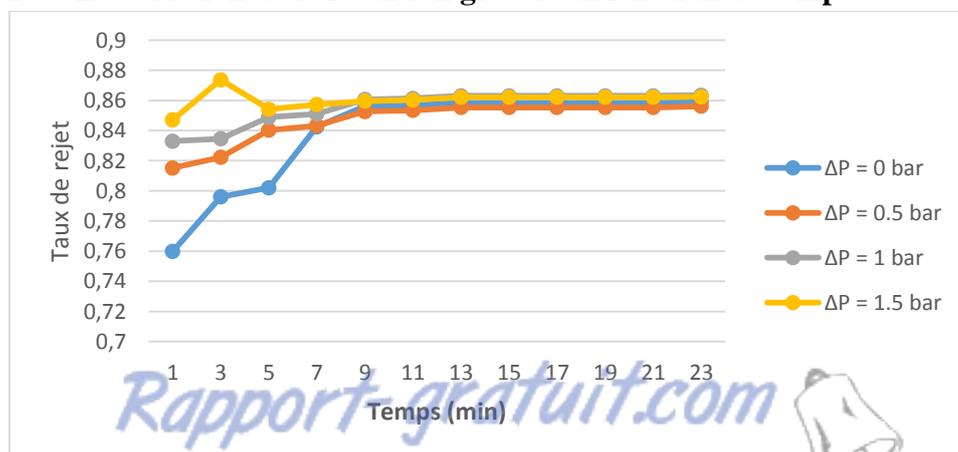


Figure V.20: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$; $C = 3 \text{ g/l}$).

2.4.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

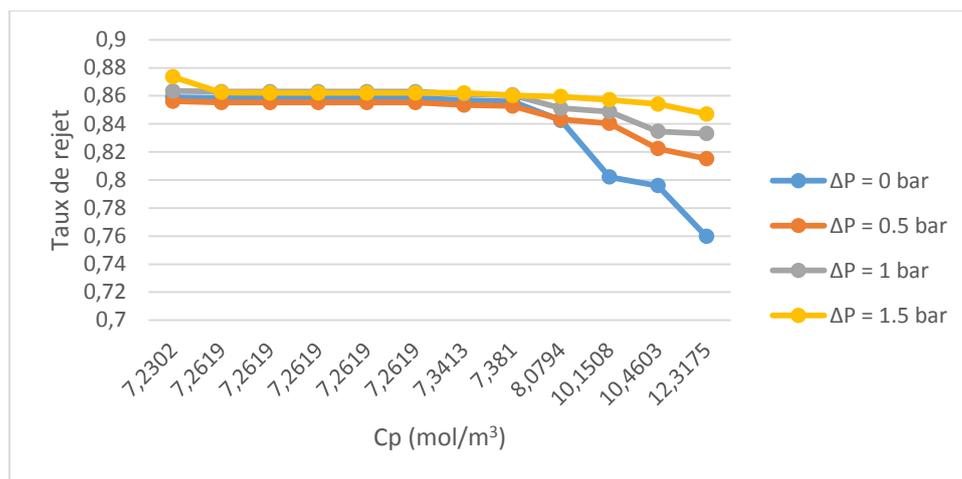


Figure V.21: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3 g/l).

2.5. pour une concentration de 3,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 5450 (μs/cm)

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 3,5 \text{ g/l} = 59.83 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 59.83 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 2.94 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 17 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 18 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 18 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 17 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 19 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 17 °C Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 20 dans l'annexe.

2.5.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

* La variation de la conductivité du perméat.

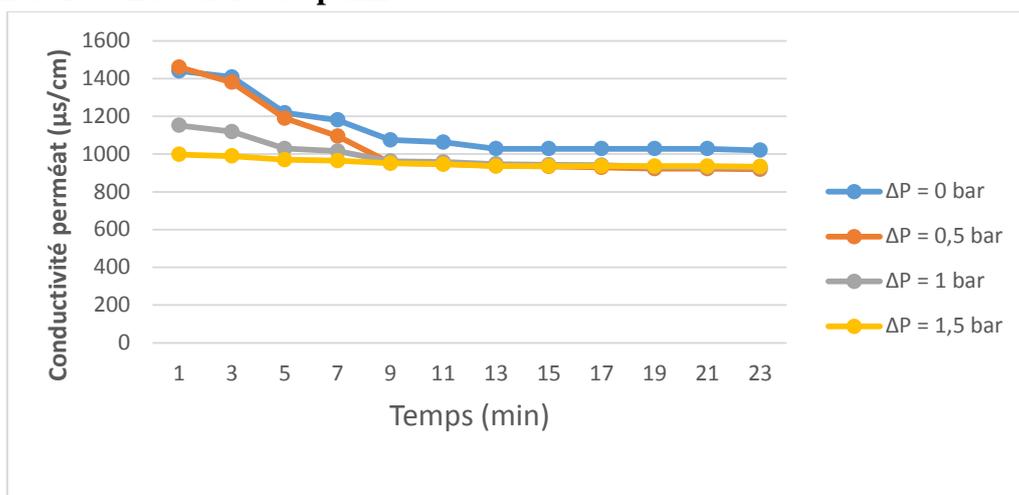


Figure V.22 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât.

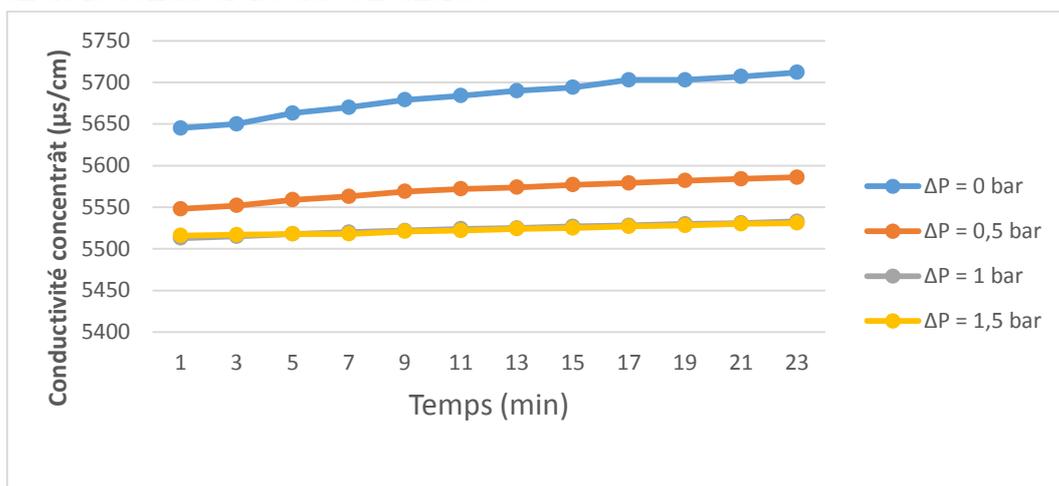


Figure V.23: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5\text{g/l}$).

2.5.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

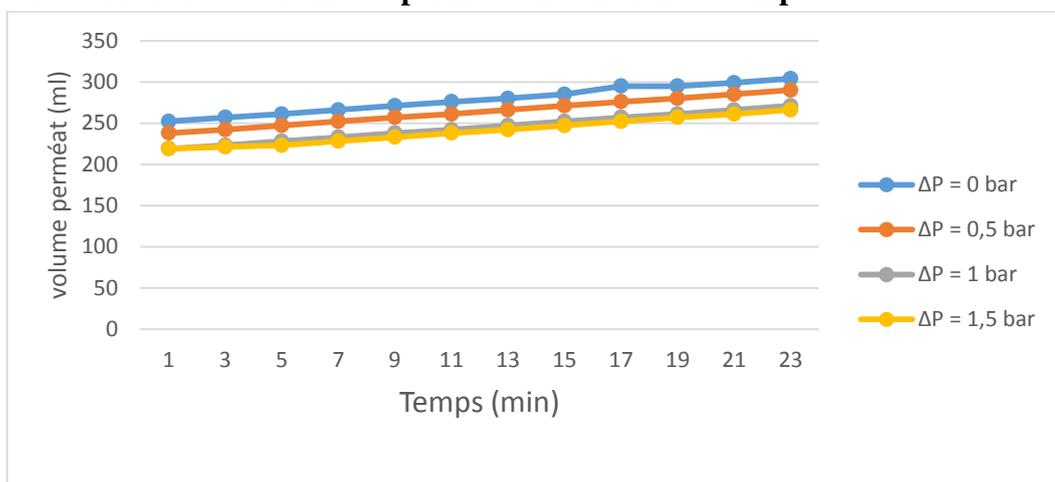


Figure V.24: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5$ g/l).

2.5.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.18 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 11,4286 | 0,1910 | 0,8090 |
| 3 | 11,1746 | 0,1868 | 0,8132 |
| 5 | 9,6667 | 0,1616 | 0,8384 |
| 7 | 9,3651 | 0,1565 | 0,8435 |
| 9 | 8,5317 | 0,1426 | 0,8574 |
| 11 | 8,4365 | 0,1410 | 0,8590 |
| 13 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 15 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 17 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 19 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 21 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 23 | 8,0952 | 0,1353 | 0,8647 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.19 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 11,5873 | 0,1937 | 0,8063 |
| 3 | 10,9524 | 0,1831 | 0,8169 |
| 5 | 9,4444 | 0,1579 | 0,8421 |
| 7 | 8,6905 | 0,1453 | 0,8547 |
| 9 | 7,5635 | 0,1264 | 0,8736 |
| 11 | 7,5238 | 0,1258 | 0,8742 |
| 13 | 7,4444 | 0,1244 | 0,8756 |
| 15 | 7,4127 | 0,1239 | 0,8761 |
| 17 | 7,3730 | 0,1232 | 0,8768 |
| 19 | 7,3175 | 0,1223 | 0,8777 |
| 21 | 7,3175 | 0,1223 | 0,8777 |
| 23 | 7,2937 | 0,1219 | 0,8781 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.20 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 9,1429 | 0,1528 | 0,8472 |
| 3 | 8,8810 | 0,1484 | 0,8516 |
| 5 | 8,1667 | 0,1365 | 0,8635 |
| 7 | 8,0556 | 0,1346 | 0,8654 |
| 9 | 7,6349 | 0,1276 | 0,8724 |
| 11 | 7,6032 | 0,1271 | 0,8729 |
| 13 | 7,5159 | 0,1256 | 0,8744 |
| 15 | 7,4841 | 0,1251 | 0,8749 |
| 17 | 7,4683 | 0,1248 | 0,8752 |
| 19 | 7,3968 | 0,1236 | 0,8764 |
| 21 | 7,3889 | 0,1235 | 0,8765 |
| 23 | 7,3651 | 0,1231 | 0,8769 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.21 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 7,9206 | 0,1324 | 0,8676 |
| 3 | 7,8492 | 0,1312 | 0,8688 |
| 5 | 7,6984 | 0,1287 | 0,8713 |
| 7 | 7,6587 | 0,1280 | 0,8720 |
| 9 | 7,5476 | 0,1262 | 0,8738 |
| 11 | 7,5079 | 0,1255 | 0,8745 |
| 13 | 7,4286 | 0,1242 | 0,8758 |
| 15 | 7,4286 | 0,1242 | 0,8758 |
| 17 | 7,4286 | 0,1242 | 0,8758 |
| 19 | 7,4286 | 0,1242 | 0,8758 |
| 21 | 7,4286 | 0,1242 | 0,8758 |
| 23 | 7,4048 | 0,1238 | 0,8762 |

2.5.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

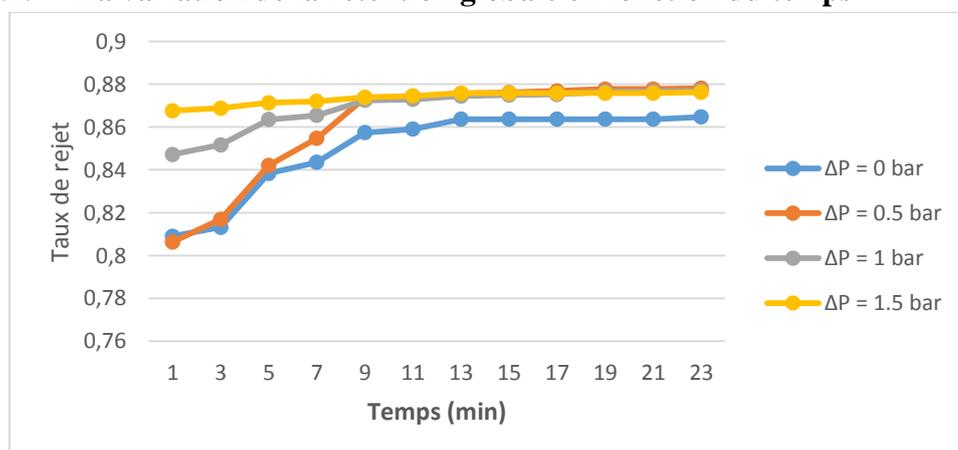


Figure V.25: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$; $C=3,5 \text{ g/l}$).

2.5.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

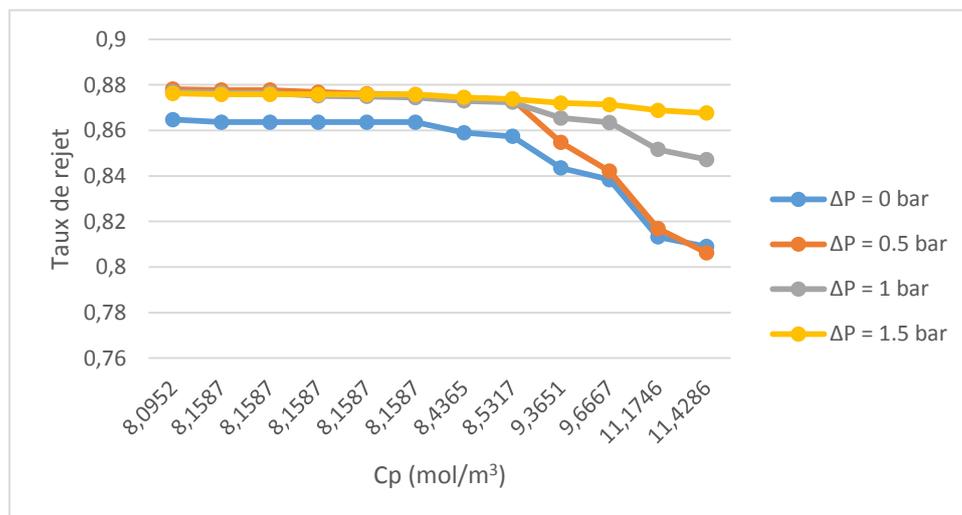


Figure V.26: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3.5 g/l).

2.6. Pour une concentration de 4 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 6420 (μs/cm)

Température avant 20 °C

Température après 28 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 4 \text{ g/l} = 68.38 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 68.38 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 3.33 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 21 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 22 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C

Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 23 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 18 °C

Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 24 dans l'annexe.

2.6.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

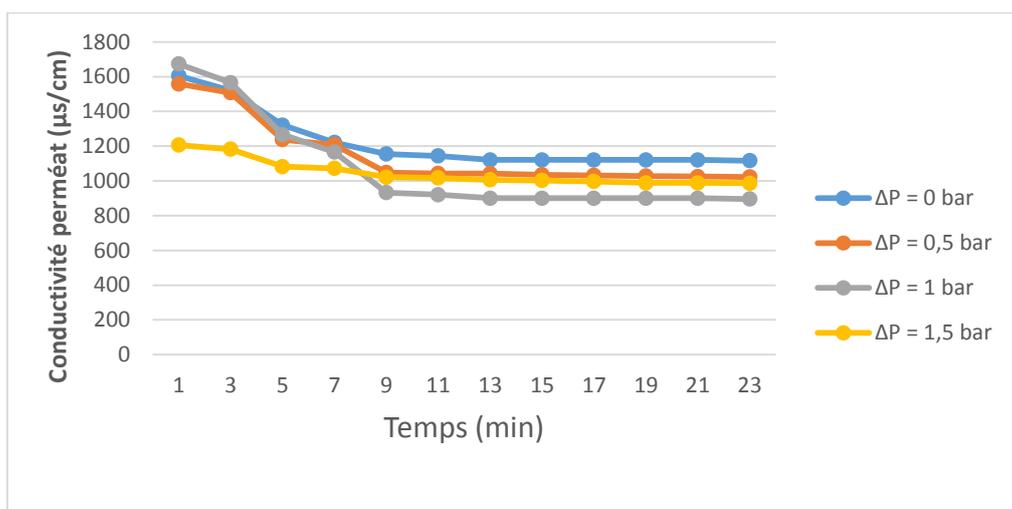


Figure V.27: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât.

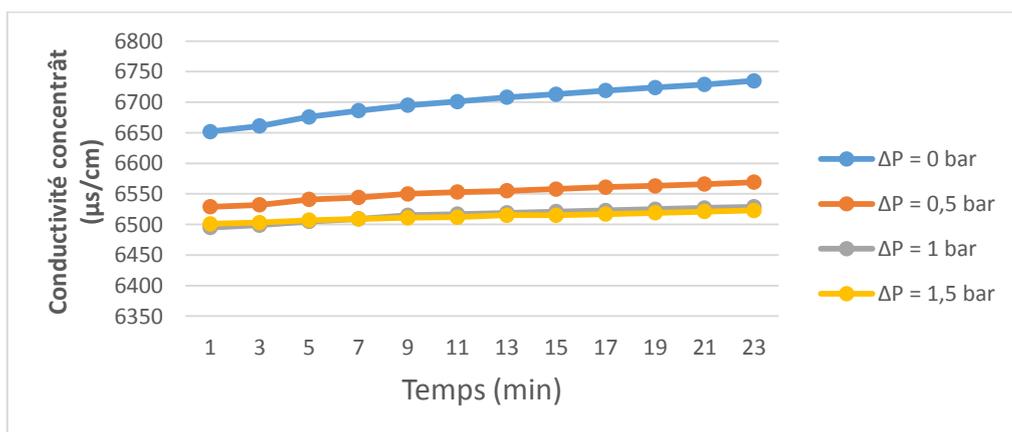


Figure V.28: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4\text{g/l}$).

2.6.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

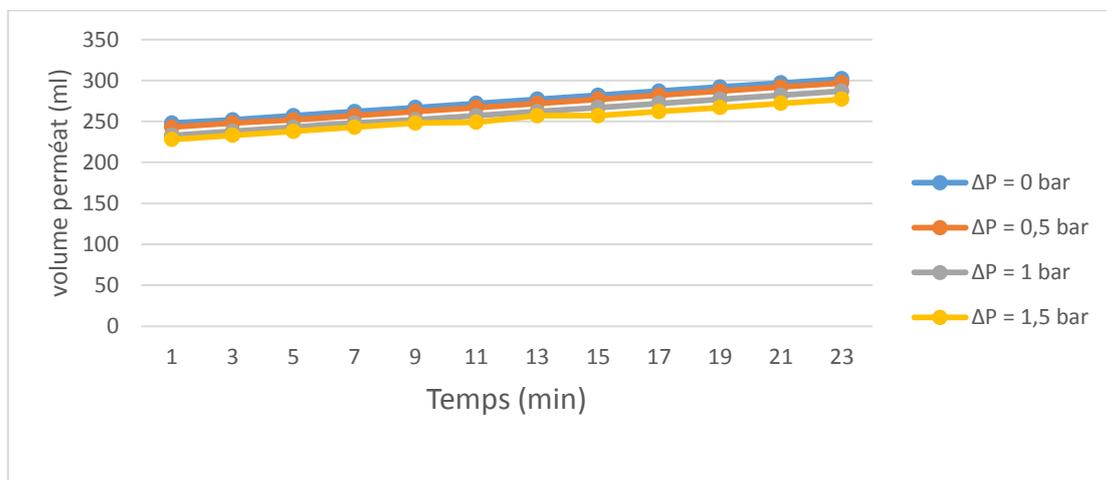


Figure V.29: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4$ g/l).

2.6.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.22 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,7381 | 0,1863 | 0,8137 |
| 3 | 12,0714 | 0,1765 | 0,8235 |
| 5 | 10,4841 | 0,1533 | 0,8467 |
| 7 | 9,6905 | 0,1417 | 0,8583 |
| 9 | 9,1667 | 0,1341 | 0,8659 |
| 11 | 9,0794 | 0,1328 | 0,8672 |
| 13 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 15 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 17 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 19 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 21 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 23 | 8,8571 | 0,1295 | 0,8705 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.23 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,3651 | 0,1808 | 0,8192 |
| 3 | 11,9683 | 0,1750 | 0,8250 |
| 5 | 9,8254 | 0,1437 | 0,8563 |
| 7 | 9,5873 | 0,1402 | 0,8598 |
| 9 | 8,3175 | 0,1216 | 0,8784 |
| 11 | 8,2778 | 0,1211 | 0,8789 |
| 13 | 8,2698 | 0,1209 | 0,8791 |
| 15 | 8,2143 | 0,1201 | 0,8799 |
| 17 | 8,1905 | 0,1198 | 0,8802 |
| 19 | 8,1587 | 0,1193 | 0,8807 |
| 21 | 8,1349 | 0,1190 | 0,8810 |
| 23 | 8,1190 | 0,1187 | 0,8813 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.24 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 13,2778 | 0,1942 | 0,8058 |
| 3 | 12,4286 | 0,1818 | 0,8182 |
| 5 | 10,0476 | 0,1469 | 0,8531 |
| 7 | 9,2540 | 0,1353 | 0,8647 |
| 9 | 7,4048 | 0,1083 | 0,8917 |
| 11 | 7,3095 | 0,1069 | 0,8931 |
| 13 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 15 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 17 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 19 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 21 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 23 | 7,1111 | 0,1040 | 0,8960 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.25 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 9,5714 | 0,1400 | 0,8600 |
| 3 | 9,3810 | 0,1372 | 0,8628 |
| 5 | 8,5873 | 0,1256 | 0,8744 |
| 7 | 8,5079 | 0,1244 | 0,8756 |
| 9 | 8,1111 | 0,1186 | 0,8814 |
| 11 | 8,0714 | 0,1180 | 0,8820 |
| 13 | 7,9841 | 0,1168 | 0,8832 |
| 15 | 7,9524 | 0,1163 | 0,8837 |
| 17 | 7,9127 | 0,1157 | 0,8843 |
| 19 | 7,8492 | 0,1148 | 0,8852 |
| 21 | 7,8492 | 0,1148 | 0,8852 |
| 23 | 7,8333 | 0,1146 | 0,8854 |

2.6.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

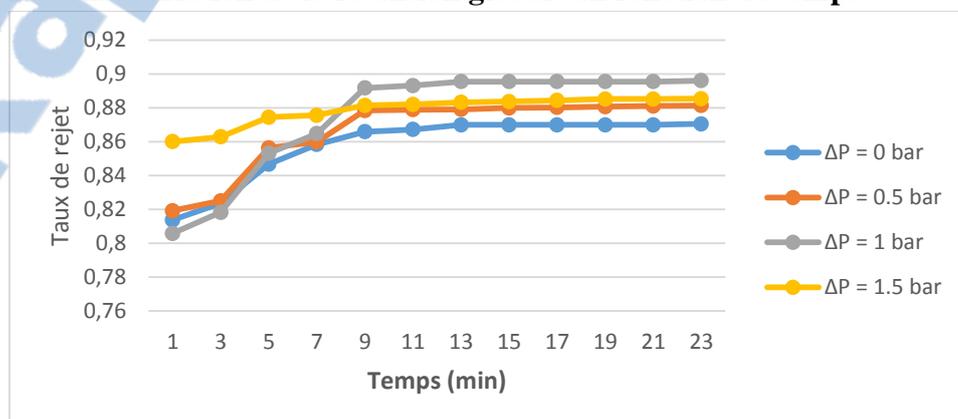


Figure V.30: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$; $C = 4 \text{ g/l}$).

2.6.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat

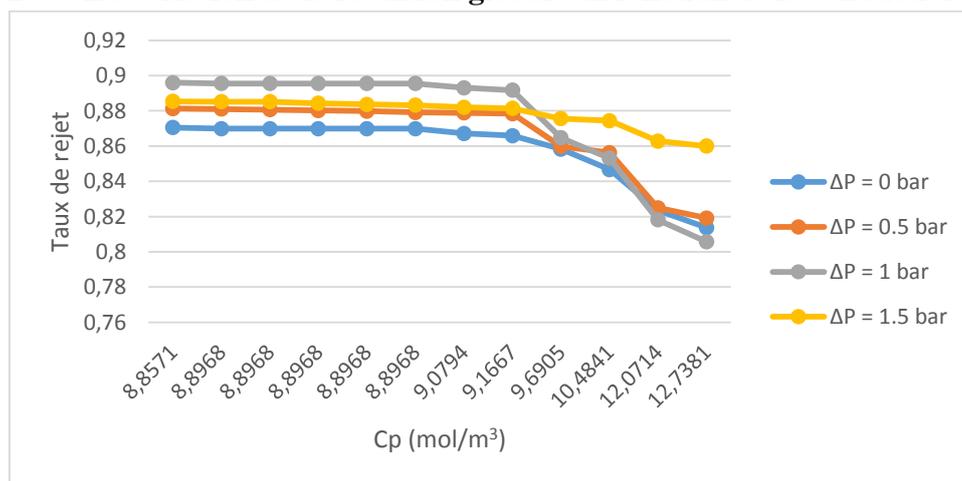


Figure V.31: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=7 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4 g/l).

Partie III : Une pression de 7 bars

2.7. Pour une concentration de 4 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 6420 (μs/cm)

Température avant 20 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 25 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 26 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 27 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 28 dans l'annexe.

2.7.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

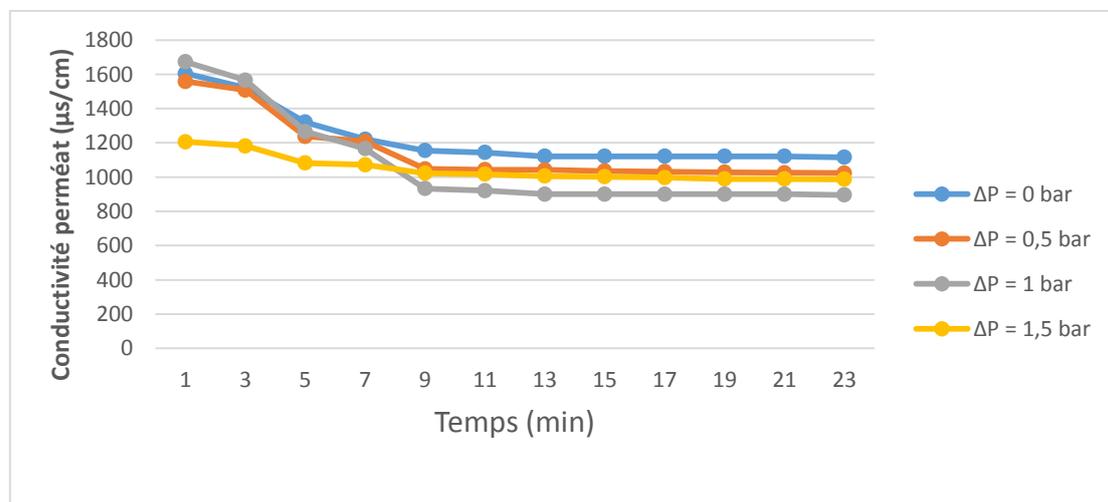


Figure V.32: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

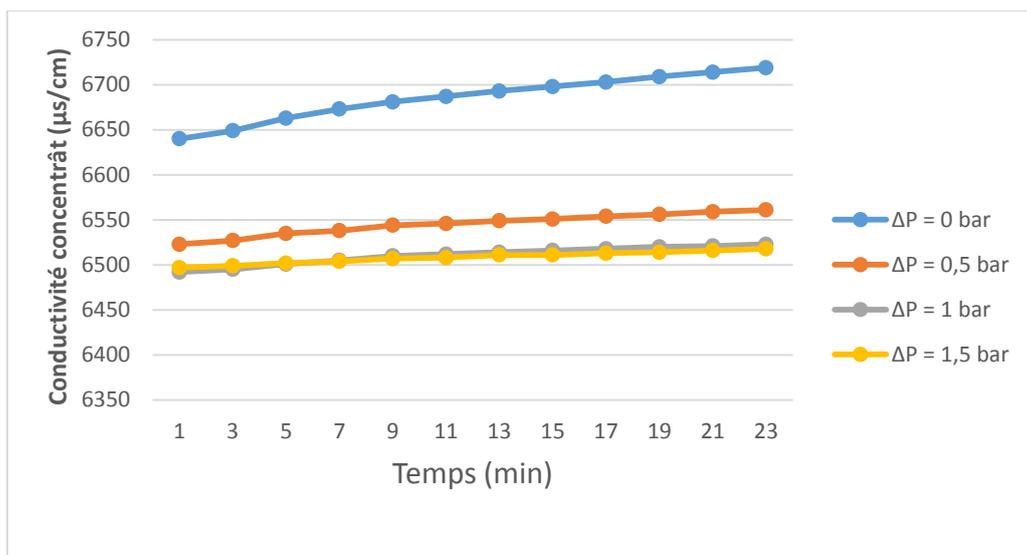


Figure V.33: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4\text{g/l}$)

2.7.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

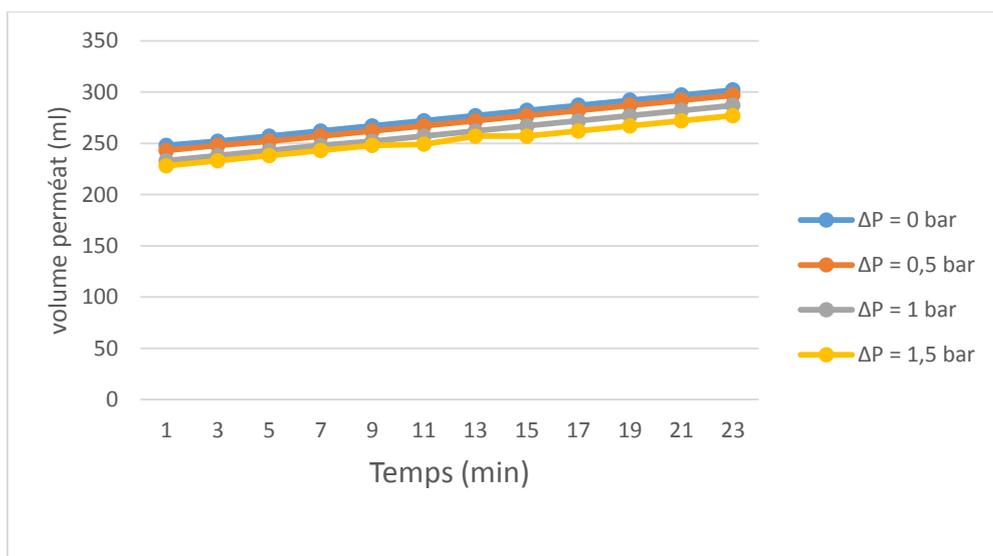


Figure V.34: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4$ g/l).

2.7.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Chapitre V : Résultats et interprétations

Tableau 5.26 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,7381 | 0,1863 | 0,8137 |
| 3 | 12,0714 | 0,1765 | 0,8235 |
| 5 | 10,4841 | 0,1533 | 0,8467 |
| 7 | 9,6905 | 0,1417 | 0,8583 |
| 9 | 9,1667 | 0,1341 | 0,8659 |
| 11 | 9,0794 | 0,1328 | 0,8672 |
| 13 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 15 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 17 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 19 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 21 | 8,8968 | 0,1301 | 0,8699 |
| 23 | 8,8571 | 0,1295 | 0,8705 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.27 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,3651 | 0,1808 | 0,8192 |
| 3 | 11,9683 | 0,1750 | 0,8250 |
| 5 | 9,8254 | 0,1437 | 0,8563 |
| 7 | 9,5873 | 0,1402 | 0,8598 |
| 9 | 8,3175 | 0,1216 | 0,8784 |
| 11 | 8,2778 | 0,1211 | 0,8789 |
| 13 | 8,2698 | 0,1209 | 0,8791 |
| 15 | 8,2143 | 0,1201 | 0,8799 |
| 17 | 8,1905 | 0,1198 | 0,8802 |
| 19 | 8,1587 | 0,1193 | 0,8807 |
| 21 | 8,1349 | 0,1190 | 0,8810 |
| 23 | 8,1190 | 0,1187 | 0,8813 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.28 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 13,2778 | 0,1942 | 0,8058 |
| 3 | 12,4286 | 0,1818 | 0,8182 |
| 5 | 10,0476 | 0,1469 | 0,8531 |
| 7 | 9,2540 | 0,1353 | 0,8647 |
| 9 | 7,4048 | 0,1083 | 0,8917 |
| 11 | 7,3095 | 0,1069 | 0,8931 |
| 13 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 15 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 17 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 19 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 21 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 23 | 7,1111 | 0,1040 | 0,8960 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.29 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 9,5714 | 0,1400 | 0,8600 |
| 3 | 9,3810 | 0,1372 | 0,8628 |
| 5 | 8,5873 | 0,1256 | 0,8744 |
| 7 | 8,5079 | 0,1244 | 0,8756 |
| 9 | 8,1111 | 0,1186 | 0,8814 |
| 11 | 8,0714 | 0,1180 | 0,8820 |
| 13 | 7,9841 | 0,1168 | 0,8832 |
| 15 | 7,9524 | 0,1163 | 0,8837 |
| 17 | 7,9127 | 0,1157 | 0,8843 |
| 19 | 7,8492 | 0,1148 | 0,8852 |
| 21 | 7,8492 | 0,1148 | 0,8852 |
| 23 | 7,8333 | 0,1146 | 0,8854 |

2.7.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

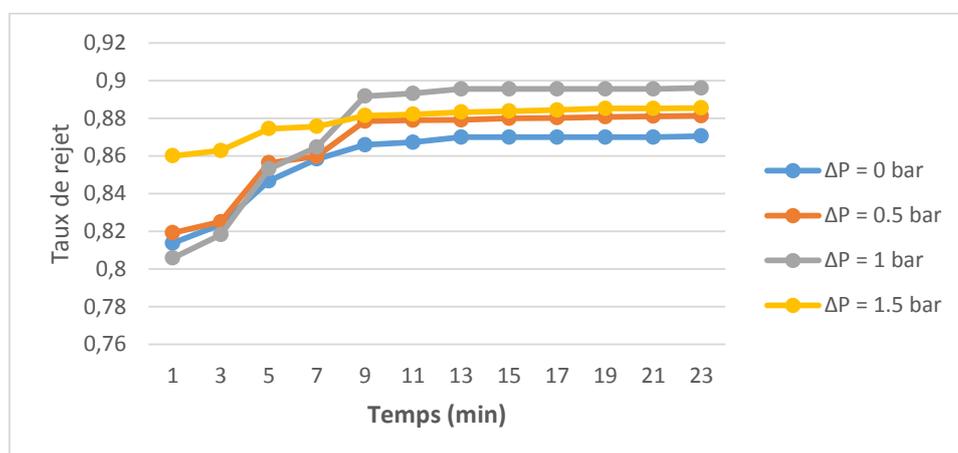


Figure V.35 : La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4 \text{ g/l}$).

2.7.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

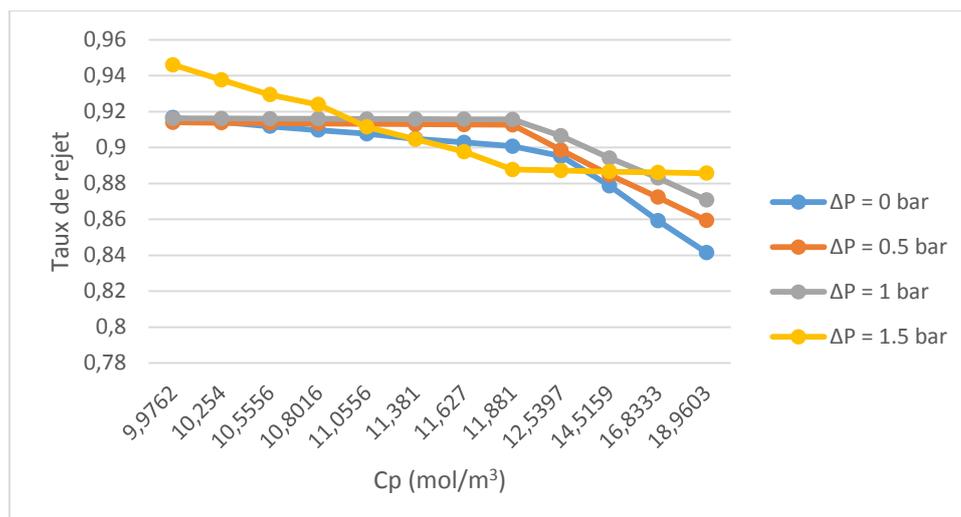


Figure V.36: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4 g/l).

2.8. Pour une concentration de 4,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 6780 (μs/cm)

Température avant 18 °C Température après 26 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 4,5 \text{ g/l} = 76.92 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 76.92 * 8,316 * (18 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 3.74 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 29 dans l'annexe :

Manipulation n°02 :

Température avant 18 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 30 dans l'annexe :

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 31 dans l'annexe :

Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 32 dans l'annexe :

2.8.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

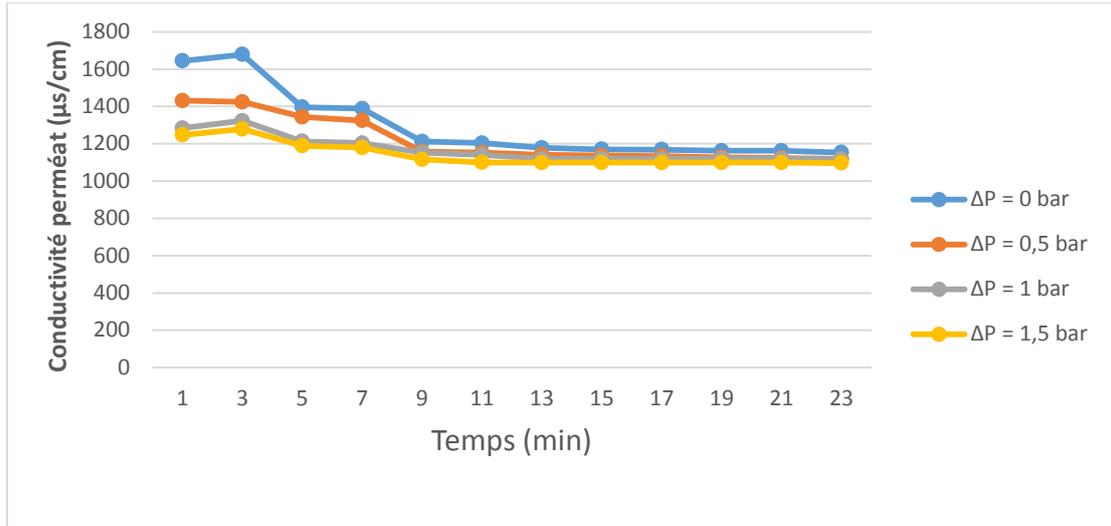


Figure V.37: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 9$ bars ; $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$; $C = 4.5$ g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

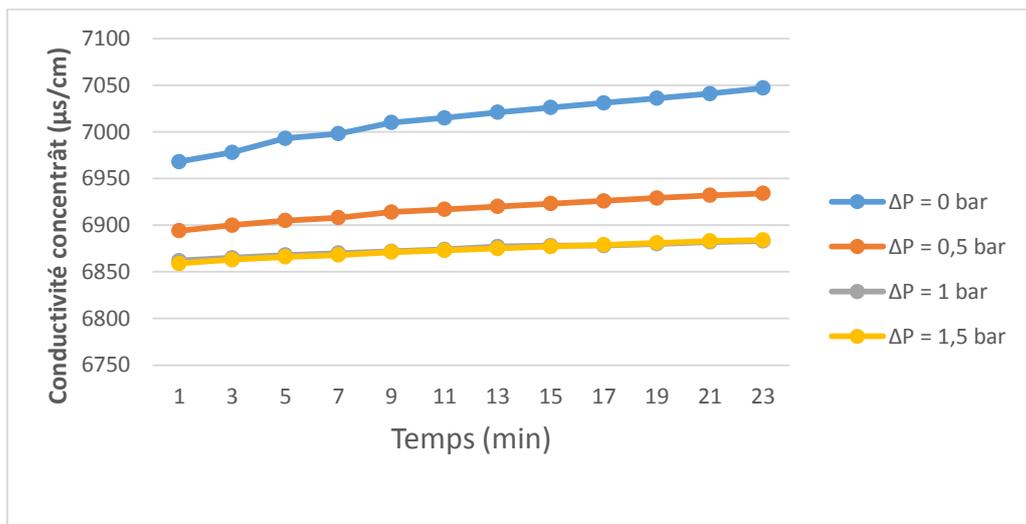


Figure V.38: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 9$ bars ; $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$; $C = 4.5$ g/l)

2.8.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

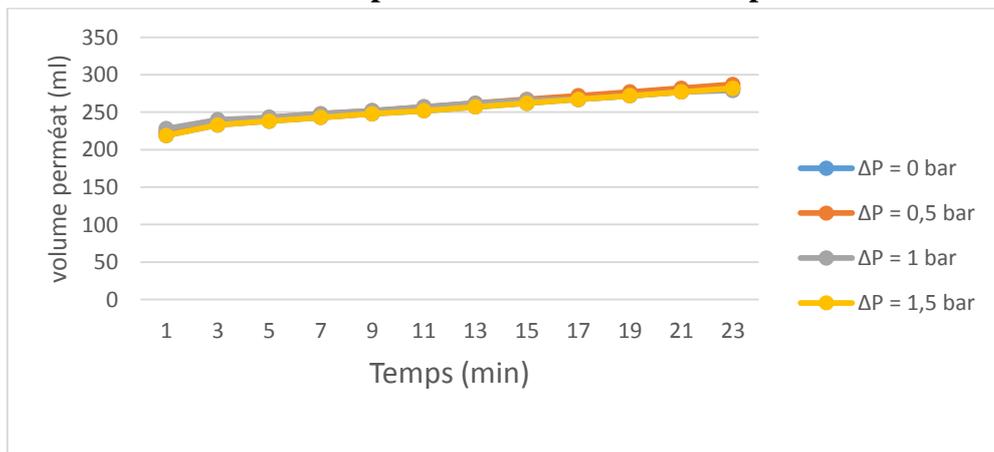


Figure V.39: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 9$ bars ; $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$; $C = 4.5$ g/l).

2.8.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.30 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 13,0476 | 0,1696 | 0,8304 |
| 3 | 13,3175 | 0,1731 | 0,8269 |
| 5 | 11,0794 | 0,1440 | 0,8560 |
| 7 | 11,0159 | 0,1432 | 0,8568 |
| 9 | 9,6190 | 0,1250 | 0,8750 |
| 11 | 9,5476 | 0,1241 | 0,8759 |
| 13 | 9,3492 | 0,1215 | 0,8785 |
| 15 | 9,2857 | 0,1207 | 0,8793 |
| 17 | 9,2698 | 0,1205 | 0,8795 |
| 19 | 9,2222 | 0,1199 | 0,8801 |
| 21 | 9,2222 | 0,1199 | 0,8801 |
| 23 | 9,1508 | 0,1190 | 0,8810 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.31 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 11,3571 | 0,1476 | 0,8524 |
| 3 | 11,3016 | 0,1469 | 0,8531 |
| 5 | 10,6667 | 0,1387 | 0,8613 |
| 7 | 10,5079 | 0,1366 | 0,8634 |
| 9 | 9,1905 | 0,1195 | 0,8805 |
| 11 | 9,1429 | 0,1189 | 0,8811 |
| 13 | 9,0556 | 0,1177 | 0,8823 |
| 15 | 9,0238 | 0,1173 | 0,8827 |
| 17 | 9,0000 | 0,1170 | 0,8830 |
| 19 | 8,9444 | 0,1163 | 0,8837 |
| 21 | 8,9206 | 0,1160 | 0,8840 |
| 23 | 8,8810 | 0,1155 | 0,8845 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.32 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 10,1905 | 0,1325 | 0,8675 |
| 3 | 10,5000 | 0,1365 | 0,8635 |
| 5 | 9,6270 | 0,1252 | 0,8748 |
| 7 | 9,5476 | 0,1241 | 0,8759 |
| 9 | 9,1508 | 0,1190 | 0,8810 |
| 11 | 9,0556 | 0,1177 | 0,8823 |
| 13 | 8,8889 | 0,1156 | 0,8844 |
| 15 | 8,8889 | 0,1156 | 0,8844 |
| 17 | 8,8889 | 0,1156 | 0,8844 |
| 19 | 8,8889 | 0,1156 | 0,8844 |
| 21 | 8,8889 | 0,1156 | 0,8844 |
| 23 | 8,8651 | 0,1152 | 0,8848 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.33 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 9,8968 | 0,1287 | 0,8713 |
| 3 | 10,1508 | 0,1320 | 0,8680 |
| 5 | 9,4365 | 0,1227 | 0,8773 |
| 7 | 9,3571 | 0,1216 | 0,8784 |
| 9 | 8,8571 | 0,1151 | 0,8849 |
| 11 | 8,7302 | 0,1135 | 0,8865 |
| 13 | 8,7222 | 0,1134 | 0,8866 |
| 15 | 8,7222 | 0,1134 | 0,8866 |
| 17 | 8,7222 | 0,1134 | 0,8866 |
| 19 | 8,7222 | 0,1134 | 0,8866 |
| 21 | 8,7222 | 0,1134 | 0,8866 |
| 23 | 8,6984 | 0,1131 | 0,8869 |

2.8.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

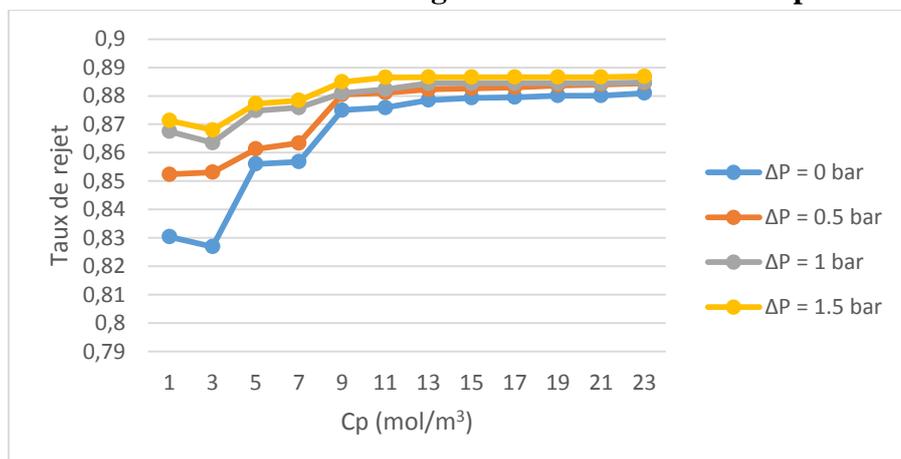


Figure V.40: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$; $C=4,5 \text{ g/l}$).

2.8.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

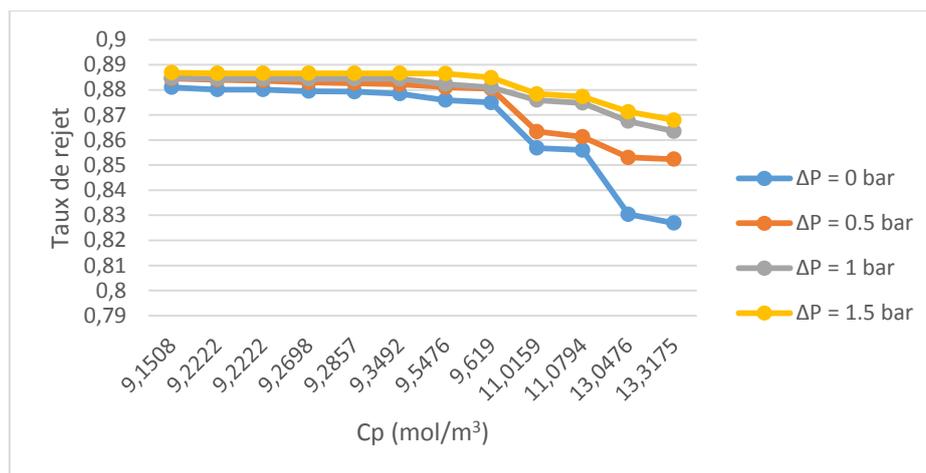


Figure V.41: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4.5 g/l).

2.9. Pour une concentration de 5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 7460 (μs/cm)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 5 \text{ g/l} = 85.47 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 85.47 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.16 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 33 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 34 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 20 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 35 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 18 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 36 dans l'annexe.

2.9.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

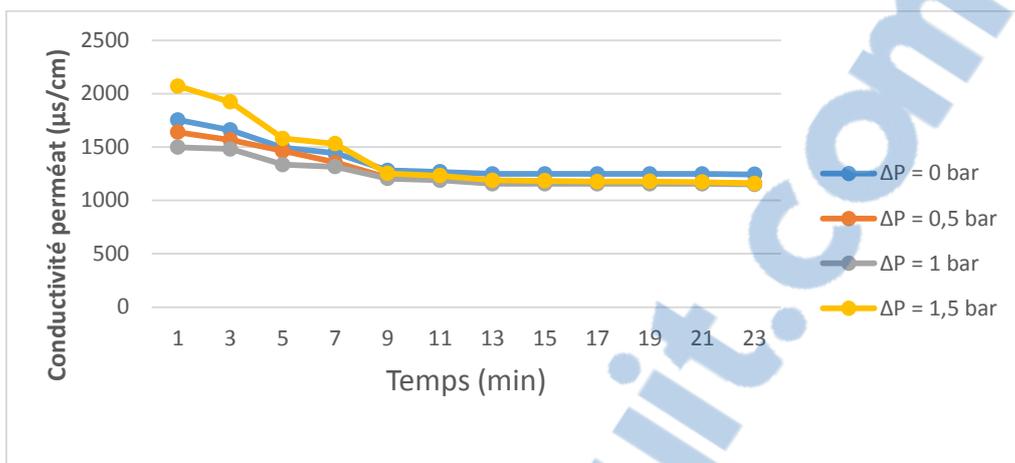


Figure V.42: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât.

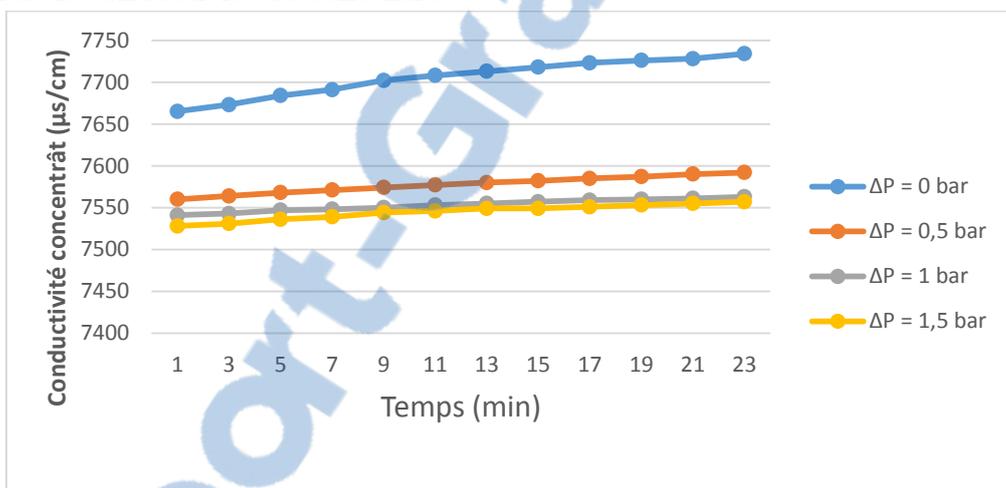


Figure V.43: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5\text{g/l}$).

2.9.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

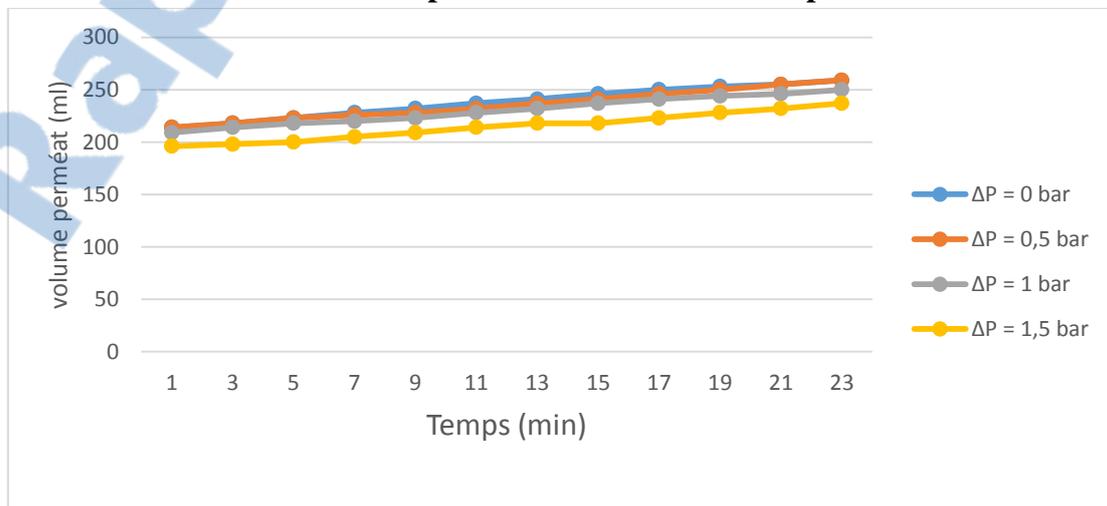


Figure V.44: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5$ g/l).

2.9.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.34 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 13,9206 | 0,1629 | 0,8371 |
| 3 | 13,1667 | 0,1541 | 0,8460 |
| 5 | 11,8492 | 0,1386 | 0,8614 |
| 7 | 11,4603 | 0,1341 | 0,8659 |
| 9 | 10,1667 | 0,1190 | 0,8811 |
| 11 | 10,0556 | 0,1177 | 0,8824 |
| 13 | 9,9048 | 0,1159 | 0,8841 |
| 15 | 9,9048 | 0,1159 | 0,8841 |
| 17 | 9,9048 | 0,1159 | 0,8841 |
| 19 | 9,9048 | 0,1159 | 0,8841 |
| 21 | 9,9048 | 0,1159 | 0,8841 |
| 23 | 9,8651 | 0,1154 | 0,8846 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.35 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 13,0079 | 0,1522 | 0,8478 |
| 3 | 12,4286 | 0,1454 | 0,8546 |
| 5 | 11,6111 | 0,1359 | 0,8642 |
| 7 | 10,7540 | 0,1258 | 0,8742 |
| 9 | 9,6270 | 0,1126 | 0,8874 |
| 11 | 9,5476 | 0,1117 | 0,8883 |
| 13 | 9,3730 | 0,1097 | 0,8903 |
| 15 | 9,3175 | 0,1090 | 0,8910 |
| 17 | 9,2381 | 0,1081 | 0,8919 |
| 19 | 9,2381 | 0,1081 | 0,8919 |
| 21 | 9,2381 | 0,1081 | 0,8919 |
| 23 | 9,1905 | 0,1075 | 0,8925 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.36 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 11,8889 | 0,1391 | 0,8609 |
| 3 | 11,7619 | 0,1376 | 0,8624 |
| 5 | 10,5952 | 0,1240 | 0,8760 |
| 7 | 10,4365 | 0,1221 | 0,8779 |
| 9 | 9,5556 | 0,1118 | 0,8882 |
| 11 | 9,4286 | 0,1103 | 0,8897 |
| 13 | 9,1667 | 0,1073 | 0,8928 |
| 15 | 9,1667 | 0,1073 | 0,8928 |
| 17 | 9,1667 | 0,1073 | 0,8928 |
| 19 | 9,1667 | 0,1073 | 0,8928 |
| 21 | 9,1667 | 0,1073 | 0,8928 |
| 23 | 9,1190 | 0,1067 | 0,8933 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.37 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=CP/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|--------------|-------------|
| 1 | 16,4286 | 0,1922 | 0,8078 |
| 3 | 15,2619 | 0,1786 | 0,8214 |
| 5 | 12,5397 | 0,1467 | 0,8533 |
| 7 | 12,1508 | 0,1422 | 0,8578 |
| 9 | 9,9444 | 0,1164 | 0,8837 |
| 11 | 9,7778 | 0,1144 | 0,8856 |
| 13 | 9,4286 | 0,1103 | 0,8897 |
| 15 | 9,3889 | 0,1099 | 0,8902 |
| 17 | 9,3333 | 0,1092 | 0,8908 |
| 19 | 9,3492 | 0,1094 | 0,8906 |
| 21 | 9,3016 | 0,1088 | 0,8912 |
| 23 | 9,1905 | 0,1075 | 0,8925 |

2.9.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

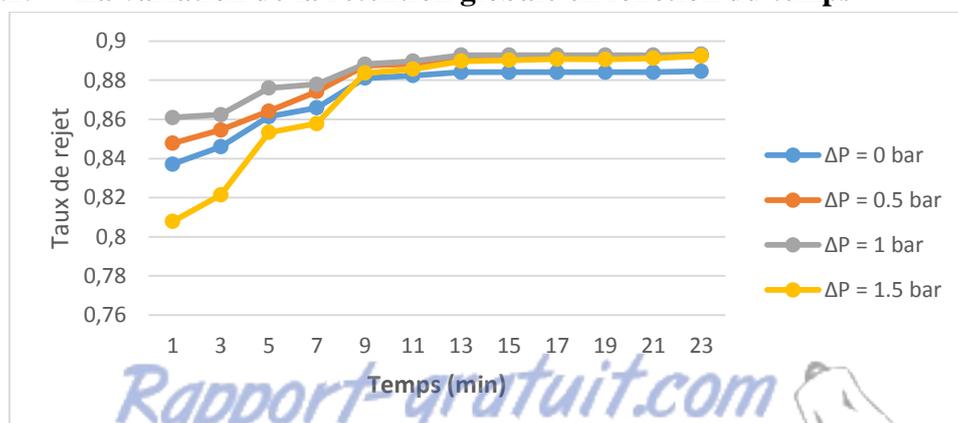


Figure V.45: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$; $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$; $C=5 \text{ g/l}$).

2.9.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

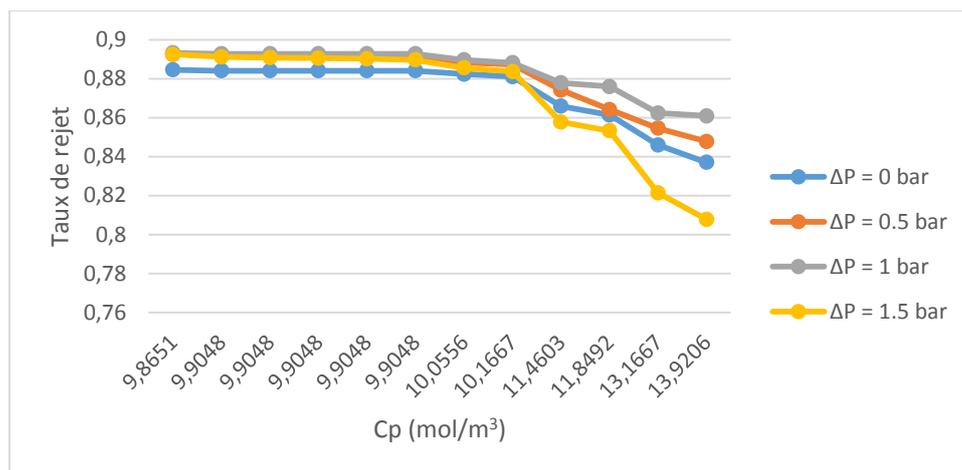


Figure V.46: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=9 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5 g/l).

2.10. Pour une concentration de 5,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 7920 (μs/cm)

Température avant 18 °C Température après 28 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 5,5 \text{ g/l} = 94.02 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 94.02 * 8,316 * (18 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.57 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 37 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 17 °C Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 38 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 39 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 40 dans l'annexe.

2.10.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

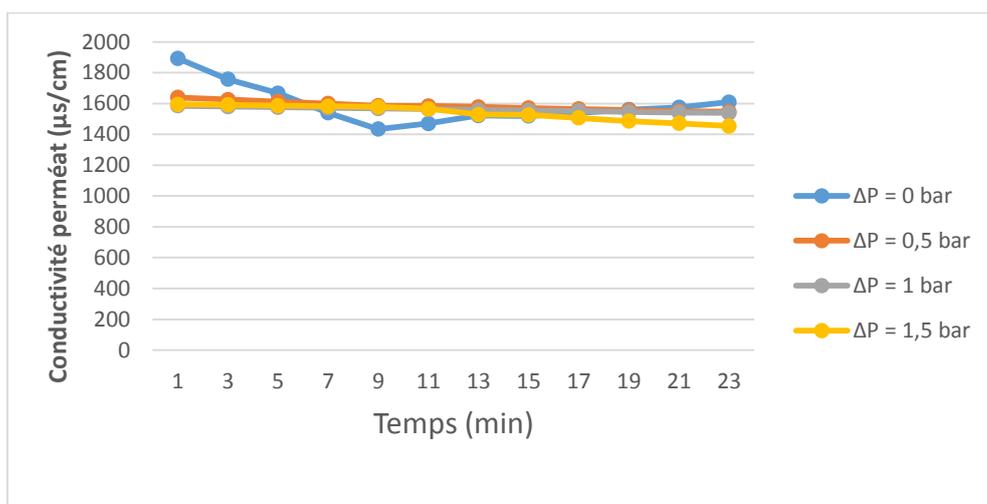


Figure V.47 : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=5,5\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât.

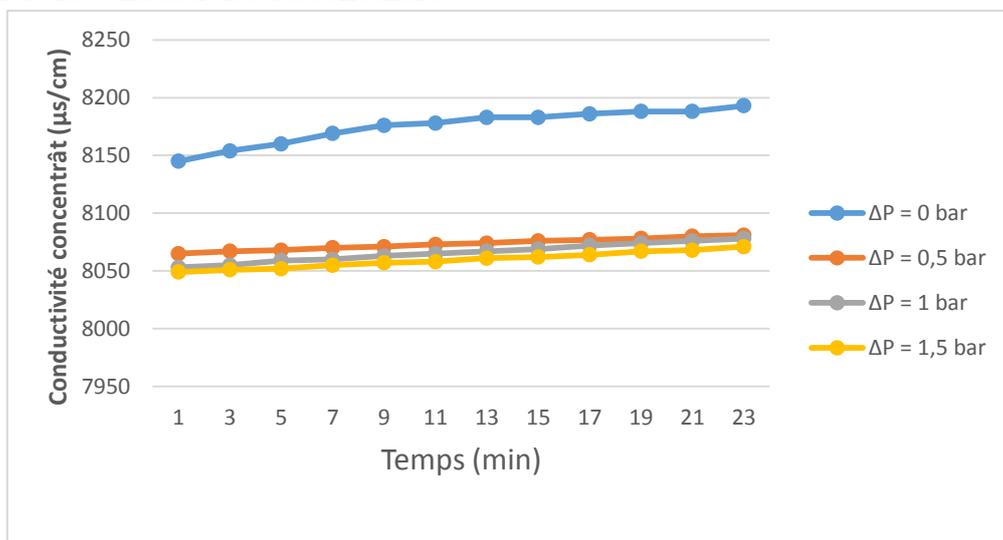


Figure V.48: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=5,5\text{g/l}$)

2.10.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

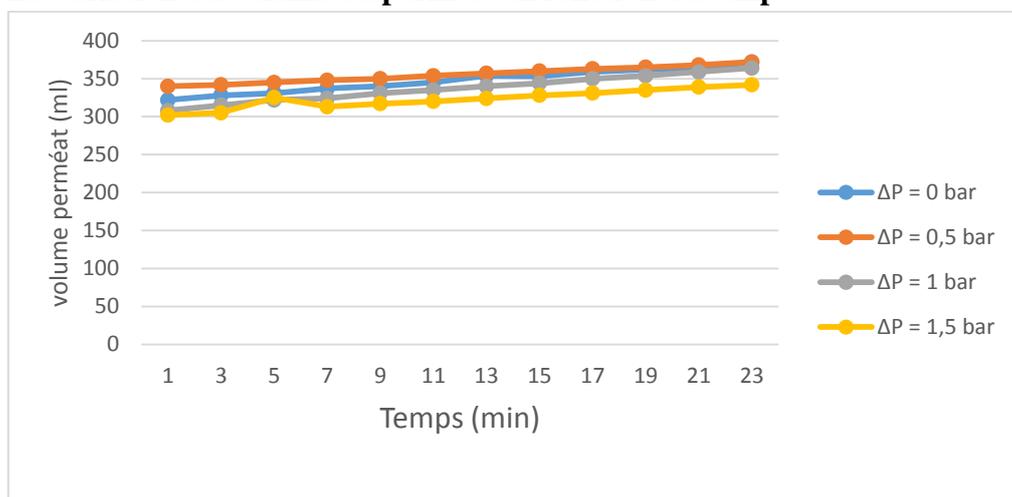


Figure V.49: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=5,5$ g/l).

2.10.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.38 La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 5,5$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 15,0238 | 0,1598 | 0,8402 |
| 3 | 13,9444 | 0,1483 | 0,8517 |
| 5 | 13,2302 | 0,1407 | 0,8593 |
| 7 | 12,2222 | 0,1300 | 0,8700 |
| 9 | 11,3810 | 0,1211 | 0,8789 |
| 11 | 11,6746 | 0,1242 | 0,8758 |
| 13 | 12,0794 | 0,1285 | 0,8715 |
| 15 | 12,0556 | 0,1282 | 0,8718 |
| 17 | 12,2222 | 0,1300 | 0,8700 |
| 19 | 12,3889 | 0,1318 | 0,8682 |
| 21 | 12,5000 | 0,1330 | 0,8670 |
| 23 | 12,7698 | 0,1358 | 0,8642 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.39 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 5,5$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 13,0079 | 0,1384 | 0,8616 |
| 3 | 12,9048 | 0,1373 | 0,8627 |
| 5 | 12,7937 | 0,1361 | 0,8639 |
| 7 | 12,6984 | 0,1351 | 0,8649 |
| 9 | 12,5873 | 0,1339 | 0,8661 |
| 11 | 12,5714 | 0,1337 | 0,8663 |
| 13 | 12,5238 | 0,1332 | 0,8668 |
| 15 | 12,4683 | 0,1326 | 0,8674 |
| 17 | 12,4206 | 0,1321 | 0,8679 |
| 19 | 12,3651 | 0,1315 | 0,8685 |
| 21 | 12,3016 | 0,1308 | 0,8692 |
| 23 | 12,2778 | 0,1306 | 0,8694 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.40 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 5,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,5794 | 0,1338 | 0,8662 |
| 3 | 12,5397 | 0,1334 | 0,8666 |
| 5 | 12,5079 | 0,1330 | 0,8670 |
| 7 | 12,4762 | 0,1327 | 0,8673 |
| 9 | 12,4444 | 0,1324 | 0,8676 |
| 11 | 12,4127 | 0,1320 | 0,8680 |
| 13 | 12,3651 | 0,1315 | 0,8685 |
| 15 | 12,3333 | 0,1312 | 0,8688 |
| 17 | 12,3175 | 0,1310 | 0,8690 |
| 19 | 12,2619 | 0,1304 | 0,8696 |
| 21 | 12,2381 | 0,1302 | 0,8698 |
| 23 | 12,2143 | 0,1299 | 0,8701 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.41 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 5,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,6587 | 0,1346 | 0,8654 |
| 3 | 12,6349 | 0,1344 | 0,8656 |
| 5 | 12,5952 | 0,1340 | 0,8660 |
| 7 | 12,5556 | 0,1335 | 0,8665 |
| 9 | 12,5238 | 0,1332 | 0,8668 |
| 11 | 12,4286 | 0,1322 | 0,8678 |
| 13 | 12,1349 | 0,1291 | 0,8709 |
| 15 | 12,1111 | 0,1288 | 0,8712 |
| 17 | 11,9603 | 0,1272 | 0,8728 |
| 19 | 11,7937 | 0,1254 | 0,8746 |
| 21 | 11,6825 | 0,1243 | 0,8757 |
| 23 | 11,5397 | 0,1227 | 0,8773 |

2.10.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

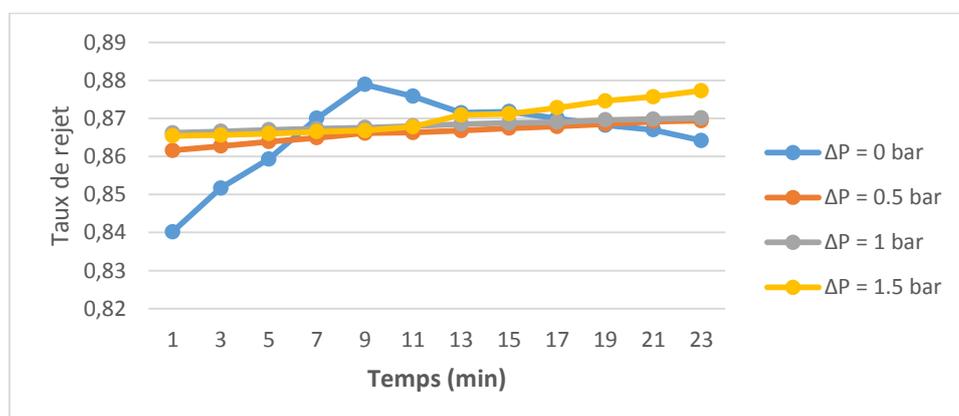


Figure V.50: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=9 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5.5 \text{ g/l}$).

2.10.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

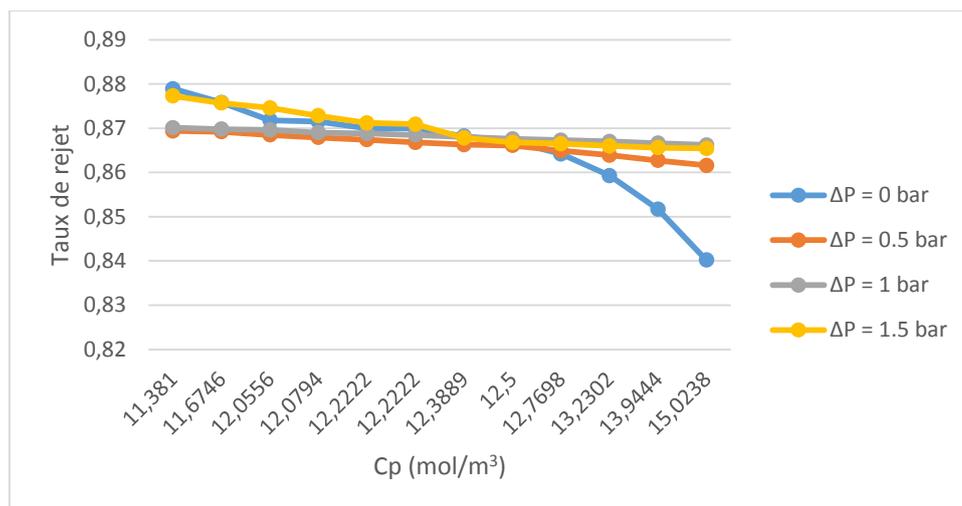


Figure V.51: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).

Partie IV : Une pression de 11 bars

2.11. Pour une concentration de 3 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 4850 ($\mu\text{s/cm}$)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 41 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 42 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 43 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 44 dans l'annexe.

2.11.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

* La variation de la conductivité du perméat.

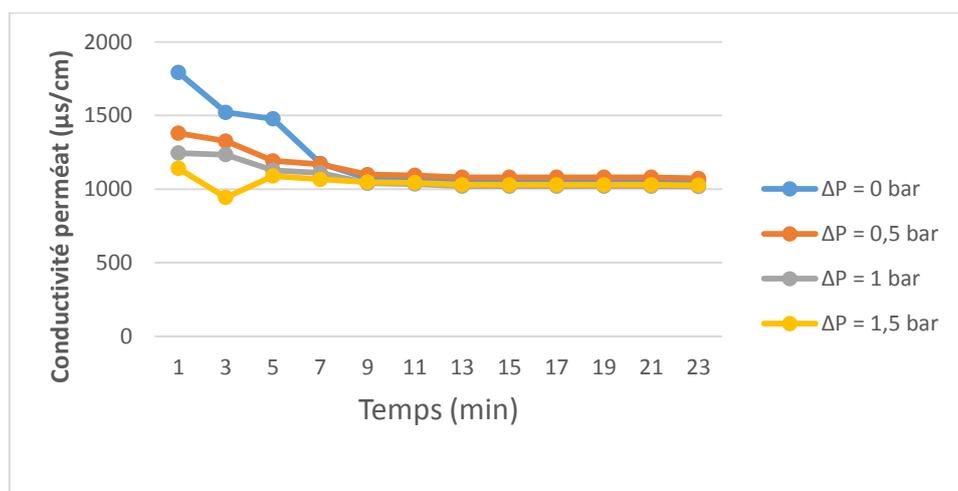


Figure V.52: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=3\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât.

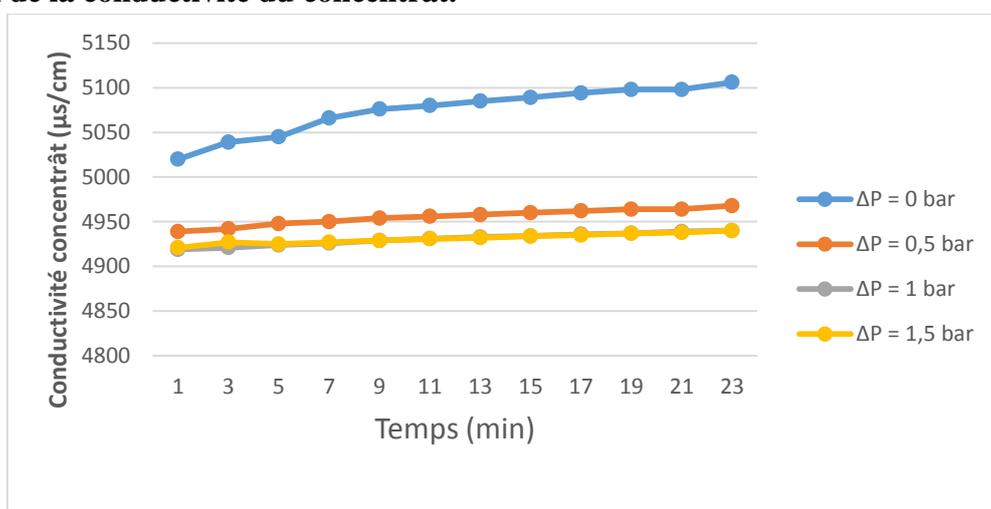


Figure V.53: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=3\text{g/l}$)

2.11.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

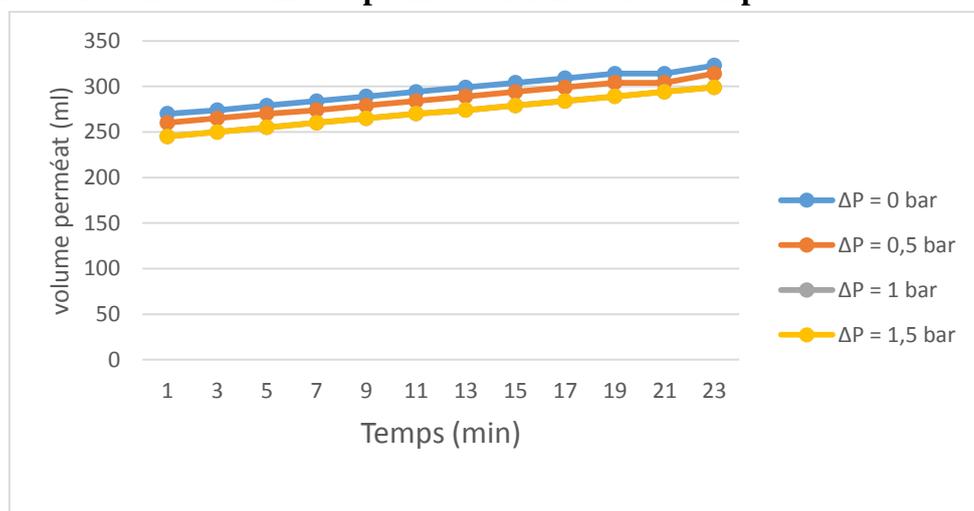


Figure V.54: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=3$ g/l).

2.11.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.42 La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 3$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 14,2222 | 0,2773 | 0,7227 |
| 3 | 12,0794 | 0,2355 | 0,7645 |
| 5 | 11,7222 | 0,2286 | 0,7714 |
| 7 | 9,3254 | 0,1818 | 0,8182 |
| 9 | 8,5238 | 0,1662 | 0,8338 |
| 11 | 8,4762 | 0,1653 | 0,8347 |
| 13 | 8,3810 | 0,1634 | 0,8366 |
| 15 | 8,3810 | 0,1634 | 0,8366 |
| 17 | 8,3810 | 0,1634 | 0,8366 |
| 19 | 8,3810 | 0,1634 | 0,8366 |
| 21 | 8,3810 | 0,1634 | 0,8366 |
| 23 | 8,3492 | 0,1628 | 0,8372 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.43 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 3$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 10,9444 | 0,2134 | 0,7866 |
| 3 | 10,5238 | 0,2052 | 0,7948 |
| 5 | 9,4603 | 0,1845 | 0,8155 |
| 7 | 9,2778 | 0,1809 | 0,8191 |
| 9 | 8,7222 | 0,1701 | 0,8299 |
| 11 | 8,6746 | 0,1692 | 0,8308 |
| 13 | 8,5714 | 0,1671 | 0,8329 |
| 15 | 8,5714 | 0,1671 | 0,8329 |
| 17 | 8,5714 | 0,1671 | 0,8329 |
| 19 | 8,5714 | 0,1671 | 0,8329 |
| 21 | 8,5714 | 0,1671 | 0,8329 |
| 23 | 8,5159 | 0,1661 | 0,8339 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.44 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=CP/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|--------------|-------------|
| 1 | 9,8810 | 0,1927 | 0,8073 |
| 3 | 9,7937 | 0,1910 | 0,8090 |
| 5 | 8,9524 | 0,1746 | 0,8254 |
| 7 | 8,8175 | 0,1719 | 0,8281 |
| 9 | 8,2540 | 0,1610 | 0,8390 |
| 11 | 8,2143 | 0,1602 | 0,8398 |
| 13 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 15 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 17 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 19 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 21 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 23 | 8,0794 | 0,1575 | 0,8425 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.45 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=CP/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|--------------|-------------|
| 1 | 9,0556 | 0,1766 | 0,8234 |
| 3 | 7,4841 | 0,1459 | 0,8541 |
| 5 | 8,6429 | 0,1685 | 0,8315 |
| 7 | 8,4603 | 0,1650 | 0,8350 |
| 9 | 8,3175 | 0,1622 | 0,8378 |
| 11 | 8,2778 | 0,1614 | 0,8386 |
| 13 | 8,1667 | 0,1593 | 0,8408 |
| 15 | 8,1667 | 0,1593 | 0,8408 |
| 17 | 8,1667 | 0,1593 | 0,8408 |
| 19 | 8,1667 | 0,1593 | 0,8408 |
| 21 | 8,1667 | 0,1593 | 0,8408 |
| 23 | 8,1429 | 0,1588 | 0,8412 |

2.11.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

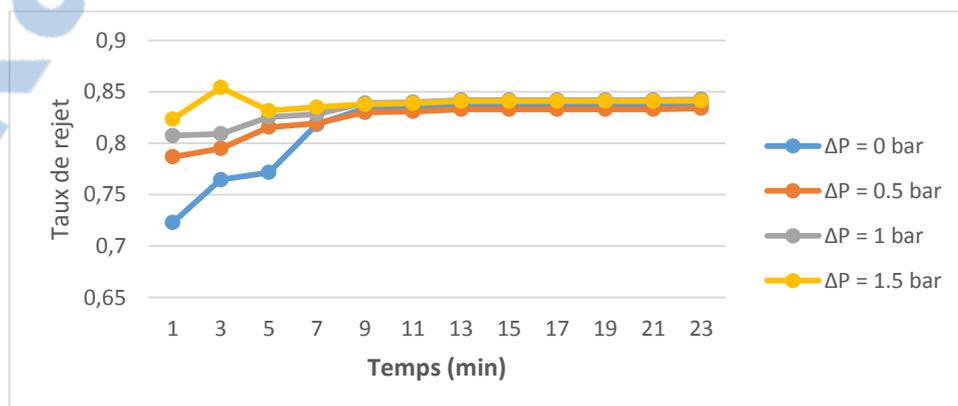


Figure V.55: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0,5; 1; 1,5$; $C=3 \text{ g/l}$).

2.11.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat

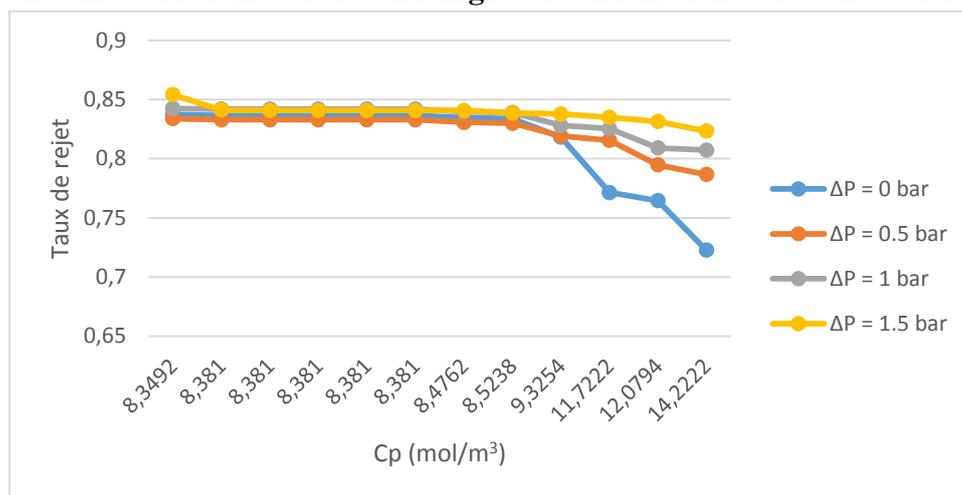


Figure V.56: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3 g/l).

2.12. Pour une concentration de 3,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 18 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 45 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 46 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 47 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 48 dans l'annexe.

2.12.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

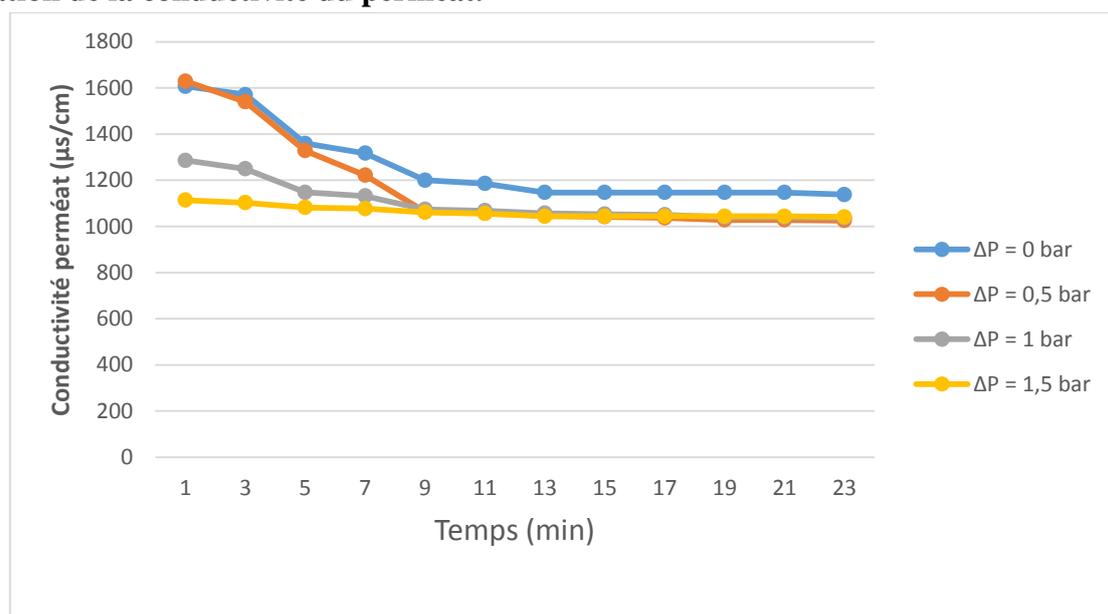


Figure V.57: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3.5g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

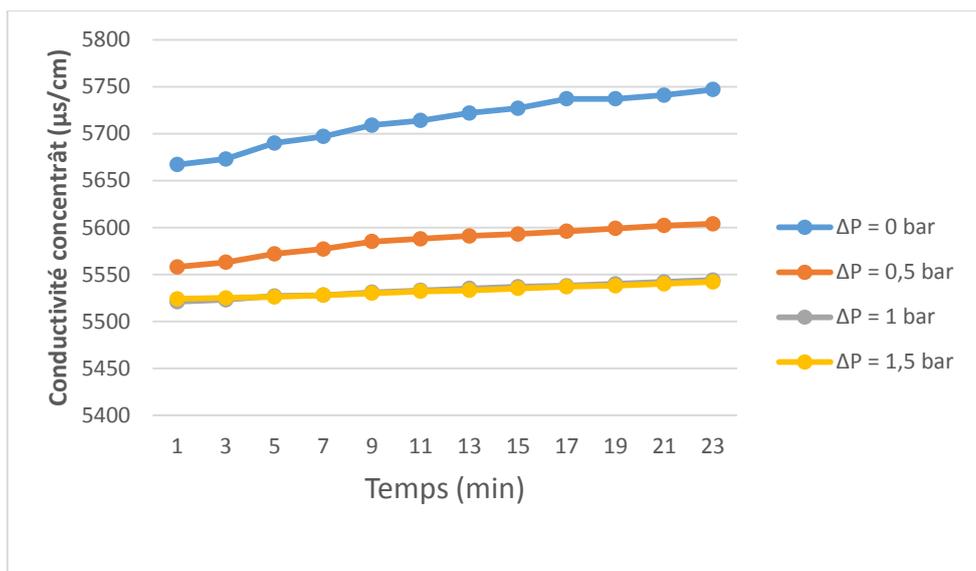


Figure V.58: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5\text{g/l}$)

2.12.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

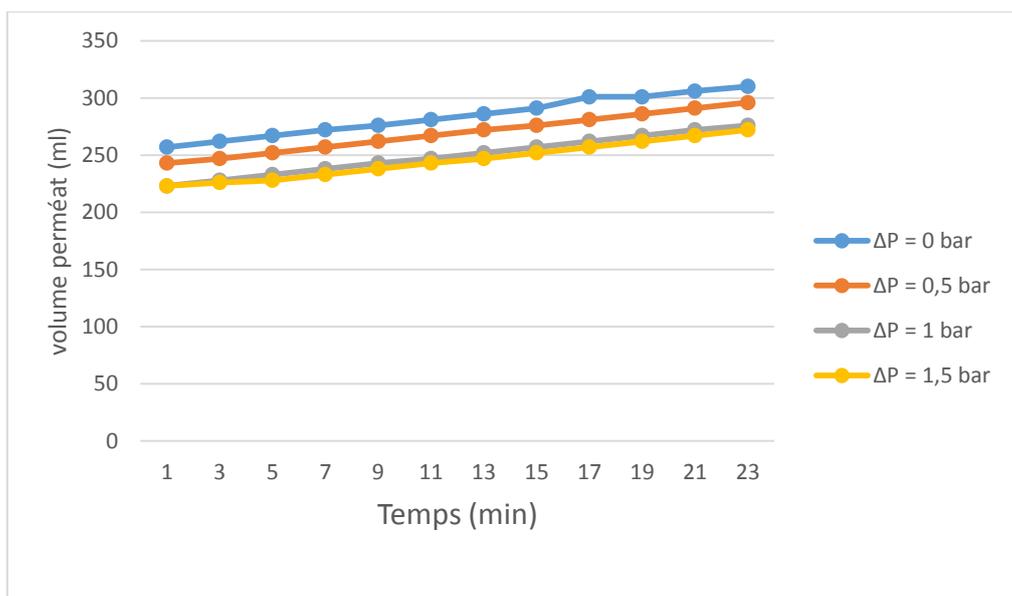


Figure V.59: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=3.5\text{g/l}$).

2.12.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Chapitre V : Résultats et interprétations

Tableau 5.46 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,7540 | 0,2132 | 0,7868 |
| 3 | 12,4683 | 0,2084 | 0,7916 |
| 5 | 10,7857 | 0,1803 | 0,8197 |
| 7 | 10,4524 | 0,1747 | 0,8253 |
| 9 | 9,5238 | 0,1592 | 0,8408 |
| 11 | 9,4127 | 0,1573 | 0,8427 |
| 13 | 9,1032 | 0,1522 | 0,8478 |
| 15 | 9,1032 | 0,1522 | 0,8478 |
| 17 | 9,1032 | 0,1522 | 0,8478 |
| 19 | 9,1032 | 0,1522 | 0,8478 |
| 21 | 9,1032 | 0,1522 | 0,8478 |
| 23 | 9,0317 | 0,1510 | 0,8490 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.47 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,9286 | 0,2161 | 0,7839 |
| 3 | 12,2222 | 0,2043 | 0,7957 |
| 5 | 10,5397 | 0,1762 | 0,8238 |
| 7 | 9,6984 | 0,1621 | 0,8379 |
| 9 | 8,4365 | 0,1410 | 0,8590 |
| 11 | 8,3968 | 0,1403 | 0,8597 |
| 13 | 8,3016 | 0,1388 | 0,8612 |
| 15 | 8,2698 | 0,1382 | 0,8618 |
| 17 | 8,2302 | 0,1376 | 0,8624 |
| 19 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 21 | 8,1587 | 0,1364 | 0,8636 |
| 23 | 8,1349 | 0,1360 | 0,8640 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.48 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 10,2063 | 0,1706 | 0,8294 |
| 3 | 9,9127 | 0,1657 | 0,8343 |
| 5 | 9,1111 | 0,1523 | 0,8477 |
| 7 | 8,9841 | 0,1502 | 0,8498 |
| 9 | 8,5238 | 0,1425 | 0,8575 |
| 11 | 8,4762 | 0,1417 | 0,8583 |
| 13 | 8,3889 | 0,1402 | 0,8598 |
| 15 | 8,3571 | 0,1397 | 0,8603 |
| 17 | 8,3333 | 0,1393 | 0,8607 |
| 19 | 8,2540 | 0,1380 | 0,8620 |
| 21 | 8,2460 | 0,1378 | 0,8622 |
| 23 | 8,2222 | 0,1374 | 0,8626 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.49 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 3,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 8,8413 | 0,1478 | 0,8522 |
| 3 | 8,7540 | 0,1463 | 0,8537 |
| 5 | 8,5873 | 0,1435 | 0,8565 |
| 7 | 8,5476 | 0,1429 | 0,8571 |
| 9 | 8,4206 | 0,1407 | 0,8593 |
| 11 | 8,3810 | 0,1401 | 0,8599 |
| 13 | 8,2857 | 0,1385 | 0,8615 |
| 15 | 8,2857 | 0,1385 | 0,8615 |
| 17 | 8,2857 | 0,1385 | 0,8615 |
| 19 | 8,2857 | 0,1385 | 0,8615 |
| 21 | 8,2857 | 0,1385 | 0,8615 |
| 23 | 8,2619 | 0,1381 | 0,8619 |

2.12.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

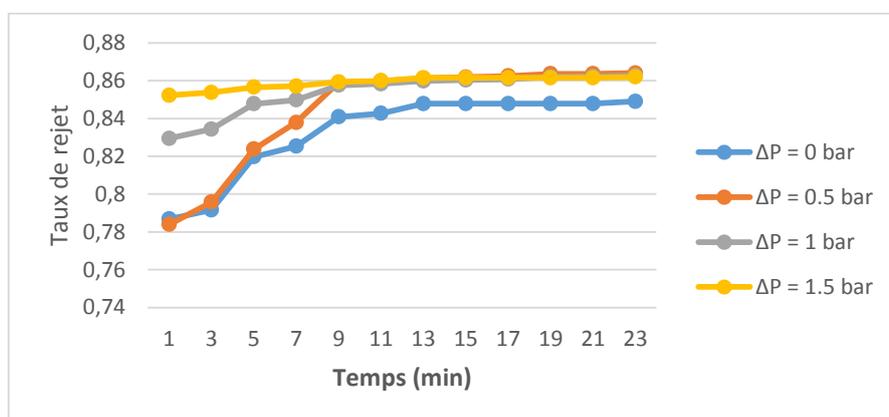


Figure V.60: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$; $C = 3.5 \text{ g/l}$).

2.12.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

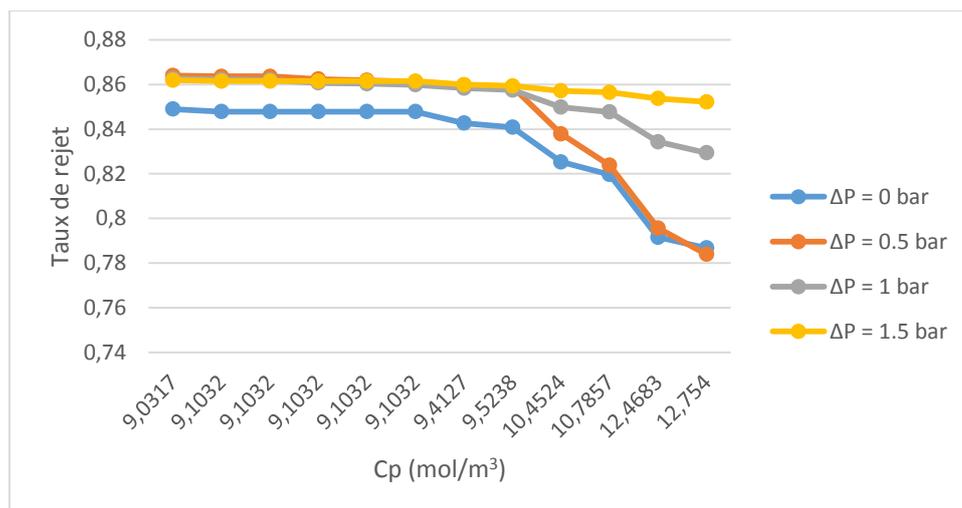


Figure V.61: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=3.5 g/l).

2.13. Pour une concentration de 4 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 18 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 49 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 50 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 51 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 52 dans l'annexe.

2.13.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

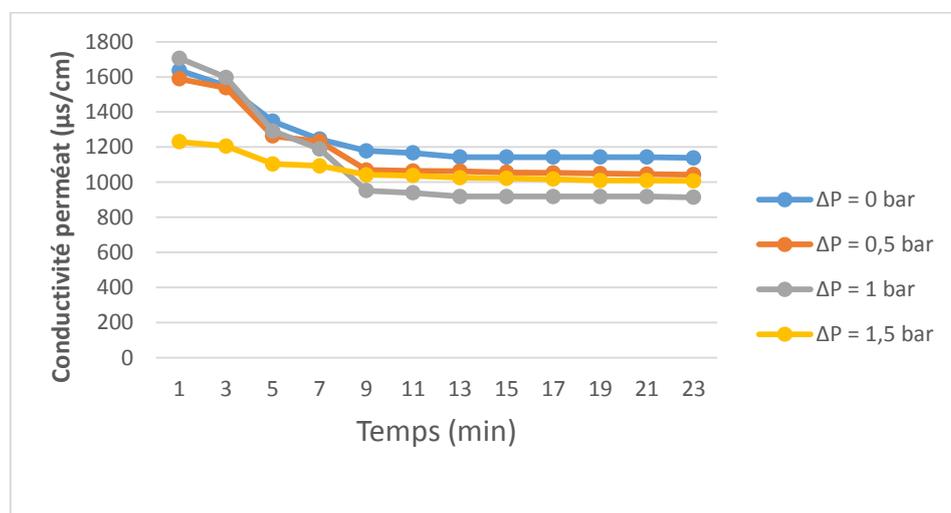


Figure V.62: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

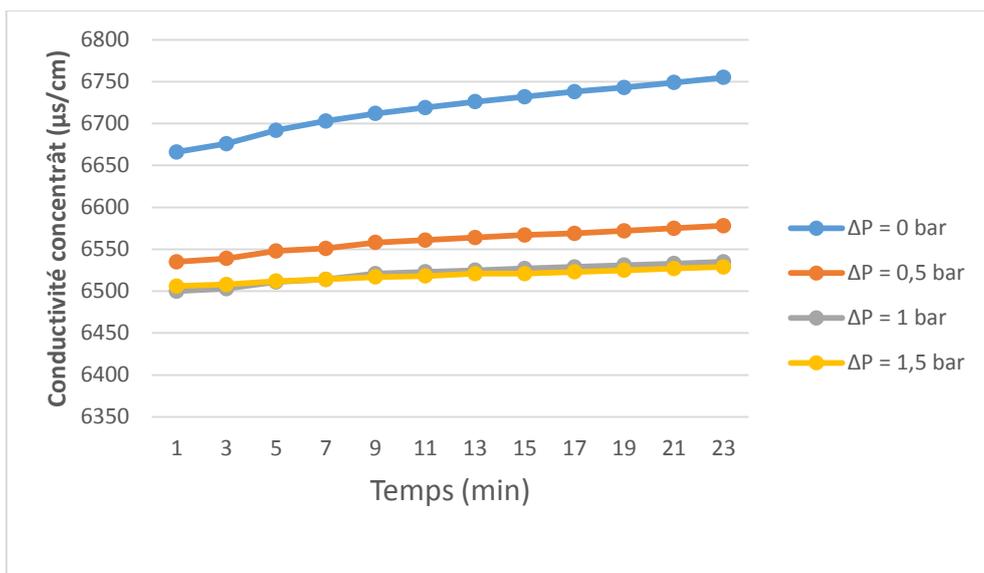


Figure V.63: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4$ g/l)

2.13.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

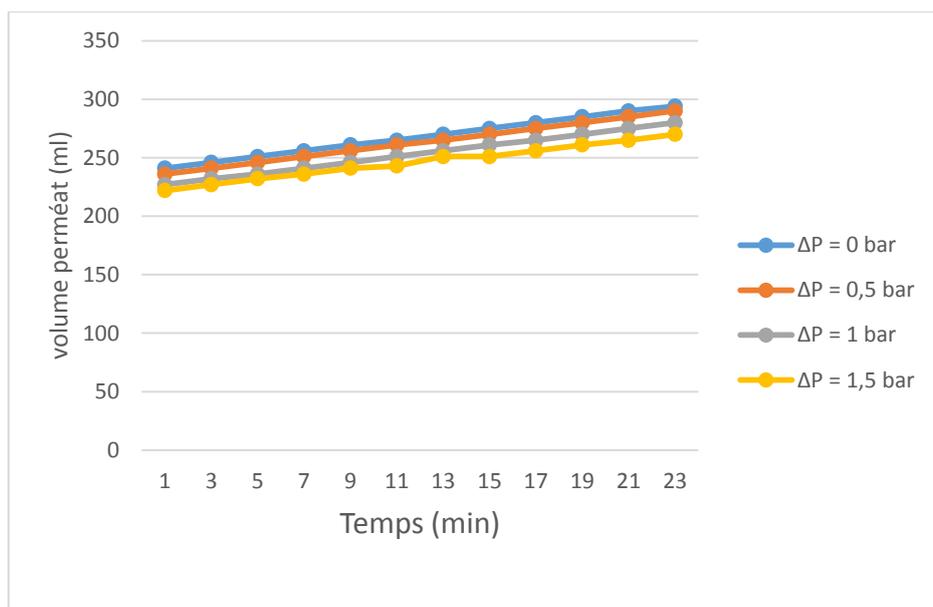


Figure V.64: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4$ g/l).

2.13.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Chapitre V : Résultats et interprétations

Tableau 5.50 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat.

(Pentrée = 11 bars ; $\Delta P = 0$ bar ; C = 4 g/l)

| Temps (min) | Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | Sp=Cp/C ₀ | Rm=1-Sp |
|-------------|---|----------------------|---------|
| 1 | 12,9921 | 0,1900 | 0,8100 |
| 3 | 12,3095 | 0,1800 | 0,8200 |
| 5 | 10,6905 | 0,1563 | 0,8437 |
| 7 | 9,8810 | 0,1445 | 0,8555 |
| 9 | 9,3492 | 0,1367 | 0,8633 |
| 11 | 9,2619 | 0,1355 | 0,8645 |
| 13 | 9,0714 | 0,1327 | 0,8673 |
| 15 | 9,0714 | 0,1327 | 0,8673 |
| 17 | 9,0714 | 0,1327 | 0,8673 |
| 19 | 9,0714 | 0,1327 | 0,8673 |
| 21 | 9,0714 | 0,1327 | 0,8673 |
| 23 | 9,0317 | 0,1321 | 0,8679 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.51 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. (Pentrée = 11 bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; C = 4 g/l)

| Temps (min) | Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | Sp=Cp/C ₀ | Rm=1-Sp |
|-------------|---|----------------------|---------|
| 1 | 12,6111 | 0,1844 | 0,8156 |
| 3 | 12,2063 | 0,1785 | 0,8215 |
| 5 | 10,0238 | 0,1466 | 0,8534 |
| 7 | 9,7778 | 0,1430 | 0,8570 |
| 9 | 8,4841 | 0,1241 | 0,8759 |
| 11 | 8,4444 | 0,1235 | 0,8765 |
| 13 | 8,4365 | 0,1234 | 0,8766 |
| 15 | 8,3810 | 0,1226 | 0,8774 |
| 17 | 8,3571 | 0,1222 | 0,8778 |
| 19 | 8,3254 | 0,1218 | 0,8782 |
| 21 | 8,3016 | 0,1214 | 0,8786 |
| 23 | 8,2778 | 0,1211 | 0,8789 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.52 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 13,5397 | 0,1980 | 0,8020 |
| 3 | 12,6746 | 0,1854 | 0,8146 |
| 5 | 10,2460 | 0,1498 | 0,8502 |
| 7 | 9,4365 | 0,1380 | 0,8620 |
| 9 | 7,5556 | 0,1105 | 0,8895 |
| 11 | 7,4524 | 0,1090 | 0,8910 |
| 13 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 15 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 17 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 19 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 21 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 23 | 7,2540 | 0,1061 | 0,8939 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.53 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 9,7619 | 0,1428 | 0,8572 |
| 3 | 9,5714 | 0,1400 | 0,8600 |
| 5 | 8,7619 | 0,1281 | 0,8719 |
| 7 | 8,6746 | 0,1269 | 0,8731 |
| 9 | 8,2698 | 0,1209 | 0,8791 |
| 11 | 8,2302 | 0,1204 | 0,8796 |
| 13 | 8,1429 | 0,1191 | 0,8809 |
| 15 | 8,1111 | 0,1186 | 0,8814 |
| 17 | 8,0714 | 0,1180 | 0,8820 |
| 19 | 8,0079 | 0,1171 | 0,8829 |
| 21 | 8,0079 | 0,1171 | 0,8829 |
| 23 | 7,9921 | 0,1169 | 0,8831 |

2.13.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

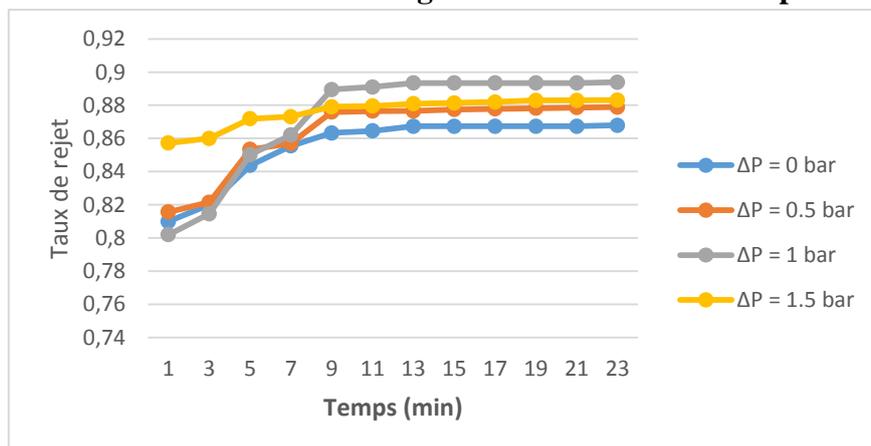


Figure V.65: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$; $C = 4 \text{ g/l}$).

2.13.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

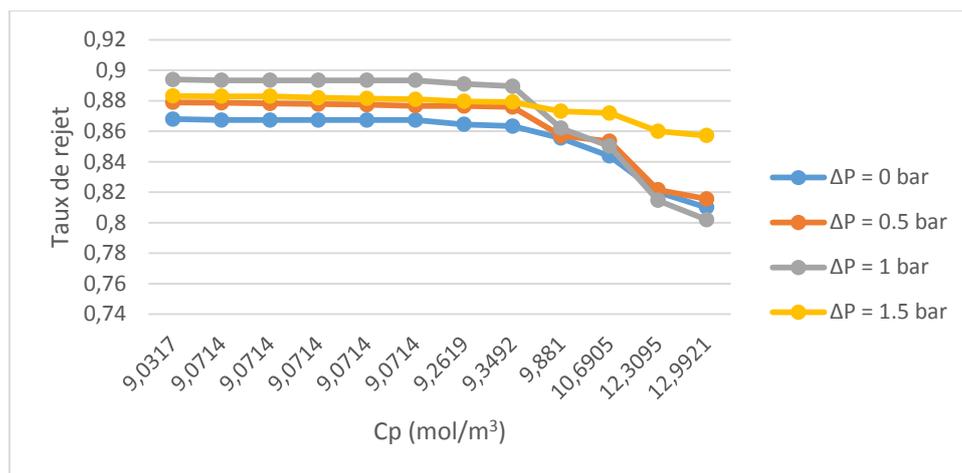


Figure V.66: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4$ g/l).

2.14. Pour une concentration de 4,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 53 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 54 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C

Température après 25 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 55 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C

Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 56 dans l'annexe.

2.14.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

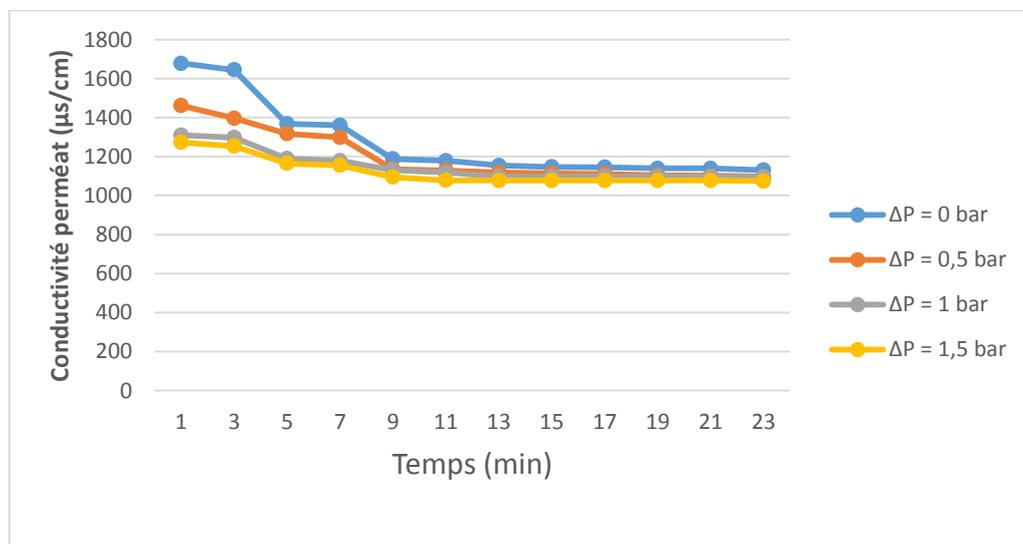


Figure V.67: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=4.5$ g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

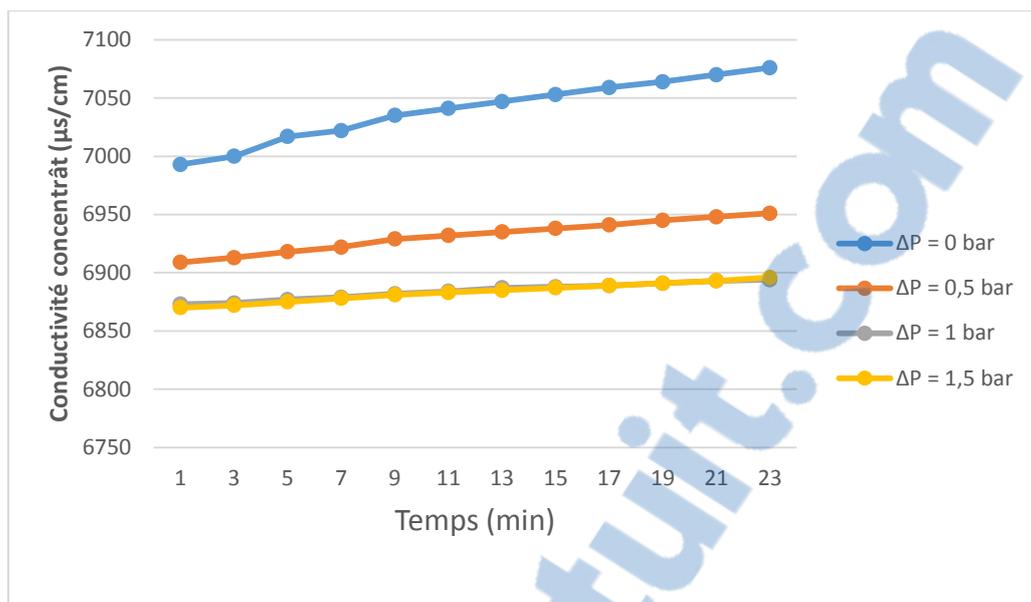


Figure V.68: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5\text{g/l}$)

2.14.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

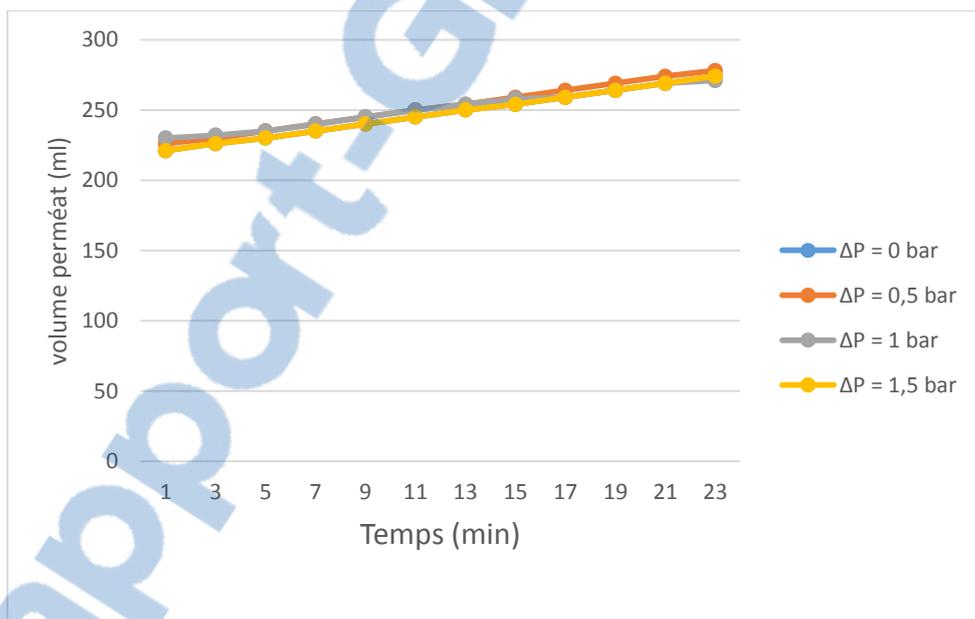


Figure V.69: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=4.5\text{g/l}$).

2.14.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Chapitre V : Résultats et interprétations

Tableau 5.54 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 13,3175 | 0,1731 | 0,8269 |
| 3 | 13,0476 | 0,1696 | 0,8304 |
| 5 | 10,8571 | 0,1411 | 0,8589 |
| 7 | 10,7937 | 0,1403 | 0,8597 |
| 9 | 9,4286 | 0,1226 | 0,8774 |
| 11 | 9,3571 | 0,1216 | 0,8784 |
| 13 | 9,1587 | 0,1191 | 0,8809 |
| 15 | 9,1032 | 0,1183 | 0,8817 |
| 17 | 9,0873 | 0,1181 | 0,8819 |
| 19 | 9,0397 | 0,1175 | 0,8825 |
| 21 | 9,0397 | 0,1175 | 0,8825 |
| 23 | 8,9683 | 0,1166 | 0,8834 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.55 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=CP/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|--------------|-------------|
| 1 | 11,5952 | 0,1507 | 0,8493 |
| 3 | 11,0794 | 0,1440 | 0,8560 |
| 5 | 10,4524 | 0,1359 | 0,8641 |
| 7 | 10,3016 | 0,1339 | 0,8661 |
| 9 | 9,0079 | 0,1171 | 0,8829 |
| 11 | 8,9603 | 0,1165 | 0,8835 |
| 13 | 8,8730 | 0,1153 | 0,8847 |
| 15 | 8,8413 | 0,1149 | 0,8851 |
| 17 | 8,8175 | 0,1146 | 0,8854 |
| 19 | 8,7619 | 0,1139 | 0,8861 |
| 21 | 8,7460 | 0,1137 | 0,8863 |
| 23 | 8,7063 | 0,1132 | 0,8868 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.56 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 10,3968 | 0,1352 | 0,8648 |
| 3 | 10,2937 | 0,1338 | 0,8662 |
| 5 | 9,4365 | 0,1227 | 0,8773 |
| 7 | 9,3571 | 0,1216 | 0,8784 |
| 9 | 8,9683 | 0,1166 | 0,8834 |
| 11 | 8,8730 | 0,1153 | 0,8847 |
| 13 | 8,7143 | 0,1133 | 0,8867 |
| 15 | 8,7143 | 0,1133 | 0,8867 |
| 17 | 8,7143 | 0,1133 | 0,8867 |
| 19 | 8,7143 | 0,1133 | 0,8867 |
| 21 | 8,7143 | 0,1133 | 0,8867 |
| 23 | 8,6905 | 0,1130 | 0,8870 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.57 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 4,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 10,1032 | 0,1313 | 0,8687 |
| 3 | 9,9444 | 0,1293 | 0,8707 |
| 5 | 9,2460 | 0,1202 | 0,8798 |
| 7 | 9,1667 | 0,1192 | 0,8808 |
| 9 | 8,6825 | 0,1129 | 0,8871 |
| 11 | 8,5556 | 0,1112 | 0,8888 |
| 13 | 8,5476 | 0,1111 | 0,8889 |
| 15 | 8,5476 | 0,1111 | 0,8889 |
| 17 | 8,5476 | 0,1111 | 0,8889 |
| 19 | 8,5476 | 0,1111 | 0,8889 |
| 21 | 8,5476 | 0,1111 | 0,8889 |
| 23 | 8,5238 | 0,1108 | 0,8892 |

2.14.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

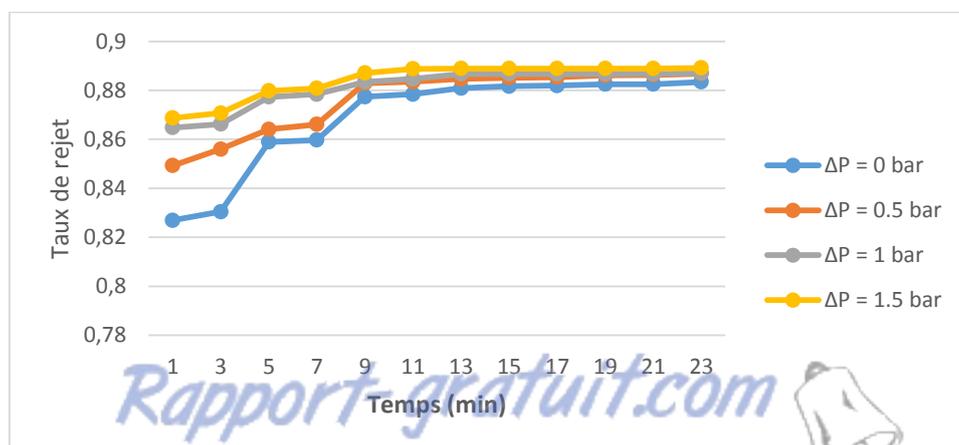


Figure V.70: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5$; $C = 4.5 \text{ g/l}$).

2.14.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

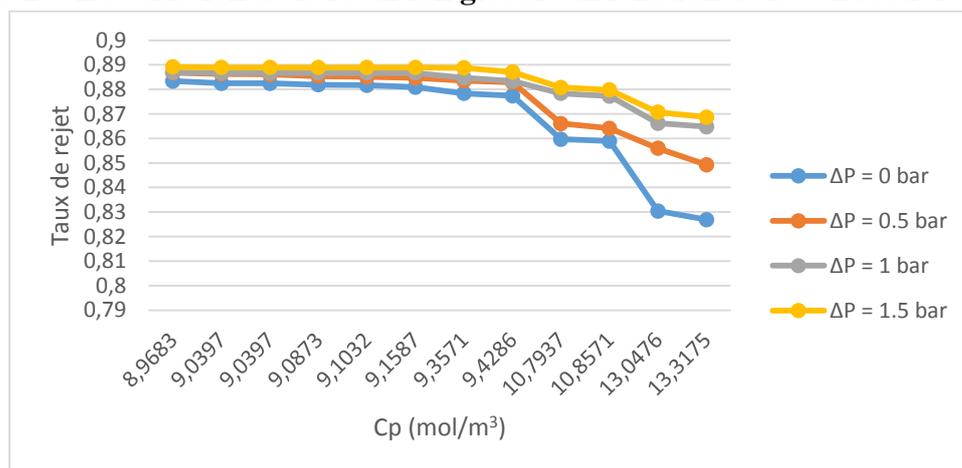


Figure V.71: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4.5 g/l).

2.15. Pour une concentration de 5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 18 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 57 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 58 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 59 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 60 dans l'annexe.

2.15.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

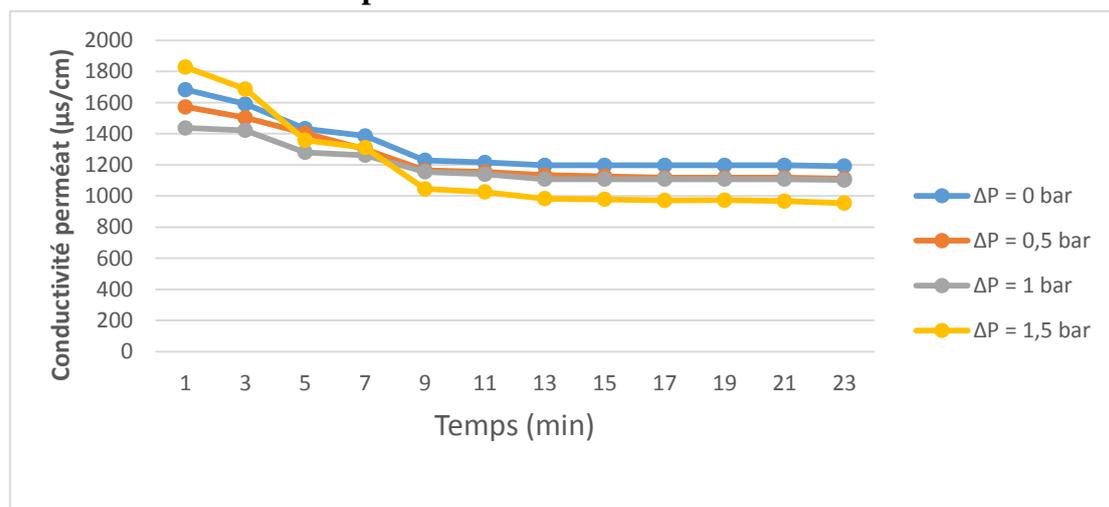


Figure V.72: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

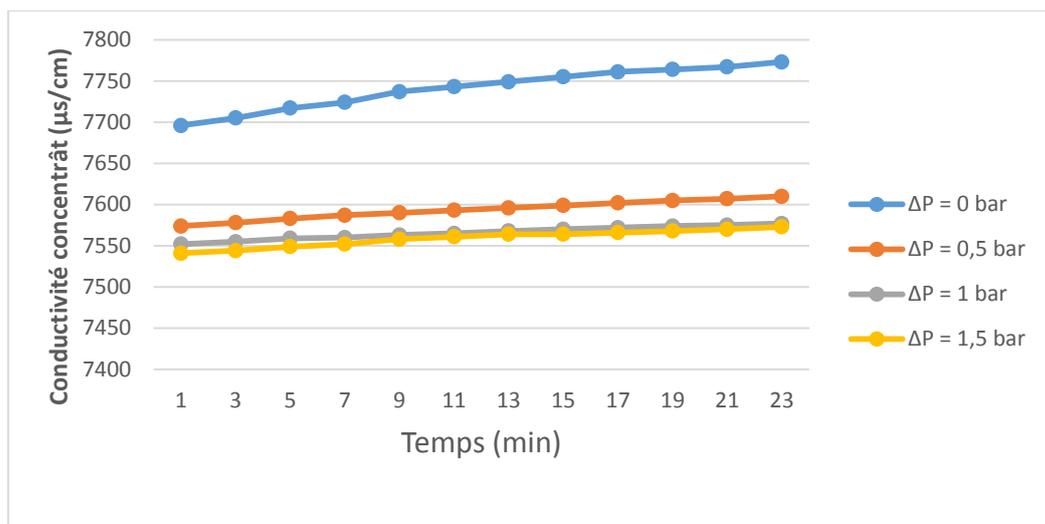


Figure V.73: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l)

2.15.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

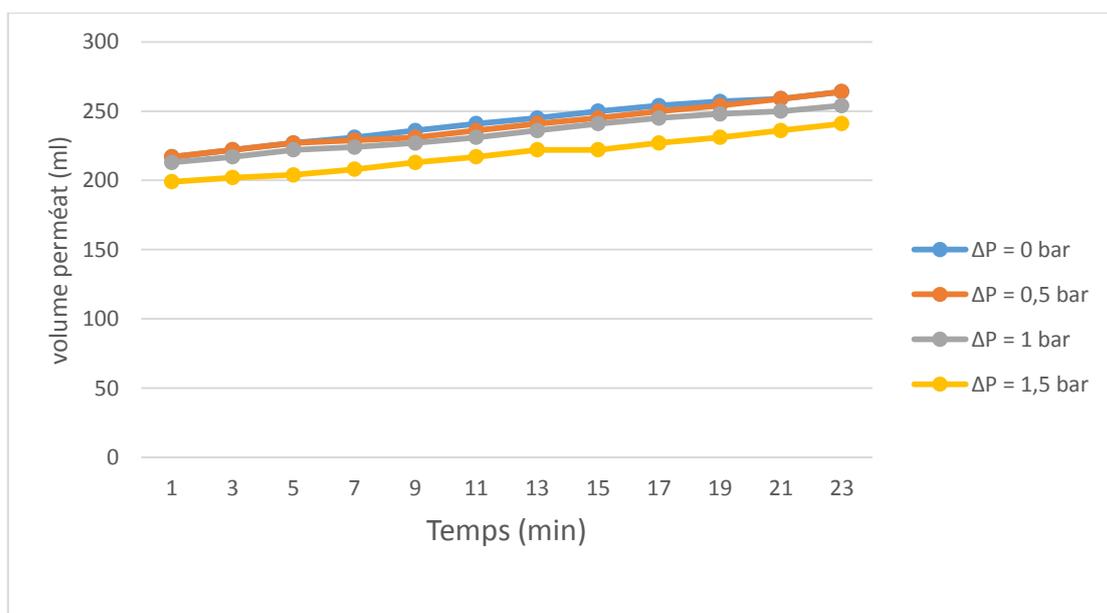


Figure V.74: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5$ g/l).

2.15.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.58 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 5$ g/l)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 13,3571 | 0,1563 | 0,8437 |
| 3 | 12,6270 | 0,1477 | 0,8523 |
| 5 | 11,3651 | 0,1330 | 0,8670 |
| 7 | 10,9921 | 0,1286 | 0,8714 |
| 9 | 9,7540 | 0,1141 | 0,8859 |
| 11 | 9,6429 | 0,1128 | 0,8872 |
| 13 | 9,5000 | 0,1112 | 0,8889 |
| 15 | 9,5000 | 0,1112 | 0,8889 |
| 17 | 9,5000 | 0,1112 | 0,8889 |
| 19 | 9,5000 | 0,1112 | 0,8889 |
| 21 | 9,5000 | 0,1112 | 0,8889 |
| 23 | 9,4603 | 0,1107 | 0,8893 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.59 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 5$ g/l)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 12,4762 | 0,1460 | 0,8540 |
| 3 | 11,9206 | 0,1395 | 0,8605 |
| 5 | 11,1349 | 0,1303 | 0,8697 |
| 7 | 10,3175 | 0,1207 | 0,8793 |
| 9 | 9,2381 | 0,1081 | 0,8919 |
| 11 | 9,1587 | 0,1072 | 0,8928 |
| 13 | 8,9921 | 0,1052 | 0,8948 |
| 15 | 8,9365 | 0,1046 | 0,8954 |
| 17 | 8,8651 | 0,1037 | 0,8963 |
| 19 | 8,8651 | 0,1037 | 0,8963 |
| 21 | 8,8651 | 0,1037 | 0,8963 |
| 23 | 8,8175 | 0,1032 | 0,8968 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.60 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 11,4048 | 0,1334 | 0,8666 |
| 3 | 11,2778 | 0,1320 | 0,8681 |
| 5 | 10,1587 | 0,1189 | 0,8811 |
| 7 | 10,0079 | 0,1171 | 0,8829 |
| 9 | 9,1667 | 0,1073 | 0,8928 |
| 11 | 9,0397 | 0,1058 | 0,8942 |
| 13 | 8,7937 | 0,1029 | 0,8971 |
| 15 | 8,7937 | 0,1029 | 0,8971 |
| 17 | 8,7937 | 0,1029 | 0,8971 |
| 19 | 8,7937 | 0,1029 | 0,8971 |
| 21 | 8,7937 | 0,1029 | 0,8971 |
| 23 | 8,7460 | 0,1023 | 0,8977 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.61 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 14,5079 | 0,1697 | 0,8303 |
| 3 | 13,3889 | 0,1567 | 0,8434 |
| 5 | 10,7778 | 0,1261 | 0,8739 |
| 7 | 10,4048 | 0,1217 | 0,8783 |
| 9 | 8,2937 | 0,0970 | 0,9030 |
| 11 | 8,1349 | 0,0952 | 0,9048 |
| 13 | 7,7937 | 0,0912 | 0,9088 |
| 15 | 7,7619 | 0,0908 | 0,9092 |
| 17 | 7,7063 | 0,0902 | 0,9098 |
| 19 | 7,7222 | 0,0904 | 0,9097 |
| 21 | 7,6746 | 0,0898 | 0,9102 |
| 23 | 7,5714 | 0,0886 | 0,9114 |

2.15.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

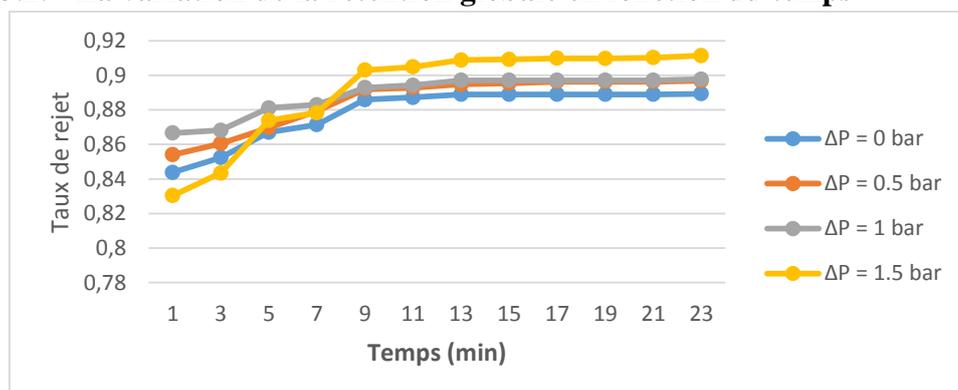


Figure V.75: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5 \text{ g/l}$).

2.15.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

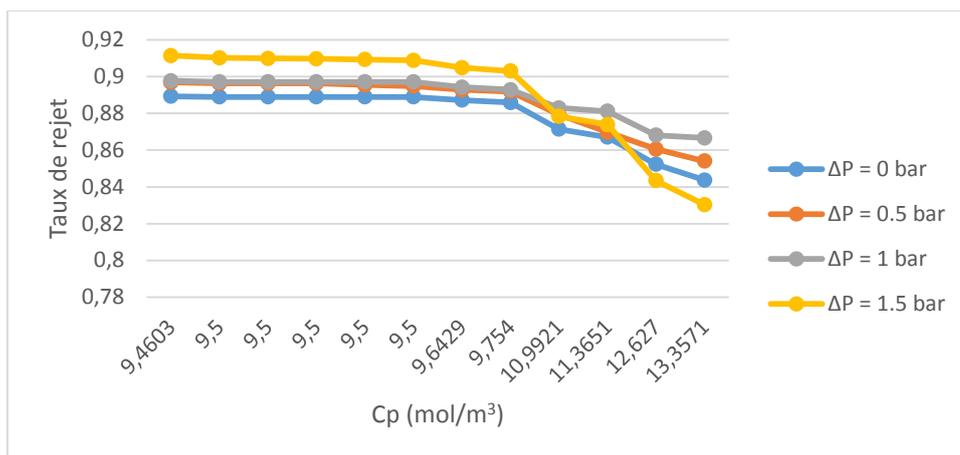


Figure V.76: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5$ g/l).

2.16. Pour une concentration de 5,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Température avant 19 °C Température après 17 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 61 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 20 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 62 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 63 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 64 dans l'annexe.

2.16.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

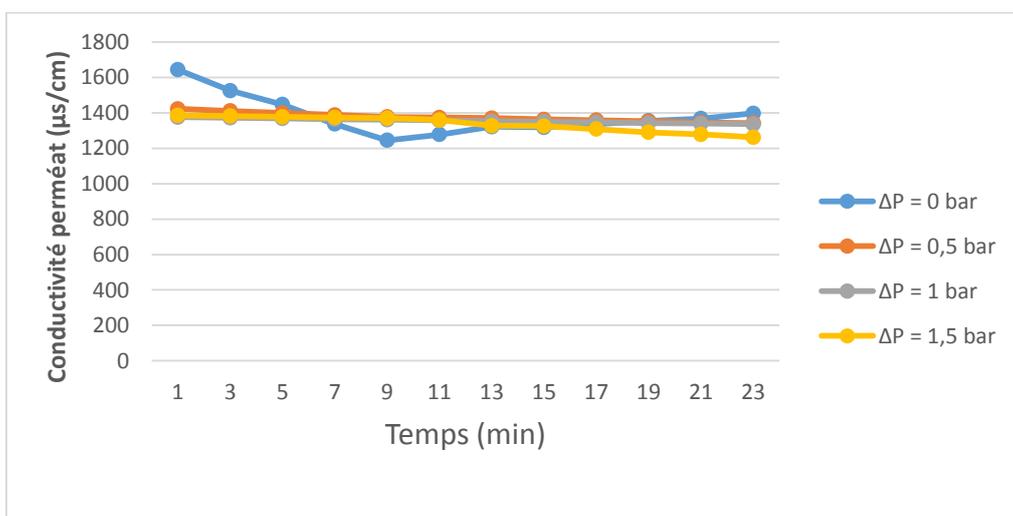


Figure V.77: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

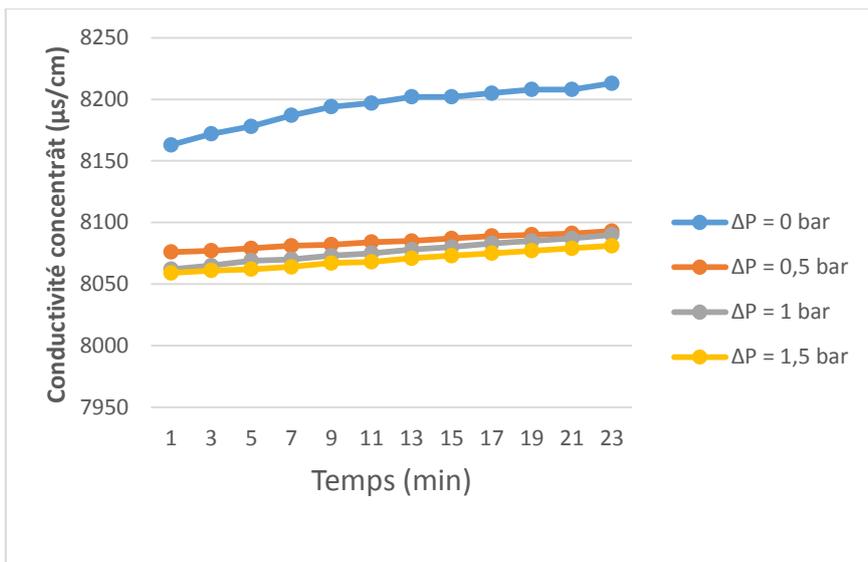


Figure V.78: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l)

2.16.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

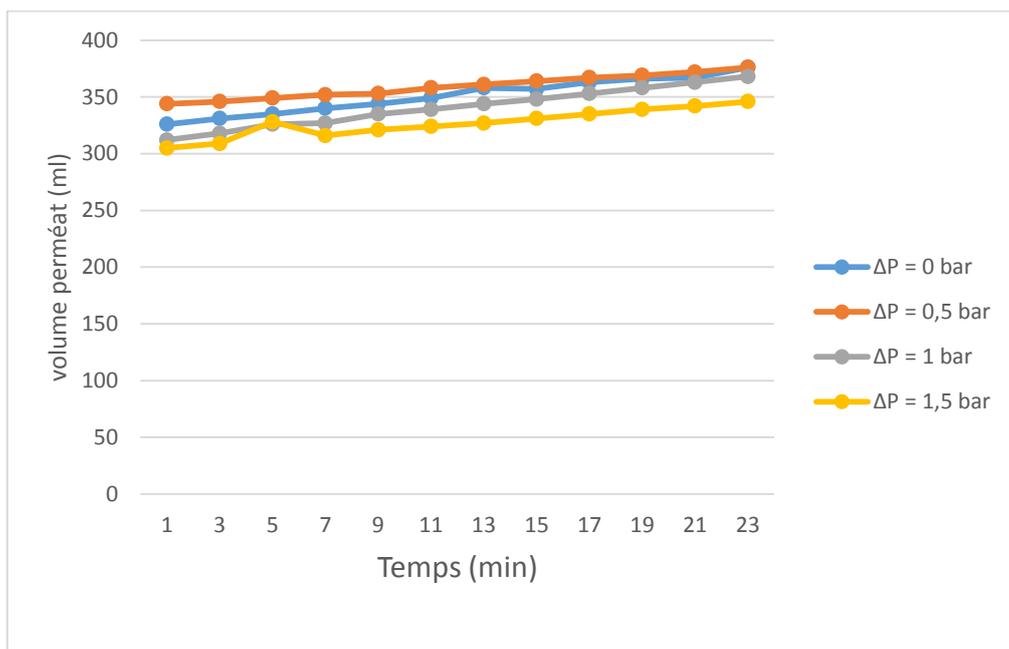


Figure V.79: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=5.5$ g/l).

2.16.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.62 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 5,5$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 13,0397 | 0,1387 | 0,8613 |
| 3 | 12,1032 | 0,1287 | 0,8713 |
| 5 | 11,4841 | 0,1221 | 0,8779 |
| 7 | 10,6111 | 0,1129 | 0,8871 |
| 9 | 9,8810 | 0,1051 | 0,8949 |
| 11 | 10,1349 | 0,1078 | 0,8922 |
| 13 | 10,4841 | 0,1115 | 0,8885 |
| 15 | 10,4603 | 0,1113 | 0,8887 |
| 17 | 10,6111 | 0,1129 | 0,8871 |
| 19 | 10,7540 | 0,1144 | 0,8856 |
| 21 | 10,8492 | 0,1154 | 0,8846 |
| 23 | 11,0873 | 0,1179 | 0,8821 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.63 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 5,5$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 11,2857 | 0,1200 | 0,8800 |
| 3 | 11,1984 | 0,1191 | 0,8809 |
| 5 | 11,1032 | 0,1181 | 0,8819 |
| 7 | 11,0159 | 0,1172 | 0,8828 |
| 9 | 10,9206 | 0,1162 | 0,8838 |
| 11 | 10,9048 | 0,1160 | 0,8840 |
| 13 | 10,8730 | 0,1156 | 0,8844 |
| 15 | 10,8175 | 0,1151 | 0,8849 |
| 17 | 10,7778 | 0,1146 | 0,8854 |
| 19 | 10,7302 | 0,1141 | 0,8859 |
| 21 | 10,6746 | 0,1135 | 0,8865 |
| 23 | 10,6508 | 0,1133 | 0,8867 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.64 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 5,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 10,9127 | 0,1161 | 0,8839 |
| 3 | 10,8889 | 0,1158 | 0,8842 |
| 5 | 10,8571 | 0,1155 | 0,8845 |
| 7 | 10,8254 | 0,1151 | 0,8849 |
| 9 | 10,8016 | 0,1149 | 0,8851 |
| 11 | 10,7698 | 0,1146 | 0,8854 |
| 13 | 10,7302 | 0,1141 | 0,8859 |
| 15 | 10,7063 | 0,1139 | 0,8861 |
| 17 | 10,6905 | 0,1137 | 0,8863 |
| 19 | 10,6429 | 0,1132 | 0,8868 |
| 21 | 10,6270 | 0,1130 | 0,8870 |
| 23 | 10,6032 | 0,1128 | 0,8872 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.65 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 5,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 10,9921 | 0,1169 | 0,8831 |
| 3 | 10,9683 | 0,1167 | 0,8833 |
| 5 | 10,9286 | 0,1162 | 0,8838 |
| 7 | 10,8968 | 0,1159 | 0,8841 |
| 9 | 10,8730 | 0,1156 | 0,8844 |
| 11 | 10,7857 | 0,1147 | 0,8853 |
| 13 | 10,5317 | 0,1120 | 0,8880 |
| 15 | 10,5159 | 0,1119 | 0,8881 |
| 17 | 10,3810 | 0,1104 | 0,8896 |
| 19 | 10,2381 | 0,1089 | 0,8911 |
| 21 | 10,1429 | 0,1079 | 0,8921 |
| 23 | 10,0159 | 0,1065 | 0,8935 |

2.16.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

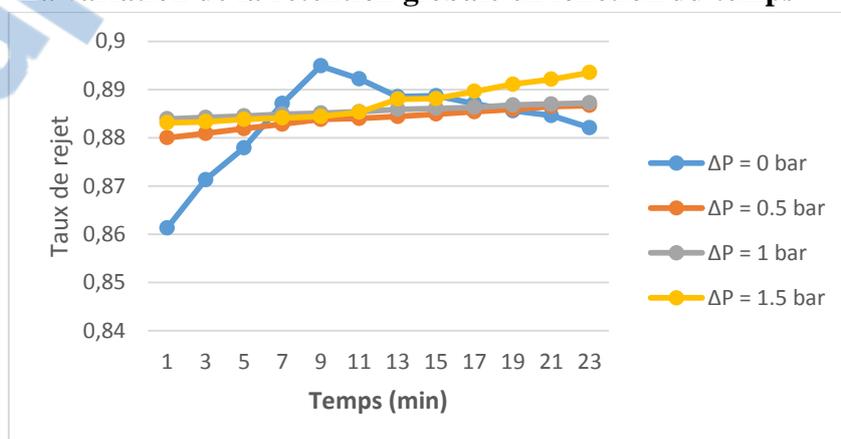


Figure V.80: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$; $C = 5,5 \text{ g/l}$).

2.16.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

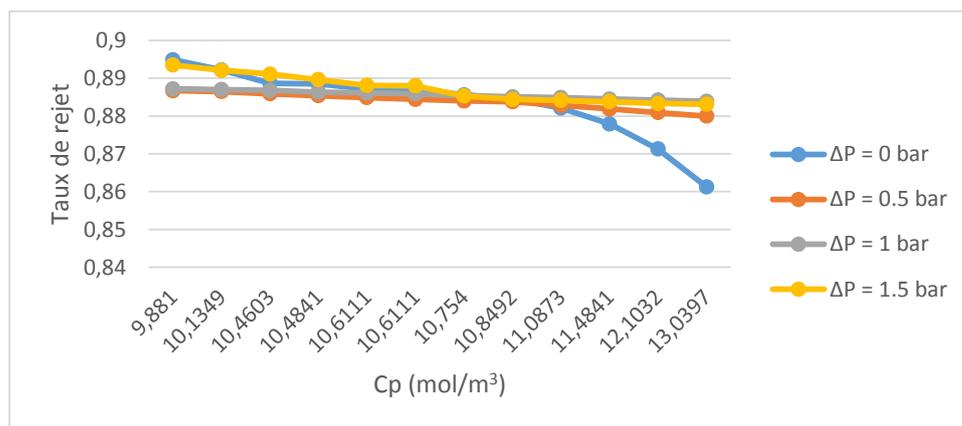


Figure V.81: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=5.5 g/l).

2.17. Pour une concentration de 6 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 8810 (μs/cm)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 6 \text{ g/l} = 102.56 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 102.56 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.99 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 65 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 18 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 66 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 67 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 18 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 68 dans l'annexe.

2.17.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

* La variation de la conductivité du perméat.

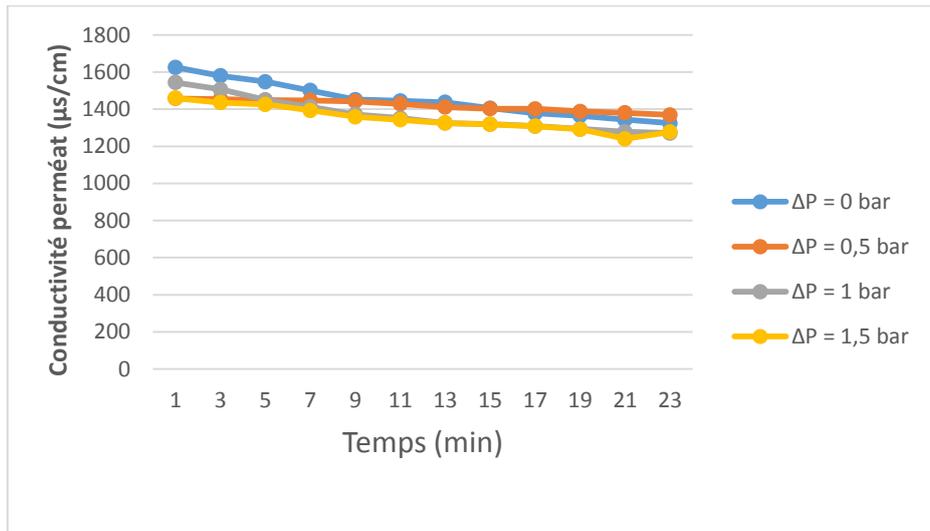


Figure V.82: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$; $C=6\text{g/l}$).

* La variation de la conductivité du concentrât

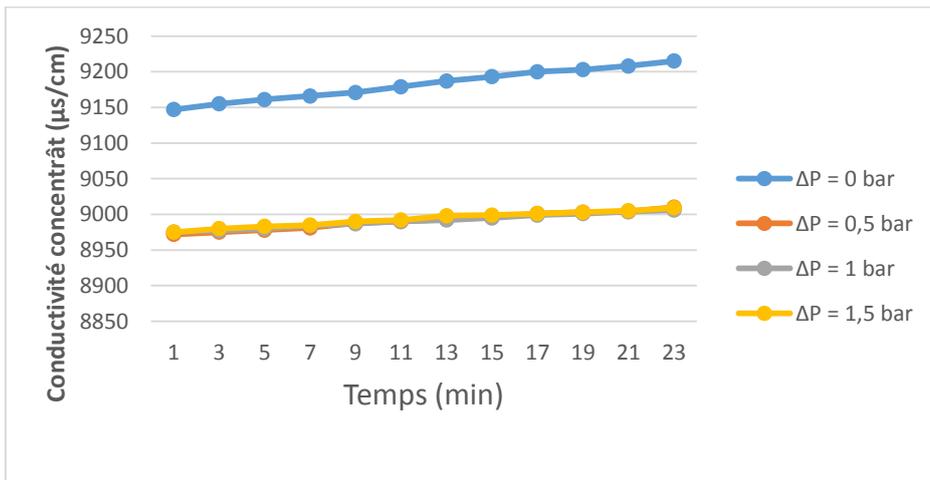


Figure V.83: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$; $C=6\text{g/l}$)

2.17.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

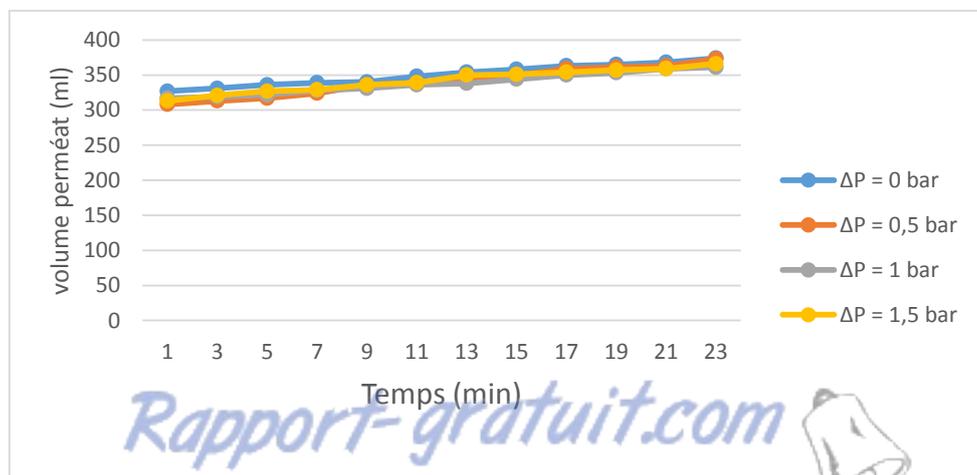


Figure V.84: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5;1; 1.5$; $C=6$ g/l).

2.17.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.66 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 6$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 12,8968 | 0,1257 | 0,8743 |
| 3 | 12,5397 | 0,1223 | 0,8777 |
| 5 | 12,2857 | 0,1198 | 0,8802 |
| 7 | 11,9127 | 0,1161 | 0,8839 |
| 9 | 11,5238 | 0,1124 | 0,8876 |
| 11 | 11,4683 | 0,1118 | 0,8882 |
| 13 | 11,4048 | 0,1112 | 0,8888 |
| 15 | 11,1508 | 0,1087 | 0,8913 |
| 17 | 10,9365 | 0,1066 | 0,8934 |
| 19 | 10,8333 | 0,1056 | 0,8944 |
| 21 | 10,6587 | 0,1039 | 0,8961 |
| 23 | 10,5079 | 0,1025 | 0,8975 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.67 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 6$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 11,5714 | 0,1128 | 0,8872 |
| 3 | 11,5397 | 0,1125 | 0,8875 |
| 5 | 11,5000 | 0,1121 | 0,8879 |
| 7 | 11,4841 | 0,1120 | 0,8880 |
| 9 | 11,4444 | 0,1116 | 0,8884 |
| 11 | 11,3333 | 0,1105 | 0,8895 |
| 13 | 11,1984 | 0,1092 | 0,8908 |
| 15 | 11,1349 | 0,1086 | 0,8914 |
| 17 | 11,1270 | 0,1085 | 0,8915 |
| 19 | 11,0159 | 0,1074 | 0,8926 |
| 21 | 10,9524 | 0,1068 | 0,8932 |
| 23 | 10,8651 | 0,1059 | 0,8941 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.68 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 12,2540 | 0,1195 | 0,8805 |
| 3 | 11,9603 | 0,1166 | 0,8834 |
| 5 | 11,5079 | 0,1122 | 0,8878 |
| 7 | 11,2143 | 0,1093 | 0,8907 |
| 9 | 10,8889 | 0,1062 | 0,8938 |
| 11 | 10,7302 | 0,1046 | 0,8954 |
| 13 | 10,5159 | 0,1025 | 0,8975 |
| 15 | 10,4683 | 0,1021 | 0,8979 |
| 17 | 10,3889 | 0,1013 | 0,8987 |
| 19 | 10,2619 | 0,1001 | 0,8999 |
| 21 | 10,1429 | 0,0989 | 0,9011 |
| 23 | 10,0873 | 0,0984 | 0,9016 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.69 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 6 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 11,5794 | 0,1129 | 0,8871 |
| 3 | 11,3889 | 0,1110 | 0,8890 |
| 5 | 11,3175 | 0,1103 | 0,8897 |
| 7 | 11,0556 | 0,1078 | 0,8922 |
| 9 | 10,7857 | 0,1052 | 0,8948 |
| 11 | 10,6508 | 0,1038 | 0,8962 |
| 13 | 10,5159 | 0,1025 | 0,8975 |
| 15 | 10,4603 | 0,1020 | 0,8980 |
| 17 | 10,3810 | 0,1012 | 0,8988 |
| 19 | 10,2540 | 0,1000 | 0,9000 |
| 21 | 9,8413 | 0,0960 | 0,9040 |
| 23 | 10,1349 | 0,0988 | 0,9012 |

2.17.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

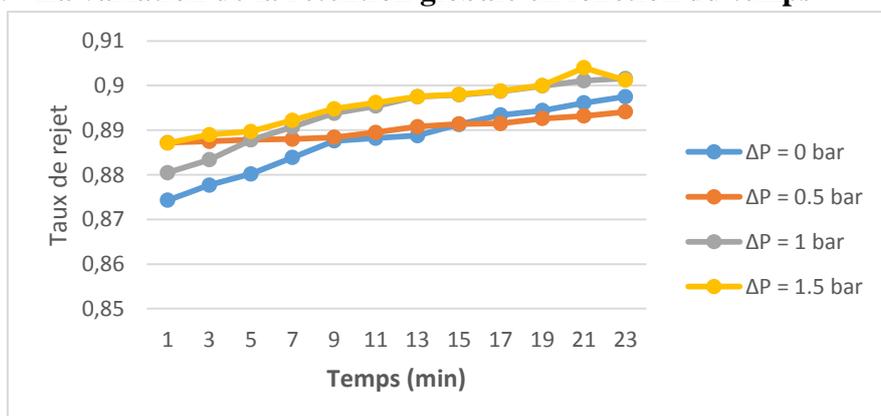


Figure V.85: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$; $\Delta P=0$; $0,5$; 1 ; $1,5$; $C=6 \text{ g/l}$).

2.17.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

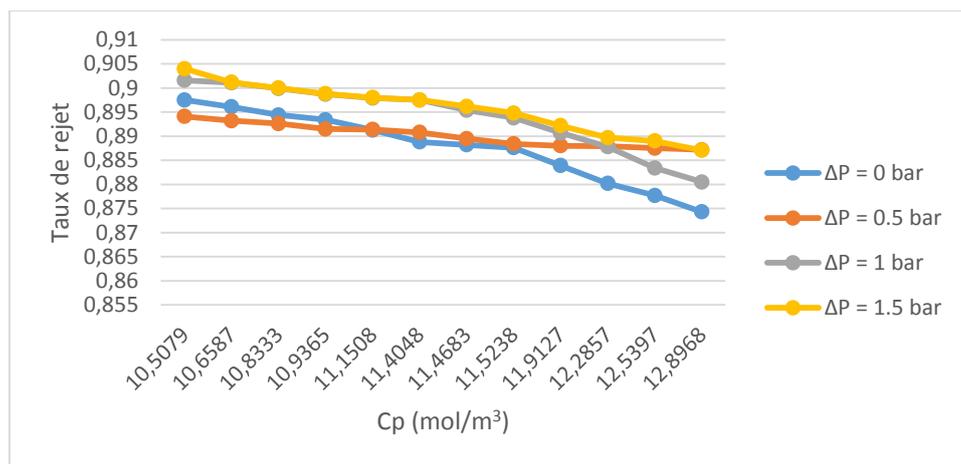


Figure V.86: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$; $C=6$ g/l).

2.18. Pour une concentration de 6,5 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 9340 ($\mu\text{s/cm}$)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 6,5 \text{ g/l} = 111.11 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 111.11 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 5.41 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 69 dans l'annexe.

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 70 dans l'annexe.

Manipulation n°03 :

Température avant 18 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 71 dans l'annexe.

Manipulation n°04 :

Température avant 19 °C Température après 26 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 72 dans l'annexe.

2.18.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

* La variation de la conductivité du perméat

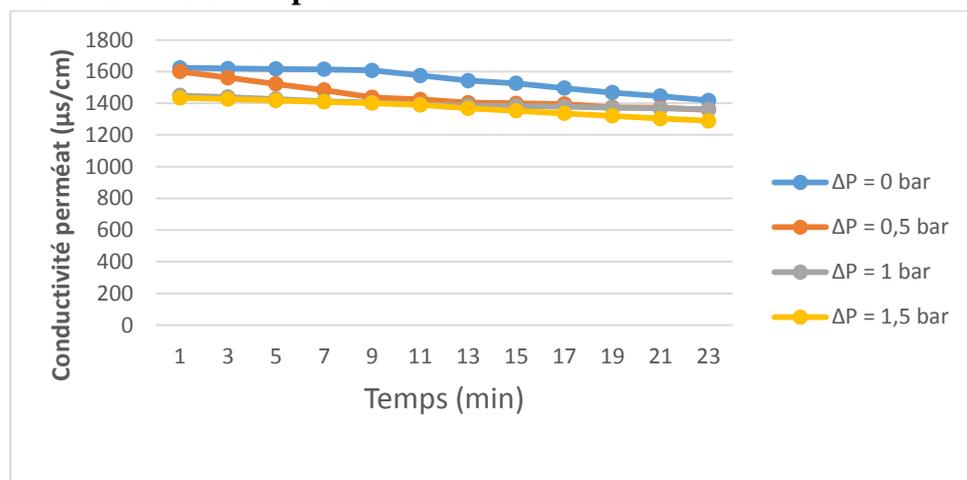


Figure V.87: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=6.5$ g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât

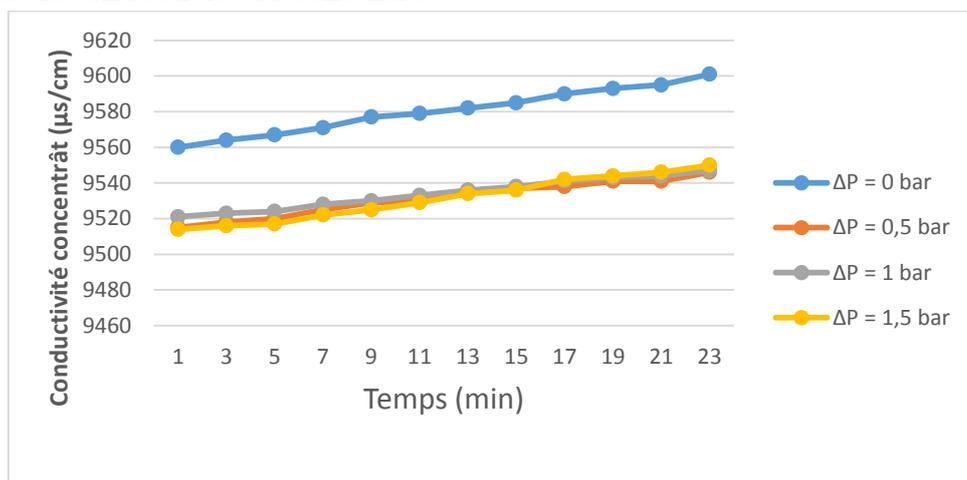


Figure V.88: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=6.5$ g/l)

2.18.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

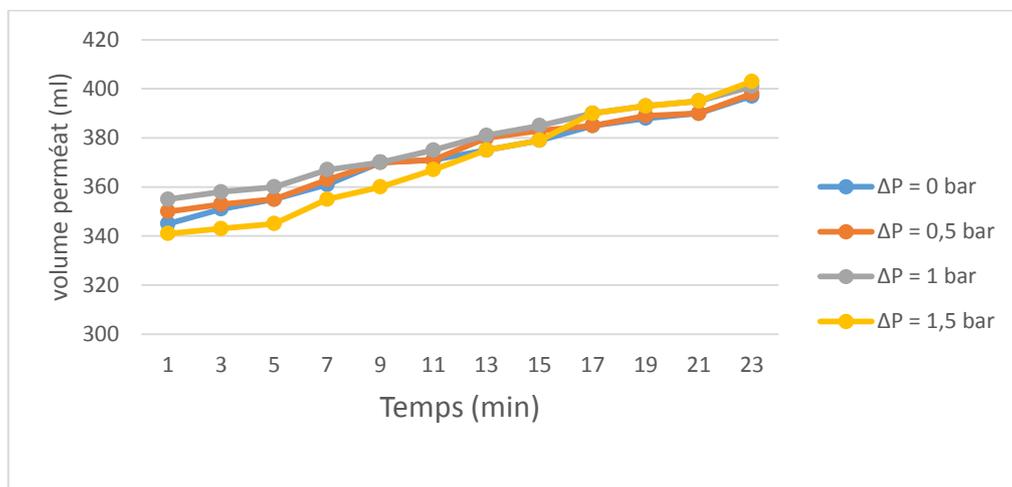


Figure V.89: La variation de volume de perméat en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$; $C=6.5$ g/l).

2.18.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.70 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 6,5$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 12,8889 | 0,1160 | 0,8840 |
| 3 | 12,8571 | 0,1157 | 0,8843 |
| 5 | 12,8254 | 0,1154 | 0,8846 |
| 7 | 12,8095 | 0,1153 | 0,8847 |
| 9 | 12,7540 | 0,1148 | 0,8852 |
| 11 | 12,5000 | 0,1125 | 0,8875 |
| 13 | 12,2460 | 0,1102 | 0,8898 |
| 15 | 12,1111 | 0,1090 | 0,8910 |
| 17 | 11,8730 | 0,1069 | 0,8931 |
| 19 | 11,6429 | 0,1048 | 0,8952 |
| 21 | 11,4683 | 0,1032 | 0,8968 |
| 23 | 11,2540 | 0,1013 | 0,8987 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.71 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 6,5$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 12,6984 | 0,1143 | 0,8857 |
| 3 | 12,3889 | 0,1115 | 0,8885 |
| 5 | 12,0794 | 0,1087 | 0,8913 |
| 7 | 11,7698 | 0,1059 | 0,8941 |
| 9 | 11,4048 | 0,1026 | 0,8974 |
| 11 | 11,3016 | 0,1017 | 0,8983 |
| 13 | 11,1429 | 0,1003 | 0,8997 |
| 15 | 11,1111 | 0,1000 | 0,9000 |
| 17 | 11,0714 | 0,0996 | 0,9004 |
| 19 | 10,9127 | 0,0982 | 0,9018 |
| 21 | 10,8889 | 0,0980 | 0,9020 |
| 23 | 10,7857 | 0,0971 | 0,9029 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.72 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 6,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 11,5000 | 0,1035 | 0,8965 |
| 3 | 11,4206 | 0,1028 | 0,8972 |
| 5 | 11,3254 | 0,1019 | 0,8981 |
| 7 | 11,2143 | 0,1009 | 0,8991 |
| 9 | 11,1429 | 0,1003 | 0,8997 |
| 11 | 11,0556 | 0,0995 | 0,9005 |
| 13 | 10,9921 | 0,0989 | 0,9011 |
| 15 | 10,9762 | 0,0988 | 0,9012 |
| 17 | 10,9365 | 0,0984 | 0,9016 |
| 19 | 10,8889 | 0,0980 | 0,9020 |
| 21 | 10,8571 | 0,0977 | 0,9023 |
| 23 | 10,8175 | 0,0974 | 0,9026 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.73 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 6,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | $C_p = \text{conductivité de perméat} / 126 \text{ (mol/m}^3\text{)}$ | $S_p = C_p / C_0$ | $R_m = 1 - S_p$ |
|-------------|---|-------------------|-----------------|
| 1 | 11,3810 | 0,1024 | 0,8976 |
| 3 | 11,3175 | 0,1019 | 0,8981 |
| 5 | 11,2540 | 0,1013 | 0,8987 |
| 7 | 11,1825 | 0,1006 | 0,8994 |
| 9 | 11,1190 | 0,1001 | 0,8999 |
| 11 | 11,0317 | 0,0993 | 0,9007 |
| 13 | 10,8571 | 0,0977 | 0,9023 |
| 15 | 10,7381 | 0,0966 | 0,9034 |
| 17 | 10,6032 | 0,0954 | 0,9046 |
| 19 | 10,4762 | 0,0943 | 0,9057 |
| 21 | 10,3413 | 0,0931 | 0,9069 |
| 23 | 10,2302 | 0,0921 | 0,9079 |

2.18.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

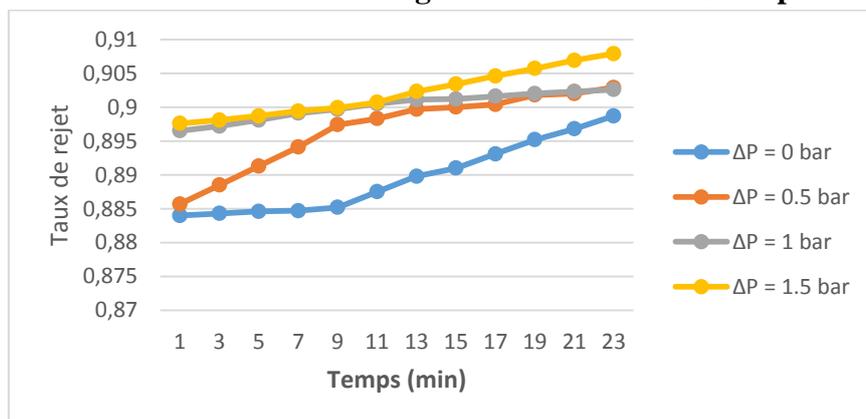


Figure V.90: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 0; 0,5; 1; 1,5$; $C = 6,5 \text{ g/l}$).

2.18.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

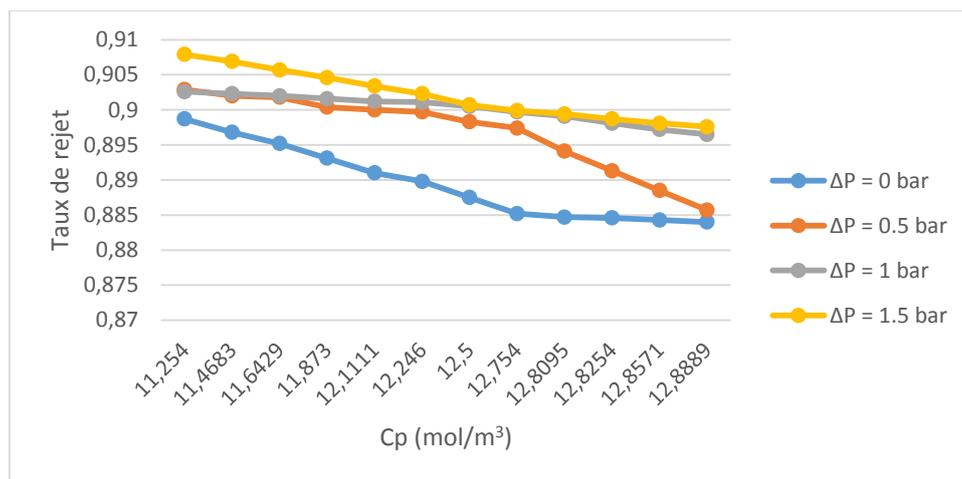


Figure V.91: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=6.5 g/l).

2.19. Pour une concentration de 7 g/l :

Manipulation n°01 :

Conductivité de la solution d'alimentation 1010 (μs/cm)

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Calcul de la pression osmotique $\pi = i * C * R * T$

$$C = 7 \text{ g/l} = 119.66 \text{ Mol/m}^3$$

$$\pi = 2 * 119.66 * 8,316 * (19 + 273,5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 5.82 * 10^5 \text{ Pa}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 73 dans l'annexe :

Manipulation n°02 :

Température avant 19 °C Température après 27 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 74 dans l'annexe :

Manipulation n°03 :

Température avant 19 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 75 dans l'annexe :

Manipulation n°04 :

Température avant 20 °C Température après 28 °C

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 76 dans l'annexe :

2.19.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps.

* La variation de la conductivité du perméat.

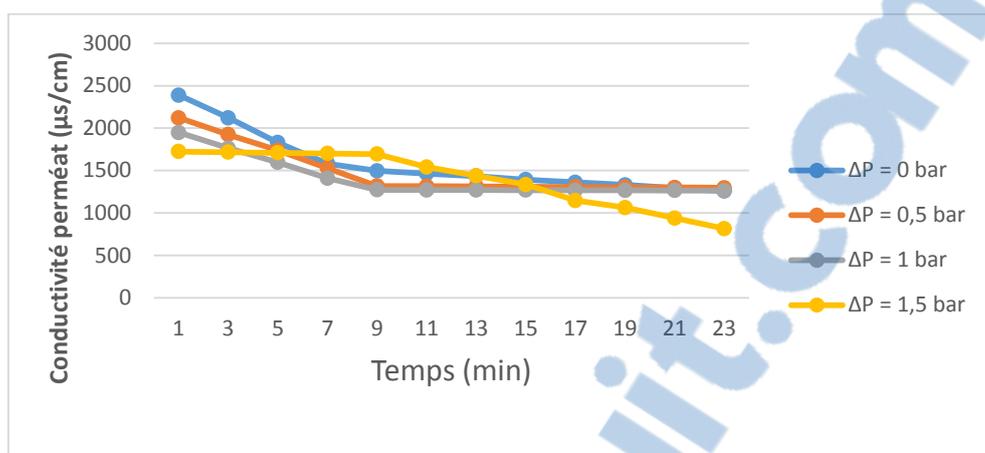


Figure V.92: La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l).

* La variation de la conductivité du concentrât.

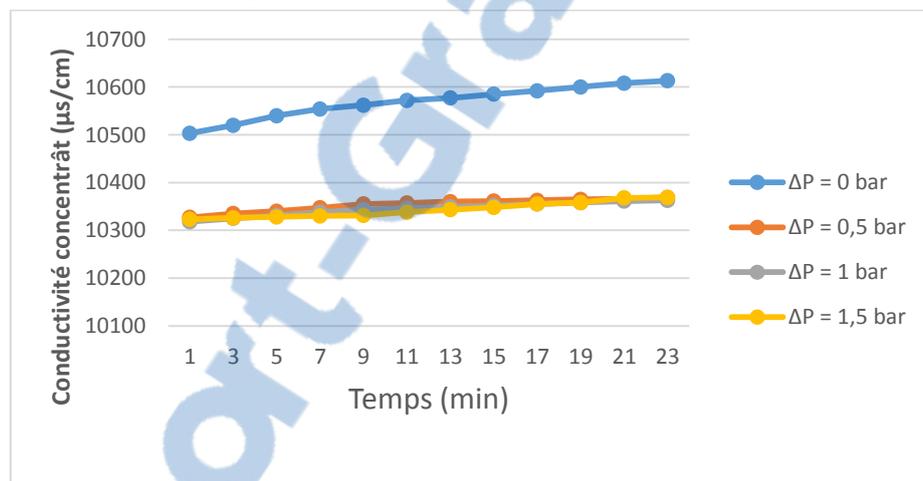


Figure V.93: La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=7g/l)

2.19.2. La variation du volume du perméat en fonction du temps.

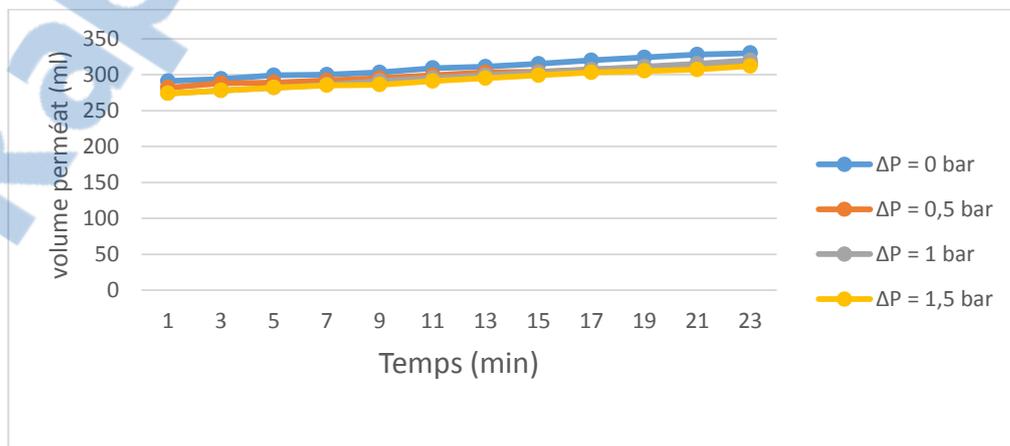


Figure V.94: La variation de volume de perméat en fonction du temps (P_{entrée}=11 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=7 g/l).

2.19.3. La variation du volume de la rétention globale du module.

Manipulation n°01 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.74 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C = 7$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 18,9603 | 0,1585 | 0,8415 |
| 3 | 16,8333 | 0,1407 | 0,8593 |
| 5 | 14,5159 | 0,1213 | 0,8787 |
| 7 | 12,5397 | 0,1048 | 0,8952 |
| 9 | 11,8810 | 0,0993 | 0,9007 |
| 11 | 11,6270 | 0,0972 | 0,9028 |
| 13 | 11,3810 | 0,0951 | 0,9049 |
| 15 | 11,0556 | 0,0924 | 0,9076 |
| 17 | 10,8016 | 0,0903 | 0,9097 |
| 19 | 10,5556 | 0,0882 | 0,9118 |
| 21 | 10,2540 | 0,0857 | 0,9143 |
| 23 | 9,9762 | 0,0834 | 0,9166 |

Manipulation n°02 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.75 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11$ bars ; $\Delta P = 0,5$ bar ; $C = 7$ g/l)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 16,8254 | 0,1406 | 0,8594 |
| 3 | 15,2698 | 0,1276 | 0,8724 |
| 5 | 13,7857 | 0,1152 | 0,8848 |
| 7 | 12,1349 | 0,1014 | 0,8986 |
| 9 | 10,4603 | 0,0874 | 0,9126 |
| 11 | 10,4365 | 0,0872 | 0,9128 |
| 13 | 10,4048 | 0,0870 | 0,9130 |
| 15 | 10,3810 | 0,0868 | 0,9132 |
| 17 | 10,3651 | 0,0866 | 0,9134 |
| 19 | 10,3413 | 0,0864 | 0,9136 |
| 21 | 10,3175 | 0,0862 | 0,9138 |
| 23 | 10,2937 | 0,0860 | 0,9140 |

Manipulation n°03 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.76 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 7 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 15,4603 | 0,1292 | 0,8708 |
| 3 | 13,9921 | 0,1169 | 0,8831 |
| 5 | 12,6667 | 0,1059 | 0,8941 |
| 7 | 11,1825 | 0,0935 | 0,9065 |
| 9 | 10,0952 | 0,0844 | 0,9156 |
| 11 | 10,0873 | 0,0843 | 0,9157 |
| 13 | 10,0794 | 0,0842 | 0,9158 |
| 15 | 10,0714 | 0,0842 | 0,9158 |
| 17 | 10,0556 | 0,0840 | 0,9160 |
| 19 | 10,0476 | 0,0840 | 0,9160 |
| 21 | 10,0317 | 0,0838 | 0,9162 |
| 23 | 10,0238 | 0,0838 | 0,9162 |

Manipulation n°04 :

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.77 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1,5 \text{ bar}$; $C = 7 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m ³) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|---|---------------|-------------|
| 1 | 13,6825 | 0,1143 | 0,8857 |
| 3 | 13,6270 | 0,1139 | 0,8861 |
| 5 | 13,5635 | 0,1134 | 0,8866 |
| 7 | 13,5000 | 0,1128 | 0,8872 |
| 9 | 13,4365 | 0,1123 | 0,8877 |
| 11 | 12,2381 | 0,1023 | 0,8977 |
| 13 | 11,4127 | 0,0954 | 0,9046 |
| 15 | 10,5873 | 0,0885 | 0,9115 |
| 17 | 9,1032 | 0,0761 | 0,9239 |
| 19 | 8,4444 | 0,0706 | 0,9294 |
| 21 | 7,4524 | 0,0623 | 0,9377 |
| 23 | 6,4603 | 0,0540 | 0,9460 |

2.19.3.1. La variation de la rétention globale en fonction du temps

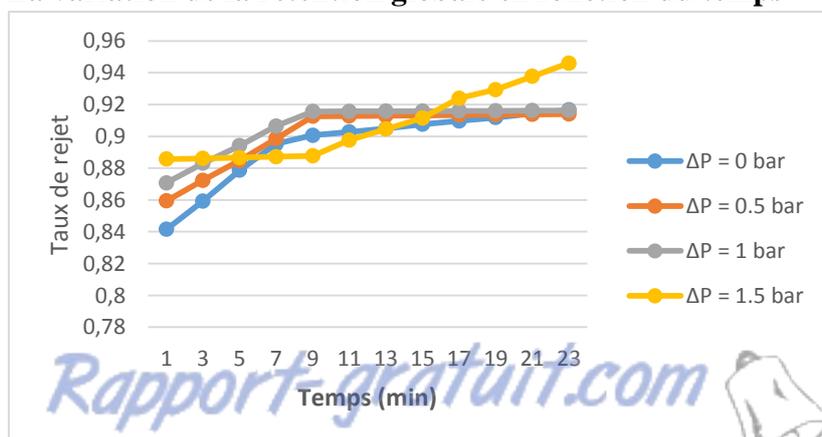


Figure V.95: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=11 \text{ bars}$; $\Delta P=0; 0,5;1; 1,5$; $C=7 \text{ g/l}$).

2.19.3.2. La variation de la rétention globale en fonction de la conductivité du perméat.

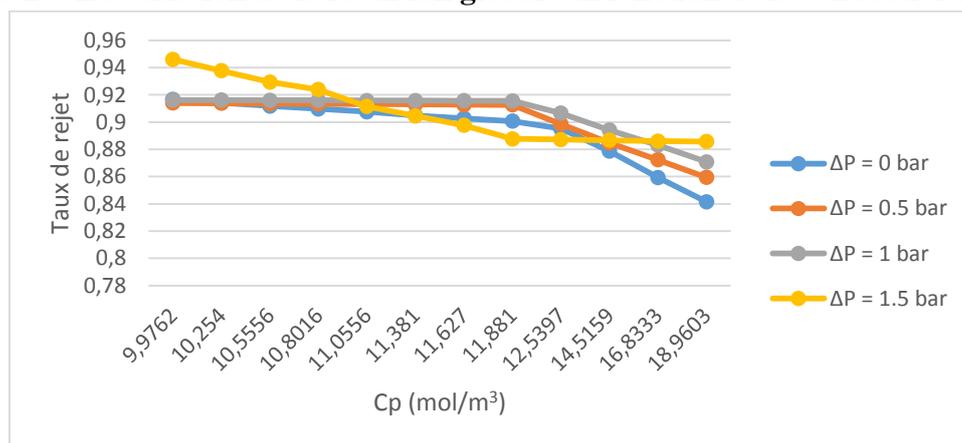


Figure V.96: La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P=0; 0.5; 1; 1.5$; $C=7$ g/l).

3. Etudes concernant la pression d'alimentation :

3.1. Pour une concentration de 3 g/l :

3.1.1. Pression 5 bar

Tableau 5.78 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 5$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C = 3$ g/l)

| Temps (min) | Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m³) | Sp=Cp/C ₀ | Rm=1-Sp |
|-------------|--|----------------------|---------|
| 1 | 9,7937 | 0,1910 | 0,8090 |
| 3 | 9,7063 | 0,1893 | 0,8107 |
| 5 | 8,8730 | 0,1730 | 0,8270 |
| 7 | 8,7381 | 0,1704 | 0,8296 |
| 9 | 8,1825 | 0,1596 | 0,8404 |
| 11 | 8,1429 | 0,1588 | 0,8412 |
| 13 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 15 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 17 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 19 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 21 | 8,0317 | 0,1566 | 0,8434 |
| 23 | 8,0079 | 0,1562 | 0,8438 |

3.1.2. Pression 7 bar

Tableau 5.79 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C = 3$ g/l)

| Temps (min) | Cp=conductivité de perméat /126 (mol/m³) | Sp=Cp/C ₀ | Rm=1-Sp |
|-------------|--|----------------------|---------|
| 1 | 8,5635 | 0,1670 | 0,8330 |
| 3 | 8,4841 | 0,1654 | 0,8346 |
| 5 | 7,7540 | 0,1512 | 0,8488 |
| 7 | 7,6349 | 0,1489 | 0,8511 |
| 9 | 7,1508 | 0,1394 | 0,8606 |
| 11 | 7,1111 | 0,1387 | 0,8613 |
| 13 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 15 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 17 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 19 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 21 | 7,0238 | 0,1370 | 0,8630 |
| 23 | 7,0000 | 0,1365 | 0,8635 |

3.1.3. Pression 11 bar

Tableau 5.80 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 3 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 9,8810 | 0,1927 | 0,8073 |
| 3 | 9,7937 | 0,1910 | 0,8090 |
| 5 | 8,9524 | 0,1746 | 0,8254 |
| 7 | 8,8175 | 0,1719 | 0,8281 |
| 9 | 8,2540 | 0,1610 | 0,8390 |
| 11 | 8,2143 | 0,1602 | 0,8398 |
| 13 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 15 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 17 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 19 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 21 | 8,1032 | 0,1580 | 0,8420 |
| 23 | 8,0794 | 0,1575 | 0,8425 |

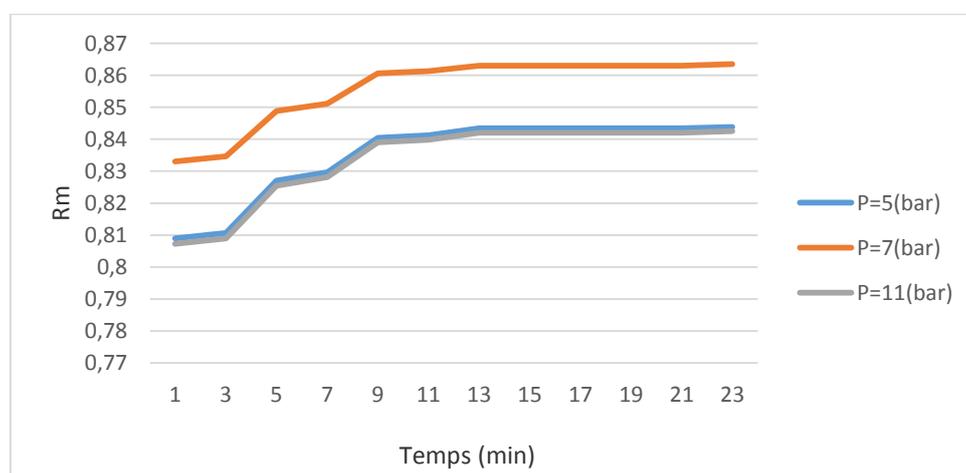


Figure V.97: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=5 ; 7 ; 11 \text{ bars}$; $\Delta P=1$; $C=3 \text{ g/l}$).

3.2. Pour concentration =4g/l

3.2.1. Pression 7 bar

Tableau 5.81 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 7 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 13,2778 | 0,1942 | 0,8058 |
| 3 | 12,4286 | 0,1818 | 0,8182 |
| 5 | 10,0476 | 0,1469 | 0,8531 |
| 7 | 9,2540 | 0,1353 | 0,8647 |
| 9 | 7,4048 | 0,1083 | 0,8917 |
| 11 | 7,3095 | 0,1069 | 0,8931 |
| 13 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 15 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 17 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 19 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 21 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 23 | 7,1111 | 0,1040 | 0,8960 |

3.2.2. Pression 9 bar

Tableau V.82 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 13,2778 | 0,1942 | 0,8058 |
| 3 | 12,4286 | 0,1818 | 0,8182 |
| 5 | 10,0476 | 0,1469 | 0,8531 |
| 7 | 9,2540 | 0,1353 | 0,8647 |
| 9 | 7,4048 | 0,1083 | 0,8917 |
| 11 | 7,3095 | 0,1069 | 0,8931 |
| 13 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 15 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 17 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 19 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 21 | 7,1429 | 0,1045 | 0,8955 |
| 23 | 7,1111 | 0,1040 | 0,8960 |

3.2.3. Pression 11 bar

Tableau 5.83 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 4 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 13,5397 | 0,1980 | 0,8020 |
| 3 | 12,6746 | 0,1854 | 0,8146 |
| 5 | 10,2460 | 0,1498 | 0,8502 |
| 7 | 9,4365 | 0,1380 | 0,8620 |
| 9 | 7,5556 | 0,1105 | 0,8895 |
| 11 | 7,4524 | 0,1090 | 0,8910 |
| 13 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 15 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 17 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 19 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 21 | 7,2857 | 0,1066 | 0,8934 |
| 23 | 7,2540 | 0,1061 | 0,8939 |

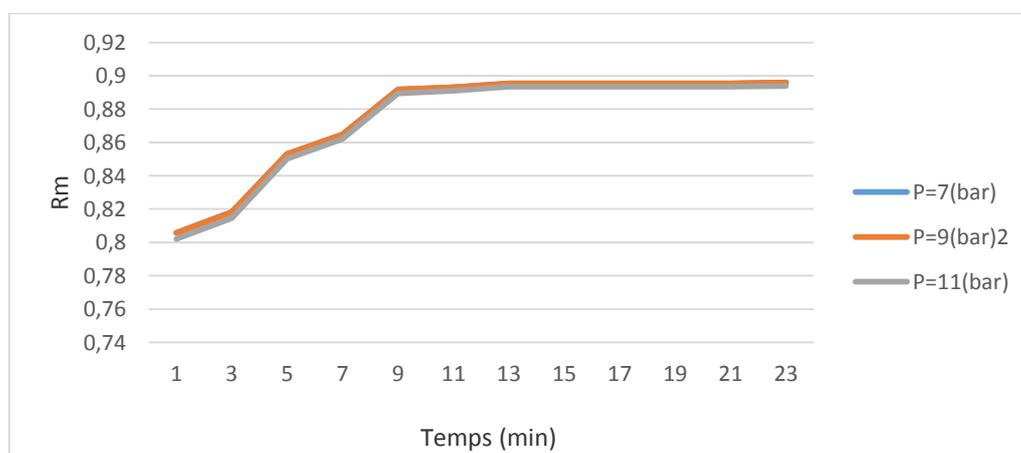


Figure V.98: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}}=7 ; 9 ; 11 \text{ bars}$; $\Delta P=1$; $C=4 \text{ g/l}$).

3.3. Pour une concentration de 5.5 g/l :

3.3.1. pression 9bar

Tableau 5.84 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 9 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 5,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 12,5794 | 0,1338 | 0,8662 |
| 3 | 12,5397 | 0,1334 | 0,8666 |
| 5 | 12,5079 | 0,1330 | 0,8670 |
| 7 | 12,4762 | 0,1327 | 0,8673 |
| 9 | 12,4444 | 0,1324 | 0,8676 |
| 11 | 12,4127 | 0,1320 | 0,8680 |
| 13 | 12,3651 | 0,1315 | 0,8685 |
| 15 | 12,3333 | 0,1312 | 0,8688 |
| 17 | 12,3175 | 0,1310 | 0,8690 |
| 19 | 12,2619 | 0,1304 | 0,8696 |
| 21 | 12,2381 | 0,1302 | 0,8698 |
| 23 | 12,2143 | 0,1299 | 0,8701 |

3.3.2. Pression 11 bar

Tableau 5.85 : La variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat. ($P_{\text{entrée}} = 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1 \text{ bar}$; $C = 5,5 \text{ g/l}$)

| Temps (min) | C_p =conductivité de perméat /126 (mol/m^3) | $S_p=C_p/C_0$ | $R_m=1-S_p$ |
|-------------|--|---------------|-------------|
| 1 | 10,9127 | 0,1161 | 0,8839 |
| 3 | 10,8889 | 0,1158 | 0,8842 |
| 5 | 10,8571 | 0,1155 | 0,8845 |
| 7 | 10,8254 | 0,1151 | 0,8849 |
| 9 | 10,8016 | 0,1149 | 0,8851 |
| 11 | 10,7698 | 0,1146 | 0,8854 |
| 13 | 10,7302 | 0,1141 | 0,8859 |
| 15 | 10,7063 | 0,1139 | 0,8861 |
| 17 | 10,6905 | 0,1137 | 0,8863 |
| 19 | 10,6429 | 0,1132 | 0,8868 |
| 21 | 10,6270 | 0,1130 | 0,8870 |
| 23 | 10,6032 | 0,1128 | 0,8872 |

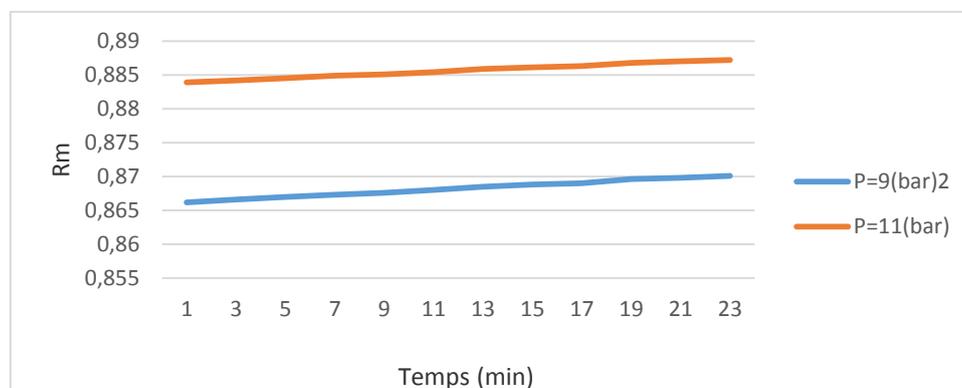


Figure V.99: La variation de taux de rejet en fonction du temps ($P_{\text{entrée}} = 9 ; 11 \text{ bars}$; $\Delta P = 1$; $C = 5,5 \text{ g/l}$).

4. INTERPRÉTATIONS DES RESULTATS :

4.1. Pour une pression de 5 bars

Pour $C = 2 \text{ g/l}$:

La conductivité varie inconstamment entre 0 et 9 minutes, plus le temps augmente plus la conductivité du perméat diminue. Après 9 minutes nous constatons une certaine stabilité de la conductivité du perméat. Par contre plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus la conductivité du perméat diminue comme le montre la figure V. 2.

La figure V. 3 montre que la variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps est mieux ordonnée que celle du perméat donné dans la figure précédente sauf pour $\Delta P = 0,5 \text{ bar}$. Néanmoins le sens de variation ne change pas c'est-à-dire plus le temps augmente plus la conductivité du concentrât augmente. La conductivité du concentrât diminue quand la différence de pression de part et d'autre de la membrane diminue.

La variation du volume du perméat en fonction du temps est représentée dans la figure V. 4. Cette figure montre bien que plus le temps augmente plus le volume du perméat augmente de manière plus ou moins constante. Ainsi plus la différence de pression augmente plus le volume du perméat diminue.

La variation du taux de rejet en fonction du temps représenté sur la figure V.5 présente une forte croissance entre 0 mn et 9 minutes schématisée par des courbes dont les pentes sont assez importantes sauf pour $\Delta P = 1.5 \text{ bar}$ où on constate une faible et constante croissance, puis une certaine stabilité des courbes jusqu'à la fin de la manipulation pour toutes les ΔP . Nous remarquons aussi que la variation du taux de rejet est proportionnelle par rapport à la différence de pression de part et d'autre de la membrane, c'est-à-dire plus cette dernière augmente plus le taux de rejet augmente.

La fonction de la variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat est réversible par rapport à la fonction de la variation du taux de rejet en fonction du temps comme le représente la figure V.6, où on remarque une certaine stabilité des courbes jusqu'à une concentration $C_p = 9,1667$, ensuite une forte décroissance schématisée par des courbes dont les pentes sont assez importantes sauf pour $\Delta P = 1.5 \text{ bar}$ où on constate une faible et constante décroissance. Donc plus la concentration du perméat augmente plus le taux de rejet diminue.

Nous constatons aussi que le taux de rejet en fonction du temps varie en sens inverse que la conductivité du perméat en fonction du temps. Plus le temps augmente plus la conductivité du perméat augmente et plus le taux de rejet diminue.

Pour les autres concentrations nous n'avons pas trouvé beaucoup de différences dans les allures des courbes, néanmoins nous constatons que la conductivité du perméat diminue en fonction du temps et augmente grâce à l'augmentation de la concentration des sels. Elle arrive jusqu'à environ de $1085 \text{ } (\mu\text{s/cm})$ au lieu de $1336 \text{ } (\mu\text{s/cm})$ pour la première solution et la différence de conductivité varie avec un intervalle de 90 à $310 \text{ } (\mu\text{s/cm})$ pour une concentration de 2 g/l de sels; par contre en ce qui concerne la variation de la conductivité du concentrât on constate que la conductivité du concentrât augmente en fonction du temps et la différence de conductivité reste pratiquement constante aux environs de $30 \text{ } (\mu\text{s/cm})$; nous notons aussi que pour toutes ces solutions plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus la conductivité du concentrât diminue.

Chapitre V : Résultats et interprétations

En ce qui concerne la variation du volume de perméat en fonction du temps nous remarquons que plus le temps augmente plus le volume de perméat augmente jusqu'à ce qu'il atteigne un équilibre. Ainsi plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le volume du perméat diminue. A partir de la solution 2.5 g /l; nous constatons un certain entassement dans les courbes et la variation du volume du perméat diminue. Nous remarquons aussi que plus la concentration en sel augmente plus le débit du perméat diminue.

Plus la concentration du perméat augmente plus le taux de rejet diminue et varie de 0.81 à 0.89 pour la 3ème solution c'est-à-dire 3 g/l.

4.2. Pour les pressions de 7, 9 et 11 bars :

Pour ces pressions nous n'avons pas trouvé de différences dans le principe des variations, ni des paramètres d'études (volume du perméat, concentration du perméat ou du concentrât, et taux de rejet), ni des courbes, sauf pour le degré de variation où plus la pression d'alimentation augmente plus la variation est forte.

Les figures V.17 et V.19 représentent respectivement la variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps et la variation du volume du perméat en fonction du temps pour une concentration de 3 g/l et une pression d'alimentation de 7 bars. Nous remarquons la même chose pour les concentrations 2 ; 2,5 et 3 g/l et une pression de 5 bars. Donc la conductivité du perméat diminue en fonction du temps, alors que la conductivité du concentrât et le volume du perméat augmentent en fonction du temps. Sauf que les valeurs ne sont pas les mêmes. Les figures V.14 et V.19 représentent respectivement la variation du volume en fonction du temps pour une concentration de 3 g/l et une différence de pression de part et d'autre de la membrane $\Delta P = 0$ pour une pression de 5 et 7 bars. Nous remarquons que le volume pour une pression de 5 bars à 23 minutes est de 251 ml, et pour une pression de 7 bars à 23 minutes est de 323 ml.

Les figures V.12 et V.17 représentent respectivement la variation de la conductivité du perméat en fonction du temps pour une concentration de 3 g/l et une différence de pression de part et d'autre de la membrane $\Delta P = 0$ pour une pression de 5 et 7 bars. Nous remarquons que la conductivité du perméat pour une pression de 5 bars à 23 minutes est de 1042 $\mu\text{s/cm}$, et pour une pression de 7 bars à 23 minutes est de 911 $\mu\text{s/cm}$.

Donc nous concluons que plus la pression d'alimentation augmente plus le volume du perméat augmente et plus la conductivité du perméat diminue.

4.3. Etudes concernant la différence de pression de part et d'autre de la membrane (ΔP) :

La figure V.4 représente la variation du volume du perméat en fonction du temps pour une concentration de sels de 2 g/l et une pression d'alimentation de 5 bars, et montre que plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le volume du perméat diminue. Donc plus la différence de pression augmente plus on perd en quantité de production.

La figure V.5 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour une concentration de sels de 2 g/l et une pression d'alimentation de 5 bars, et montre que plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le taux de rejet augmente. Donc plus la différence de pression augmente plus on gagne en qualité de production.

Depuis cette analyse nous constatons que le choix de la différence de pression est très important, et pour cela nous devons étudier le rapport quantité – qualité.

Chapitre V : Résultats et interprétations

Les figures V.44 et V.45 représentent respectivement la variation du volume du perméat et la variation du taux de rejet en fonction du temps pour une même concentration de sels et une même pression d'alimentation. D'après ces figures nous constatons que pour un $\Delta P = 1$ bar, le volume du perméat est presque maximum, et le taux de rejet est maximum avec celui d'un $\Delta P = 1,5$.

Donc pour une différence de pression de part et d'autre de la membrane $\Delta P = 1$ bar, nous obtenons les meilleurs résultats de production en termes de quantité et qualité

4.4. Etudes concernant la pression d'alimentation :

Les figures V.97, V.98 et V.99 représentent la variation des taux de rejet en fonction du temps pour de différentes pressions d'alimentation, l'objectif de cette analyse est de pouvoir choisir la pression idéale pour chaque concentration.

La figure V.97 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour des pressions d'alimentation de 5, 7 et 11 et pour une concentration de 3 g/l. D'après cette figure on constate que la pression d'alimentation de 7 bars donne le meilleur résultat pour une concentration de 3 g/l, sachant que la pression osmotique $\Pi = 2,52$. Donc $P = 7$ est légèrement supérieure à 2Π .

Malgré que $p = 11$ est supérieure à 2Π les résultats ne sont pas aussi bons que lorsque $P = 7$.

La figure V.98 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour des pressions d'alimentation de 7, 9 et 11 et pour une concentration de 4 g/l. D'après cette figure nous constatons que toutes les pressions d'alimentation donnent pratiquement un bon résultat pour une concentration de 4 g/l, et la pression de 7 bars est la plus petite, sachant que la pression osmotique $\Pi = 3,33$. Donc $P = 7 > 2 \Pi$.

La figure V.99 représente la variation du taux de rejet en fonction du temps pour des pressions d'alimentation de 9 et 11 et pour une concentration de 5,5 g/l. D'après figure on constate que la pression d'alimentation de 11 bars donne le meilleur résultat pour une concentration de 5,5 g/l, sachant que la pression osmotique $\Pi = 4,57$. Donc $P = 11 > 2 \Pi$.

Donc nous concluons que la pression d'alimentation idéale doit être légèrement supérieure à 2 fois la pression osmotique.

Conclusion Générale

Rapport-Grafit.com

Conclusion générale :

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est un processus faisant partie intégrante d'une gamme de produits technologiques récents et performants permettant la résolution de problèmes sociaux, environnementaux, économiques et politiques de nombreux pays confrontés aux pénuries d'eau potable.

Comparativement aux procédés thermiques de dessalement, le coût énergétique permet à cette nouvelle technologie d'être compétitive et performante. Il est vrai que cette technique prometteuse est en passe de devenir une méthode prépondérante pour la production d'eau douce à l'adresse des consommateurs et utilisateurs, une solution séduisante donc pour les décideurs des pays confrontés aux pénuries d'eau : aléas climatiques dont la désertification et la faible pluviométrie sont des contraintes majeures de développement.

Cependant, ce processus technologique connaît certaines limites dont la plus importante est celle relative à la pression qui doit être appliquée pour dépasser la pression osmotique. Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente. Parmi les autres limites de l'osmose inverse il y a lieu de noter le phénomène de colmatage qui rend le procédé très sensible à la qualité des prétraitements.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le processus de dessalement des eaux faiblement saumâtres en utilisant le pilote TE200 du laboratoire TEE du département d'hydraulique.

Selon les résultats trouvés dans notre étude expérimentale et après plusieurs manipulations, nous concluons ce qui suit :

- La conductivité dans le perméat augmente avec le temps quelque soit la pression d'entrée, de sortie ou de la concentration en sel dans l'eau d'alimentation
- Pour une concentration en sel donnée, la conductivité du perméat et du concentrât varie avec la variation de la pression de sortie de la membrane

- Plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane est grande plus la conductivité est meilleure , et plus le taux de rejet est faible
- Plus la différence de part et d'autre de la membrane augmente, plus le volume du perméat diminue
- Plus le temps augmente plus la conductivité du concentrât augmente et diminue quand la différence de pression de part et d'autre de la membrane diminue
- Plus le temps augmente plus le volume du perméat augmente jusqu'à ce qu'il atteigne l'équilibre

Annexe

Annexe**Tableau 1 :** l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=2$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 5 | 5 | 221 | 11,3 | 3722 | 1336 | 189 |
| 3 | 5 | 5 | 221 | 11,7 | 3729 | 1284 | 195 |
| 5 | 5 | 5 | 221 | 12,1 | 3737 | 1236 | 202 |
| 7 | 5 | 5 | 221 | 12,1 | 3741 | 1164 | 202 |
| 9 | 5 | 5 | 221 | 12,5 | 3751 | 1085 | 208 |
| 11 | 5 | 5 | 221 | 12,7 | 3753 | 1085 | 211 |
| 13 | 5 | 5 | 221 | 13,1 | 3758 | 1085 | 218 |
| 15 | 5 | 5 | 221 | 13,1 | 3758 | 1085 | 218 |
| 17 | 5 | 5 | 221 | 13,3 | 3761 | 1085 | 221 |
| 19 | 5 | 5 | 221 | 13,5 | 3763 | 1085 | 224 |
| 21 | 5 | 5 | 221 | 13,5 | 3763 | 1085 | 224 |
| 23 | 5 | 5 | 221 | 13,8 | 3768 | 1085 | 231 |

Tableau 2 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=2$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 5 | 4,5 | 476 | 10,7 | 3655 | 1194 | 179 |
| 3 | 5 | 4,5 | 476 | 14,8 | 3678 | 1188 | 182 |
| 5 | 5 | 4,5 | 476 | 11,1 | 3659 | 1140 | 185 |
| 7 | 5 | 4,5 | 476 | 15,2 | 3682 | 1116 | 189 |
| 9 | 5 | 4,5 | 476 | 11,5 | 3662 | 1100 | 192 |
| 11 | 5 | 4,5 | 476 | 11,7 | 3663 | 1092 | 195 |
| 13 | 5 | 4,5 | 476 | 11,9 | 3665 | 1080 | 198 |
| 15 | 5 | 4,5 | 476 | 12,3 | 3667 | 1078 | 202 |
| 17 | 5 | 4,5 | 476 | 12,3 | 3667 | 1068 | 205 |
| 19 | 5 | 4,5 | 476 | 12,4 | 3668 | 1068 | 208 |
| 21 | 5 | 4,5 | 476 | 12,5 | 3668 | 1068 | 208 |
| 23 | 5 | 4,5 | 476 | 12,9 | 3670 | 1066 | 215 |

Tableau 3 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=2$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 5 | 4 | 639 | 9,6 | 3636 | 1195 | 159 |
| 3 | 5 | 4 | 639 | 10,1 | 3639 | 1154 | 169 |
| 5 | 5 | 4 | 639 | 10,3 | 3641 | 1082 | 172 |
| 7 | 5 | 4 | 639 | 10,5 | 3643 | 1058 | 176 |
| 9 | 5 | 4 | 639 | 10,9 | 3645 | 995 | 182 |
| 11 | 5 | 4 | 639 | 10,9 | 3645 | 984 | 182 |
| 13 | 5 | 4 | 639 | 11,3 | 3647 | 995 | 189 |
| 15 | 5 | 4 | 639 | 11,3 | 3647 | 995 | 189 |
| 17 | 5 | 4 | 639 | 11,5 | 3648 | 995 | 192 |
| 19 | 5 | 4 | 639 | 11,7 | 3649 | 995 | 195 |
| 21 | 5 | 4 | 639 | 11,7 | 3649 | 995 | 195 |
| 23 | 5 | 4 | 639 | 12,1 | 3650 | 992 | 202 |

Tableau 4 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=5 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=2g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 3,5 | 639 | 9,8 | 3639 | 1073 | 163 |
| 3 | 5 | 3,5 | 639 | 10,1 | 3641 | 1063 | 166 |
| 5 | 5 | 3,5 | 639 | 10,1 | 3641 | 1042 | 169 |
| 7 | 5 | 3,5 | 639 | 10,3 | 3642 | 1032 | 172 |
| 9 | 5 | 3,5 | 639 | 10,5 | 3643 | 1013 | 176 |
| 11 | 5 | 3,5 | 639 | 10,7 | 3644 | 1008 | 179 |
| 13 | 5 | 3,5 | 639 | 10,7 | 3644 | 992 | 179 |
| 15 | 5 | 3,5 | 639 | 10,9 | 3645 | 992 | 182 |
| 17 | 5 | 3,5 | 639 | 11,1 | 3646 | 992 | 185 |
| 19 | 5 | 3,5 | 639 | 11,3 | 3647 | 992 | 189 |
| 21 | 5 | 3,5 | 639 | 11,5 | 3648 | 992 | 192 |
| 23 | 5 | 3,5 | 639 | 11,7 | 3649 | 990 | 195 |

Tableau 5 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=5 bars ; ΔP = 0 bar ; C=2.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 5 | 299 | 12,5 | 4112 | 1426 | 208 |
| 3 | 5 | 5 | 299 | 12,7 | 4118 | 1353 | 212 |
| 5 | 5 | 5 | 299 | 13,0 | 4128 | 1168 | 216 |
| 7 | 5 | 5 | 299 | 13,2 | 4135 | 1086 | 220 |
| 9 | 5 | 5 | 299 | 13,4 | 4145 | 931 | 224 |
| 11 | 5 | 5 | 299 | 13,7 | 4147 | 926 | 228 |
| 13 | 5 | 5 | 299 | 13,9 | 4151 | 915 | 232 |
| 15 | 5 | 5 | 299 | 14,2 | 4153 | 915 | 236 |
| 17 | 5 | 5 | 299 | 14,4 | 4156 | 915 | 240 |
| 19 | 5 | 5 | 299 | 14,6 | 4159 | 915 | 244 |
| 21 | 5 | 5 | 299 | 14,9 | 4162 | 915 | 248 |
| 23 | 5 | 5 | 299 | 15,1 | 4165 | 911 | 252 |

Tableau 6 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=5 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=2.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 4,5 | 623 | 12,5 | 4056 | 1252 | 208 |
| 3 | 5 | 4,5 | 623 | 12,7 | 4059 | 1195 | 212 |
| 5 | 5 | 4,5 | 623 | 13,0 | 4062 | 1071 | 216 |
| 7 | 5 | 4,5 | 623 | 13,2 | 4064 | 1030 | 220 |
| 9 | 5 | 4,5 | 623 | 13,4 | 4068 | 934 | 224 |
| 11 | 5 | 4,5 | 623 | 14,2 | 4071 | 930 | 228 |
| 13 | 5 | 4,5 | 623 | 13,9 | 4071 | 917 | 232 |
| 15 | 5 | 4,5 | 623 | 14,2 | 4072 | 917 | 236 |
| 17 | 5 | 4,5 | 623 | 14,4 | 4073 | 917 | 240 |
| 19 | 5 | 4,5 | 623 | 14,6 | 4074 | 917 | 244 |
| 21 | 5 | 4,5 | 623 | 14,9 | 4076 | 917 | 248 |
| 23 | 5 | 4,5 | 623 | 15,1 | 4077 | 914 | 252 |

Tableau 7 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=2.5$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 5 | 4 | 780 | 12,2 | 4048 | 968 | 204 |
| 3 | 5 | 4 | 780 | 12,5 | 4049 | 958 | 208 |
| 5 | 5 | 4 | 780 | 12,7 | 4051 | 919 | 212 |
| 7 | 5 | 4 | 780 | 13,0 | 4052 | 917 | 216 |
| 9 | 5 | 4 | 780 | 13,2 | 4054 | 883 | 220 |
| 11 | 5 | 4 | 780 | 13,4 | 4055 | 877 | 224 |
| 13 | 5 | 4 | 780 | 13,7 | 4056 | 865 | 228 |
| 15 | 5 | 4 | 780 | 13,9 | 4057 | 865 | 232 |
| 17 | 5 | 4 | 780 | 14,2 | 4058 | 865 | 236 |
| 19 | 5 | 4 | 780 | 14,4 | 4059 | 865 | 240 |
| 21 | 5 | 4 | 780 | 14,6 | 4060 | 865 | 244 |
| 23 | 5 | 4 | 780 | 14,9 | 4061 | 859 | 248 |

Tableau 8 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=2.5$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 5 | 3,5 | 780 | 12,5 | 4050 | 941 | 208 |
| 3 | 5 | 3,5 | 780 | 12,7 | 4051 | 937 | 212 |
| 5 | 5 | 3,5 | 780 | 13,0 | 4052 | 901 | 216 |
| 7 | 5 | 3,5 | 780 | 13,2 | 4053 | 896 | 220 |
| 9 | 5 | 3,5 | 780 | 13,4 | 4055 | 872 | 224 |
| 11 | 5 | 3,5 | 780 | 13,9 | 4057 | 868 | 228 |
| 13 | 5 | 3,5 | 780 | 13,9 | 4057 | 855 | 232 |
| 15 | 5 | 3,5 | 780 | 14,2 | 4058 | 855 | 236 |
| 17 | 5 | 3,5 | 780 | 14,4 | 4059 | 855 | 240 |
| 19 | 5 | 3,5 | 780 | 14,6 | 4060 | 855 | 244 |
| 21 | 5 | 3,5 | 780 | 14,9 | 4061 | 855 | 248 |
| 23 | 5 | 3,5 | 780 | 15,1 | 4062 | 849 | 252 |

Tableau 9 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=5$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=3$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 5 | 5 | 289 | 12,5 | 4990 | 1776 | 209 |
| 3 | 5 | 5 | 289 | 12,8 | 5005 | 1508 | 213 |
| 5 | 5 | 5 | 289 | 13,0 | 5010 | 1464 | 217 |
| 7 | 5 | 5 | 289 | 13,2 | 5027 | 1164 | 220 |
| 9 | 5 | 5 | 289 | 13,5 | 5035 | 1064 | 224 |
| 11 | 5 | 5 | 289 | 13,7 | 5039 | 1059 | 228 |
| 13 | 5 | 5 | 289 | 13,9 | 5043 | 1047 | 232 |
| 15 | 5 | 5 | 289 | 14,1 | 5046 | 1047 | 236 |
| 17 | 5 | 5 | 289 | 14,4 | 5049 | 1047 | 239 |
| 19 | 5 | 5 | 289 | 14,6 | 5053 | 1047 | 243 |
| 21 | 5 | 5 | 289 | 14,6 | 5053 | 1047 | 243 |
| 23 | 5 | 5 | 289 | 15,0 | 5059 | 1042 | 251 |

Tableau 10 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}= 5bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 4,5 | 585 | 12,1 | 4923 | 1366 | 201 |
| 3 | 5 | 4,5 | 585 | 12,3 | 4926 | 1314 | 205 |
| 5 | 5 | 4,5 | 585 | 12,5 | 4930 | 1181 | 209 |
| 7 | 5 | 4,5 | 585 | 12,8 | 4932 | 1159 | 213 |
| 9 | 5 | 4,5 | 585 | 13,0 | 4935 | 1089 | 217 |
| 11 | 5 | 4,5 | 585 | 13,2 | 4937 | 1083 | 220 |
| 13 | 5 | 4,5 | 585 | 13,5 | 4939 | 1070 | 224 |
| 15 | 5 | 4,5 | 585 | 13,7 | 4941 | 1070 | 228 |
| 17 | 5 | 4,5 | 585 | 13,9 | 4942 | 1070 | 232 |
| 19 | 5 | 4,5 | 585 | 14,1 | 4944 | 1070 | 236 |
| 21 | 5 | 4,5 | 585 | 14,1 | 4944 | 1070 | 236 |
| 23 | 5 | 4,5 | 585 | 14,6 | 4947 | 1063 | 243 |

Tableau 11 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=5 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 4 | 733 | 11,4 | 4907 | 1234 | 190 |
| 3 | 5 | 4 | 733 | 11,6 | 4908 | 1223 | 194 |
| 5 | 5 | 4 | 733 | 11,9 | 4911 | 1118 | 198 |
| 7 | 5 | 4 | 733 | 12,1 | 4913 | 1101 | 201 |
| 9 | 5 | 4 | 733 | 12,3 | 4915 | 1031 | 205 |
| 11 | 5 | 4 | 733 | 12,5 | 4917 | 1026 | 209 |
| 13 | 5 | 4 | 733 | 12,8 | 4918 | 1012 | 213 |
| 15 | 5 | 4 | 733 | 13,0 | 4919 | 1012 | 217 |
| 17 | 5 | 4 | 733 | 13,2 | 4920 | 1012 | 220 |
| 19 | 5 | 4 | 733 | 13,5 | 4922 | 1012 | 224 |
| 21 | 5 | 4 | 733 | 13,7 | 4923 | 1012 | 228 |
| 23 | 5 | 4 | 733 | 13,9 | 4924 | 1009 | 232 |

Tableau 12 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=5 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 5 | 3,5 | 733 | 11,4 | 4909 | 1131 | 190 |
| 3 | 5 | 3,5 | 733 | 11,6 | 4913 | 935 | 194 |
| 5 | 5 | 3,5 | 733 | 11,9 | 4912 | 1079 | 198 |
| 7 | 5 | 3,5 | 733 | 12,1 | 4914 | 1057 | 201 |
| 9 | 5 | 3,5 | 733 | 12,3 | 4915 | 1039 | 205 |
| 11 | 5 | 3,5 | 733 | 12,5 | 4916 | 1033 | 209 |
| 13 | 5 | 3,5 | 733 | 12,8 | 4918 | 1020 | 213 |
| 15 | 5 | 3,5 | 733 | 12,8 | 4918 | 1020 | 217 |
| 17 | 5 | 3,5 | 733 | 13,2 | 4920 | 1020 | 220 |
| 19 | 5 | 3,5 | 733 | 13,5 | 4922 | 1020 | 224 |
| 21 | 5 | 3,5 | 733 | 13,7 | 4923 | 1020 | 228 |
| 23 | 5 | 3,5 | 733 | 13,9 | 4924 | 1017 | 232 |

Tableau 13 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 0 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 7 | 359 | 16,2 | 5006 | 1552 | 270 |
| 3 | 7 | 7 | 359 | 16,5 | 5020 | 1318 | 274 |
| 5 | 7 | 7 | 359 | 16,8 | 5025 | 1279 | 279 |
| 7 | 7 | 7 | 359 | 17,1 | 5041 | 1018 | 284 |
| 9 | 7 | 7 | 359 | 17,3 | 5049 | 930 | 289 |
| 11 | 7 | 7 | 359 | 17,6 | 5053 | 925 | 294 |
| 13 | 7 | 7 | 359 | 17,9 | 5057 | 915 | 299 |
| 15 | 7 | 7 | 359 | 18,2 | 5061 | 915 | 304 |
| 17 | 7 | 7 | 359 | 18,5 | 5064 | 915 | 309 |
| 19 | 7 | 7 | 359 | 18,8 | 5068 | 915 | 314 |
| 21 | 7 | 7 | 359 | 18,8 | 5068 | 915 | 314 |
| 23 | 7 | 7 | 359 | 19,4 | 5075 | 911 | 323 |

Tableau 14 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 6,5 | 728 | 15,6 | 4930 | 1194 | 260 |
| 3 | 7 | 6,5 | 728 | 15,9 | 4933 | 1148 | 265 |
| 5 | 7 | 6,5 | 728 | 16,2 | 4937 | 1032 | 270 |
| 7 | 7 | 6,5 | 728 | 16,5 | 4939 | 1013 | 274 |
| 9 | 7 | 6,5 | 728 | 16,8 | 4942 | 952 | 279 |
| 11 | 7 | 6,5 | 728 | 17,1 | 4944 | 947 | 284 |
| 13 | 7 | 6,5 | 728 | 17,3 | 4946 | 935 | 289 |
| 15 | 7 | 6,5 | 728 | 17,6 | 4947 | 935 | 294 |
| 17 | 7 | 6,5 | 728 | 17,9 | 4949 | 935 | 299 |
| 19 | 7 | 6,5 | 728 | 18,2 | 4951 | 935 | 304 |
| 21 | 7 | 6,5 | 728 | 18,2 | 4951 | 935 | 304 |
| 23 | 7 | 6,5 | 728 | 18,8 | 4954 | 929 | 314 |

Tableau 15 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 6 | 912 | 14,7 | 4912 | 1079 | 245 |
| 3 | 7 | 6 | 912 | 15,0 | 4913 | 1069 | 250 |
| 5 | 7 | 6 | 912 | 15,3 | 4916 | 977 | 255 |
| 7 | 7 | 6 | 912 | 15,6 | 4918 | 962 | 260 |
| 9 | 7 | 6 | 912 | 15,9 | 4920 | 901 | 265 |
| 11 | 7 | 6 | 912 | 16,2 | 4921 | 896 | 270 |
| 13 | 7 | 6 | 912 | 16,5 | 4923 | 885 | 274 |
| 15 | 7 | 6 | 912 | 16,8 | 4924 | 885 | 279 |
| 17 | 7 | 6 | 912 | 17,1 | 4926 | 885 | 284 |
| 19 | 7 | 6 | 912 | 17,3 | 4927 | 885 | 289 |
| 21 | 7 | 6 | 912 | 17,6 | 4928 | 885 | 294 |
| 23 | 7 | 6 | 912 | 17,9 | 4930 | 882 | 299 |

Tableau 16 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=3\text{g/l}$).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 7 | 5,5 | 912 | 14,7 | 4913 | 988 | 245 |
| 3 | 7 | 5,5 | 912 | 15,0 | 4917 | 817 | 250 |
| 5 | 7 | 5,5 | 912 | 15,3 | 4917 | 943 | 255 |
| 7 | 7 | 5,5 | 912 | 15,6 | 4918 | 923 | 260 |
| 9 | 7 | 5,5 | 912 | 15,9 | 4920 | 908 | 265 |
| 11 | 7 | 5,5 | 912 | 16,2 | 4921 | 903 | 270 |
| 13 | 7 | 5,5 | 912 | 16,5 | 4923 | 891 | 274 |
| 15 | 7 | 5,5 | 912 | 16,8 | 4924 | 891 | 279 |
| 17 | 7 | 5,5 | 912 | 17,1 | 4925 | 891 | 284 |
| 19 | 7 | 5,5 | 912 | 17,3 | 4927 | 891 | 289 |
| 21 | 7 | 5,5 | 912 | 17,6 | 4928 | 891 | 294 |
| 23 | 7 | 5,5 | 912 | 17,9 | 4929 | 889 | 299 |

Tableau 17 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 7 | 7 | 326 | 15,1 | 5645 | 1440 | 252 |
| 3 | 7 | 7 | 326 | 15,4 | 5650 | 1408 | 257 |
| 5 | 7 | 7 | 326 | 15,7 | 5663 | 1218 | 261 |
| 7 | 7 | 7 | 326 | 16,0 | 5670 | 1180 | 266 |
| 9 | 7 | 7 | 326 | 16,2 | 5679 | 1075 | 271 |
| 11 | 7 | 7 | 326 | 16,5 | 5684 | 1063 | 276 |
| 13 | 7 | 7 | 326 | 16,8 | 5690 | 1028 | 280 |
| 15 | 7 | 7 | 326 | 17,1 | 5694 | 1028 | 285 |
| 17 | 7 | 7 | 326 | 17,7 | 5703 | 1028 | 295 |
| 19 | 7 | 7 | 326 | 17,7 | 5703 | 1028 | 295 |
| 21 | 7 | 7 | 326 | 18,0 | 5707 | 1028 | 299 |
| 23 | 7 | 7 | 326 | 18,2 | 5712 | 1020 | 304 |

Tableau 18 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=7$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=3.5\text{g/l}$).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 7 | 6,5 | 595 | 14,3 | 5548 | 1460 | 238 |
| 3 | 7 | 6,5 | 595 | 14,5 | 5552 | 1380 | 242 |
| 5 | 7 | 6,5 | 595 | 14,8 | 5559 | 1190 | 247 |
| 7 | 7 | 6,5 | 595 | 15,1 | 5563 | 1095 | 252 |
| 9 | 7 | 6,5 | 595 | 15,4 | 5569 | 953 | 257 |
| 11 | 7 | 6,5 | 595 | 15,7 | 5572 | 948 | 261 |
| 13 | 7 | 6,5 | 595 | 16,0 | 5574 | 938 | 266 |
| 15 | 7 | 6,5 | 595 | 16,2 | 5577 | 934 | 271 |
| 17 | 7 | 6,5 | 595 | 16,5 | 5579 | 929 | 276 |
| 19 | 7 | 6,5 | 595 | 16,8 | 5582 | 922 | 280 |
| 21 | 7 | 6,5 | 595 | 17,1 | 5584 | 922 | 285 |
| 23 | 7 | 6,5 | 595 | 17,4 | 5586 | 919 | 290 |

Tableau 19 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 6 | 902 | 13,1 | 5513 | 1152 | 219 |
| 3 | 7 | 6 | 902 | 13,4 | 5515 | 1119 | 223 |
| 5 | 7 | 6 | 902 | 13,7 | 5518 | 1029 | 228 |
| 7 | 7 | 6 | 902 | 14,0 | 5520 | 1015 | 233 |
| 9 | 7 | 6 | 902 | 14,3 | 5522 | 962 | 238 |
| 11 | 7 | 6 | 902 | 14,5 | 5524 | 958 | 242 |
| 13 | 7 | 6 | 902 | 14,8 | 5525 | 947 | 247 |
| 15 | 7 | 6 | 902 | 15,1 | 5527 | 943 | 252 |
| 17 | 7 | 6 | 902 | 15,4 | 5528 | 941 | 257 |
| 19 | 7 | 6 | 902 | 15,7 | 5530 | 932 | 261 |
| 21 | 7 | 6 | 902 | 16,0 | 5531 | 931 | 266 |
| 23 | 7 | 6 | 902 | 16,2 | 5533 | 928 | 271 |

Tableau 20 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 5,5 | 902 | 13,1 | 5516 | 998 | 219 |
| 3 | 7 | 5,5 | 902 | 13,3 | 5517 | 989 | 221 |
| 5 | 7 | 5,5 | 902 | 13,4 | 5518 | 970 | 223 |
| 7 | 7 | 5,5 | 902 | 13,4 | 5518 | 965 | 228 |
| 9 | 7 | 5,5 | 902 | 14,0 | 5521 | 951 | 233 |
| 11 | 7 | 5,5 | 902 | 14,3 | 5522 | 946 | 238 |
| 13 | 7 | 5,5 | 902 | 14,5 | 5524 | 936 | 242 |
| 15 | 7 | 5,5 | 902 | 14,8 | 5525 | 936 | 247 |
| 17 | 7 | 5,5 | 902 | 15,1 | 5527 | 936 | 252 |
| 19 | 7 | 5,5 | 902 | 15,4 | 5528 | 936 | 257 |
| 21 | 7 | 5,5 | 902 | 15,7 | 5530 | 936 | 261 |
| 23 | 7 | 5,5 | 902 | 16,0 | 5531 | 933 | 266 |

Tableau 21 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 7 | 323 | 14,9 | 6652 | 1605 | 248 |
| 3 | 7 | 7 | 323 | 15,1 | 6661 | 1521 | 252 |
| 5 | 7 | 7 | 323 | 15,4 | 6676 | 1321 | 257 |
| 7 | 7 | 7 | 323 | 15,7 | 6686 | 1221 | 262 |
| 9 | 7 | 7 | 323 | 16,0 | 6695 | 1155 | 267 |
| 11 | 7 | 7 | 323 | 16,3 | 6701 | 1144 | 272 |
| 13 | 7 | 7 | 323 | 16,6 | 6708 | 1121 | 277 |
| 15 | 7 | 7 | 323 | 16,9 | 6713 | 1121 | 282 |
| 17 | 7 | 7 | 323 | 17,2 | 6719 | 1121 | 287 |
| 19 | 7 | 7 | 323 | 17,5 | 6724 | 1121 | 292 |
| 21 | 7 | 7 | 323 | 17,8 | 6729 | 1121 | 297 |
| 23 | 7 | 7 | 323 | 18,1 | 6735 | 1116 | 302 |

Tableau 22 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 6,5 | 665 | 14,6 | 6529 | 1558 | 243 |
| 3 | 7 | 6,5 | 665 | 14,9 | 6532 | 1508 | 248 |
| 5 | 7 | 6,5 | 665 | 15,1 | 6541 | 1238 | 252 |
| 7 | 7 | 6,5 | 665 | 15,4 | 6544 | 1208 | 257 |
| 9 | 7 | 6,5 | 665 | 15,7 | 6550 | 1048 | 262 |
| 11 | 7 | 6,5 | 665 | 16,0 | 6553 | 1043 | 267 |
| 13 | 7 | 6,5 | 665 | 16,3 | 6555 | 1042 | 272 |
| 15 | 7 | 6,5 | 665 | 16,6 | 6558 | 1035 | 277 |
| 17 | 7 | 6,5 | 665 | 16,9 | 6561 | 1032 | 282 |
| 19 | 7 | 6,5 | 665 | 17,2 | 6563 | 1028 | 287 |
| 21 | 7 | 6,5 | 665 | 17,5 | 6566 | 1025 | 292 |
| 23 | 7 | 6,5 | 665 | 17,8 | 6569 | 1023 | 297 |

Tableau 23 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 6 | 893 | 14,0 | 6495 | 1673 | 233 |
| 3 | 7 | 6 | 893 | 14,3 | 6499 | 1566 | 238 |
| 5 | 7 | 6 | 893 | 14,6 | 6505 | 1266 | 243 |
| 7 | 7 | 6 | 893 | 14,9 | 6509 | 1166 | 248 |
| 9 | 7 | 6 | 893 | 15,1 | 6515 | 933 | 252 |
| 11 | 7 | 6 | 893 | 15,4 | 6517 | 921 | 257 |
| 13 | 7 | 6 | 893 | 15,7 | 6519 | 900 | 262 |
| 15 | 7 | 6 | 893 | 16,0 | 6521 | 900 | 267 |
| 17 | 7 | 6 | 893 | 16,3 | 6523 | 900 | 272 |
| 19 | 7 | 6 | 893 | 16,6 | 6525 | 900 | 277 |
| 21 | 7 | 6 | 893 | 16,9 | 6527 | 900 | 282 |
| 23 | 7 | 6 | 893 | 17,2 | 6529 | 896 | 287 |

Tableau 24 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=7 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 7 | 5,5 | 893 | 13,7 | 6501 | 1206 | 228 |
| 3 | 7 | 5,5 | 893 | 14,0 | 6503 | 1182 | 233 |
| 5 | 7 | 5,5 | 893 | 14,3 | 6507 | 1082 | 238 |
| 7 | 7 | 5,5 | 893 | 14,6 | 6509 | 1072 | 243 |
| 9 | 7 | 5,5 | 893 | 14,9 | 6511 | 1022 | 248 |
| 11 | 7 | 5,5 | 893 | 15,0 | 6512 | 1017 | 249 |
| 13 | 7 | 5,5 | 893 | 15,4 | 6515 | 1006 | 257 |
| 15 | 7 | 5,5 | 893 | 15,4 | 6515 | 1002 | 257 |
| 17 | 7 | 5,5 | 893 | 15,7 | 6517 | 997 | 262 |
| 19 | 7 | 5,5 | 893 | 16,0 | 6519 | 989 | 267 |
| 21 | 7 | 5,5 | 893 | 16,3 | 6521 | 989 | 272 |
| 23 | 7 | 5,5 | 893 | 16,6 | 6523 | 987 | 277 |

Tableau 25 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 9 | 339 | 14,9 | 6640 | 1605 | 248 |
| 3 | 9 | 9 | 339 | 15,1 | 6649 | 1521 | 252 |
| 5 | 9 | 9 | 339 | 15,4 | 6663 | 1321 | 257 |
| 7 | 9 | 9 | 339 | 15,7 | 6673 | 1221 | 262 |
| 9 | 9 | 9 | 339 | 16,0 | 6681 | 1155 | 267 |
| 11 | 9 | 9 | 339 | 16,3 | 6687 | 1144 | 272 |
| 13 | 9 | 9 | 339 | 16,6 | 6693 | 1121 | 277 |
| 15 | 9 | 9 | 339 | 16,9 | 6698 | 1121 | 282 |
| 17 | 9 | 9 | 339 | 17,2 | 6703 | 1121 | 287 |
| 19 | 9 | 9 | 339 | 17,5 | 6709 | 1121 | 292 |
| 21 | 9 | 9 | 339 | 17,8 | 6714 | 1121 | 297 |
| 23 | 9 | 9 | 339 | 18,1 | 6719 | 1116 | 302 |

Tableau 26 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 8,5 | 699 | 14,6 | 6523 | 1558 | 243 |
| 3 | 9 | 8,5 | 699 | 14,9 | 6527 | 1508 | 248 |
| 5 | 9 | 8,5 | 699 | 15,1 | 6535 | 1238 | 252 |
| 7 | 9 | 8,5 | 699 | 15,4 | 6538 | 1208 | 257 |
| 9 | 9 | 8,5 | 699 | 15,7 | 6544 | 1048 | 262 |
| 11 | 9 | 8,5 | 699 | 16,0 | 6546 | 1043 | 267 |
| 13 | 9 | 8,5 | 699 | 16,3 | 6549 | 1042 | 272 |
| 15 | 9 | 8,5 | 699 | 16,6 | 6551 | 1035 | 277 |
| 17 | 9 | 8,5 | 699 | 16,9 | 6554 | 1032 | 282 |
| 19 | 9 | 8,5 | 699 | 17,2 | 6556 | 1028 | 287 |
| 21 | 9 | 8,5 | 699 | 17,5 | 6559 | 1025 | 292 |
| 23 | 9 | 8,5 | 699 | 17,8 | 6561 | 1023 | 297 |

Tableau 27 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 8 | 938 | 14,0 | 6492 | 1673 | 233 |
| 3 | 9 | 8 | 938 | 14,3 | 6495 | 1566 | 238 |
| 5 | 9 | 8 | 938 | 14,6 | 6501 | 1266 | 243 |
| 7 | 9 | 8 | 938 | 14,9 | 6505 | 1166 | 248 |
| 9 | 9 | 8 | 938 | 15,1 | 6510 | 933 | 252 |
| 11 | 9 | 8 | 938 | 15,4 | 6512 | 921 | 257 |
| 13 | 9 | 8 | 938 | 15,7 | 6514 | 900 | 262 |
| 15 | 9 | 8 | 938 | 16,0 | 6516 | 900 | 267 |
| 17 | 9 | 8 | 938 | 16,3 | 6518 | 900 | 272 |
| 19 | 9 | 8 | 938 | 16,6 | 6520 | 900 | 277 |
| 21 | 9 | 8 | 938 | 16,9 | 6521 | 900 | 282 |
| 23 | 9 | 8 | 938 | 17,2 | 6523 | 896 | 287 |

Tableau 28 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 7,5 | 938 | 13,7 | 6497 | 1206 | 228 |
| 3 | 9 | 7,5 | 938 | 14,0 | 6499 | 1182 | 233 |
| 5 | 9 | 7,5 | 938 | 14,3 | 6502 | 1082 | 238 |
| 7 | 9 | 7,5 | 938 | 14,6 | 6504 | 1072 | 243 |
| 9 | 9 | 7,5 | 938 | 14,9 | 6507 | 1022 | 248 |
| 11 | 9 | 7,5 | 938 | 15,0 | 6508 | 1017 | 249 |
| 13 | 9 | 7,5 | 938 | 15,4 | 6511 | 1006 | 257 |
| 15 | 9 | 7,5 | 938 | 15,4 | 6511 | 1002 | 257 |
| 17 | 9 | 7,5 | 938 | 15,7 | 6513 | 997 | 262 |
| 19 | 9 | 7,5 | 938 | 16,0 | 6514 | 989 | 267 |
| 21 | 9 | 7,5 | 938 | 16,3 | 6516 | 989 | 272 |
| 23 | 9 | 7,5 | 938 | 16,6 | 6518 | 987 | 277 |

Tableau 29 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 9 | 371 | 13,1 | 6968 | 1644 | 219 |
| 3 | 9 | 9 | 374 | 14,0 | 6978 | 1678 | 233 |
| 5 | 9 | 9 | 374 | 14,3 | 6993 | 1396 | 238 |
| 7 | 9 | 9 | 374 | 14,6 | 6998 | 1388 | 243 |
| 9 | 9 | 9 | 374 | 14,9 | 7010 | 1212 | 248 |
| 11 | 9 | 9 | 374 | 15,1 | 7015 | 1203 | 252 |
| 13 | 9 | 9 | 374 | 15,4 | 7021 | 1178 | 257 |
| 15 | 9 | 9 | 374 | 15,7 | 7026 | 1170 | 262 |
| 17 | 9 | 9 | 374 | 16,0 | 7031 | 1168 | 267 |
| 19 | 9 | 9 | 374 | 16,3 | 7036 | 1162 | 272 |
| 21 | 9 | 9 | 374 | 16,6 | 7041 | 1162 | 277 |
| 23 | 9 | 9 | 374 | 16,9 | 7047 | 1153 | 282 |

Tableau 30 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 8,5 | 644 | 13,4 | 6894 | 1431 | 223 |
| 3 | 9 | 8,5 | 649 | 14,3 | 6900 | 1424 | 238 |
| 5 | 9 | 8,5 | 649 | 14,6 | 6905 | 1344 | 243 |
| 7 | 9 | 8,5 | 649 | 14,9 | 6908 | 1324 | 248 |
| 9 | 9 | 8,5 | 649 | 15,1 | 6914 | 1158 | 252 |
| 11 | 9 | 8,5 | 649 | 15,4 | 6917 | 1152 | 257 |
| 13 | 9 | 8,5 | 649 | 15,7 | 6920 | 1141 | 262 |
| 15 | 9 | 8,5 | 649 | 16,0 | 6923 | 1137 | 267 |
| 17 | 9 | 8,5 | 649 | 16,3 | 6926 | 1134 | 272 |
| 19 | 9 | 8,5 | 649 | 16,6 | 6929 | 1127 | 277 |
| 21 | 9 | 8,5 | 649 | 16,9 | 6932 | 1124 | 282 |
| 23 | 9 | 8,5 | 649 | 17,2 | 6934 | 1119 | 287 |

Tableau 31 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 8 | 931 | 13,7 | 6862 | 1284 | 228 |
| 3 | 9 | 8 | 938 | 14,4 | 6865 | 1323 | 240 |
| 5 | 9 | 8 | 938 | 14,6 | 6868 | 1213 | 243 |
| 7 | 9 | 8 | 938 | 14,9 | 6870 | 1203 | 248 |
| 9 | 9 | 8 | 938 | 15,1 | 6872 | 1153 | 252 |
| 11 | 9 | 8 | 938 | 15,4 | 6874 | 1141 | 257 |
| 13 | 9 | 8 | 938 | 15,7 | 6877 | 1120 | 262 |
| 15 | 9 | 8 | 938 | 16,0 | 6878 | 1120 | 266 |
| 17 | 9 | 8 | 938 | 16,0 | 6878 | 1120 | 267 |
| 19 | 9 | 8 | 938 | 16,3 | 6880 | 1120 | 272 |
| 21 | 9 | 8 | 938 | 16,6 | 6882 | 1120 | 277 |
| 23 | 9 | 8 | 938 | 16,8 | 6883 | 1117 | 279 |

Tableau 32 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 7,5 | 931 | 13,1 | 6859 | 1247 | 219 |
| 3 | 9 | 7,5 | 938 | 14,0 | 6863 | 1279 | 233 |
| 5 | 9 | 7,5 | 938 | 14,3 | 6866 | 1189 | 238 |
| 7 | 9 | 7,5 | 938 | 14,6 | 6868 | 1179 | 243 |
| 9 | 9 | 7,5 | 938 | 14,9 | 6871 | 1116 | 248 |
| 11 | 9 | 7,5 | 938 | 15,1 | 6873 | 1100 | 252 |
| 13 | 9 | 7,5 | 938 | 15,4 | 6875 | 1099 | 257 |
| 15 | 9 | 7,5 | 938 | 15,7 | 6877 | 1099 | 262 |
| 17 | 9 | 7,5 | 938 | 16,0 | 6879 | 1099 | 267 |
| 19 | 9 | 7,5 | 938 | 16,3 | 6881 | 1099 | 272 |
| 21 | 9 | 7,5 | 938 | 16,6 | 6883 | 1099 | 277 |
| 23 | 9 | 7,5 | 938 | 16,9 | 6884 | 1096 | 282 |

Tableau 33 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 9 | 369 | 12,8 | 7665 | 1754 | 214 |
| 3 | 9 | 9 | 369 | 13,1 | 7673 | 1659 | 218 |
| 5 | 9 | 9 | 369 | 13,4 | 7684 | 1493 | 223 |
| 7 | 9 | 9 | 369 | 13,7 | 7691 | 1444 | 228 |
| 9 | 9 | 9 | 369 | 13,9 | 7702 | 1281 | 232 |
| 11 | 9 | 9 | 369 | 14,2 | 7708 | 1267 | 237 |
| 13 | 9 | 9 | 369 | 14,5 | 7713 | 1248 | 241 |
| 15 | 9 | 9 | 369 | 14,7 | 7718 | 1248 | 246 |
| 17 | 9 | 9 | 369 | 15,0 | 7723 | 1248 | 250 |
| 19 | 9 | 9 | 369 | 15,2 | 7726 | 1248 | 253 |
| 21 | 9 | 9 | 369 | 15,3 | 7728 | 1248 | 255 |
| 23 | 9 | 9 | 369 | 15,6 | 7734 | 1243 | 259 |

Tableau 34 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=5$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 9 | 8,5 | 758 | 12,8 | 7560 | 1639 | 214 |
| 3 | 9 | 8,5 | 758 | 13,1 | 7564 | 1566 | 218 |
| 5 | 9 | 8,5 | 758 | 13,4 | 7568 | 1463 | 223 |
| 7 | 9 | 8,5 | 758 | 13,5 | 7571 | 1355 | 226 |
| 9 | 9 | 8,5 | 758 | 13,7 | 7574 | 1213 | 228 |
| 11 | 9 | 8,5 | 758 | 13,9 | 7577 | 1203 | 232 |
| 13 | 9 | 8,5 | 758 | 14,2 | 7580 | 1181 | 237 |
| 15 | 9 | 8,5 | 758 | 14,5 | 7582 | 1174 | 241 |
| 17 | 9 | 8,5 | 758 | 14,7 | 7585 | 1164 | 246 |
| 19 | 9 | 8,5 | 758 | 15,0 | 7587 | 1164 | 250 |
| 21 | 9 | 8,5 | 758 | 15,3 | 7590 | 1164 | 255 |
| 23 | 9 | 8,5 | 758 | 15,6 | 7592 | 1158 | 259 |

Tableau 35 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=5$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 9 | 8 | 938 | 12,6 | 7541 | 1498 | 209 |
| 3 | 9 | 8 | 938 | 12,8 | 7543 | 1482 | 214 |
| 5 | 9 | 8 | 938 | 13,1 | 7547 | 1335 | 218 |
| 7 | 9 | 8 | 938 | 13,2 | 7548 | 1315 | 220 |
| 9 | 9 | 8 | 938 | 13,4 | 7550 | 1204 | 223 |
| 11 | 9 | 8 | 938 | 13,7 | 7553 | 1188 | 228 |
| 13 | 9 | 8 | 938 | 13,9 | 7555 | 1155 | 232 |
| 15 | 9 | 8 | 938 | 14,2 | 7557 | 1155 | 237 |
| 17 | 9 | 8 | 938 | 14,5 | 7559 | 1155 | 241 |
| 19 | 9 | 8 | 938 | 14,6 | 7560 | 1155 | 244 |
| 21 | 9 | 8 | 938 | 14,7 | 7561 | 1155 | 246 |
| 23 | 9 | 8 | 938 | 15,0 | 7563 | 1149 | 250 |

Tableau 36 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=9$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=5$ g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 9 | 7,5 | 938 | 11,7 | 7528 | 2070 | 196 |
| 3 | 9 | 7,5 | 938 | 11,9 | 7531 | 1923 | 198 |
| 5 | 9 | 7,5 | 938 | 12,0 | 7536 | 1580 | 200 |
| 7 | 9 | 7,5 | 938 | 12,3 | 7539 | 1531 | 205 |
| 9 | 9 | 7,5 | 938 | 12,6 | 7544 | 1253 | 209 |
| 11 | 9 | 7,5 | 938 | 12,8 | 7546 | 1232 | 214 |
| 13 | 9 | 7,5 | 938 | 13,1 | 7549 | 1188 | 218 |
| 15 | 9 | 7,5 | 938 | 13,1 | 7549 | 1183 | 218 |
| 17 | 9 | 7,5 | 938 | 13,4 | 7551 | 1176 | 223 |
| 19 | 9 | 7,5 | 938 | 13,7 | 7553 | 1178 | 228 |
| 21 | 9 | 7,5 | 938 | 13,9 | 7555 | 1172 | 232 |
| 23 | 9 | 7,5 | 938 | 14,2 | 7557 | 1158 | 237 |

Tableau 37 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 9 | 538 | 19,3 | 8145 | 1893 | 322 |
| 3 | 9 | 9 | 538 | 19,7 | 8154 | 1757 | 328 |
| 5 | 9 | 9 | 538 | 19,9 | 8160 | 1667 | 331 |
| 7 | 9 | 9 | 538 | 20,2 | 8169 | 1540 | 337 |
| 9 | 9 | 9 | 538 | 20,4 | 8176 | 1434 | 340 |
| 11 | 9 | 9 | 538 | 20,7 | 8178 | 1471 | 345 |
| 13 | 9 | 9 | 538 | 21,3 | 8183 | 1522 | 354 |
| 15 | 9 | 9 | 538 | 21,2 | 8183 | 1519 | 353 |
| 17 | 9 | 9 | 538 | 21,5 | 8186 | 1540 | 359 |
| 19 | 9 | 9 | 538 | 21,7 | 8188 | 1561 | 362 |
| 21 | 9 | 9 | 538 | 21,8 | 8188 | 1575 | 363 |
| 23 | 9 | 9 | 538 | 22,3 | 8193 | 1609 | 372 |

Tableau 38 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 8,5 | 902 | 20,4 | 8065 | 1639 | 340 |
| 3 | 9 | 8,5 | 902 | 20,5 | 8067 | 1626 | 342 |
| 5 | 9 | 8,5 | 902 | 20,7 | 8068 | 1612 | 345 |
| 7 | 9 | 8,5 | 902 | 20,9 | 8070 | 1600 | 348 |
| 9 | 9 | 8,5 | 902 | 21,0 | 8071 | 1586 | 350 |
| 11 | 9 | 8,5 | 902 | 21,3 | 8073 | 1584 | 354 |
| 13 | 9 | 8,5 | 902 | 21,4 | 8074 | 1578 | 357 |
| 15 | 9 | 8,5 | 902 | 21,6 | 8076 | 1571 | 360 |
| 17 | 9 | 8,5 | 902 | 21,8 | 8077 | 1565 | 363 |
| 19 | 9 | 8,5 | 902 | 21,9 | 8078 | 1558 | 365 |
| 21 | 9 | 8,5 | 902 | 22,1 | 8080 | 1550 | 368 |
| 23 | 9 | 8,5 | 902 | 22,3 | 8081 | 1547 | 372 |

Tableau 39 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 1 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 8 | 902 | 18,5 | 8053 | 1585 | 308 |
| 3 | 9 | 8 | 902 | 18,9 | 8055 | 1580 | 315 |
| 5 | 9 | 8 | 902 | 19,3 | 8059 | 1576 | 322 |
| 7 | 9 | 8 | 902 | 19,4 | 8060 | 1572 | 324 |
| 9 | 9 | 8 | 902 | 19,9 | 8063 | 1568 | 331 |
| 11 | 9 | 8 | 902 | 20,1 | 8065 | 1564 | 335 |
| 13 | 9 | 8 | 902 | 20,4 | 8067 | 1558 | 340 |
| 15 | 9 | 8 | 902 | 20,6 | 8069 | 1554 | 344 |
| 17 | 9 | 8 | 902 | 21,0 | 8072 | 1552 | 350 |
| 19 | 9 | 8 | 902 | 21,3 | 8074 | 1545 | 354 |
| 21 | 9 | 8 | 902 | 21,5 | 8076 | 1542 | 359 |
| 23 | 9 | 8 | 902 | 21,9 | 8078 | 1539 | 364 |

Tableau 40 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=9 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 9 | 7,5 | 902 | 18,1 | 8049 | 1595 | 302 |
| 3 | 9 | 7,5 | 902 | 18,3 | 8051 | 1592 | 305 |
| 5 | 9 | 7,5 | 902 | 18,5 | 8052 | 1587 | 325 |
| 7 | 9 | 7,5 | 902 | 18,8 | 8055 | 1582 | 313 |
| 9 | 9 | 7,5 | 902 | 19,0 | 8057 | 1578 | 317 |
| 11 | 9 | 7,5 | 902 | 19,2 | 8058 | 1566 | 320 |
| 13 | 9 | 7,5 | 902 | 19,4 | 8061 | 1529 | 324 |
| 15 | 9 | 7,5 | 902 | 19,7 | 8062 | 1526 | 328 |
| 17 | 9 | 7,5 | 902 | 19,9 | 8064 | 1507 | 331 |
| 19 | 9 | 7,5 | 902 | 20,1 | 8067 | 1486 | 335 |
| 21 | 9 | 7,5 | 902 | 20,3 | 8068 | 1472 | 339 |
| 23 | 9 | 7,5 | 902 | 20,5 | 8071 | 1454 | 342 |

Tableau 41 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 307 | 16,2 | 5020 | 1792 | 270 |
| 3 | 11 | 11 | 307 | 16,5 | 5039 | 1522 | 274 |
| 5 | 11 | 11 | 307 | 16,8 | 5045 | 1477 | 279 |
| 7 | 11 | 11 | 307 | 17,1 | 5066 | 1175 | 284 |
| 9 | 11 | 11 | 307 | 17,3 | 5076 | 1074 | 289 |
| 11 | 11 | 11 | 307 | 17,6 | 5080 | 1068 | 294 |
| 13 | 11 | 11 | 307 | 17,9 | 5085 | 1056 | 299 |
| 15 | 11 | 11 | 307 | 18,2 | 5089 | 1056 | 304 |
| 17 | 11 | 11 | 307 | 18,5 | 5094 | 1056 | 309 |
| 19 | 11 | 11 | 307 | 18,8 | 5098 | 1056 | 314 |
| 21 | 11 | 11 | 307 | 18,8 | 5098 | 1056 | 314 |
| 23 | 11 | 11 | 307 | 19,4 | 5106 | 1052 | 323 |

Tableau 42 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 623 | 15,6 | 4939 | 1379 | 260 |
| 3 | 11 | 10,5 | 623 | 15,9 | 4942 | 1326 | 265 |
| 5 | 11 | 10,5 | 623 | 16,2 | 4948 | 1192 | 270 |
| 7 | 11 | 10,5 | 623 | 16,5 | 4950 | 1169 | 274 |
| 9 | 11 | 10,5 | 623 | 16,8 | 4954 | 1099 | 279 |
| 11 | 11 | 10,5 | 623 | 17,1 | 4956 | 1093 | 284 |
| 13 | 11 | 10,5 | 623 | 17,3 | 4958 | 1080 | 289 |
| 15 | 11 | 10,5 | 623 | 17,6 | 4960 | 1080 | 294 |
| 17 | 11 | 10,5 | 623 | 17,9 | 4962 | 1080 | 299 |
| 19 | 11 | 10,5 | 623 | 18,2 | 4964 | 1080 | 304 |
| 21 | 11 | 10,5 | 623 | 18,2 | 4964 | 1080 | 304 |
| 23 | 11 | 10,5 | 623 | 18,8 | 4968 | 1073 | 314 |

Tableau 43 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 780 | 14,7 | 4919 | 1245 | 245 |
| 3 | 11 | 10 | 780 | 15,0 | 4921 | 1234 | 250 |
| 5 | 11 | 10 | 780 | 15,3 | 4924 | 1128 | 255 |
| 7 | 11 | 10 | 780 | 15,6 | 4926 | 1111 | 260 |
| 9 | 11 | 10 | 780 | 15,9 | 4929 | 1040 | 265 |
| 11 | 11 | 10 | 780 | 16,2 | 4931 | 1035 | 270 |
| 13 | 11 | 10 | 780 | 16,5 | 4933 | 1021 | 274 |
| 15 | 11 | 10 | 780 | 16,8 | 4934 | 1021 | 279 |
| 17 | 11 | 10 | 780 | 17,1 | 4936 | 1021 | 284 |
| 19 | 11 | 10 | 780 | 17,3 | 4937 | 1021 | 289 |
| 21 | 11 | 10 | 780 | 17,6 | 4939 | 1021 | 294 |
| 23 | 11 | 10 | 780 | 17,9 | 4940 | 1018 | 299 |

Tableau 44 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 780 | 14,7 | 4921 | 1141 | 245 |
| 3 | 11 | 9,5 | 780 | 15,0 | 4927 | 943 | 250 |
| 5 | 11 | 9,5 | 780 | 15,3 | 4925 | 1089 | 255 |
| 7 | 11 | 9,5 | 780 | 15,6 | 4927 | 1066 | 260 |
| 9 | 11 | 9,5 | 780 | 15,9 | 4929 | 1048 | 265 |
| 11 | 11 | 9,5 | 780 | 16,2 | 4931 | 1043 | 270 |
| 13 | 11 | 9,5 | 780 | 16,5 | 4932 | 1029 | 274 |
| 15 | 11 | 9,5 | 780 | 16,8 | 4934 | 1029 | 279 |
| 17 | 11 | 9,5 | 780 | 17,1 | 4935 | 1029 | 284 |
| 19 | 11 | 9,5 | 780 | 17,3 | 4937 | 1029 | 289 |
| 21 | 11 | 9,5 | 780 | 17,6 | 4938 | 1029 | 294 |
| 23 | 11 | 9,5 | 780 | 17,9 | 4940 | 1026 | 299 |

Tableau 45 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=3.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 289 | 15,4 | 5667 | 1607 | 257 |
| 3 | 11 | 11 | 289 | 15,7 | 5673 | 1571 | 262 |
| 5 | 11 | 11 | 289 | 16,0 | 5690 | 1359 | 267 |
| 7 | 11 | 11 | 289 | 16,3 | 5697 | 1317 | 272 |
| 9 | 11 | 11 | 289 | 16,6 | 5709 | 1200 | 276 |
| 11 | 11 | 11 | 289 | 16,9 | 5714 | 1186 | 281 |
| 13 | 11 | 11 | 289 | 17,2 | 5722 | 1147 | 286 |
| 15 | 11 | 11 | 289 | 17,5 | 5727 | 1147 | 291 |
| 17 | 11 | 11 | 289 | 18,0 | 5737 | 1147 | 301 |
| 19 | 11 | 11 | 289 | 18,0 | 5737 | 1147 | 301 |
| 21 | 11 | 11 | 289 | 18,3 | 5741 | 1147 | 306 |
| 23 | 11 | 11 | 289 | 18,6 | 5747 | 1138 | 310 |

Tableau 46 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=3.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 527 | 14,6 | 5558 | 1629 | 243 |
| 3 | 11 | 10,5 | 527 | 14,8 | 5563 | 1540 | 247 |
| 5 | 11 | 10,5 | 527 | 15,1 | 5572 | 1328 | 252 |
| 7 | 11 | 10,5 | 527 | 15,4 | 5577 | 1222 | 257 |
| 9 | 11 | 10,5 | 527 | 15,7 | 5585 | 1063 | 262 |
| 11 | 11 | 10,5 | 527 | 16,0 | 5588 | 1058 | 267 |
| 13 | 11 | 10,5 | 527 | 16,3 | 5591 | 1046 | 272 |
| 15 | 11 | 10,5 | 527 | 16,6 | 5593 | 1042 | 276 |
| 17 | 11 | 10,5 | 527 | 16,9 | 5596 | 1037 | 281 |
| 19 | 11 | 10,5 | 527 | 17,2 | 5599 | 1028 | 286 |
| 21 | 11 | 10,5 | 527 | 17,5 | 5602 | 1028 | 291 |
| 23 | 11 | 10,5 | 527 | 17,8 | 5604 | 1025 | 296 |

Tableau 47 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=3.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 799 | 13,4 | 5521 | 1286 | 223 |
| 3 | 11 | 10 | 799 | 13,7 | 5523 | 1249 | 228 |
| 5 | 11 | 10 | 799 | 14,0 | 5527 | 1148 | 233 |
| 7 | 11 | 10 | 799 | 14,3 | 5528 | 1132 | 238 |
| 9 | 11 | 10 | 799 | 14,6 | 5531 | 1074 | 243 |
| 11 | 11 | 10 | 799 | 14,8 | 5533 | 1068 | 247 |
| 13 | 11 | 10 | 799 | 15,1 | 5535 | 1057 | 252 |
| 15 | 11 | 10 | 799 | 15,4 | 5537 | 1053 | 257 |
| 17 | 11 | 10 | 799 | 15,7 | 5538 | 1050 | 262 |
| 19 | 11 | 10 | 799 | 16,0 | 5540 | 1040 | 267 |
| 21 | 11 | 10 | 799 | 16,3 | 5542 | 1039 | 272 |
| 23 | 11 | 10 | 799 | 16,6 | 5544 | 1036 | 276 |

Tableau 48 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=10 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=3.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 799 | 13,4 | 5524 | 1114 | 223 |
| 3 | 11 | 9,5 | 799 | 13,6 | 5525 | 1103 | 226 |
| 5 | 11 | 9,5 | 799 | 13,7 | 5526 | 1082 | 228 |
| 7 | 11 | 9,5 | 799 | 14,0 | 5528 | 1077 | 233 |
| 9 | 11 | 9,5 | 799 | 14,3 | 5530 | 1061 | 238 |
| 11 | 11 | 9,5 | 799 | 14,6 | 5532 | 1056 | 243 |
| 13 | 11 | 9,5 | 799 | 14,8 | 5533 | 1044 | 247 |
| 15 | 11 | 9,5 | 799 | 15,1 | 5535 | 1044 | 252 |
| 17 | 11 | 9,5 | 799 | 15,4 | 5537 | 1044 | 257 |
| 19 | 11 | 9,5 | 799 | 15,7 | 5538 | 1044 | 262 |
| 21 | 11 | 9,5 | 799 | 16,0 | 5540 | 1044 | 267 |
| 23 | 11 | 9,5 | 799 | 16,3 | 5542 | 1041 | 272 |

Tableau 49 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 296 | 14,5 | 6666 | 1637 | 241 |
| 3 | 11 | 11 | 296 | 14,8 | 6676 | 1551 | 246 |
| 5 | 11 | 11 | 296 | 15,1 | 6692 | 1347 | 251 |
| 7 | 11 | 11 | 296 | 15,3 | 6703 | 1245 | 256 |
| 9 | 11 | 11 | 296 | 15,6 | 6712 | 1178 | 261 |
| 11 | 11 | 11 | 296 | 15,9 | 6719 | 1167 | 265 |
| 13 | 11 | 11 | 296 | 16,2 | 6726 | 1143 | 270 |
| 15 | 11 | 11 | 296 | 16,5 | 6732 | 1143 | 275 |
| 17 | 11 | 11 | 296 | 16,8 | 6738 | 1143 | 280 |
| 19 | 11 | 11 | 296 | 17,1 | 6743 | 1143 | 285 |
| 21 | 11 | 11 | 296 | 17,4 | 6749 | 1143 | 290 |
| 23 | 11 | 11 | 296 | 17,7 | 6755 | 1138 | 294 |

Tableau 50 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 609 | 14,2 | 6535 | 1589 | 236 |
| 3 | 11 | 10,5 | 609 | 14,5 | 6539 | 1538 | 241 |
| 5 | 11 | 10,5 | 609 | 14,8 | 6548 | 1263 | 246 |
| 7 | 11 | 10,5 | 609 | 15,1 | 6551 | 1232 | 251 |
| 9 | 11 | 10,5 | 609 | 15,3 | 6558 | 1069 | 256 |
| 11 | 11 | 10,5 | 609 | 15,6 | 6561 | 1064 | 261 |
| 13 | 11 | 10,5 | 609 | 15,9 | 6564 | 1063 | 265 |
| 15 | 11 | 10,5 | 609 | 16,2 | 6567 | 1056 | 270 |
| 17 | 11 | 10,5 | 609 | 16,5 | 6569 | 1053 | 275 |
| 19 | 11 | 10,5 | 609 | 16,8 | 6572 | 1049 | 280 |
| 21 | 11 | 10,5 | 609 | 17,1 | 6575 | 1046 | 285 |
| 23 | 11 | 10,5 | 609 | 17,4 | 6578 | 1043 | 290 |

Tableau 51 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 818 | 13,6 | 6500 | 1706 | 227 |
| 3 | 11 | 10 | 818 | 13,9 | 6503 | 1597 | 232 |
| 5 | 11 | 10 | 818 | 14,2 | 6511 | 1291 | 236 |
| 7 | 11 | 10 | 818 | 14,5 | 6514 | 1189 | 241 |
| 9 | 11 | 10 | 818 | 14,8 | 6521 | 952 | 246 |
| 11 | 11 | 10 | 818 | 15,1 | 6523 | 939 | 251 |
| 13 | 11 | 10 | 818 | 15,3 | 6525 | 918 | 256 |
| 15 | 11 | 10 | 818 | 15,6 | 6527 | 918 | 261 |
| 17 | 11 | 10 | 818 | 15,9 | 6529 | 918 | 265 |
| 19 | 11 | 10 | 818 | 16,2 | 6531 | 918 | 270 |
| 21 | 11 | 10 | 818 | 16,5 | 6533 | 918 | 275 |
| 23 | 11 | 10 | 818 | 16,8 | 6535 | 914 | 280 |

Tableau 52 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 818 | 13,3 | 6506 | 1230 | 222 |
| 3 | 11 | 9,5 | 818 | 13,6 | 6508 | 1206 | 227 |
| 5 | 11 | 9,5 | 818 | 13,9 | 6512 | 1104 | 232 |
| 7 | 11 | 9,5 | 818 | 14,2 | 6514 | 1093 | 236 |
| 9 | 11 | 9,5 | 818 | 14,5 | 6517 | 1042 | 241 |
| 11 | 11 | 9,5 | 818 | 14,6 | 6518 | 1037 | 243 |
| 13 | 11 | 9,5 | 818 | 15,1 | 6521 | 1026 | 251 |
| 15 | 11 | 9,5 | 818 | 15,1 | 6521 | 1022 | 251 |
| 17 | 11 | 9,5 | 818 | 15,3 | 6523 | 1017 | 256 |
| 19 | 11 | 9,5 | 818 | 15,6 | 6525 | 1009 | 261 |
| 21 | 11 | 9,5 | 818 | 15,9 | 6527 | 1009 | 265 |
| 23 | 11 | 9,5 | 818 | 16,2 | 6529 | 1007 | 270 |

Tableau 53 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=10 bars ; ΔP = 0 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 330 | 13,2 | 6993 | 1678 | 221 |
| 3 | 11 | 11 | 330 | 13,5 | 7000 | 1644 | 226 |
| 5 | 11 | 11 | 330 | 13,8 | 7017 | 1368 | 230 |
| 7 | 11 | 11 | 330 | 14,1 | 7022 | 1360 | 235 |
| 9 | 11 | 11 | 330 | 14,4 | 7035 | 1188 | 240 |
| 11 | 11 | 11 | 330 | 14,7 | 7041 | 1179 | 245 |
| 13 | 11 | 11 | 330 | 15,0 | 7047 | 1154 | 250 |
| 15 | 11 | 11 | 330 | 15,3 | 7053 | 1147 | 254 |
| 17 | 11 | 11 | 330 | 15,6 | 7059 | 1145 | 259 |
| 19 | 11 | 11 | 330 | 15,8 | 7064 | 1139 | 264 |
| 21 | 11 | 11 | 330 | 16,1 | 7070 | 1139 | 269 |
| 23 | 11 | 11 | 330 | 16,4 | 7076 | 1130 | 274 |

Tableau 54 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 572 | 13,5 | 6909 | 1461 | 226 |
| 3 | 11 | 10,5 | 572 | 13,8 | 6913 | 1396 | 230 |
| 5 | 11 | 10,5 | 572 | 14,1 | 6918 | 1317 | 235 |
| 7 | 11 | 10,5 | 572 | 14,4 | 6922 | 1298 | 240 |
| 9 | 11 | 10,5 | 572 | 14,7 | 6929 | 1135 | 245 |
| 11 | 11 | 10,5 | 572 | 15,0 | 6932 | 1129 | 250 |
| 13 | 11 | 10,5 | 572 | 15,3 | 6935 | 1118 | 254 |
| 15 | 11 | 10,5 | 572 | 15,6 | 6938 | 1114 | 259 |
| 17 | 11 | 10,5 | 572 | 15,8 | 6941 | 1111 | 264 |
| 19 | 11 | 10,5 | 572 | 16,1 | 6945 | 1104 | 269 |
| 21 | 11 | 10,5 | 572 | 16,4 | 6948 | 1102 | 274 |
| 23 | 11 | 10,5 | 572 | 16,7 | 6951 | 1097 | 278 |

Tableau 55 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 827 | 13,8 | 6873 | 1310 | 230 |
| 3 | 11 | 10 | 827 | 13,9 | 6874 | 1297 | 232 |
| 5 | 11 | 10 | 827 | 14,1 | 6877 | 1189 | 235 |
| 7 | 11 | 10 | 827 | 14,4 | 6879 | 1179 | 240 |
| 9 | 11 | 10 | 827 | 14,7 | 6882 | 1130 | 245 |
| 11 | 11 | 10 | 827 | 15,0 | 6884 | 1118 | 250 |
| 13 | 11 | 10 | 827 | 15,3 | 6887 | 1098 | 254 |
| 15 | 11 | 10 | 827 | 15,5 | 6888 | 1098 | 258 |
| 17 | 11 | 10 | 827 | 15,6 | 6889 | 1098 | 259 |
| 19 | 11 | 10 | 827 | 15,8 | 6891 | 1098 | 264 |
| 21 | 11 | 10 | 827 | 16,1 | 6893 | 1098 | 269 |
| 23 | 11 | 10 | 827 | 16,2 | 6894 | 1095 | 271 |

Tableau 56 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=4.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 827 | 13,2 | 6870 | 1273 | 221 |
| 3 | 11 | 9,5 | 827 | 13,5 | 6872 | 1253 | 226 |
| 5 | 11 | 9,5 | 827 | 13,8 | 6875 | 1165 | 230 |
| 7 | 11 | 9,5 | 827 | 14,1 | 6878 | 1155 | 235 |
| 9 | 11 | 9,5 | 827 | 14,4 | 6881 | 1094 | 240 |
| 11 | 11 | 9,5 | 827 | 14,7 | 6883 | 1078 | 245 |
| 13 | 11 | 9,5 | 827 | 15,0 | 6885 | 1077 | 250 |
| 15 | 11 | 9,5 | 827 | 15,3 | 6887 | 1077 | 254 |
| 17 | 11 | 9,5 | 827 | 15,6 | 6889 | 1077 | 259 |
| 19 | 11 | 9,5 | 827 | 15,8 | 6891 | 1077 | 264 |
| 21 | 11 | 9,5 | 827 | 16,1 | 6893 | 1077 | 269 |
| 23 | 11 | 9,5 | 827 | 16,4 | 6896 | 1074 | 274 |

Tableau 57 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=10 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 333 | 13,0 | 7696 | 1683 | 217 |
| 3 | 11 | 11 | 333 | 13,3 | 7705 | 1591 | 222 |
| 5 | 11 | 11 | 333 | 13,6 | 7717 | 1432 | 227 |
| 7 | 11 | 11 | 333 | 13,9 | 7724 | 1385 | 231 |
| 9 | 11 | 11 | 333 | 14,2 | 7737 | 1229 | 236 |
| 11 | 11 | 11 | 333 | 14,4 | 7743 | 1215 | 241 |
| 13 | 11 | 11 | 333 | 14,7 | 7749 | 1197 | 245 |
| 15 | 11 | 11 | 333 | 15,0 | 7755 | 1197 | 250 |
| 17 | 11 | 11 | 333 | 15,3 | 7761 | 1197 | 254 |
| 19 | 11 | 11 | 333 | 15,4 | 7764 | 1197 | 257 |
| 21 | 11 | 11 | 333 | 15,5 | 7767 | 1197 | 259 |
| 23 | 11 | 11 | 333 | 15,8 | 7773 | 1192 | 264 |

Tableau 58 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 684 | 13,0 | 7574 | 1572 | 217 |
| 3 | 11 | 10,5 | 684 | 13,3 | 7578 | 1502 | 222 |
| 5 | 11 | 10,5 | 684 | 13,6 | 7583 | 1403 | 227 |
| 7 | 11 | 10,5 | 684 | 13,8 | 7587 | 1300 | 229 |
| 9 | 11 | 10,5 | 684 | 13,9 | 7590 | 1164 | 231 |
| 11 | 11 | 10,5 | 684 | 14,2 | 7593 | 1154 | 236 |
| 13 | 11 | 10,5 | 684 | 14,4 | 7596 | 1133 | 241 |
| 15 | 11 | 10,5 | 684 | 14,7 | 7599 | 1126 | 245 |
| 17 | 11 | 10,5 | 684 | 15,0 | 7602 | 1117 | 250 |
| 19 | 11 | 10,5 | 684 | 15,3 | 7605 | 1117 | 254 |
| 21 | 11 | 10,5 | 684 | 15,5 | 7607 | 1117 | 259 |
| 23 | 11 | 10,5 | 684 | 15,8 | 7610 | 1111 | 264 |

Tableau 59 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 846 | 12,8 | 7552 | 1437 | 213 |
| 3 | 11 | 10 | 846 | 13,0 | 7555 | 1421 | 217 |
| 5 | 11 | 10 | 846 | 13,3 | 7559 | 1280 | 222 |
| 7 | 11 | 10 | 846 | 13,4 | 7560 | 1261 | 224 |
| 9 | 11 | 10 | 846 | 13,6 | 7563 | 1155 | 227 |
| 11 | 11 | 10 | 846 | 13,9 | 7565 | 1139 | 231 |
| 13 | 11 | 10 | 846 | 14,2 | 7568 | 1108 | 236 |
| 15 | 11 | 10 | 846 | 14,4 | 7570 | 1108 | 241 |
| 17 | 11 | 10 | 846 | 14,7 | 7572 | 1108 | 245 |
| 19 | 11 | 10 | 846 | 14,9 | 7574 | 1108 | 248 |
| 21 | 11 | 10 | 846 | 15,0 | 7575 | 1108 | 250 |
| 23 | 11 | 10 | 846 | 15,3 | 7577 | 1102 | 254 |

Tableau 60 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 846 | 11,9 | 7541 | 1828 | 199 |
| 3 | 11 | 9,5 | 846 | 12,1 | 7544 | 1687 | 202 |
| 5 | 11 | 9,5 | 846 | 12,2 | 7549 | 1358 | 204 |
| 7 | 11 | 9,5 | 846 | 12,5 | 7552 | 1311 | 208 |
| 9 | 11 | 9,5 | 846 | 12,8 | 7558 | 1045 | 213 |
| 11 | 11 | 9,5 | 846 | 13,0 | 7561 | 1025 | 217 |
| 13 | 11 | 9,5 | 846 | 13,3 | 7564 | 982 | 222 |
| 15 | 11 | 9,5 | 846 | 13,3 | 7564 | 978 | 222 |
| 17 | 11 | 9,5 | 846 | 13,6 | 7566 | 971 | 227 |
| 19 | 11 | 9,5 | 846 | 13,9 | 7568 | 973 | 231 |
| 21 | 11 | 9,5 | 846 | 14,2 | 7570 | 967 | 236 |
| 23 | 11 | 9,5 | 846 | 14,4 | 7573 | 954 | 241 |

Tableau 61 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 524 | 19,5 | 8163 | 1643 | 326 |
| 3 | 11 | 11 | 524 | 19,9 | 8172 | 1525 | 331 |
| 5 | 11 | 11 | 524 | 20,1 | 8178 | 1447 | 335 |
| 7 | 11 | 11 | 524 | 20,4 | 8187 | 1337 | 340 |
| 9 | 11 | 11 | 524 | 20,6 | 8194 | 1245 | 344 |
| 11 | 11 | 11 | 524 | 20,9 | 8197 | 1277 | 349 |
| 13 | 11 | 11 | 524 | 21,5 | 8202 | 1321 | 358 |
| 15 | 11 | 11 | 524 | 21,4 | 8202 | 1318 | 357 |
| 17 | 11 | 11 | 524 | 21,8 | 8205 | 1337 | 363 |
| 19 | 11 | 11 | 524 | 22,0 | 8208 | 1355 | 366 |
| 21 | 11 | 11 | 524 | 22,0 | 8208 | 1367 | 367 |
| 23 | 11 | 11 | 524 | 22,5 | 8213 | 1397 | 376 |

Tableau 62 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 879 | 20,6 | 8076 | 1422 | 344 |
| 3 | 11 | 10,5 | 879 | 20,8 | 8077 | 1411 | 346 |
| 5 | 11 | 10,5 | 879 | 20,9 | 8079 | 1399 | 349 |
| 7 | 11 | 10,5 | 879 | 21,1 | 8081 | 1388 | 352 |
| 9 | 11 | 10,5 | 879 | 21,2 | 8082 | 1376 | 353 |
| 11 | 11 | 10,5 | 879 | 21,5 | 8084 | 1374 | 358 |
| 13 | 11 | 10,5 | 879 | 21,7 | 8085 | 1370 | 361 |
| 15 | 11 | 10,5 | 879 | 21,8 | 8087 | 1363 | 364 |
| 17 | 11 | 10,5 | 879 | 22,0 | 8089 | 1358 | 367 |
| 19 | 11 | 10,5 | 879 | 22,2 | 8090 | 1352 | 369 |
| 21 | 11 | 10,5 | 879 | 22,3 | 8091 | 1345 | 372 |
| 23 | 11 | 10,5 | 879 | 22,5 | 8093 | 1342 | 376 |

Tableau 63 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 879 | 18,7 | 8062 | 1375 | 312 |
| 3 | 11 | 10 | 879 | 19,1 | 8065 | 1372 | 318 |
| 5 | 11 | 10 | 879 | 19,5 | 8069 | 1368 | 326 |
| 7 | 11 | 10 | 879 | 19,6 | 8070 | 1364 | 327 |
| 9 | 11 | 10 | 879 | 20,1 | 8073 | 1361 | 335 |
| 11 | 11 | 10 | 879 | 20,3 | 8075 | 1357 | 339 |
| 13 | 11 | 10 | 879 | 20,6 | 8078 | 1352 | 344 |
| 15 | 11 | 10 | 879 | 20,9 | 8080 | 1349 | 348 |
| 17 | 11 | 10 | 879 | 21,2 | 8083 | 1347 | 353 |
| 19 | 11 | 10 | 879 | 21,5 | 8085 | 1341 | 358 |
| 21 | 11 | 10 | 879 | 21,8 | 8087 | 1339 | 363 |
| 23 | 11 | 10 | 879 | 22,1 | 8090 | 1336 | 368 |

Tableau 64 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=5.5g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 879 | 18,3 | 8059 | 1385 | 305 |
| 3 | 11 | 9,5 | 879 | 18,5 | 8061 | 1382 | 309 |
| 5 | 11 | 9,5 | 879 | 18,7 | 8062 | 1377 | 328 |
| 7 | 11 | 9,5 | 879 | 19,0 | 8064 | 1373 | 316 |
| 9 | 11 | 9,5 | 879 | 19,3 | 8067 | 1370 | 321 |
| 11 | 11 | 9,5 | 879 | 19,4 | 8068 | 1359 | 324 |
| 13 | 11 | 9,5 | 879 | 19,6 | 8071 | 1327 | 327 |
| 15 | 11 | 9,5 | 879 | 19,9 | 8073 | 1325 | 331 |
| 17 | 11 | 9,5 | 879 | 20,1 | 8075 | 1308 | 335 |
| 19 | 11 | 9,5 | 879 | 20,3 | 8077 | 1290 | 339 |
| 21 | 11 | 9,5 | 879 | 20,5 | 8079 | 1278 | 342 |
| 23 | 11 | 9,5 | 879 | 20,8 | 8081 | 1262 | 346 |

Tableau 65 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=6g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 437 | 19,6 | 9147 | 1625 | 327 |
| 3 | 11 | 11 | 437 | 19,9 | 9155 | 1580 | 331 |
| 5 | 11 | 11 | 437 | 20,1 | 9161 | 1548 | 336 |
| 7 | 11 | 11 | 437 | 20,3 | 9166 | 1501 | 339 |
| 9 | 11 | 11 | 437 | 20,4 | 9171 | 1452 | 340 |
| 11 | 11 | 11 | 437 | 20,9 | 9179 | 1445 | 348 |
| 13 | 11 | 11 | 437 | 21,3 | 9187 | 1437 | 354 |
| 15 | 11 | 11 | 437 | 21,5 | 9193 | 1405 | 358 |
| 17 | 11 | 11 | 437 | 21,8 | 9200 | 1378 | 363 |
| 19 | 11 | 11 | 437 | 21,9 | 9203 | 1365 | 365 |
| 21 | 11 | 11 | 437 | 22,1 | 9208 | 1343 | 368 |
| 23 | 11 | 11 | 437 | 22,4 | 9215 | 1324 | 374 |

Tableau 66 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=6g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 855 | 18,5 | 8972 | 1458 | 308 |
| 3 | 11 | 10,5 | 855 | 18,8 | 8975 | 1454 | 313 |
| 5 | 11 | 10,5 | 855 | 19,0 | 8978 | 1449 | 317 |
| 7 | 11 | 10,5 | 855 | 19,4 | 8981 | 1447 | 324 |
| 9 | 11 | 10,5 | 855 | 20,1 | 8988 | 1442 | 336 |
| 11 | 11 | 10,5 | 855 | 20,3 | 8990 | 1428 | 339 |
| 13 | 11 | 10,5 | 855 | 20,7 | 8993 | 1411 | 345 |
| 15 | 11 | 10,5 | 855 | 21,0 | 8996 | 1403 | 350 |
| 17 | 11 | 10,5 | 855 | 21,5 | 9001 | 1402 | 359 |
| 19 | 11 | 10,5 | 855 | 21,6 | 9003 | 1388 | 361 |
| 21 | 11 | 10,5 | 855 | 21,8 | 9004 | 1380 | 363 |
| 23 | 11 | 10,5 | 855 | 22,4 | 9010 | 1369 | 373 |

Tableau 67 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=6$ g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 855 | 19,0 | 8975 | 1544 | 317 |
| 3 | 11 | 10 | 855 | 19,2 | 8977 | 1507 | 319 |
| 5 | 11 | 10 | 855 | 19,3 | 8980 | 1450 | 322 |
| 7 | 11 | 10 | 855 | 19,7 | 8984 | 1413 | 328 |
| 9 | 11 | 10 | 855 | 19,9 | 8987 | 1372 | 331 |
| 11 | 11 | 10 | 855 | 20,1 | 8990 | 1352 | 336 |
| 13 | 11 | 10 | 855 | 20,3 | 8992 | 1325 | 338 |
| 15 | 11 | 10 | 855 | 20,6 | 8995 | 1319 | 344 |
| 17 | 11 | 10 | 855 | 21,0 | 8999 | 1309 | 350 |
| 19 | 11 | 10 | 855 | 21,2 | 9001 | 1293 | 353 |
| 21 | 11 | 10 | 855 | 21,5 | 9004 | 1278 | 359 |
| 23 | 11 | 10 | 855 | 21,6 | 9006 | 1271 | 361 |

Tableau 68 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=6$ g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 855 | 18,8 | 8975 | 1459 | 313 |
| 3 | 11 | 9,5 | 855 | 19,3 | 8980 | 1435 | 321 |
| 5 | 11 | 9,5 | 855 | 19,6 | 8983 | 1426 | 327 |
| 7 | 11 | 9,5 | 855 | 19,8 | 8985 | 1393 | 329 |
| 9 | 11 | 9,5 | 855 | 20,1 | 8990 | 1359 | 336 |
| 11 | 11 | 9,5 | 855 | 20,3 | 8992 | 1342 | 339 |
| 13 | 11 | 9,5 | 855 | 21,0 | 8998 | 1325 | 350 |
| 15 | 11 | 9,5 | 855 | 21,0 | 8999 | 1318 | 351 |
| 17 | 11 | 9,5 | 855 | 21,3 | 9001 | 1308 | 354 |
| 19 | 11 | 9,5 | 855 | 21,4 | 9003 | 1292 | 357 |
| 21 | 11 | 9,5 | 855 | 21,5 | 9005 | 1240 | 359 |
| 23 | 11 | 9,5 | 855 | 22,0 | 9009 | 1277 | 366 |

Tableau 69 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P = 0$ bar ; $C=6.5$ g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 659 | 18,3 | 9560 | 1624 | 345 |
| 3 | 11 | 11 | 659 | 18,6 | 9564 | 1620 | 351 |
| 5 | 11 | 11 | 659 | 18,8 | 9567 | 1616 | 355 |
| 7 | 11 | 11 | 659 | 19,1 | 9571 | 1614 | 361 |
| 9 | 11 | 11 | 659 | 19,6 | 9577 | 1607 | 370 |
| 11 | 11 | 11 | 659 | 19,6 | 9579 | 1575 | 371 |
| 13 | 11 | 11 | 659 | 19,8 | 9582 | 1543 | 375 |
| 15 | 11 | 11 | 659 | 20,0 | 9585 | 1526 | 379 |
| 17 | 11 | 11 | 659 | 20,4 | 9590 | 1496 | 385 |
| 19 | 11 | 11 | 659 | 20,5 | 9593 | 1467 | 388 |
| 21 | 11 | 11 | 659 | 20,6 | 9595 | 1445 | 390 |
| 23 | 11 | 11 | 659 | 21,0 | 9601 | 1418 | 397 |

Tableau 70 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P = 0.5$ bar ; $C=6.5$ g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 837 | 18,5 | 9515 | 1600 | 350 |
| 3 | 11 | 10,5 | 837 | 18,7 | 9518 | 1561 | 353 |
| 5 | 11 | 10,5 | 837 | 18,8 | 9520 | 1522 | 355 |
| 7 | 11 | 10,5 | 837 | 19,2 | 9525 | 1483 | 363 |
| 9 | 11 | 10,5 | 837 | 19,6 | 9529 | 1437 | 370 |
| 11 | 11 | 10,5 | 837 | 19,6 | 9530 | 1424 | 371 |
| 13 | 11 | 10,5 | 837 | 20,1 | 9535 | 1404 | 380 |
| 15 | 11 | 10,5 | 837 | 20,3 | 9537 | 1400 | 383 |
| 17 | 11 | 10,5 | 837 | 20,4 | 9538 | 1395 | 385 |
| 19 | 11 | 10,5 | 837 | 20,6 | 9541 | 1375 | 389 |
| 21 | 11 | 10,5 | 837 | 20,6 | 9541 | 1372 | 390 |
| 23 | 11 | 10,5 | 837 | 21,0 | 9546 | 1359 | 398 |

Tableau 71 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P = 1$ bar ; $C=6.5$ g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 837 | 18,8 | 9521 | 1449 | 355 |
| 3 | 11 | 10 | 837 | 18,9 | 9523 | 1439 | 358 |
| 5 | 11 | 10 | 837 | 19,1 | 9524 | 1427 | 360 |
| 7 | 11 | 10 | 837 | 19,4 | 9528 | 1413 | 367 |
| 9 | 11 | 10 | 837 | 19,6 | 9530 | 1404 | 370 |
| 11 | 11 | 10 | 837 | 19,8 | 9533 | 1393 | 375 |
| 13 | 11 | 10 | 837 | 20,1 | 9536 | 1385 | 381 |
| 15 | 11 | 10 | 837 | 20,4 | 9538 | 1383 | 385 |
| 17 | 11 | 10 | 837 | 20,6 | 9541 | 1378 | 390 |
| 19 | 11 | 10 | 837 | 20,8 | 9543 | 1372 | 393 |
| 21 | 11 | 10 | 837 | 20,9 | 9544 | 1368 | 395 |
| 23 | 11 | 10 | 837 | 21,2 | 9547 | 1363 | 401 |

Tableau 72 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement ($P_{\text{entrée}}=11$ bars ; $\Delta P = 1.5$ bar ; $C=6.5$ g/l)

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât ($\mu\text{s/cm}$) | Conductivité perméat ($\mu\text{s/cm}$) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--|---|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 837 | 18,0 | 9514 | 1434 | 341 |
| 3 | 11 | 9,5 | 837 | 18,2 | 9516 | 1426 | 343 |
| 5 | 11 | 9,5 | 837 | 18,3 | 9517 | 1418 | 345 |
| 7 | 11 | 9,5 | 837 | 18,8 | 9522 | 1409 | 355 |
| 9 | 11 | 9,5 | 837 | 19,1 | 9525 | 1401 | 360 |
| 11 | 11 | 9,5 | 837 | 19,4 | 9529 | 1390 | 367 |
| 13 | 11 | 9,5 | 837 | 19,8 | 9534 | 1368 | 375 |
| 15 | 11 | 9,5 | 837 | 20,0 | 9536 | 1353 | 379 |
| 17 | 11 | 9,5 | 837 | 20,6 | 9542 | 1336 | 390 |
| 19 | 11 | 9,5 | 837 | 20,8 | 9544 | 1320 | 393 |
| 21 | 11 | 9,5 | 837 | 20,9 | 9546 | 1303 | 395 |
| 23 | 11 | 9,5 | 837 | 21,3 | 9550 | 1289 | 403 |

Tableau 73 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0 bar ; C=7g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 11 | 400 | 17,4 | 10503 | 2389 | 291 |
| 3 | 11 | 11 | 400 | 17,6 | 10520 | 2121 | 294 |
| 5 | 11 | 11 | 400 | 17,9 | 10540 | 1829 | 299 |
| 7 | 11 | 11 | 400 | 18,0 | 10554 | 1580 | 300 |
| 9 | 11 | 11 | 400 | 18,2 | 10562 | 1497 | 303 |
| 11 | 11 | 11 | 400 | 18,5 | 10572 | 1465 | 309 |
| 13 | 11 | 11 | 400 | 18,7 | 10577 | 1434 | 311 |
| 15 | 11 | 11 | 400 | 18,9 | 10585 | 1393 | 315 |
| 17 | 11 | 11 | 400 | 19,2 | 10592 | 1361 | 320 |
| 19 | 11 | 11 | 400 | 19,4 | 10600 | 1330 | 324 |
| 21 | 11 | 11 | 400 | 19,7 | 10608 | 1292 | 328 |
| 23 | 11 | 11 | 400 | 19,8 | 10613 | 1257 | 330 |

Tableau 74 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 0.5 bar ; C=7g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10,5 | 783 | 16,9 | 10327 | 2120 | 282 |
| 3 | 11 | 10,5 | 783 | 17,2 | 10335 | 1924 | 288 |
| 5 | 11 | 10,5 | 783 | 17,3 | 10340 | 1737 | 289 |
| 7 | 11 | 10,5 | 783 | 17,5 | 10347 | 1529 | 292 |
| 9 | 11 | 10,5 | 783 | 17,7 | 10355 | 1318 | 295 |
| 11 | 11 | 10,5 | 783 | 17,9 | 10357 | 1315 | 299 |
| 13 | 11 | 10,5 | 783 | 18,2 | 10360 | 1311 | 303 |
| 15 | 11 | 10,5 | 783 | 18,2 | 10361 | 1308 | 304 |
| 17 | 11 | 10,5 | 783 | 18,4 | 10363 | 1306 | 307 |
| 19 | 11 | 10,5 | 783 | 18,6 | 10365 | 1303 | 310 |
| 21 | 11 | 10,5 | 783 | 18,7 | 10366 | 1300 | 311 |
| 23 | 11 | 10,5 | 783 | 18,9 | 10369 | 1297 | 315 |

Tableau 75 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1 bar ; C=7g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 10 | 818 | 16,4 | 10318 | 1948 | 274 |
| 3 | 11 | 10 | 818 | 16,7 | 10325 | 1763 | 278 |
| 5 | 11 | 10 | 818 | 16,9 | 10331 | 1596 | 282 |
| 7 | 11 | 10 | 818 | 17,2 | 10338 | 1409 | 286 |
| 9 | 11 | 10 | 818 | 17,4 | 10343 | 1272 | 291 |
| 11 | 11 | 10 | 818 | 17,7 | 10346 | 1271 | 295 |
| 13 | 11 | 10 | 818 | 17,9 | 10349 | 1270 | 299 |
| 15 | 11 | 10 | 818 | 18,2 | 10352 | 1269 | 303 |
| 17 | 11 | 10 | 818 | 18,4 | 10355 | 1267 | 307 |
| 19 | 11 | 10 | 818 | 18,7 | 10358 | 1266 | 311 |
| 21 | 11 | 10 | 818 | 18,9 | 10361 | 1264 | 315 |
| 23 | 11 | 10 | 818 | 19,2 | 10363 | 1263 | 320 |

Tableau 76 : l'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement(P_{entrée}=11 bars ; ΔP = 1.5 bar ; C=7g/l).

| Temps (min) | Pression entrée (bar) | Pression sortie (bar) | Débit alimentation (l/h) | Débit perméat (l/h) | Conductivité concentrât (μs/cm) | Conductivité perméat (μs/cm) | Volume Perméat (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | 11 | 9,5 | 818 | 16,4 | 10323 | 1724 | 274 |
| 3 | 11 | 9,5 | 818 | 16,7 | 10326 | 1717 | 278 |
| 5 | 11 | 9,5 | 818 | 16,9 | 10328 | 1709 | 282 |
| 7 | 11 | 9,5 | 818 | 17,1 | 10330 | 1701 | 285 |
| 9 | 11 | 9,5 | 818 | 17,2 | 10331 | 1693 | 286 |
| 11 | 11 | 9,5 | 818 | 17,5 | 10338 | 1542 | 291 |
| 13 | 11 | 9,5 | 818 | 17,7 | 10343 | 1438 | 295 |
| 15 | 11 | 9,5 | 818 | 17,9 | 10348 | 1334 | 299 |
| 17 | 11 | 9,5 | 818 | 18,2 | 10355 | 1147 | 303 |
| 19 | 11 | 9,5 | 818 | 18,3 | 10358 | 1064 | 305 |
| 21 | 11 | 9,5 | 818 | 18,9 | 10368 | 939 | 307 |
| 23 | 11 | 9,5 | 818 | 18,7 | 10369 | 814 | 312 |

Bibliographie

Rapport-Gratuit.com

Référence :

- [1] Clement, « Larousse agricole » - édition Larousse (1979) p 48
- [2] Moll, circulations in the western méditerranéens se oceanologica acta (2) (1990) 134-149.
- [3] Michelle et Dominique, « dictionnaire des constantes physique et biologique »édition maloine (1994) p 99.
- [4] Marins, « les grandes encyclopédies » (1993).
- [5] T. Maya, « la pratique de l'eau édition moniteur France (1998) p 165.
- [6] J. Matricon, Vive l'eau. Découvertes Gallimard (2000).
- [7] P. Danis, Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J 2700, Juin (2003).
- [8] G. Copin-Montégut, Chimie de l'eau de mer, Institut océanographie (1991).
- [9] E. Brown, A. Colling, D. Park, J. Phillips, D. Rothery, J. Wright, Seawater: Its composition, properties and behaviour, The Open University, Second edition (1997).
- [10] J.I. Hedges, Global biogeochemical cycles: progress and problems, Marine Chemistry 39 (1992) 67-93
- [11] R. Benner, B. Biddanda, B. Black, M. McCarthy, Abundance, size distribution, and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential-flow ultrafiltration, Marine Chemistry 57 (1997) 243-263
- [12] J.A. Baldock, C.A. Masiello, Y. Gélinas, J.I. Hedges, Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems, Marine Chemistry 92 (2004) 39– 64
- [13] M. McCarthy, J. Hedges, R. Benner, Major biochemical composition of dissolved high molecular weight organic matter in seawater, Marine Chemistry 55 (1996) 281-297
- [14] D.A. Hansell, C.A. Carlson, Marine dissolved organic matter and the carbon cycle, Oceanography 14(4) (2001)
- [15] M. Barlow, T. Clarke, L'or bleu : l'eau, le grand enjeu du XXIème siècle, - Paris : Fayard (2002) p 390.
- [16] M. Ditman, L'eau introduction (2009).
- [17] H. Maillard, S. Morillon, L'eau source de vie. Association française (2013).
- [18] J. Devillers, M. Squilbin, C. Yourassowsky, Qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE : "l'eau à bruxelles. Fiche 2 (2005).
- [19] S. Alpha, Qualité organoleptique de l'eau de consommation produit et distribuer par l'EDMSA dans la ville de Bamako. Doctorat en pharmacie, université de Bamako (2005).
- [20] H. Monique, Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent (1991).
- [21] P. Savary, Guide des analyses de la qualité de l'eau .territorial éditions (2010) p 75-115.
- [22] N. Himmi, M. Fekhaoui, A. Foutlane, H. Bourchic, M. El Maroufy, T. Benazzout, M. Hasnaoui, Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Universitadegli studi di perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi” (2003) p 110–111.
- [23] J. Rodier, L'analyse de l'eau .9eme édition© Dunod, Paris, ISBN 978-2-10- 054179-9 (2009) p 1526.
- [24] F. N. Kemmer, Manuel de l'eau, Technique & Documentation Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8 (1984).
- [25] M.L. Belghiti, A. Chahlaoui, D. Bengoumi, R. El Moustaine, Etude de La qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Mknès .Maroc. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin (2013), p 21-36.
- [26] A. Fellah, Contribution à l'étude des polluants métalliques dans l'eau et les sédiments de l'estuaire de la Tafna (Rachgoune, Tlemcen).magister en chimie. Université de Tlemcen (2010).

- [27] N. Lebleu, Désinfection des eaux par procédés membranaires, étude des mécanismes de transfert des bactéries, thèse de doctorat, spécialité génie des procédés et de l'environnement. Université de Toulouse (2007).
- [28] C. Haslay, H. Leclerc, Microbiologie des eaux d'alimentation. Technique et documentation –Lavoisier édition, Paris (1993).
- [29] S. Khirani « procédés hydrique associant à la filtration membranaire et l'absorption », Thèse de Doctorat. Institut National des sciences appliquées de Toulouse, (2007).
- [30] J. Akretche « les prétraitements par membranes en dessalement » journée de formation, Gabés, Tunisie (2004).
- [31] G. K. Pearce, S. Talo, K. Chida, A. Basha, A. Gulamhusein, Pretreatment options for large scale SWRO plants: case studies of UF trials at Kindasa, Saudi Arabia, and conventional pretreatment in Spain, *Desalination* 167 (2004) 175-189
- [32] P. H. Wolf, S. Siverns, S. Monti, UF membranes for RO desalination pretreatment, *Desalination* 182 (2005) 293-300
- [33] A.S. Al-Amoudi, A.M. Farooque, Performance restoration and autopsy of NF membranes used in seawater pretreatment, *Desalination*, 178 (2005) 261-271
- [34] A. Teuler, K. Glucina, J.M. Laîné, Assessment of UF pretreatment prior RO membranes for seawater desalination, *Desalination* 125 (1999) 89-96
- [35] J. Xu, G. Ruan, X. Chu, Ye Yao, S. Baowei, C. Gao, A pilot study of UF pretreatment without any chemicals for SWRO desalination in China, *Desalination*, 207 (2007) 216-226
- [36] M. Cheryan, Ultrafiltration and microfiltration Handbook, (1998).
- [37] A. Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, Ed. Tec&Doc Lavoisier (2006), p 290.
- [38] Dégrement «Mémento technique de l'eau», Lavoisier-Lexique technique de l'eau. Tome1, Paris (2005).
- [39] J. Dunglas, Académie d'agriculture de France, Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau (2014).
- [40] S. Antipolis. Centre d'activités régionales. Eau. Energie, dessalement et changement climatique en méditerranée (2008), p10.
- [41] C.R. Bouchard, R.E. Lebrun, "Principes généraux de l'osmose inverse", *Sciences et Techniques de l'eau*. 21 (1988), p 03.
- [42] K. Merriman, "The Removal of Contaminants from Recycled Fibre Using Centrifugal Cleaners: Theory, Applications and Mill Practice", *Recycling and Deinking Of Newsprint and Fine Papers Course*, CPPA (1991).
- [43] A. Phillipe, P. Moulin, microfiltration et ultrafiltration: conduite des Essais pilotes, ED. Club français des membranes, (2002).
- [44] J.J. Bimbenet, D. Albert, T. Gilles. Génie des procédés alimentaires; des bases aux application, Dunod, Paris, (2002), p 547.
- [45] Technictendances, Etudes technologiques, le traitement des eaux résiduaires urbaines et industrielles, innovation 128. SA. Paris – Boston – Tokyo (1992).
- [46] A.-M. Bouroche Le Bras; techniques de séparation par membranes, vocabulaires français – anglais – allemand, INRA Paris (1994), p 62.
- [47] P. Marty, Traitement des effluents par filtrations membranaires & Agricoles. Octobre (1999).
- [48] R.D. Noble, A. Sterns, membrane separations technology; principales and applications, Elsevier science B.V; (1995).
- [49] P. Aimar, G. Dauphin, F. Rene; les séparations à membranes dans les procédés de l'industrie alimentaire. Techniques et documentation, Lavoisier, 1 (1998), p 592.

- [50] Shane A. Snyder, Samerdham, Adham M.Redding, Freds. Cannon, James De Carolis, Joan Oppenheimer, Eric C. Wert, Yeomin Yoon. Role of membranes and pharmaceceuticals_Desalination 202 (2007), p 156-181.
- [51] Lain – Chuen Juang Dyi – Hwa Tseng, He – Yin Lin; membrane processes for water reense from the effluent of industrial park waste treatment plant: a study on flux and fouling of membrane. Desalination 22 (2007), p 302 – 309.
- [52] S. Lachebi. Valorisation des rejets de l’industrie laitière par techniques membranaires (ultrafiltration), Mémoire Magister en Génie de l’environnement université M’Hamed Bougara- Boumerdes, laboratoire de recherche de technologie Alimentaire, (2009), p 37-38.
- [53] K. Kosutic, L. Kastelan-Kunst, B. Kunst, Porosity of some commercial reverse osmosis and nanofiltration polyamide thin-film composite membranes. Journal of Membrane Science 168 (1-2) (2000), p 101-108.
- [54] D.R. Paul, Reformulation of the solution-diffusion theory of reverse osmosis, Journal of Membrane Science, 241, (2004), p 371-386
- [55] G.M. Geise, H.B. Park, A.C. Sagle, B.D. Freeman, J.E. McGrath, Water permeability and water/salt selectivity tradeoff in polymers for desalination, Journal of Membrane Science, 369, (2010), p 130-138.
- [56] S. Bason, V. Freger, Phenomenological analysis of transport of mono- and divalent ions in nanofiltration, Journal of Membrane Science, 360, (2010), p 389-396.
- [57] R.E. Kesting, Synthetic polymeric membranes, McGraw-Hill Book Company, (1971).
- [58] M. Mulder, Basic principles of Membrane Technology, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1996)
- [59] G. Schock, A. Miquel, Mass transfer and pressure loss in spiral wound modules, Desalination, 64, (1987), p 339–352.
- [60] P. Riot, Installation d'un module de récupération d'énergie par échange de pression, Société Lorientaise de Construction Electromécanique, (2006), p 14-16.
- [61] H. Elkhebbaz, Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Faculté des Sciences Rabat (2008), p 34.
- [62] C. Larchet, DHDR de l’Université Paris XII (1994).
- [63] R.C. Squires, “Removal of heavy metals from industrial effluent by crossflow microfiltration”, Wat. Sci. Tech., vol. 25(10), (1992), p 55-67.
- [64] Alfa Arzate, Ph.D procédés de séparation membranaire et leur application dans l’industrie alimentaire, centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.
- [65] R.J. Bearman, J.G. Kirkwood, Statistical Mechanics of Transport Processes. XI. Equations of Transport in Multicomponent Systems J. Chem. Phys., 28, 136 (1958).
- [66] R.J. Bearman, On the Linear Phenomenological Equations. II. The Linear Statistical Mechanical Theory, J. Chem. Phys., 31, 751 (1959).
- [67] F.M. Snell, R. Aranow, R.A. Spangle, Statistical-Mechanical Derivation of the Partial Molecular Stress Tensors in Isothermal Multicomponent Systems, J. Chem. Phys., 47, 4959 (1967).
- [68] E.A. Mason, A.P. Malinauskas, R.B. Evans, Flow and Diffusion of Gases in Porous Media, J. Chem. Phys., 46, 3199 (1967).
- [69] E.A. Mason, L.A. Viehland, Statistical–mechanical theory of membrane transport for multicomponent systems: Passive transport through open membranes, J. Chem. Phys., 68, 3562 (1978).
- [70] L.F. Del Castillo, E.A. Mason, Energy-barrier models for membrane transport Biophys. Chem., 9 (2) 111-20 (1979).
- [71] J. Philibert, Diffusion et transport de matière dans les solides, Les Editions de physique (1990).

- [72] R.P. Buck, Kinetics of bulk and interfacial ionic motion: microscopic bases and limits for the Ernest Planck equation applied to membrane systems, *J. Membrane Sci.*, 17, 1 (1984).
- [73] D. Stauffer, Introduction to percolation theory, London, Taylor and Francis (1985).
- [74] J.F. Gouyet, Physique et structure fractals, Masson, Paris (1992).
- [75] A.B. Shelekhin, A.G. Dixon, Y.H. Ma; Adsorption, diffusion and permeation of gases in microporous membranes. III. Application of percolation theory to interpretation of porosity, tortuosity, and surface area in microporous glass membranes; *J. Membrane Sci.*, 83, 181 (1993).
- [76] W.Y. Hsu, J.R. Barkley, P. Meakin, Ion percolation and insulator-to-conductor transition in Nafion® perfluorosulfonic acid membranes, *Macromolecules*, 13, 198 (1980).
- [77] S.F. Timashev, Physical chemistry of membrane processes, Ellis Horwood (1991).
- [78] C. Gavach, G. Pamboutzoglou, M. Nedyalkov, G. Pourcelly, AC impedance investigation of the kinetics of ion transport in Nafion® perfluorosulfonic membranes, *J. Membrane Sci.*, 45, 37 (1989).
- [79] R. Wodkzki, A. Narebska, W.K. Nioch, Percolation conductivity in Nafion membranes, *J. Appl. Polym. Sci.*, 30, 769 (1985).
- [80] R.P. Buck, Kinetics of bulk and interfacial ionic motion: microscopic bases and limits for the Nernst—Planck equation applied to membrane systems, *J. Membrane Sci.*, 17, 1 (1984).
- [81] J. Pellicer, S. Mafe and V.M. Aguilera, *ANAL. Fis.*, B-84, 249 (1988).
- [82] V. Nikonenko, HDR de l'Université Paris XII (2001).
- [83] B. Auclair, V. Nikonenko, C. Larchet, M. Metayer, L. Dammak, Correlation between transport parameters of ion-exchange membranes; *J. Membrane Sci.*, 195, 89 (2002).
- [84] V.I. Zabolotsky, V.V. Nikonenko, Transport d'ions dans les membranes, Nauka (Science), Moscou, (1996).
- [85] R.P. Buck, Kinetics of bulk and interfacial ionic motion: microscopic bases and limits for the Nernst—Planck equation applied to membrane systems, *J. Membrane Sci.*, 17, 1 (1984).
- [86] G. Pourcelly P. Sibat, A. Chapotot, C. Gavach, V. Nikonenko, Self diffusion and conductivity in Nafion® membranes in contact with NaCl+CaCl₂ solutions; *J. Membrane Sci.*, 110, 69 (1996).
- [87] N.I. Nikolaev, Diffusion in membranes, Khimiya (Chemistry), Moscow, (1980).
- [88] P. Turq, J. Barthel, M. Chemla, Transport, relaxation and kinetic processes in electrolyte solutions, Springer, Berlin, (1992).
- [89] A. Chhich, P. Turq, O. Bernard, *Ber. Bursenges. Phys. Chem.*, 98, 1 (1994).
- [90] S. Koter, A. Narebska; Conductivity of ion-exchange membranes—II. Mobilities of ions and water, *Electrochim. Acta*, 32, 455 (1987).
- [91] Patrice Bacchin Université Paul Sabatier Laboratoire de génie Chimique 31 062 Toulouse Cedex 9
- [92] G. Belfort, R.H. Davis, A.L. Zydney, "The behaviour of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration", *Int. Journal of Membrane Science*, vol. 961, (1994), p1-58.
- [93] R. Zaamouche, Thèse de doctorat en sciences en génie mécanique université de Batna faculté des sciences et de la technologie.
- [94] B. Allard Gaston, ing & agr. L'osmose inverse : description et principes de fonctionnement. (1984), p 8-12.
- [95] Montgomery Watson Harza (MWH). Water treatment: principles and design (Second Edition). Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley and Sons Inc. (2005).
- [96] H. Yamamura, K. Kimura, Y. Watanabe, Mechanism involved in the evolution of physically irreversible fouling in microfiltration and ultrafiltration membranes used for drinking water treatment. *Environmental Science and Technology*, 41(19), (2007), p 6789-6794.

- [97] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Membrane Filtration Guidance Manual. (EPA-815-D-03-008), (2003).
- [98] American Water Works Association (AWWA). Committee report: Membrane Processes in Potable Water Treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 84(1), (1992), p 59-67.
- [99] M.-M. Clark. Committee report: Membrane Processes. *Journal of the American Water Works Association*, 90(6), (1998), p 91-105.
- [100] A.-W. Zularisam, A.-F. Ismail, R. Salim. Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment - a review. *Desalination*, 194(1-3), (2006), p 211-231.
- [101] G. Amy. Fundamental understanding of organic matter fouling of membranes. *Desalination*, 231(1-3), (2008), p 44-51.
- [102] H. Huang, N.-H. Lee, T. Young, A. Gary, J.-C. Lozier, J.-G. Jacangelo,. Natural organic matter fouling of low-pressure, hollow-fiber membranes: effects of NOM source and hydrodynamic conditions. *Water Research*, 41(17), (2007), p 3823-3832.
- [103] N.-H. Lee, G. Amy, J.-P. Croué, Low-pressure membrane (MF/UF) fouling associated with allochthonous versus autochthonous natural organic matter. *Water Research*, 40 (12), (2006), p 2357-2368.
- [104] A.-H. Nguyen, J.-E. Tobiasson, K.-J. Howe, Fouling indices for low pressure hollow fiber membrane performance assessment. *Water research*, 45(8), (2011), p 2627-2637.
- [105] I. Sutzkover-Gutman, D. Hasson, R. Semiat, Humic substances fouling in ultrafiltration processes. *Desalination*, 261(3), (2010), p 218-231.
- [106] K.-J. Howe, M.-M. Clark, Fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes by natural waters. *Environmental Science and Technology*, 36(16), (2002) p 3571-3576.
- [107] H. Huang, T. Young, J.-G. Jacangelo, Novel approach for the analysis of bench-scale, low pressure membrane fouling in water treatment. *Journal of Membrane Science*, 334(12), (2009), p 1-8.
- [108] W. Yuan, A.-L. Zydney. Humic acid fouling during microfiltration. *Journal of Membrane Science*, 157(1), (1999), p 1-12.
- [109] K.-L. Jones, C.-R. O'Melia, Ultrafiltration of protein and humic substances: effect of solution chemistry on fouling and flux decline. *Journal of Membrane Science*, 193(2), (2001), p 163-173.
- [110] K. Katsoufidou, S.-G. Yiantsios, A.-J. Karabelas. A study of ultrafiltration membrane fouling by humic acids and flux recovery by backwashing: experiments and modeling. *Journal of Membrane Science*, 266(1-2), (2005), p 40-50.
- [111] J. Cho, G. Amy, J. Pellegrino. Membrane filtration of natural organic matter: initial comparison of rejection and flux decline characteristics with ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Water Research*, 33(11), (1999), p 2517-2526.
- [112] H.-A. Mousa. Investigation of UF membranes fouling by humic acid. *Desalination*, 217(1-3), (2007), p 38-51.
- [113] G. Amy, J. Cho. Interactions between natural organic matter (NOM) and membranes: rejection and fouling. *Water Science and Technology*, 40(9), (1999), p 131-139.
- [114] P. Bacchin, P. Aimar, R.-W. Field. Critical and sustainable fluxes: theory, experiments and applications. *Journal of Membrane Science*, 281(1-2), (2006), p 42-69.
- [115] S. Chellam, W. Xu. Blocking laws analysis of dead-end constant flux microfiltration of compressible cakes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 301(1), (2006), p 248-257.
- [116] H. Huang, T.-A. Young, J.-G. Jacangelo. Unified membrane fouling index for low pressure membrane filtration of natural waters: principles and methodology. *Environmental Science and Technology*, 42(3), (2008), p 714-720.

- [117] J. Hermia. Constant pressure blocking filtration laws - Application to power-law non-Newtonian fluids. *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 60(3), (1982), p 183-187.
- [118] J. Hoigne, H. Bader. Ozonation of water: selectivity and rate of oxidation of solutes. *Ozone: Science and Engineering*, 1(1), (1979), p 73-85.
- [119] Y.-H. Lin, H.-J. Hsien,. Characteristics transformation of humic acid during ozonation and biofiltration treatment processes. *Water Environment Research*, 83(5), (2011), p 450-460.
- [120] M. Hashino, Y. Mori, Y. Fujii, N. Motoyama, N. Kadokawa, H. Hoshikawa, W. Nishijima, M. Okada,. Pilot plant evaluation of an ozone-microfiltration system for drinking water treatment. *Water Science and Technology*, 41(10-11), (2000), p 17-23.
- [121] Y. Mori, T. Oota, M. Hashino, M. Takamura, Y. Fujii,. Ozone-icrofiltration system. *Desalination*, 117(1-3), (1998), p 211-218.
- [122] B. Schlichter, V. Mavrov, H. Chmiel. Study of a hybrid process combining ozonation and microfiltration/ultrafiltration for drinking water production from surface water. *Desalination*, 168(1-3), (2004), p 307-317.
- [123] K. Farahbakhsh, C. Svrcek, R.-K. Guest, D.-W. Smith, A review of the impact of chemical pretreatment on low-pressure water treatment membranes. *Environmental Engineering and Science*, 3(4), (2004), p 237-253.
- [124] Ministère du Développement Durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). Règlement sur la qualité de l'eau potable Gouvernement du Québec (2005).
- [125] D. Van Der Kooij, W.-A.-M. Hijnen, J.-C. Kruithof. The effects of ozonation, biological filtration and distribution on the concentration of easily assimilable organic carbon (AOC) in drinking water. *Ozone: Science and Engineering*, 11(3), (1989), p 297-311.
- [126] S. Osterhus, K. Azrague, T. Leiknes, H. Odegaard. Membrane filtration for particles removal after ozonation-biofiltration. *Water Science and Technology*, 56(10), (2007), p 101-108.