

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID



كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الري

Département d'hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de

Master En Hydraulique :

*Option : Technologie de traitement des eaux*

*Etude sur le dessalement de l'eau saumâtre préparée à partir des  
eaux de mer issues du prétraitement de la station de 'Honaine'*

Par : BOUKLIKHA Afaf et YELLES CHAUCHE Mehdi Islam

Devant les membres du Jury :

Mr. ADJIM M

Président

Mr. BOUMEDIEN M

Examineur

Mr. TERKI T A

Examineur

Mr. CHIBOUB A.

Encadreur

Mr. HABI M

Encadreur

Promotion:2015-2016



## **REMERCIEMENTS**

En préambule à ce mémoire nous louons **“ALLAH” le tout puissant et miséricordieux** qui nous a donné la force et la patience d’accomplir ce projet.

Nos remerciements et notre profonde gratitude sont accordés aussi à nos encadreurs **“Mr. CHIBOUB Abdelghani”** et **“Mr. HABI Mohammed”** qui ont eu la bienveillance de nous orienter durant notre travail. Leurs conseils, leur confiance et la patience qu’ils nous ont accordée ont grandement contribuées à l’élaboration de ce projet.

Nous remercions **“Mr. ADJIM”** président du jury ; ainsi que **“Mr. BOUMEDIEN”** et **“Mr. TERKI T A”** de l’honneur qu’ils nous font en acceptant d’examiner notre modeste travail.

Nous tenons à exprimer également nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseignés et qui par leurs compétences nous ont soutenus durant tout notre cursus.

Nous tenons à remercier également tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Enfin à nos chers parents, qui nous ont soutenus, encouragés, aidés durant notre formation et durant toute notre vie, sans eux on n’en serait pas là, gratifions leurs efforts.

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I.1</b> : Cations et ions présent dans l'eau.	1
<b>Tableau I.2</b> : Composition standard de l'eau de mer océanique	4
<b>Tableau I.3</b> : Classification des eaux selon la conductivité	7
<b>Tableau I.4</b> : les types de colmatages	14
<b>Tableau I.5</b> : Procédés de dessalement	15
<b>Tableau II.6</b> : Critères membranaires	24
<b>Tableau II.7</b> : Comparaison entre modules spirale et en fibres creuses	34
<b>Tableau IV. 93</b> : Résultats des débits de perméat en fonction des pressions	124

## **LISTE DES FIGURE**

<b>Figure I.1</b> : Répartition du dessalement dans le monde .....	13
<b>Figure I.2</b> : Le dessalement à travers la méditerranée.....	14
<b>Figure I.3</b> : Schéma d'une station de dessalement.....	15
<b>Figure I.4</b> : Grilles de prise d'eau .....	15
<b>Figure I.5</b> : Puit côtier.....	16
<b>Figure I.6</b> : Prise d'eau mobile.....	16
<b>Figure II.7</b> : Les différents procédés de dessalement .....	21
<b>Figure II.8</b> : Schéma distillation multiples effets .....	22
<b>Figure II.9</b> : Schéma distillation "multiflash" .....	23
<b>Figure II.10</b> : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.....	24
<b>Figure II.11</b> : Sélectivité des différentes membranes .....	26
<b>Figure II.12</b> : Principe de fonction d'une membrane .....	26
<b>Figure II.13</b> : Principe de l'échange d'ion .....	28
<b>Figure II.14</b> : Schéma du procédé de l'électrodialyse .....	29
<b>Figure II.15</b> : L'osmose .....	30
<b>Figure II.16</b> : Schéma d'une installation d'une usine d'osmose inverse.....	32
<b>Figure II.17</b> : Modules spiralés.....	35
<b>Figure II.18</b> : Module tubulaire .....	35
<b>Figure II.19</b> : Module plans et en plaques .....	36
<b>Figure II.20</b> : Module en spirale et fibre creuse .....	37
<b>Figure II.21</b> : Schéma de la récupération d'énergie .....	38
<b>Figure II.22</b> : Les types de colmatage .....	39
<b>Figure III.23</b> : photo du pilote TE 200 (laboratoire de TEE du Département d'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).....	42
<b>Figure III.24</b> : Construction du pilote TE 200.lahachi .....	44
<b>Figure III.25</b> : Instrumentation du pilote TE 200 .....	46
<b>Figure III.26</b> : Liste des vannes .....	48
<b>Figure III.27</b> : Photo de balance électronique (laboratoire de TEE du Département D'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).....	53
<b>Figure III.28</b> : Photo de conductimètre (laboratoire de TEE du Département D'Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).....	53
<b>Figure IV.29</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1$ ; $C=2g/l$ ).....	57
<b>Figure IV.30</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1$ ; $C=2g/l$ ).....	57

<b>Figure IV.31:</b> La variation de volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1 ; C=2g/l).....	56
<b>Figure IV.32:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1 ; C=2g/l).....	57
<b>Figure IV.33:</b> La variation de taux de rejet en fonction concentration du perméat (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=2g/l).....	57
<b>Figure IV.34 :</b> La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5 ; 1 ; C=2.5g/l).....	58
<b>Figure IV.35 :</b> La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5 ; 1 ; C=2.5g/l).....	59
<b>Figure IV.36 :</b> La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5 ; 1 ; C=2.5g/l.....	59
<b>Figure IV.37:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=2.5g/l.....	60
<b>Figure IV.38 :</b> La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du Perméat (Pentrée=5.5bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=2.5g/L.....	60
<b>Figure IV.39 :</b> La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=3g/l).....	61
<b>Figure IV.40 :</b> La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1 ; C=3g/l).....	62
<b>Figure IV.41 :</b> La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=3g/l).....	62
<b>Figure IV.42:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=3g/l).....	63
<b>Figure IV.43:</b> La variation du taux de rejet en fonction de concentration du perméat (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1 ; C=3g/l).....	63
<b>Figure IV.44 :</b> La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5 ; 1 ; C=3.5g/l).....	64
<b>Figure IV.45 :</b> La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5 ; 1 ; C=3.5g/l).....	65
<b>Figure IV.46 :</b> La variation de volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5 ; 1 ; C=3.5g/l).....	65
<b>Figure IV.47:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=3.5g/l).....	66
<b>Figure IV.48:</b> La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; $\Delta P = 0$ ; 0.5;1; C=3.5g/l).....	66
<b>Figure IV.49 :</b> La variation de la température de l'eau de l'alimentation $\Delta p = 0$ .....	67

<b>Figure IV.50</b> : La variation de la température de l'eau de l'alimentation $\Delta p= 1$ .....	67
<b>Figure IV.51</b> : La variation de la température du perméat $\Delta p= 0$ .....	67
<b>Figure IV.52</b> : La variation de la température du perméat $\Delta p=1$ .....	67
<b>Figure IV.53</b> : La variation de la température du concentrat $\Delta p= 0$ .....	68
<b>Figure IV.54</b> : La variation de la température du perméat $\Delta p= 1$ .....	68
<b>Figure IV.55</b> : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2g/l$ ) .....	70
<b>Figure IV.56</b> : La variation de volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2g/l$ ) .....	70
<b>Figure IV.57</b> : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2g/l$ ) .....	71
<b>Figure IV.58</b> : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2g/l$ ) .....	71
<b>Figure IV.59</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2g/l$ ).....	72
<b>Figure IV.60</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=8bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$ ; $C=2.5g/l$ ).....	73
<b>Figure IV.61</b> : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$ ; $C=2.5g/l$ ).....	73
<b>Figure IV.62</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$ ; $C=2.5g/l$ ).....	74
<b>Figure IV.63</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2.5g/l$ ).....	74
<b>Figure IV.64</b> : La variation du taux de rejet en fonction concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=2.5g/l$ ).....	75
<b>Figure IV.65</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=8bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=3g/l$ ) .....	76
<b>Figure IV.66</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=3g/l$ ).....	76
<b>Figure IV.67</b> : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=3g/l$ ) .....	77
<b>Figure IV.68</b> : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=3g/l$ ) .....	77
<b>Figure IV.69</b> : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$ ; $C=3g/l$ ) .....	78
<b>Figure IV.70</b> : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$ ; $C=3.5g/l$ ).....	79

<b>Figure IV.71</b> : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=3.5g/l$ ).....	79
<b>Figure IV.72</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=3.5g/l$ ).....	80
<b>Figure IV.73</b> : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=3.5g/l$ ).....	80
<b>Figure IV.74</b> : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=3.5g/l$ ).....	81
<b>Figure IV.75</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4g/l$ ).....	82
<b>Figure IV.76</b> : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4g/l$ ).....	82
<b>Figure IV.77</b> : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4g/l$ ) .....	83
<b>Figure IV.78</b> : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4g/l$ ) .....	83
<b>Figure IV.79</b> : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4g/l$ ) .....	84
<b>Figure IV.80</b> : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4.5g/l$ ).....	85
<b>Figure IV.81</b> : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4.5g/l$ ).....	85
<b>Figure IV.82</b> : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4.5g/l$ ).....	86
<b>Figure IV.83</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=4.5g/l$ ).....	86
<b>Figure IV.84</b> : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4.5g/l$ ) .....	87
<b>Figure IV.85</b> : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=5g/l$ ).....	88
<b>Figure IV.86</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=5g/l$ ).....	88
<b>Figure IV.87</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=8bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=5g/l$ ).....	89
<b>Figure IV.88</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=5g/l$ ) .....	89



<b>Figure IV.89</b> : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ;C=5g/l$ ) .....	90
<b>Figure IV.90</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l$ ) .....	92
<b>Figure IV.91</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l$ ) .....	92
<b>Figure IV.92</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l$ ) .....	93
<b>Figure IV.93</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l$ ) .....	93
<b>Figure IV.94</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l$ ) .....	94
<b>Figure IV.95</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l$ ) .....	95
<b>Figure IV.96</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l$ ) .....	96
<b>Figure IV.97</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ;$ $0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l$ ).....	96
<b>Figure IV.98</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l$ ) .....	97
<b>Figure IV.99</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l$ ) .....	97
<b>Figure IV.100</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ) .....	99
<b>Figure IV.101</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ) .....	99
<b>Figure IV.102</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ) .....	100
<b>Figure IV.103</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ) .....	100
<b>Figure IV.104</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ) .....	101
<b>Figure IV.105</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3,5g/l$ ) .....	102
<b>FigureIV. 106</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3,5g/l$ ) .....	103
<b>Figure IV.107</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3,5g/l$ ) .....	103

<b>Figure IV.108</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3,5g/l$ ).....	104
<b>Figure IV.109</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3,5g/l$ ).....	104
<b>Figure IV.110</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$ ).....	106
<b>Figure IV.111</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$ ).....	106
<b>Figure IV.112</b> : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$ ).....	107
<b>Figure IV.113</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$ ).....	107
<b>Figure IV.114</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat : (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l$ ).....	108
<b>Figure IV.115</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l$ ).....	109
<b>Figure IV.116</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l$ ).....	110
<b>Figure IV.117</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l$ ).....	110
<b>Figure IV.118</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l$ ).....	111
<b>Figure IV.119</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l$ ).....	111
<b>Figure IV.120</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=5g/l$ ).....	113
<b>Figure IV.121</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=5g/l$ ).....	113
<b>Figure IV.122</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=5g/l$ ).....	114
<b>Figure IV.123</b> : La variation de taux de rejet en fonction de temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=5g/l$ ).....	114
<b>Figure IV.124</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=5g/l$ ).....	115
<b>Figure IV.125</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ).....	116
<b>Figure IV.126</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ; $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ).....	117

<b>Figure IV.127</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ).....	117
<b>Figure IV.128</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ) .....	118
<b>Figure IV.129</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ) .....	118
<b>Figure IV.130</b> : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l$ ) .....	120
<b>Figure IV.131</b> : La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l$ ) .....	120
<b>Figure IV.132</b> : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l$ ) .....	121
<b>Figure IV.133</b> : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l$ ) .....	121
<b>Figure IV.134</b> : La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; $\Delta P= 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l$ ) .....	122
<b>Figure IV.135</b> : La variation de la température de l'eau de l'alimentation $\Delta p= 0$ .....	123
<b>Figure IV.136</b> : La variation de la température de l'eau de l'alimentation $\Delta p= 1$ .....	123
<b>Figure IV.137</b> : La variation de la température de l'eau du perméat $\Delta p= 0$ .....	123
<b>Figure IV.138</b> : La variation de la température de l'eau du perméat $\Delta p= 1$ .....	123
<b>Figure IV.139</b> : La variation de la température de l'eau du concentrat $\Delta p= 0$ .....	124
<b>Figure IV.140</b> : La variation de la température de l'eau du concentrat $\Delta p= 1$ .....	124
<b>Figure IV.141</b> : Perméabilité de la membrane au solvant. ....	125

## Liste des abréviations

**A** : Perméabilité au solvant.

**B** : La perméabilité de la membrane au soluté.

**C** : Concentration.

**C<sub>m</sub>** : La concentration d'une espèce au voisinage de la membrane.

**C<sub>p</sub>** : Concentration de perméat.

**FC** : Facteur de conversion.

**i** : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte.

**J<sub>m</sub>** : Flux massique du solvant.

**J soluté** : Le flux massique de soluté.

**J solvant** : Le flux massique de solvant.

**J<sub>v1</sub>** : 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<sub>e</sub>** : Pression efficace.

**PH** : Potentiel d'Hydrogène.

**PS** : Passage de sels.

**Q<sub>0</sub>** : Débit d'alimentation.

**QA** : Débit d'alimentation.

**Q<sub>c</sub>** : Débit de concentrât.

**Q<sub>p</sub>** : Débit de perméat.

**R** : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).

**R** : Sélectivité.

**Rm** : Rétention 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.

$\gamma$  : Facteur de polarisation.

$\Delta P$  : La différence de pression de part et d'autre de la membrane ;

$\Delta \Pi$  : la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

$\Pi$  : Pression osmotique.

$\rho$  : La masse volumique.

**DRE** : Dispositif de récupération d'énergie.

### Résume :

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude sur le dessalement de l'eau saumâtre préparée à partir des eaux de mer issues du prétraitement de la station de 'Honaine'. A l'aide du pilote TE200 qui simule une mini station d'osmose inverse nous avons pu étudier à la fois la conductivité du perméat et du concentrât, le volume du perméat et la variation de la rétention globale du module tout en faisant varier la concentration de l'eau saumâtre, la pression hydrostatique, ainsi que la différence de pression de part et d'autres de la membrane.

Les résultats obtenus ont démontré que la conductivité et le volume du perméat augmente toujours en fonction du temps, mais aussi que le meilleur compromis est obtenu à  $\Delta P = 0.5$  bars lorsque  $2g/L \leq C \leq 3.5g/L$ , et  $\Delta P = 1$ bars lorsque  $4g/L \leq C \leq 6.5g/L$ .

### Abstract:

The objective of this work is to study the desalination of brackish water produced from sea water from the pretreatment of Honaine's station. Using the TE200 driver that simulates a mini reverse osmosis station we were able to study both the conductivity of the permeate and concentrate, the volume of the permeate and the reject rate while varying the concentration of the brackish water, the hydrostatic pressure and differential pressure.

The results showed that the conductivity and the volume of permeate always increases in time, and the best compromise is obtained at  $\Delta P = 0.5$  bars when  $2g/L \leq C \leq 3.5g/L$  and  $\Delta P = 1$ bars when  $4g/L \leq C \leq 6.5g/L$ .

### ملخص

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة عن تحلية المياه المالحة الناتجة عن مياه البحر من محطة المعالجة " هنين " باستخدام برنامج تشغيل **TE200** الذي يحاكي ل محطة التناضح العكسي مصغرة كنا قادرين على دراسة كل من التوصيل بين المياه المحلاة والمياه المركزة، حجم المياه المحلاة ومعدل الرفض من خلال تغيير التركيز من المياه المالحة، الضغط وفرق الضغط الغشاء.

وأظهرت النتائج أن الموصلية المياه المحلاة والمياه المركزة يزيد مع الوقت ويتم الحصول على أفضل حل في  $\Delta P = 0.5$  bars عندما  $2g/L \leq C \leq 3.5g/L$  و  $\Delta P = 1$ bars عندما  $4g/L \leq C \leq 6.5g/L$ .

# *Table des matières*

- REMERCIEMENTS
- LISTE DES FIGURES
- LISTE DES TABLEAUX
- LISTE DES ABREVIATIONS
- RESUME
- INTRODUCTION GENERALE.....1

## ***PARTIE THEORIQUE***

### ***CHAPITRE I : Notions et généralités***

<i>I. Généralités sur l'eau.....</i>	<i>3</i>
<i>  I.1. Définition .....</i>	<i>3</i>
<i>  I.2. Importance de l'eau .....</i>	<i>3</i>
<i>  I.3. Répartition de l'eau dans le monde .....</i>	<i>4</i>
<i>  I.4. Catégories d'eaux douces .....</i>	<i>4</i>
<i>  I.5. Caractéristiques des eaux de mer et saumâtre .....</i>	<i>5</i>
<i>  I.5.1. Les eaux de mer .....</i>	<i>5</i>
<i>  I.5.2. Les eaux saumâtres .....</i>	<i>6</i>
<i>  I.6. Propriétés de l'eau.....</i>	<i>7</i>
<i>  I.6.1. Propriétés physico-chimiques.....</i>	<i>7</i>
<i>  I.6.2. La structure de la molécule d'eau .....</i>	<i>7</i>
<i>  I.7. Paramètres de potabilité de l'eau.....</i>	<i>7</i>
<i>  I.7.1. Paramètres organoleptique .....</i>	<i>7</i>
<i>  I.7.2. Paramètres physicochimiques .....</i>	<i>8</i>
<i>  I.7.3. Paramètres microbiologiques.....</i>	<i>12</i>
<i>  I.8. La technologie du dessalement .....</i>	<i>12</i>
<i>  I.9. Situation de dessalement dans le monde.....</i>	<i>13</i>
<i>  I.10. Définition du dessalement de l'eau.....</i>	<i>14</i>

<i>I.11. Les étapes de dessalement de l'eau de mer</i> .....	14
<i>I.11.1. Captage et système de prise d'eau de mer</i> .....	15
<i>I.11.2. Prétraitement</i> .....	16
<i>I.11.3. Procédés de dessalement</i> .....	17
<i>I.11.4. Post-traitement</i> .....	18
<i>I.11.4.1. Correction de l'agressivité de l'eau</i> .....	18
<i>I.11.4.2. Correction de la corrosivité</i> .....	18
<i>I.11.4.3. Désinfection finale</i> .....	19
<i>I.11.4.4. Problèmes de Bore</i> .....	19
<i>I.12. Conclusion</i> .....	20

## **CHAPITRE II : Les procédés de dessalement**

<i>II. Les procédés de dessalement</i> .....	21
<i>II.1. La distillation</i> .....	21
<i>II.1.1. Principe</i> .....	21
<i>II.1.2. Les différents types de distillation</i> .....	21
<i>II.1.2.1. Distillation à multiples effets</i> .....	21
<i>II.1.2.2. Distillation par détente successive appelée aussi « multi flash»</i> .....	23
<i>II.1.2.3. La distillation par compression de vapeur (VC)</i> .....	24
<i>II.1.3. Les avantages et les inconvénients de distillation</i> .....	24
<i>II.2. Les procédés membranaires</i> .....	25
<i>II.2.1. Principe</i> .....	25
<i>II.2.2. Type de membranes</i> .....	25
<i>II.2.3. Composition des membranes</i> .....	26
<i>II.2.4. Caractéristiques des membranes</i> .....	26
<i>II.3. L'électrodialyse</i> .....	27
<i>II.3.1. Description du procédé</i> .....	27
<i>II.3.2. Le dessalement par électrodialyse</i> .....	28
<i>II.3.3. Les avantages et les inconvénients</i> .....	29
<i>II.4. L'osmose inverse</i> .....	30
<i>II.4.1. Principe</i> .....	30
<i>II.4.2. Pression osmotique</i> .....	30
<i>II.4.3. Éléments d'un système d'osmose inverse</i> .....	31
<i>II.4.4. Paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse</i> .....	32



II.4.4.1. Pression de fonctionnement.....	32
II.4.4.2. La pression motrice $\Delta P$ .....	32
II.4.4.3. La conversion $Y$ .....	33
II.4.4.4. Le passage de sels $PS$ .....	33
II.4.4.5. La sélectivité $R$ .....	33
II.4.4.6. Débits spécifiques ou densité de flux volumique .....	33
II.4.4.7. Mécanisme de transfert .....	33
II.4.4.8. Polarisation de la concentration .....	34
II.4.5. Modules d'osmose inverse.....	35
II.4.5.1. Modules spiralés .....	35
II.4.5.2. Modules tubulaires .....	35
II.4.5.3. Modules plans et en plaques.....	36
II.4.5.4. Modules en fibres.....	36
II.4.5.5. Modules en céramiques .....	36
II.4.5.6. Modules en fibres creuses.....	36
II.4.6. Récupération de l'énergie du concentrât .....	37
II.4.7. Consommation d'énergie.....	38
II.4.8. Limitations de l'osmose inverse .....	39
II.4.8.1. Définition du colmatage .....	39
II.4.8.2. Indice de colmatage ou $SDI$ (Silt Density Index) .....	39
II.4.9. Les Avantages et Les inconvénients d'osmose inverse.....	40
II.5 Conclusion.....	40

### **CHAPITRE III : Matériels et méthodes**

III.1. Présentation du pilote TE200.....	41
III.2. Description du pilote.....	43
III.3. Expériences .....	49
III.3. Description des appareillages de mesure .....	53

### **Chapitre IV : Résultats et interprétations**

IV.1 Pression = 5,5 Bar .....	54
IV.1.1 Pour une concentration de 2 g/l.....	54

IV.1.1.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	55
VI.1.1.2 La variation de la rétention globale du module .....	56
IV.1.2. Pour une concentration de 2.5 g/l .....	57
IV.1.2.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	55
IV.1.2.2 La variation de la rétention globale du module .....	57
IV.1.3. Pour une concentration de 3 g/l .....	57
IV.1.3.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	58
IV.1.3.2. La variation de la rétention globale du module .....	63
IV.1.4. Pour une concentration de 3.5 g/l .....	63
IV.1.4.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	64
IV.1.4.2. La variation de la rétention globale du module .....	65
IV.1.5. La variation de la température pour toutes les concentrations .....	67
IV.2. Pression = 8bars .....	69
IV.2.1 Pour une concentration de 2 g/l .....	69
IV.2.1.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	70
IV.2.1.2 La variation de la rétention globale du module .....	71
IV.2.2 Pour une concentration de 2.5 g/l .....	72
IV.2.2.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	73
IV.2.2.2 La variation de la rétention globale du module .....	74
IV.2.3. Pour une concentration de 3 g/l .....	75
IV.2.3.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	76
IV.2.3.2. La variation de la rétention globale du module .....	77
IV.2.4 Pour une concentration de 3.5 g/l .....	78
IV.2.4.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	79
IV.2.4.2. La variation de la rétention globale du module .....	80
IV.2.5. Pour une concentration 4 g/l .....	81
IV.2.5.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	82
IV.2.5.2. La variation de la rétention globale du module .....	83

IV.2.6. Pour une concentration de 4.5 g/l .....	83
IV.2.6.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	84
IV.2.6.2. La variation de la rétention globale du module .....	85
IV.2.7. Pour une concentration de 5 g/l .....	86
II.2.7.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps .....	87
II.2.7.2. La variation de la rétention globale du module .....	89
IV.3. Pression = 10,5 bars .....	91
IV.3.1 Pour une concentration de 2 g/l .....	91
IV.3.1.1. La variation de la conductivité du perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	92
IV.3.1.2. La variation de la rétention globale du module .....	93
IV.3.2. Pour une concentration de 2.5 g/l .....	94
IV.3.2.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	95
IV.3.2.2. La variation de la rétention globale du module .....	97
IV.3.3. Pour une concentration de 3 g/l .....	98
IV.3.3.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	99
IV.3.3.2. La variation de la rétention globale du module .....	100
IV.3.4. Pour une concentration de 3.5 g/l .....	101
IV.3.4.1 La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	102
IV.3.4.2. La variation de la rétention globale du module .....	104
IV.3.5. Pour une concentration 4 g/l .....	105
IV.3.5.1 La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	106
IV.3.5.2. La variation de la rétention globale du module .....	107
IV.3.6. Pour une concentration de 4.5 g/l .....	108
IV.3.6.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	109
IV.3.6.2. La variation de la rétention globale du module .....	111
III.3.7. Pour une concentration de 5 g/l .....	112
IV.3.7.1. La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps .....	113
IV.3.7.2. La variation de la rétention globale du module .....	114

<i>IV.3.8. Pour une concentration de 6 g/l</i> .....	115
<i>IV.3.8.1 La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps</i> .....	116
<i>IV.3.8.2. La variation de la rétention globale du module</i> .....	118
<i>IV.3.9. Pour une concentration de 6,5 g/l</i> .....	119
<i>IV.3.9.1 La variation de la conductivité de perméat et du concentrât et du volume en fonction du temps</i> .....	120
<i>IV.3.9.2. La variation de la rétention globale du module</i> .....	121
<i>IV.3.10. La variation de la température pour toutes les concentrations</i> .....	123
<i>IV.4. Perméabilité de la membrane au solvant</i> .....	124
<i>IV.5. Interprétation des données</i> .....	126
<i>Conclusion générale</i> .....	128
<i>Bibliographie</i>	
<i>Webographie</i>	
<i>Annexes</i>	



---

# INTRODUCTION GENERALE

---



## Introduction générale

---

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuses parties du monde. Au cours des années 1950 – 1990, la consommation mondiale d'eau a triplé, tandis que la population de la planète augmentait de 2,3 milliards d'habitants.

Le dessalement est depuis longtemps une source d'eau importante dans certaines parties de la Méditerranée. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe de la période touristique. ONU

L'Agenda 21, notamment dans son chapitre consacré aux ressources en eau douce, spécifie bien le caractère vital de l'eau pour le développement durable.

Par suite de l'extension des régions arides et aussi de l'utilisation intensive d'eau dans les zones urbaines du monde entier, il est fréquent que l'eau douce ne soit pas disponible dans les quantités souhaitées. Selon une estimation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), 1000 m<sup>3</sup> par personne et par an sont le niveau repère au-dessous duquel on considère que la pénurie chronique d'eau entrave le développement et est préjudiciable à la santé humaine.

Au cours de la période 1950 -1990, la consommation mondiale d'eau a triplé. Chaque jour, à chaque seconde, la population de la planète augmente de 2,3 habitants, ce qui signifie que les consommateurs d'eau augmentent de 150 par minute, de 9 000 par heure, de 216 000 par jour ou de 28,8 millions par an. Où pourra-t-on trouver les deux trillions de mètres cubes d'eau nécessaires pour répondre aux besoins des 2,6 milliards de consommateurs qui vont venir s'ajouter à une population mondiale dépassant les 5 milliards

Par conséquent il existe bon nombre de méthodes de dessalement de l'eau de mer, de la simple méthode de distillation à l'osmose inverse, nous nous intéresserons à ce dernier du fait de sa notoriété qui le rend incontournable vis-à-vis la production de l'eau potable à l'échelle internationale.

Notre projet se base sur l'étude du dessalement de l'eau saumâtre préparée à partir de l'eau de mer prétraitée au préalable par filtration sur sable de la station de HONAINÉ, qui alimente quasiment toutes la ville de TLEMCEN en eau potable.

A l'aide du pilote d'osmose inverse TE 200 du laboratoire de technologie de traitement des eaux (Université Abou Bekr Belkaid 'TLEMCEN', département d'hydraulique) nous avons pu étudier et analyser le comportement de l'eau durant le processus de dessalement par OI en variant plusieurs paramètres (concentration de sel, pression osmotique, différence de pression de part et d'autre de la membrane...)

## Introduction générale

---

Le manuscrit est divisé en deux parties : Partie bibliographique et partie expérimentale.

**La partie bibliographique** se décompose en 2 chapitres, le 1<sup>er</sup> est une sorte de généralité sur l'eau et le dessalement à travers le monde, tant dit que le 2eme chapitre plus technique, traite des différents procédés de dessalement.

**La partie expérimentale** qui traite du dessalement de l'eau saumâtre préparée à partir des eaux de mer issues du prétraitement de la station de 'Honaine' est décomposée en deux chapitres. Le 1<sup>er</sup> fait part des méthodes et du matériel utilisé durant notre travail, le 2eme illustre les résultats sous forme de tableaux et de graphiques ainsi que l'interprétation des données.



---

# PARTIE 01

---

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE





A thick dark blue vertical bar is positioned on the left side of the page. From the bottom of this bar, several thin, light blue lines curve upwards and outwards, creating an abstract, grass-like or reed-like pattern.

# Chapitre I

## **Notions et généralités**

## I. Généralités sur l'eau

### I.1. Définition

L'eau est banale, incolore, inodore et sans saveur, mais en même temps Singulière, fantasque, exceptionnelle. de valeur nutritive à peu près nulle, elle est cependant le constituant principal de tout être vivant. Lorsqu'elle gèle, Elle augmente de volume, se gonfle au lieu de diminuer comme la plupart des autres substances, elle se solidifie et flotte en milieu liquide. [1]

Si on définit une eau naturelle pure comme ne contenant ni matières en suspension (MES) ou colloïdes ni matières organiques dissoute (ce qui est le cas des eaux minérales et de beaucoup d'eaux de forage), cette eau ne renferme que des sels minéraux dissous et dissociés en cations et anions. [1]

Les principaux ions présents peuvent être classés selon leur fréquence décroissante.

Cations		Anions	
	Masse atomique		Masse atomique
Ca <sup>2+</sup> calcium	40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> hydrogénocarbonate	61
Mg <sup>2+</sup> magnesium	24	Cl <sup>-</sup> chlorure	35.5
Na <sup>+</sup> sodium	23	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> sulfate	96
K <sup>+</sup> potassium	39	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> nitrate	62
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ammonium	18	F <sup>-</sup> fluorure	19
Fe <sup>2+</sup> fer ferreux	56	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> phosphate	95

**Tableau I.1 : Cations et ions présent dans l'eau. [1]**

Cependant PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ne sont pas souvent présents et peuvent alors être l'indice d'une pollution. [1]

### I.2. Importance de l'eau

L'homme a besoin de 25 à 50g d'eau par kilogramme de son poids pour vivre dans les conditions normales, c'est à dire pour un adulte de 2 à 3 litres par jour. L'eau entre pour 60 à 90% en poids dans la constitution des animaux et végétaux.

Généralement on ne peut survivre pendant plus de 2 jours sans eau ; on peut perdre 40% de son poids corporel, tout le glycogène, toute la graisse, la moitié de ses protéines et survivre encore. Mais la perte de 10% d'eau corporelle entraîne de graves conséquences surtout chez les nourrissons et les enfants. La perte de 20% entraîne la mort. [2]

Selon l’OMS, 30.000 personnes par jour environ, approximativement 10 millions par an, meurent en raison de l’insuffisance ou de la mauvaise qualité de l’approvisionnement en eau et de conditions d’hygiène déplorables. [2]

Cependant avec l’accroissement démographique et le développement socioéconomique, il est certain que les besoins en eau et les exigences de qualité ne cesseront de croître. Dans ces conditions, l’eau fait l’objet d’une attention particulière de la part des hygiénistes et des agents de la santé publique en général. [3]

### ***1.3. Répartition de l’eau dans le monde***

Comme tout le monde le sait, la planète Terre est également appelée planète bleue; ceci provient du fait que sa surface est recouverte à 72% d’eau. L’eau existe en quantité immuable depuis des millénaires. [4]

Mais ce n’est pas si simple. L’hydrosphère englobe un volume d’eau estimé à environ 1.4 milliards  $\text{Km}^3$  dont 97,5% (1.365 milliards  $\text{Km}^3$ ), représentée par les océans et les mers. Des volumes d’eau dont la salinité moyenne est environ 35g par litre, une salinité qui limite l’utilisation directe de cette eau. En revanche, l’eau dite douce, de salinité inférieure à 1g par litre, est utilisable sans contraintes. Elle représente une proportion de 2,5% (35 millions  $\text{Km}^3$ ) dont 79% est sous forme de glace ou de neige et 21% est de l’eau courante ou souterraine environ 7,35 millions  $\text{Km}^3$ . Cette eau est répartie sur les continents, localisée aussi dans les endroits inhabités ou sous de grande profondeur de sol. Donc seule une faible proportion (0.2%) soit 14 000  $\text{Km}^3$  est accessible pour le moment. Cependant, les spécialistes estiment que la quantité d’eau douce régulièrement disponible pour l’humanité totalise un volume de 9000  $\text{Km}^3$ . D’ores et déjà, on peut se poser la question suivante : l’humanité est-elle répartie géographiquement en fonction de la localisation des disponibilités naturelles en eau ? La réponse est non. C’est là déjà une partie du problème relatif à l’eau. On peut inverser la situation, en disant que les potentialités en eau sont irrégulièrement réparties par rapport aux sites de peuplement humains. [5]

### ***1.4. Catégories d’eaux douces***

Les différents types d’eaux douces sont définis par (D.F.I., 2005). On distingue :

- L’Eau potable
- L’Eau de source
- L’Eau minérale naturelle [6]

**L’eau potable :** On entend Par eau potable, l’eau naturelle ou traitée qui convient à la consommation, à la cuisson d’aliments, à la préparation de mets et au nettoyage d’objets entrant en contact avec les denrées alimentaires. [7]

**L’eau de source :** On entend Par eau de source, de l’eau potable conditionnée directement à la source, non traitée ou uniquement traitée au moyen des procédés admis pour l’eau minérale naturelle. [7]

**L'eau minérale naturelle :** C'est une eau souterraine microbiologiquement irréprochable, provenant d'une ou de plusieurs sources naturelles ou de captages Souterrains artificiels [7]

## ***1.5. Caractéristiques des eaux de mer et saumâtre***

### **1.5.1. Les eaux de mer**

Les eaux de mer contiennent des substances dissoutes (sels) dont les ions majeurs sont principalement  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ . D'autres ions y sont présents à de plus faibles concentrations. Le tableau I.2 montre la composition typique d'une eau de mer dont la salinité est de 36 g/L. [8]

- **Qualité de l'eau de mer**

L'eau de mer est la matière première de l'usine de dessalement. Chacun peut observer ses changements de température, de limpidité d'un lieu ou d'un jour à l'autre ; les écarts de salinité sont moins connus. Salinité, température et matières en suspension sont les paramètres majeurs du fonctionnement d'une unité de dessalement.

- **Salinité**

La salinité mesure la concentration en sels dissous ; elle s'exprime en g/L. Du fait que les quantités de sels dissous sont souvent très inférieures au gramme, l'unité communément utilisée est le mg/L ou encore le p.p.m. Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles. La quantité de sels dissous augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. Elle peut dépasser 50 g/L dans certaines zones, telles que la côte Est de l'Arabie Saoudite où la chaleur et les hauts-fonds favorisent l'évaporation.

- Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer :
  - ✓ Mer Méditerranée : 36 à 39 g/L ;
  - ✓ Mer Rouge : 40 g/L et plus ;
  - ✓ Mer Baltique : 7 g/L ;
  - ✓ Mer Caspienne : 13 g/L ;
  - ✓ Mer Morte : 270 g/L ;
  - ✓ Golfe Persique : 40 à 70 g/L ;
  - ✓ Mer Noire : 20g/L.

<b>Cations</b>	(mg/L)	<b>Anions</b>	(mg/L)
Sodium.....	11 035	Chlorures .....	19 841
Magnésium.....	1 330	Sulfates.....	2 769
Calcium.....	418	Bicarbonates.....	146
Potassium.....	397	Bromures.....	68
Strontium.....	14	Fluorures.....	1.4
Salinité totale.....		36.047 g/L	

- **Teneur en matières en suspension**

L'eau de mer est un milieu vivant, qui véhicule d'une part des matières minérales et d'autre part des organismes vivants souvent microscopiques. En pleine mer, le plancton prédomine. Près des côtes, la teneur en sable augmente. Elle varie selon les courants et la profondeur des fonds. La pollution par des rejets urbains ou industriels peut devenir prépondérante. Le site de la prise d'eau et sa conception seront choisis pour éviter toute pollution et limiter au mieux l'apport des matières en suspension [9]

### I.5.2. Les eaux saumâtres

Généralement on appelle une eau saumâtre une eau saline non potable, de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En effet, la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g/L. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme d'eaux souterraines. [10]

Leur composition chimique varie énormément d'une région à l'autre et pour une même région d'une saison à une autre. Ces variations de composition chimique dépendent de plusieurs paramètres : l'eau qui pénètre dans le sol dissout les sels qui composent l'écorce terrestre. Les principaux sels qui peuvent être dissous en assez grandes quantités sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{NaCl}$ . Indépendamment de la composition chimique et de la structure physique des roches, d'autres facteurs interviennent également parmi lesquels nous citons :

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

- Le phénomène d'évaporation (évaporation directe ou évapotranspiration), paramètre principalement lié aux conditions climatiques mais aussi à la profondeur du niveau piézométrique des nappes souterraines (influences irrigations). [10]

## ***I.6. Propriétés de l'eau***

### **I.6.1. Propriétés physico-chimiques :**

L'eau possède un point de fusion, un point d'ébullition, une chaleur de vaporisation, une chaleur spécifique, une chaleur de fusion et une tension superficielle plus élevés que ceux des autres liquides.

- A la pression atmosphérique, la température d'ébullition de l'eau est de 100°C.
- A la pression atmosphérique, la température de 40°C, sa chaleur de vaporisation est de 540 cal/g
- L'élimination d'une faible quantité d'eau, par exemple par transpiration, permet d'évacuer une grande quantité de chaleur : propriété essentielle pour les êtres vivants homéothermes,
- L'eau a une grande capacité calorifique (1 cal/g pour élever la température de 1°C) : elle joue donc un rôle très important comme tampon calorifique. [11]
- Sa densité maximale est obtenue autour de 4 °C.
- Sa tension superficielle est élevée (73 mN/m à 20 °).
- Au-delà de l'aspect technique de ces données, il est important de noter que ces propriétés très particulières favorisent des comportements qui répondent aux exigences du processus vivant. [12]

### **I.6.2. La structure de la molécule d'eau**

Rappelons que la molécule est la plus petite quantité d'un corps pur qui puisse exister à l'état libre. C'est un assemblage d'atomes. La molécule conserve toutes les propriétés physiques et chimiques de ce corps.

L'eau est un corps pur dont la molécule est composée de deux atomes d'hydrogène (H) reliés à un atome d'oxygène (O). Sa formule chimique est H<sub>2</sub>O. [12]

## ***I.7. Paramètres de potabilité de l'eau***

### **I.7.1. Paramètres organoleptique**

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.). [13]

**✓ Couleur :**

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV. [13]

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. L'élimination de la couleur s'accompagne également de celles de certaines matières organiques indésirables. Cette élimination devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau. [14]

**✓ 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. [13]

**I.7.2. Paramètres physicochimiques****✓ Potentiel d'hydrogène « pH »**

L'eau naturelle pure est neutre. Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau, il doit être surveillé au cours de toute opération de traitement.

Un pH inférieur à 7 peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux des canalisations, avec entrainement des éléments indésirables comme le plomb et le cuivre. [15]

**✓ 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. [16]

**✓ Température**

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur. [17]

**✓ Matières en suspension**

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les matières en suspension, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution de l'eau. [18]

Une eau potable ne doit pas contenir de matières, en suspension décantables, Pour une eau qui contient des suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs. [19]

### ✓ **Matières organiques dissoutes**

Dans les eaux naturelles, elles représentent plusieurs familles de composés parmi lesquelles on peut citer les acides humiques, les acides carboxyliques et les acides hydrates de carbone. Elles sont caractérisables globalement par l'oxydabilité au permanganate ou le carbone organique total. [20]

### ✓ **Conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. [15]

Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation. [21]

La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) [22]

**Tableau I.3 : Classification des eaux selon la conductivité [15]**

Type d'eaux	Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )	Résistivité
Eau pure	< 23	> 30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	400 à 1000

### ✓ **La dureté totale de l'eau**

La première définition de la dureté de l'eau était sa capacité de transformer le savon en un composé insoluble. Maintenant, la dureté de l'eau est calculée en mesurant la quantité d'ions calcium, magnésium, aluminium, fer, strontium, etc. présents dans l'eau, les deux premiers cations ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) étant généralement les plus abondants. Comme le calcium est un des ions les plus abondants, il devient donc un bon indicateur de la dureté de l'eau. C'est pourquoi on exprime la dureté selon la quantité de trioxycarbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ , communément appelé le carbonate de calcium) présente dans une solution. Cette quantité est exprimée en mg/L ou en ppm. [23]

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. [23]



### ✓ 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. [24]

### ✓ 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 ( $1^{\circ}f = 10 \text{ mg. L}^{-1} \text{ de CaCO}_3 = 0,2 \text{ milliéquivalent.L}^{-1}$ ). [24]

### ✓ Cations et anions

Un ion est un élément chimique portant une charge électrique. On distingue les ions négatifs, les anions, et les ions positifs, les cations. Un anion est un atome (ou une molécule) qui a gagné un ou plusieurs électrons. Comme l'électron est chargé négativement, l'anion porte une charge négative. À l'inverse, un cation est un atome (ou une molécule) qui a perdu un ou plusieurs électrons. La charge électrique globale du cation est donc positive. [24]

Les sels dissouts dans l'eau sont sous forme ionique. Les ions sont impliqués dans de nombreuses réactions chimiques notamment au sein des organismes vivants. [A]

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...). [24]

#### ○ Le magnésium

Est un élément chimique avec le symbole Mg. Il provient de différents minerais. Il est un composant de la chlorophylle. Il est également responsable de la Dureté de l'eau. Il a aussi une importance dans la formation des os et des dents, ainsi que dans la fixation du calcium sur les os.

#### ○ Le calcium

Est un élément chimique avec le symbole "Ca". Il provient des roches calcaires. Il a un rôle important pour la formation des os et des dents. Il est aussi essentiel pour la contraction des muscles, ainsi que le maintien de la pression sanguine et pour la coagulation sanguine.

Il est également un nutriment important pour la structure et le métabolisme des plantes. Il est également responsable de la dureté de l'eau.

- **Les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

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<sub>3</sub>.

- **Le Chlore (CL<sup>-</sup>)**

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. [25]

- **Les nitrates et les nitrites**

Le nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et le nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. [26]

Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), présent dans l'eau 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; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation.). La toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine d'une part et de leur contribution possible à la synthèse endogène de composés N-nitrosés d'autre part.

Les concentrations de nitrates et de nitrites dans l'eau peuvent être exprimées sous forme de nitrates (ou nitrites) ou sous forme d'azote. Un milligramme de nitrates par litre (mg/l de NO<sub>3</sub>) équivaut à 0,226 mg de nitrates, sous forme d'azote, par litre (mg-N/l). Dans le cas des nitrites, un mg/l équivaut à 0,304 mg-N/l. [27]

Comme les nitrates-nitrites sont facilement dissouts dans l'eau, il est important de faire un suivi attentif de la variation de leur concentration. Si la quantité de nitrates-nitrites dans l'eau de votre puits dépasse 3 mg/l, des analyses semi-annuelles sont fortement recommandées, soit au début du printemps et à l'automne, ainsi que lorsque des changements relatifs à sa couleur, à sa transparence, à son odeur ou à son goût sont constatés, par exemple, après une pluie abondante, car ils peuvent indiquer un changement de la qualité de votre eau. [28]

- ✓ **Pollution des eaux par les métaux lourds**

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure. [29]

- ✓ **Substances Polluantes**

- **Hydrocarbures**

Susceptibles de polluer l'eau ; ils ont pour source les rejets pétroliers, d'huiles de vidanges d'effluents de différents d'industries. Leur nuisance est l'apparition de goûts et d'odeurs pour des seuils extrêmement variables. La toxicité serait à craindre dans les eaux de boisson pour des doses supérieures aux seuils d'apparition de goûts et odeurs. On a constaté des affections cutanées dues à des produits d'additions du mazout. [19]

- **Pesticides ou herbicides**

D'origine agricole, ils sont destinés à la protection, à l'amélioration de la production végétale et à la préservation des récoltes. Ils sont entraînés par les eaux de pluie ou de ruissellements. Ce sont des produits toxiques et peuvent affecter le goût et l'odeur à une certaine dose. [20]

- **Phénols et dérivés**

Ils sont l'indice d'une pollution industrielle. Leur nuisance la plus marquante est le goût du chlorophénol qui apparaît dans l'eau en présence de chlore pour des teneurs extrêmement faibles. [19]

### **I.7.3. Paramètres microbiologiques**

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de microorganismes 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. [6]

## ***I.8. La technologie du dessalement***

De plus en plus de pays sont confrontés à une pénurie d'eau, en raison d'une aridité climatique, d'une pression démographique importante (notamment sur les littoraux où 40% de la population mondiale vit à moins de 100 km d'un littoral), de techniques agricoles gourmandes en eau, mais aussi de l'élévation du niveau de vie qui se traduit par une consommation par habitant en hausse. Ainsi le réchauffement climatique conduit-il à une situation de stress hydrique jusque-là inhabituelle pour de nombreux pays qui se tournent vers le dessalement de l'eau de mer car les solutions ne sont pas légion : soit il conviendra de limiter la consommation, ce qui paraît difficile pour beaucoup alors que de nombreux besoins minimaux ne sont pas couverts, soit il faudra trouver de nouvelles ressources (barrages, aquifères, etc.), ou encore mieux utiliser celles qui existent (recyclage). Pourtant, l'eau est abondante sur la planète ; mais la plupart du temps elle est salée (océans, mers). Cependant, si le dessalement ouvre de très belles perspectives, certains freins peuvent compromettre cette solution : d'abord son coût économique, puis son coût environnemental.

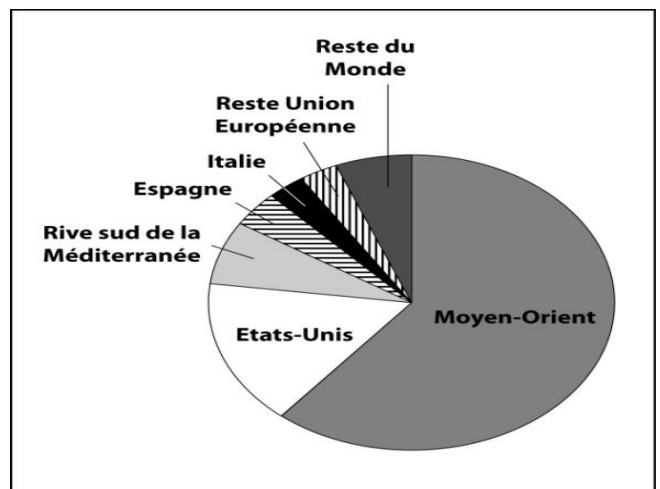
Les besoins en eau potable sont à l'origine de l'idée, ancienne, du dessalement de l'eau de mer. Mais ce n'est que récemment que cette technique a atteint un stade résolu

industriel et ce pour répondre à une demande exponentielle, notamment en raison de l'évolution de la consommation humaine par habitant. [30]

### *1.9. Situation de dessalement dans le monde*

La répartition des usines de dessalement dépend de trois facteurs : une forte pénurie d'eau liée à l'aridité climatique, la proximité de la mer et une altitude pas trop élevée, enfin la possibilité d'assumer financièrement un fort coût énergétique ce qui exclut pratiquement les régions pauvres. [30]

Les principaux pays producteurs sont l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15%), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %). L'Europe représente 12,9 % dont 3,4 millions en Espagne et 0,8 en Italie et l'Asie 15,1% dont 1,5 million au Japon, 1 en Corée du Sud, 1,1 en Chine, 0,8 en Inde, 0,6 à Taiwan et 0,5 à Singapour. [30]



**Figure I.1** : Répartition du dessalement dans le monde [30]

Il y aurait actuellement environ 13000 unités de dessalement dans le monde, les 2/3 traitants de l'eau de mer et le reste des eaux saumâtres.

La production totale actuelle serait de l'ordre de 58 Mm<sup>3</sup> /jour (47 à partir d'eau de mer et 11 à partir d'eaux saumâtres). Les estimations de cette production varient suivant les sources (de 50 à 60 Mm<sup>3</sup> /jour). Cela représente environ 1% de la quantité d'eau potable consommée mais la production s'accroît de 10% par an. [31]

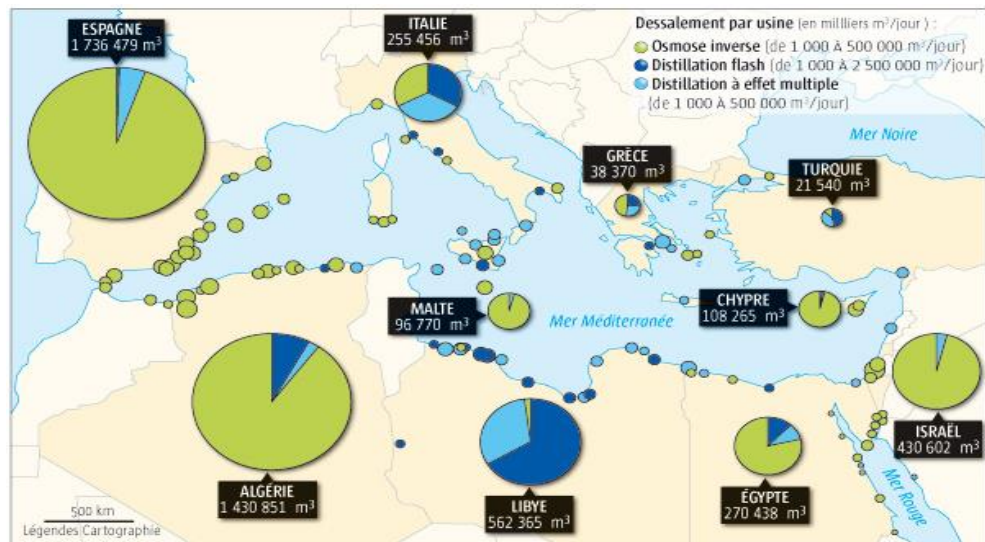


Figure I.2 : Le dessalement à travers la méditerranée [31]

### I.10. Définition du dessalement de l'eau

Technique de suppression du chlorure de Sodium (NaCl) de l'eau de mer. Pour contrer les pénuries d'eau, des systèmes sont mis en place pour produire de l'eau douce à partir d'eau de mer. Parmi les techniques les plus utilisées on trouve l'osiose inverse (traitement préalable de l'eau de mer par filtration et désinfection) et la distillation (purification par évaporation de l'eau de mer) et l'électrodialyse. [B]

### I.11. Les étapes de dessalement de l'eau de mer

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- Le procédé de dessalement lui-même,
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. [32]

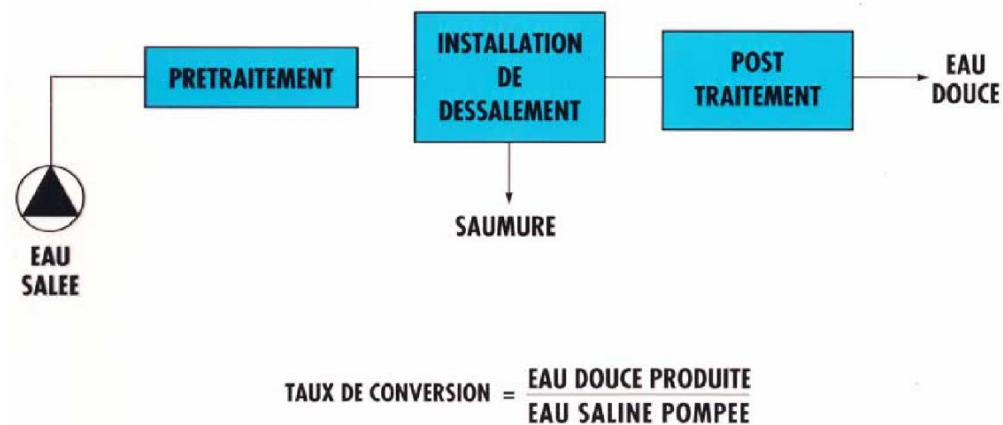


Figure I. 3 : Schéma d'une station de dessalement [32]

### I.11.1. Captage et système de prise d'eau de mer

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. [10]

Les grilles de prise d'eau se trouvent à l'extrémité de la tuyauterie, à environ 1-2 m en-dessous du niveau de la mer. La grille est rétrolavée à l'air afin d'empêcher l'encrassement de sa surface avec des particules. [C]

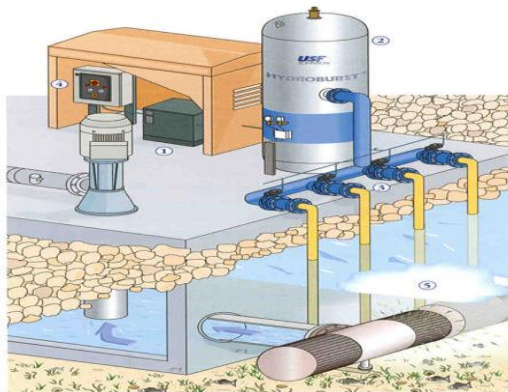


Figure I.4 : Grilles de prise d'eau [C]

- **Les puits côtiers** : Ils sont recommandés lorsque la qualité de l'eau de mer varie suivant les saisons et/ou lorsqu'il est possible d'avoir des pics élevés de turbidité.

Un puits côtier vertical peut tirer jusqu'à 200 m<sup>3</sup>/h. Un puits radial peut prendre jusqu'à 1000 m<sup>3</sup>/h, en fonction des couches du sol.

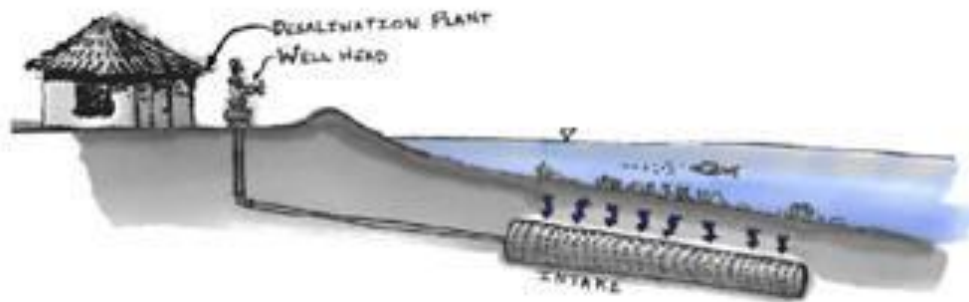


Figure I.5 : Puit côtier [C]

- **Prise d'eau mobile** : Idéal pour des installations temporaires ou lorsque du génie civil est impossible. Prise d'eau de mer de surface mobile.



Figure I.6 : Prise d'eau mobile [C]

### I.11.2. Prétraitement

Pourquoi un prétraitement ?

Les membranes d'osmose inverse à film mince sont sujettes au colmatage par des matières en suspension présentes dans l'eau de mer. Les différents colmatages possibles sont :

Tableau I.4 : les types de colmatages [C]

Colmatage	Cause	Prétraitement approprié
Biologique	Bactéries, micro-organismes, virus, protozoaires	Chloration
Particulaire	Sable, argile (turbidité, solides en suspension)	Filtration
Colloïdal	Complexes organiques et inorganiques, particules colloïdales, micro-algues	Coagulation + Filtration Optionnel: Floculation/décantation
Organique	Matière Organique (MO) : acides humiques et flaviques, biopolymères	Coagulation + Filtration + Adsorption sur charbon actif Coagulation+ Ultrafiltration
Minéral	Calcium, Magnésium, Barium ou Strontium, sulfates et carbonates	Anticalcaire Acidification
Oxidant	Chlore, Ozone, KMnO <sub>4</sub>	(meta)bilsulfite de soude Charbon Actif en Granulés

- **Procédés typiques de prétraitement du dessalement d'eau de mer :**

- Une manière très économique d'empêcher le colmatage biologique est la chloration d'eau de mer. Malheureusement, le chlore oxyde le matériau de la membrane et c'est pour cela que seulement 0.02 mg/L peut être toléré.
- Un procédé standard de déchloration est l'injection de bisulfite de soude ou metabisulfite, qui agit comme un désactivant pour le chlore. Une autre solution est l'utilisation de charbon actif en granulés.
- MO, particules et colloïdes peuvent être enlevés par un traitement conventionnel, à savoir une coagulation suivie d'une filtration sur média pour une eau peu trouble. Des étapes additionnelles comme la floculation et la décantation sont ajoutées dans le cas d'eaux très troubles provenant d'eaux peu profondes.
- Le traitement non conventionnel pour les MO, particules et colloïdes est l'ultrafiltration.
- Un anticalcaire devrait être ajouté avant le passage dans les membranes pour disperser les carbonates de calcium et les précipités de sulfate afin d'éviter l'entartrage.



- Une filtration fine (5-micron) est requise juste avant le passage au travers des membranes d'osmose inverse afin d'éviter que des débris ou des particules de sable viennent endommager les membranes. [C]

**I.11.3. Procédés de dessalement**

Il existe aujourd’hui de nombreux systèmes de dessalement de l’eau de mer, dont beaucoup ont atteint le stade industriel.

Les techniques les plus performantes, disponibles sur le marché, sont l’osmose inverse et les procédés de distillation, à détente(s) étagée(s) ou à multiples effets (Tableau I.5).

Les deux procédés les plus courants, sont la distillation thermique et l’osmose inverse. [30]

**Tableau I.5 : Procédés de dessalement [30]**

Séparation	Energie	Processus	Méthode
Eau des sels	Thermique	Evaporation	Distillation subite (flash)
			Distillation multi-effet
			Thermo-compression à vapeur
		Distillation solaire	
	Cristallisation	Congélation	
		Formation d'hydrates	
	Filtration et évaporation	Distillation par membranes	
Mécanique	Evaporation	Compression mécanique vapeur	
	Filtration	Osmose inverse	
Sels de l'eau	Electrique	Filtration sélective	Electrodialyse
	Chimique	Echange	Echange ionique

### I.11.4. Post-traitement

Certains procédés de dessalement comme l'osmose inverse nécessitent un post-traitement :

#### I.11.4.1. Correction de l'agressivité de l'eau

L'eau produite par OI est agressive, c'est à dire que son pH est inférieur au pH de saturation ou que son indice de Langelier est négatif : l'eau sous saturée en  $\text{CaCO}_3$  dissout le calcaire sous l'action du  $\text{CO}_2$  agressive. Le  $\text{CO}_2$  peut être éliminé soit par dégazage, soit par neutralisation avec  $\text{Na}(\text{OH})$  ou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Le plus souvent on utilise un dégazeur en 1<sup>er</sup> et un ajout de soude en phase finale. [10]

#### I.11.4.2. Correction de la corrosivité

L'agressivité, phénomène chimique de dissolution du calcaire n'est qu'un cas particulier de la corrosivité, phénomène électrochimique d'attaque du métal. Le réglage du pH d'équilibre est une condition nécessaire mais non suffisante pour éviter les corrosions. Dans l'ensemble, les cas de corrosion les plus courants sont dus à :

- Un pH inférieur au pHs du fait de la présence de  $\text{CO}_2$  agressive ;
- Une sursaturation en oxygène dissous ;
- Une présence excessive en sels minéraux (chlorures, sulfates) ;
- La présence de bactérie oxydant le fer et/ou réduisant les sulfates ;
- Une insuffisance du TAC et/ou TCA pour former la couche protectrice ; [10]

#### I.11.4.3. Désinfection finale

Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les microorganismes (bactéries, virus) il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfectant pour éviter toute contamination et développement biologique. [10]

#### I.11.4.4. Problèmes de Bore

Le problème du bore en osmose inverse est apparu récemment avec le développement d'usines de dessalement de capacité de plus en plus élevée. L'eau de mer contient naturellement 4 à 6 mg/L de Bore.

Il est de même pour les eaux saumâtres principalement dans les régions volcaniques.

Ce Bore se trouve dans l'eau sous forme d'acide Borique, Acide faible, au pH de fonctionnement de l'OI (pH 6-7), le Bore est sous forme moléculaire ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) et donc n'est pas retenu par les membranes classiques d'osmose inverse.

Plusieurs solutions sont possibles pour réduire la teneur en Bore dans l'eau osmose :

- Utilisation de résine spécifique (Amberlite IRA 743 de Rhom-Haas) : ces résines ont une très bonne efficacité (supérieur à 90%) mais leur régénération est relativement complexe.
- Mise en œuvre d'un double pass avec augmentation du pH pour améliorer le taux de rejet des membranes. Cette solution a l'inconvénient de doubler presque la surface de membrane. En contrepartie, la salinité de l'eau produite est abaissée aux environs de 40mg/L. [10]

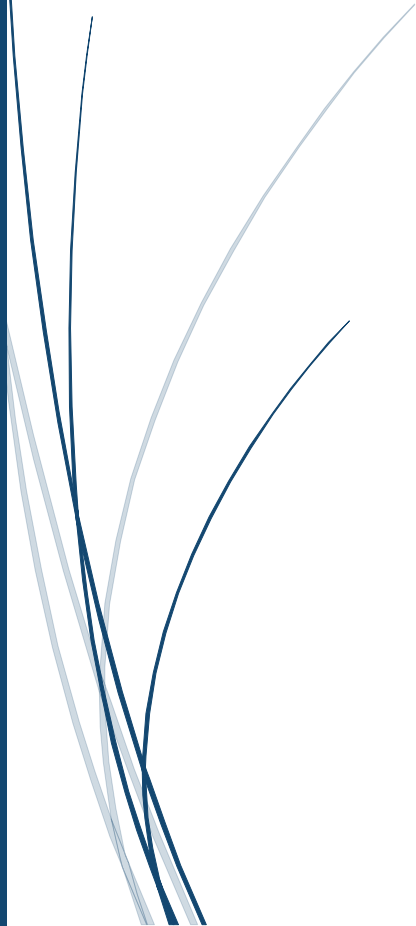
## **I.12. Conclusion**

Le dessalement apparaît de nos jours comme la solution 'ultime' face aux pénuries d'eaux que peuvent rencontrer certains pays en proie à la sécheresse, beaucoup de techniques ont été développées passant de la plus rudimentaire comme la distillation, à la plus avancée mais néanmoins coûteuse à l'image de l'osmose inverse, mais alors quels sont ces procédés ? et que valent-ils ?



# Chapitre II

## **Les procédés de dessalement**



## II. Les procédés de dessalement

Comme indiqué sur le schéma ci-dessous, il existe plusieurs moyens pour dessaler l'eau de mer : [33]

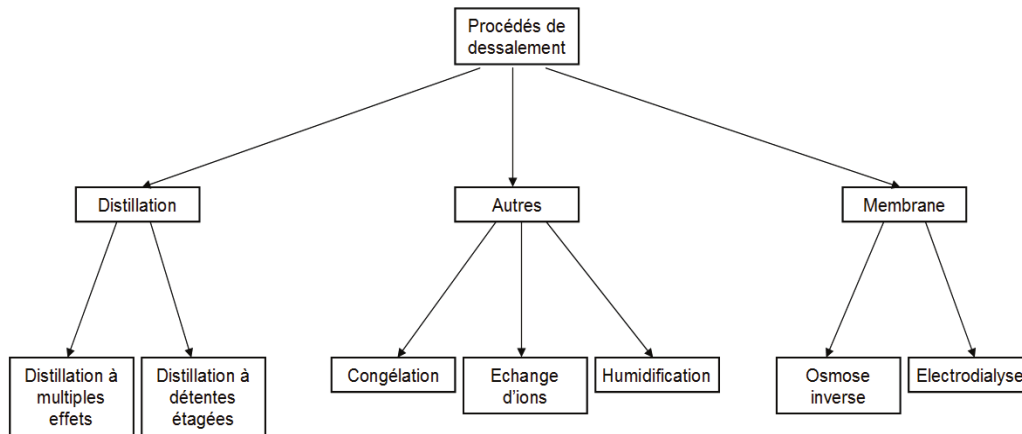


Figure II.7 : Les différents procédés de dessalement [33]

### II.1. La distillation

#### II.1.1. Principe

La distillation est un procédé de séparation selon lequel un composé volatil d'une solution est évaporé et ensuite condensé. Cette technologie est la plus ancienne utilisée pour dessaler l'eau de mer commercialement.

#### II.1.2. Les différents types de distillation

Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

- Distillation à multiple effet ;
- Distillation par détente successive appelée aussi multi flash ;
- Distillation par compression de vapeur. [34]

##### II.1.2.1. Distillation à multiples effets

La distillation à multiple effet se produit dans une série d'évaporateurs, et utilise le principe de réduction de la pression dans les cellules, qui permet la vaporisation de l'eau de mer, sans fournir de chaleur supplémentaire après le premier effet. [35]

L'eau de mer est chauffée dans le premier corps d'évaporation par des tubes alimentés par la vapeur d'une source extérieure. La vapeur émise par ébullition dans ce corps (effet) sert à évaporer l'eau dans le deuxième corps. La vapeur de chauffe condensée dans le premier corps est récupérée sous forme d'eau douce à la sortie du deuxième corps. Cette opération est répétée dans plusieurs effets.

Dans une unité de dessalement par distillation à multiple effet, la vapeur émise peut être comprimée pour produire une chaleur suffisante à l'évaporation.

Deux méthodes sont utilisées : la compression mécanique et la thermo-compression. Dans le cas où aucune source extérieure de chaleur n'est disponible, la vapeur produite dans le dernier corps est comprimée dans un compresseur centrifuge et alimente le serpentin du premier corps. C'est la compression mécanique. Dans le procédé par thermo-compression, un apport de vapeur (30 bar) est requis. Cet apport de vapeur alimente un éjecteur à vapeur qui permet d'aspirer la vapeur produite dans le dernier corps. Les deux vapeurs sont mélangées et sortent de l'éjecteur avec une pression plus élevée. La vapeur obtenue est alors alimentée dans le serpentin du premier corps. La thermo-compression permet ainsi d'abaisser la consommation d'énergie en récupérant l'enthalpie de vaporisation de la vapeur produite dans le dernier corps. [9]

La température maximale de fonctionnement d'une unité de distillation à multiple effet est entre 60 et 63°C, ce qui réduit la vitesse de corrosion et permet l'utilisation d'aciers inoxydables standards. [9]

La consommation d'énergie de la distillation à effet multiple s'exprime par :

$$Q = m_e c_p \Delta T + \frac{m_s \Delta H_{\text{vap}}}{n}$$

Où  $n$  est le nombre d'effets ;

$m_e$  et  $m_s$  sont, respectivement, la masse d'eau de mer admise et la masse d'eau douce produite ;

$c_p$  la chaleur spécifique de l'eau de mer ;

$\Delta T$ , l'écart entre la température d'ébullition et la température de l'eau mer à l'entrée de l'enceinte ;

$\Delta H_{\text{vap}}$  la chaleur de vaporisation moyenne de l'eau dans les différents corps.

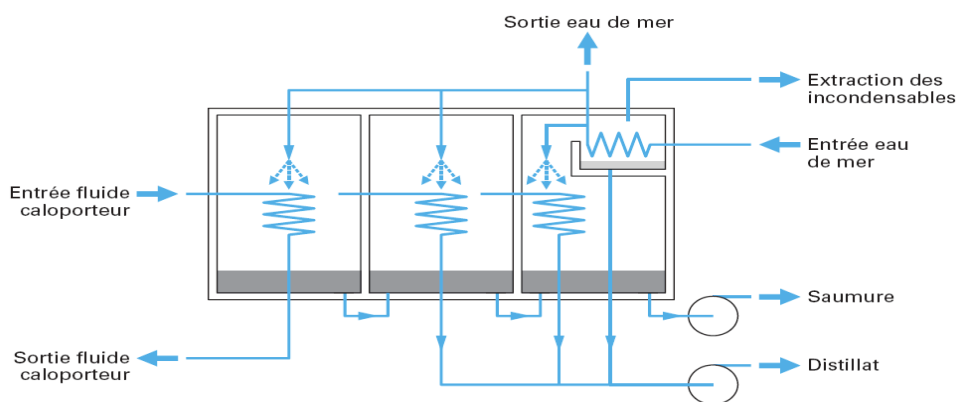


Figure II.8 : Schéma distillation multiples effets [9]

### II.1.2.2. Distillation par détente successive appelée aussi « multi flash »

Dans le procédé de distillation à détente étagées (multi stage flash), la vaporisation de l'eau de mer est obtenue par une succession de réduction de pression dans chaque étage. L'eau salée est tout d'abord chauffée puis introduite dans une première chambre à basse pression, de sorte qu'une partie est instantanément vaporisée. La vaporisation d'une partie de l'eau produit une diminution de température de la solution restante. Cette solution est introduite dans la chambre suivante à pression plus réduite et le processus est ainsi répété dans plusieurs étages (50 étages peuvent être installés dans une usine). La vapeur produite est refroidie par échange de chaleur avec l'eau de mer d'alimentation et condensée sous forme d'eau dessalée.

Les unités de dessalement par distillation à détente successives opèrent à des températures entre 120°C et 90°C ce qui tend à augmenter la productivité mais aussi le problème d'entartrage. Pour éviter l'entartrage qui est dû aux ions bicarbonates, l'eau de mer est traitée par l'ajout d'inhibiteur d'entartrage comme des polyphosphates ou bien par neutralisation des bicarbonates avec l'acide sulfurique.

La saumure est recyclée dans ce procédé pour réduire le débit de prétraitement de l'eau d'alimentation et par conséquent son coût.

Cette technique permet d'atteindre de très grandes capacités (**supérieures à 25000m<sup>3</sup> /j**), mais la consommation énergétique est supérieure à celle de la distillation à multiple effet.

La température maximale de fonctionnement d'une unité de distillation à multiple effet est entre 60 et 63°C, ce qui réduit la vitesse de corrosion et permet l'utilisation d'aciers inoxydables standards. [9]

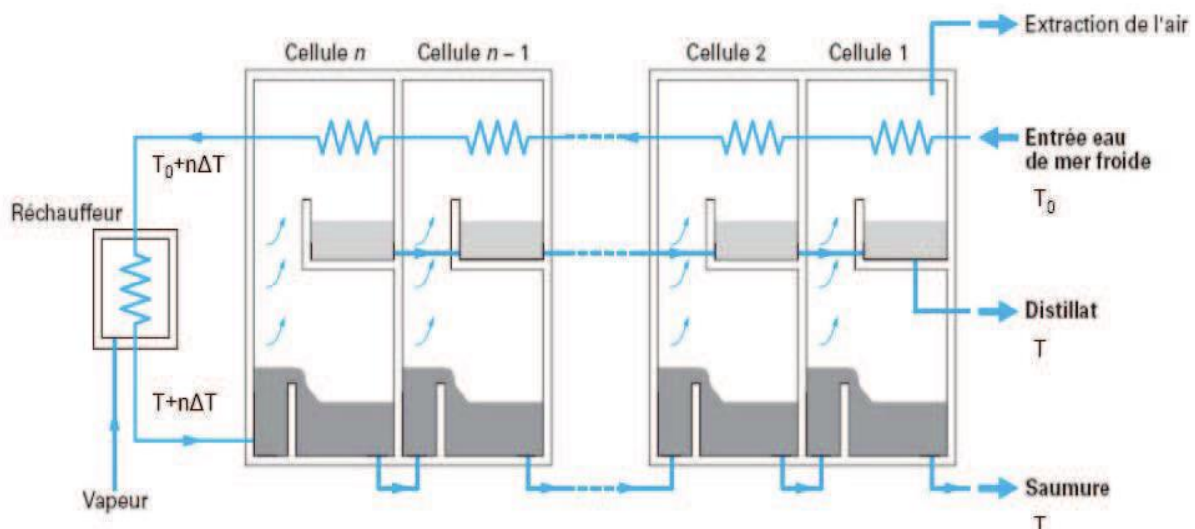


Figure II.9 : Schéma distillation "multiflash" [9]

### II.1.2.3. La distillation par compression de vapeur (VC)

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est utilisé pour des installations de dessalement de petite ou moyenne capacité. Le procédé par compression de vapeur diffère des autres procédés de distillation en ce qu'il n'utilise pas de source de chaleur extérieure mais la compression de la vapeur d'eau. [36]

L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée, la vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée. En ce qui concerne le fonctionnement de ce système, l'eau de mer se vaporise, par exemple à la température de 90 °C et à la pression de 0,7 bar absolu. La vapeur ainsi produite est ensuite comprimée jusqu'à la pression de 1 bar absolu, puis envoyée dans le faisceau de chauffe du bouilleur ou elle se refroidit à pression constante, puis se condense en cédant à l'eau de mer la chaleur nécessaire à son ébullition. [37]

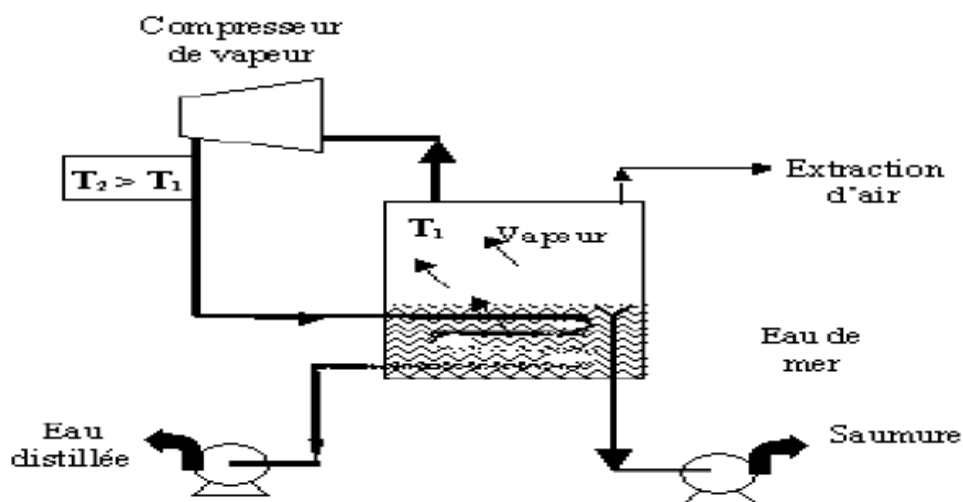


Figure II. 10 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur [38]

### II.1.3. Les avantages et les inconvénients de distillation

#### A. Avantages

- ❖ Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute ;
- ❖ Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau ;
- ❖ Exploitation relativement aisée ;
- ❖ Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels.



**B. Inconvénients**

- ❖ La distillation ne produit l'eau purifiée que lentement. Ce procédé ne fonctionne pas à la demande. De ce fait, il faut distiller et stocker une quantité d'eau pour pouvoir l'utiliser ultérieurement ;
- ❖ Le stockage doit être spécifiquement conçu pour protéger l'eau distillée de toute recontamination par les impuretés véhiculées dans l'air ambiant. En outre, les matériaux utilisés lors du stockage doivent être inertes afin d'éviter toute contamination ionique et organique par les parois du contenant ;
- ❖ Troisième problème : les bactéries prolifèrent bien dans une eau qui a reposé quelque temps. Pour maintenir la stérilité ;
- ❖ Enfin, dans les zones où l'eau est dure, le tartre se forme et il faut fréquemment nettoyer à l'acide, à moins que l'eau d'alimentation ne soit prétraitée par adoucissement ou osmose inverse. [D]

**II.2. Les procédés membranaires****II.2.1. Principe**

La filtration membranaire est de plus en plus utilisée comme procédé de séparation dans de nombreux domaines notamment dans le cycle de l'eau (potabilisation de l'eau, traitement des effluents, réutilisation de l'eau, adoucissement, dessalement ...).

La filtration membranaire est basée sur l'application d'une différence de pression qui permet le transfert du solvant à travers une membrane dont la taille des pores assure la rétention de solutés. [39]

**II.2.2. Type de membranes**

Ces opérations, classées selon une taille des pores décroissantes, sont : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse. Ce sont des procédés matures technologiquement (une bonne part du développement technologique est déjà réalisée) mais encore en plein développement industriel. A titre d'exemple, dans le domaine de la potabilisation de l'eau, la capacité de production des plus grosses usines est multipliée par dix tous les 5 ans. [39]

Par définition, la membrane est une barrière permselective qui va réduire le transfert d'un soluté par rapport à un autre (le plus souvent d'un ou des solutés par rapport à l'eau). Dans le cas de la filtration membranaire, la membrane est une structure poreuse avec des pores de l'ordre de 0,1 à 10  $\mu\text{m}$  pour la microfiltration, 10 nm à 1  $\mu\text{m}$  pour l'ultrafiltration, quelques nm pour la nanofiltration et une structure dense pour l'osmose inverse. Le seuil de coupure est défini par la masse molaire du soluté le plus petit retenu à 90 %. [39]

**II.2.3. Composition des membranes**

Les matériaux synthétiques à la base des membranes sont des polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfone ...) ou de matériaux inorganiques (ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, alumine). Leur structure asymétrique est constituée d'un support macroporeux (pour la tenue mécanique) et d'une peau ou couche superficielle (pour la sélectivité). Le but est d'assurer une bonne sélectivité avec une faible résistance au transfert tout en ayant une bonne tenue mécanique. [39]

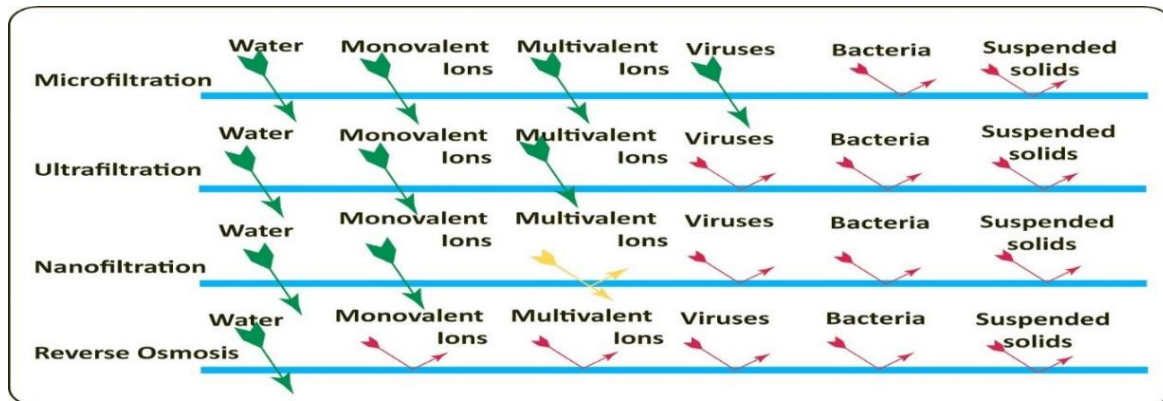


Figure II.11 : Sélectivité des différentes membranes [39]

**II.2.4. Caractéristiques des membranes**

Il existe différentes façons d'agencer les membranes pour en faire un procédé de séparation : membrane plane, spiralée, tubulaire, fibres creuses. Dans la plupart des cas, le module membranaire est constitué au final d'une entrée (l'alimentation) et deux sorties, la partie du fluide étant passé à travers la membrane (le perméat) et la partie ayant été retenue (le rétentat).

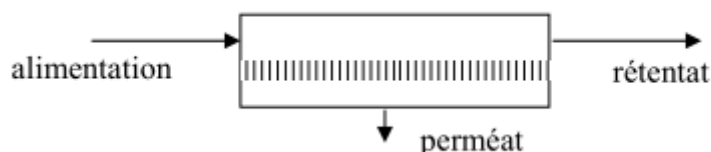


Figure II.12 : Principe de fonction d'une membrane [39]

Le choix doit se faire selon les contraintes qui sont les plus importantes par rapport à l'application industrielle envisagée. Plusieurs critères (compacité, coût, ...) sont donc utilisables pour choisir le type de module optimal (Tableau 6.). Chacun des types de modules a ses avantages lui permettant de trouver des applications industrielles. [39]

Tableau II.6 : Critères membranaires [39]

Choix selon	Critère	Plan	Spiralé	Tubulaire	Fibres	Disque rotatif
Surface disponible	Compacité	+	++	-	+++	-
Caractère colmatant	Rétrolavage	-	-	-/++	++	-
Valeur du produit	Coût	+	+++	-	+++	-
Viscosité	Pertes de charges	-	++	+++	++	+++
Turbidité	Prétraitement nécessaire	+	-	+++	+	+++

- Désavantage    +++ Avantage important

Les procédés de filtration membranaire mettent en œuvre des fluides composés de particules, colloïdes, macromolécules et électrolytes. L'accumulation de matière et sa rétention au voisinage de la membrane où la concentration est élevée est alors très complexe et donc très difficile à simuler et prédire. Il est cependant utile de connaître les principales lois permettant de décrire ces phénomènes afin de bien comprendre et appréhender les phénomènes mis en jeu. [39]

❖ **Le colmatage :**

Le fonctionnement d'un procédé de filtration membranaire est conditionné par le colmatage qui est le phénomène qui s'oppose à la filtration. En effet, au cours de l'utilisation, la matière retenue par la membrane s'accumule (phénomène de polarisation) réduisant ainsi le flux de perméation et donc la productivité du procédé. [39]

❖ **La sélectivité**

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. [39]

### II.3. L'électrodialyse

#### II.3.1. Description du procédé

On sait que lorsqu'on soumet un liquide contenant des espèces ioniques à un champ électrique grâce à deux électrodes plongées dans le milieu, les cations et les anions migrent respectivement vers les électrodes positives et négatives où ils se déchargent : il y a électrolyse. [40]

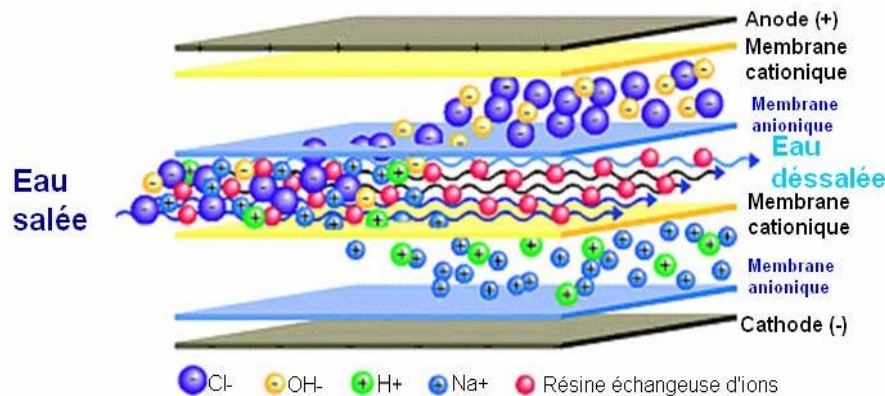


Figure II.13 : Principe de l'échange d'ion [40]

### II.3.2. Le dessalement par électrodialyse

L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer. Sur le schéma ci-dessous, il est présenté le fonctionnement d'une unité en parallèle de dessalement. En fin de chaîne de traitement, on récupère à la fois de l'eau douce et de la saumure. Il existe également des unités en série et d'autres modèles de système d'électrodialyse. [E]

L'électrodialyse est un procédé chimique qui permet de séparer les ions  $\text{Na}^+$  et les ions  $\text{Cl}^-$  contenus dans une solution salée afin de ne conserver que les molécules d'eau.

Un électrodialyseur est composé de plusieurs compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques ou cationiques et à chaque extrémité du système on dispose une cathode et une anode. Une membrane anionique ne laisse passer que les anions, c'est-à-dire les ions  $\text{Cl}^-$ , et une membrane cationique ne laisse passer que les cations, c'est-à-dire les ions  $\text{Na}^+$ .

Ces membranes sont des parois minces, denses et insolubles entre deux phases aqueuses. Le transfert d'un ion à travers une membrane est accompli par l'action d'un champ électrique. Les procédés électrodialytiques utilisent des membranes organiques composées de matériaux similaires à ceux des résines échangeuses d'ions.

Un prétraitement de la solution est nécessaire. En effet les particules en suspension d'un diamètre supérieur à 10 nm sont susceptibles de boucher les pores de la membrane.

Ainsi, chaque ion après avoir traversé une membrane se retrouve « pris au piège » dans le compartiment suivant, et les compartiments qu'ils ont quittés ne sont plus que remplis de molécules d'eau. Ces compartiments s'appellent compartiments de dilution. On obtient ainsi de l'eau pure. [F]

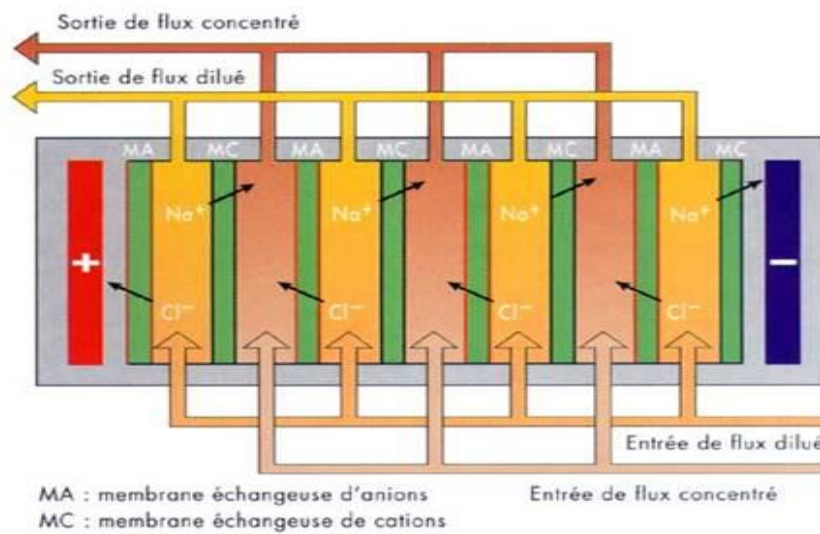


Figure II.14 : Schéma du procédé de l'électrodialyse [F]

### II.3.3. Les avantages et les inconvénients

#### A. Avantages

- ❖ L'électrolyse est une technique qui permet d'obtenir une eau de très bonne qualité avec une faible concentration de saumure ;
- ❖ Dans le cas des eaux à faible concentration saline, l'électrodialyse est très compétitive par rapport à l'osmose inverse ;
- ❖ La quantité de courant électrique nécessaire est proportionnelle à la teneur en sel de l'eau, donc elle consomme peu d'énergie quand on dessale une solution à faible teneur en sel telles les eaux saumâtres par exemple, avec une consommation d'énergie de 3-8 kWh/m<sup>3</sup>. [41]

#### B. Inconvénients

- ❖ L'électrodialyse ne marche pas pour les solutions ayant une forte concentration en sel et si elle est utilisée pour dessaler des solutions à plus forte teneur en sel que des eaux saumâtres, la consommation grimpe à 15-25 kWh/m<sup>3</sup> ;
- ❖ L'électrodialyse n'est pas pratiquée pour traiter les eaux à moins de 0.04% de sels ;
- ❖ Elle s'effectue accompagnée de rejets de saumures faisant ainsi augmenter la salinité des eaux dans laquelle elle est rejetée. Ces rejets entraînent une dégradation du sol et des plantes ainsi qu'une contamination des nappes phréatiques et une perte de la biodiversité. [41]

## II.4. L'osmose inverse

### II.4.1. Principe

L'osmose inverse (OI) est née de la réversibilité de l'osmose naturelle. On appelle osmose le transfert de solvant (de l'eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. [42]

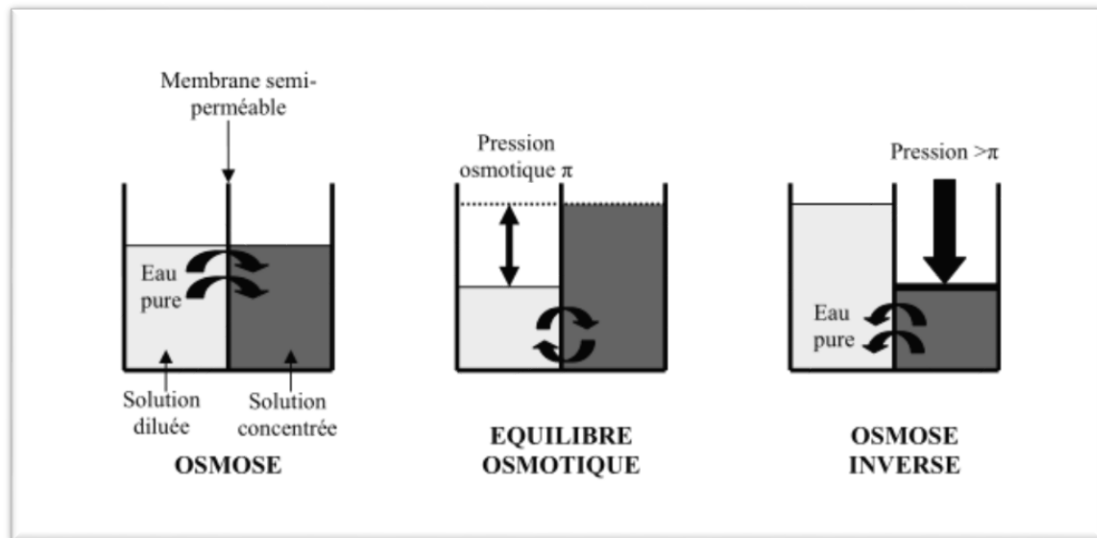


Figure II.15 : L'osmose [42]

Si l'on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes, le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau pure dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaye d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. [42]

A un moment, la pression appliquée sera suffisamment grande pour que le flux d'eau s'annule. Cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique (notée  $\pi$ ). [42]

Si l'on applique une pression supérieure à la pression osmotique, le flux d'eau va être dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse. [42]

### II.4.2. Pression osmotique

La pression osmotique peut être calculée en assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, en appliquant la loi des gaz parfaits, on obtient :

$$\pi V = n RT$$

Avec

$\pi$  : Pression osmotique (Pa)

$V$  : Volume de la solution (m<sup>3</sup>)

$n$  : Nombre de moles de soluté (mol)

$R$  : Constante des gaz parfaits (8,314 J.K<sup>-1</sup> .mol<sup>-1</sup>)

$T$  : Température absolue (K)

Cette loi est connue sous le nom de loi de Van't Hoff et exprime le fait que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que le corps aurait exercé à l'état gazeux parfait dans le même volume et à la même température. Si le soluté est dissocié en  $i$  ions, la pression osmotique est  $i$  fois supérieure. En d'autres termes :

$$\pi = i C R T$$

Avec

$i$  : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

$C$  : Concentration en soluté (mol.m<sup>-3</sup>) [40]

### ***II.4.3. Éléments d'un système d'osmose inverse***

Les principaux constituants d'un système d'OI sont les suivants :

- Les membranes proprement dites
- Les modules
- La pompe HP
- Éventuellement un DRE
- Un système de prétraitement
- Un système de post-traitement. [43]

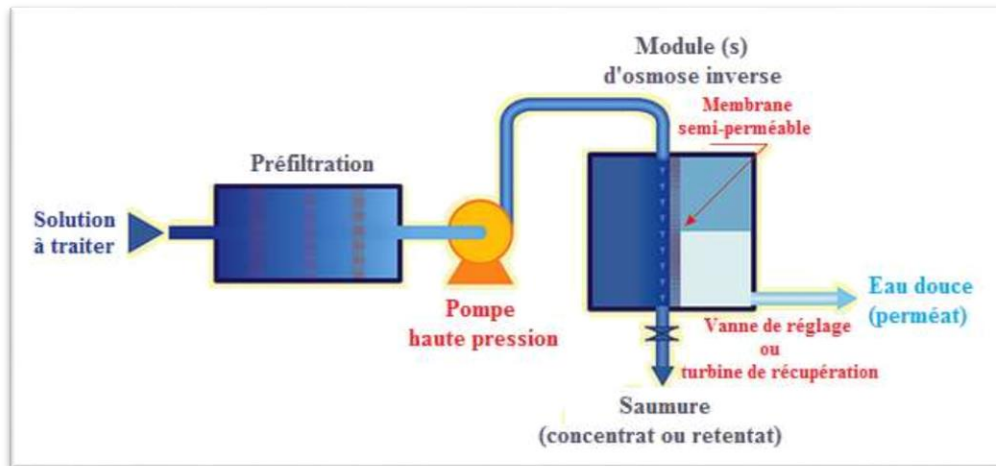


Figure II.16 : Schéma d'une installation d'une usine d'osmose inverse [43]

#### II.4.4. Paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse

##### II.4.4.1. Pression de fonctionnement

La circulation de l'eau de mer à travers les modules d'osmose inverse est assurée par des pompes à haute pression dont la puissance est donnée par :

$$P(\text{pompe}) = \frac{qV \cdot hm}{\eta}$$

Avec

$qV$  : le débit volumique en  $\text{m}^3/\text{s}$  ;

$hm$  : la différence entre pression de refoulement et la pression d'aspiration en Pa ;

$\eta$  : le rendement de la pompe.

La pression de fonctionnement pour l'eau de mer est comprise entre 54 et 80 bars contre une pression osmotique de l'ordre de 25 bars. [44]

La plupart des usines d'osmose inverse sont équipées par des systèmes de récupération d'énergie de pression à partir du débit de concentrât sortant à pression élevée. Cette récupération se fait au moyen d'une turbine, qui peut être couplée directement à une pompe d'alimentation des modules ou à un alternateur produisant de l'électricité [9]

##### II.4.4.2. La pression motrice $\Delta P$

Est égale à la pression de refoulement de la pompe diminuée de la pression statique à la sortie du module d'osmose (côté production) et de la perte de charge due à l'écoulement de l'eau. [45]



#### II.4.4.3. La conversion Y

Rapport entre le débit produit et le débit d'alimentation se définit par : [45]

$$Y = 100 \times QP / QA$$

#### II.4.4.4. Le passage de sels PS

Se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation : [37]

$$PS = 100 \times CP / CA$$

On le note aussi par son complément : **le rejet de sels**, qui est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation : [37]

$$RS = 100 \times CR / CA = 100 - PS$$

#### II.4.4.5. La sélectivité R

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

$$R = C0 - CP / C0 = 1 - CP / C0$$

Où

**C0** : la concentration de l'espèce à retenir dans la solution ;

**Cp** : la concentration de la même espèce dans le perméat. [46]

#### II.4.4.6. Débits spécifiques ou densité de flux volumique

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par la même l'investissement. [47]

#### II.4.4.7. Mécanisme de transfert

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** (kg. m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) de solvant et le débit volumique de solvant (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) traversant la membrane sont donnés par les relations:

$$\mathbf{J_{solvant} = A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) \text{ et } Q_P = A \cdot S / \rho \cdot (\Delta P - \Delta \Pi)}$$

Où :

**A** : est la perméabilité de la membrane au solvant (m<sup>-1</sup>.s) ;

**S** : la surface de la membrane (m<sup>2</sup>) ;

**ρ** : la masse volumique du solvant (kg. m<sup>-3</sup>) ;

**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.

Le flux massique **J soluté** (kg. m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) de soluté traversant la membrane est donné par la relation: [48]

$$\mathbf{J_{soluté} = B \cdot (C_0 - C_P)}$$

Où

**B** : est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté (m. s<sup>-1</sup>) ;

**C<sub>0</sub> et C<sub>P</sub>** : sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane (kg. m<sup>-3</sup>).

On montre donc que le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace ΔP - ΔΠ 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. [48]

#### ***II.4.4.8. Polarisation de la concentration***

La polarisation est engendrée par l'accumulation progressive des espèces arrêtées à la surface de la membrane par l'effet des séparations à l'échelle moléculaire ou particulaire, ce qui provoque la diminution du flux de perméat, la variation de la sélectivité et la formation de tartre (CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>). Le facteur de polarisation est défini par :

$$\mathbf{\gamma = C_m / C_0}$$

Avec :

**C<sub>m</sub>** : Concentration de soluté arrêtée dans la membrane ;

**C<sub>0</sub>** : concentration moyenne de soluté dans la solution ; [49]

### II.4.5. Modules d'osmose inverse

#### II.4.5.1. Modules spirales

Les modules spirales (Figure II.17) sont parmi les types de modules les plus utilisées dans le monde des membranes. À l'origine, ils ont été exclusivement conçus pour le dessalement, mais la conception compacte et le bas prix pousse beaucoup d'industrie à les utiliser, même en conception immergée (laiterie, jus, pulpe...) [50]

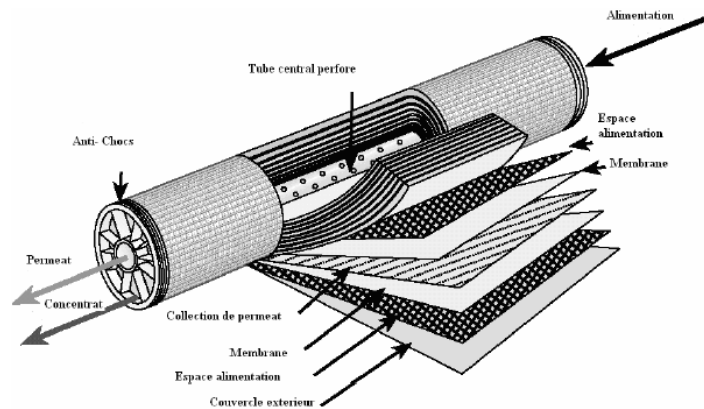


Figure II.17 : Modules spirales [50]

#### II.4.5.2. Modules tubulaires

Ayant une conception simple, ils sont très utilisés dans les laboratoires pédagogiques, à cause de la facilité de calculer le nombre de Reynolds et d'établir l'état théorique des coefficients de transfert de masse (Figure II.18). [50]

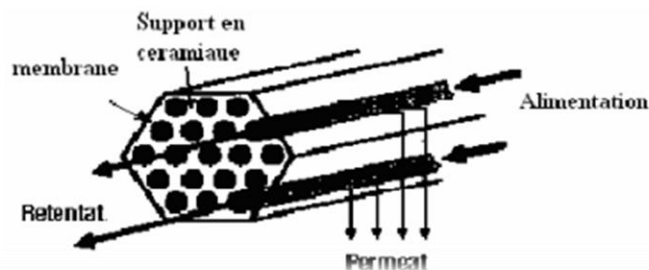


Figure II.18 : Module tubulaire [50]

Les modules tubulaires ont de grands avantages : ils tolèrent les solides en suspension, et les filtres jusqu'à un degré élevé. Leurs inconvénients sont :

- l'exigence de beaucoup d'espace.
- le changement de membrane à cause des difficultés et du temps.
- les modules à grand diamètre nécessitent beaucoup d'énergie.
- sont coûteux et moins souples.
- nécessitent de rinçage périodique (coûteux vis à vis des produits chimiques).

### II.4.5.3. Modules plans et en plaques

Dominant le marché en Europe pendant une période, mais par suite du manque de développement et du prix élevé leur expansion s'est réduite. Le système de feuilles plates (Figure II.19) offre une conception très robuste mais coûteuse. Certains systèmes modernes tolèrent une très forte pression (jusqu'à 100 bars). [50]

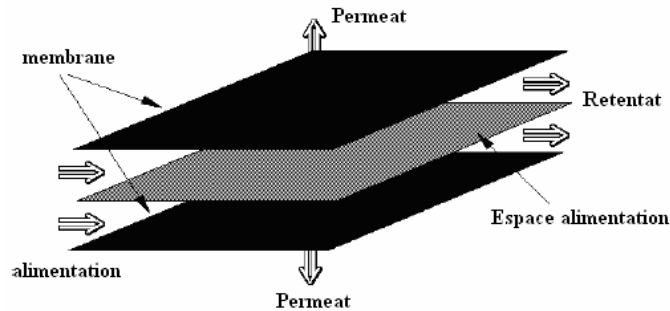


Figure II.19 : Module plans et en plaques [50]

### II.4.5.4. Modules en fibres

Ils sont similaires aux modules tubulaires mais leur diamètre intérieur est inférieur à 2 mm (d'où vient leur nom). La différence qui les sépare des modules à grands diamètres c'est qu'elles sont des membranes sans support (sont mécaniquement faible). Ils sont utilisés beaucoup plus pour l'UF.

### II.4.5.5. Modules en céramiques

Ils sont très chers. Théoriquement, sont très efficaces pour la MF. En réalité, actuellement sont très peu commercialisés sur le marché.

### II.4.5.6. Modules en fibres creuses

Les fibres en U sont mises en faisceau et assemblées de façon à réaliser l'étanchéité aux deux extrémités du module. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres, tandis que le concentrât est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à l'une des extrémités du module. Le perméat s'écoule à l'intérieur de chacune des fibres puis dans un collecteur (Figure II.20).

Ce type de modules nécessite un prétraitement adéquat. Dans le domaine de dessalement, les modules spiraux et en fibres creuses sont les plus utilisés, dont le (tableau II.7) donne une comparaison entre les deux. [51]

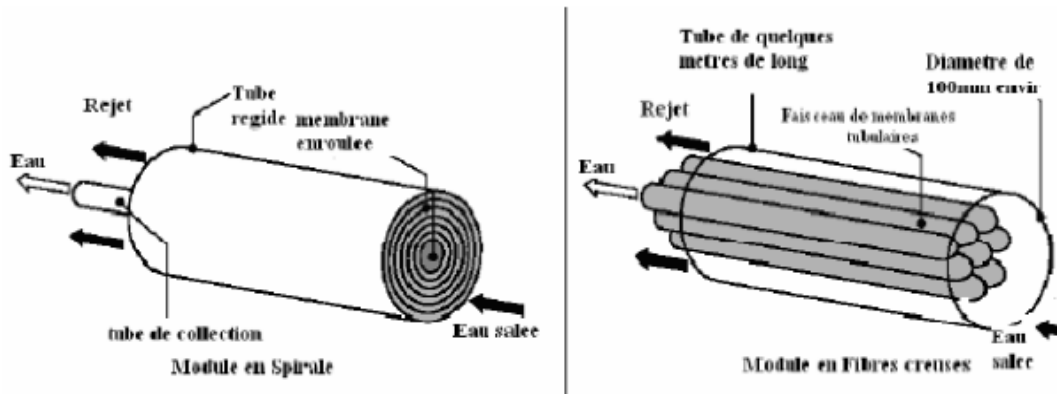


Figure II.20 : Module en spirale et fibre creuse [51]

Type	Modules en Fibres creuses	Modules Spirales
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moins chères</li> <li>- conversion élevée</li> <li>- réparation facile</li> <li>- remplacement facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- résistance au colmatage</li> <li>- maintenance facile</li> <li>- variété de matériaux et fabricants</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sensible au colmatage par matières colloïdes</li> <li>- nombre limité de matériaux et fabricants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- conversion faible</li> <li>- surface modérée de la membrane</li> </ul>
<b>Fabricant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tory</li> <li>- Dow/Filmtec</li> <li>- Koch/fluidosystem</li> <li>- NittoDenko/Hydranautics</li> <li>- Viola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toyobo</li> <li>- DuPont</li> </ul>
<b>Matériau</b>	Polyamides aromatiques	Cellulose triacétates
<b>Morphologie</b>	Membranes asymétriques	Membranes composites

Tableau II. 7 : Comparaison entre modules spirale et en fibres creuses [51]

#### II.4.6. Récupération de l'énergie du concentrât

Dès que l'OI a été appliquée au dessalement de quantités importantes d'eau de mer, on a tout naturellement pensé à récupérer l'énergie hydraulique du concentrât, qui est de l'ordre de 55% de celle nécessaire à la mise en pression des modules d'OI. [53]

La décision d'adopter un DRE doit être prise en comparant le coût des annuités financières dues à cet investissement supplémentaire et le coût de l'énergie récupérée. Elle dépend de :

- De la taille de l'unité.
- Du coût de l'énergie.
- De la pression de fonctionnement.
- Du taux de conversion. [10]

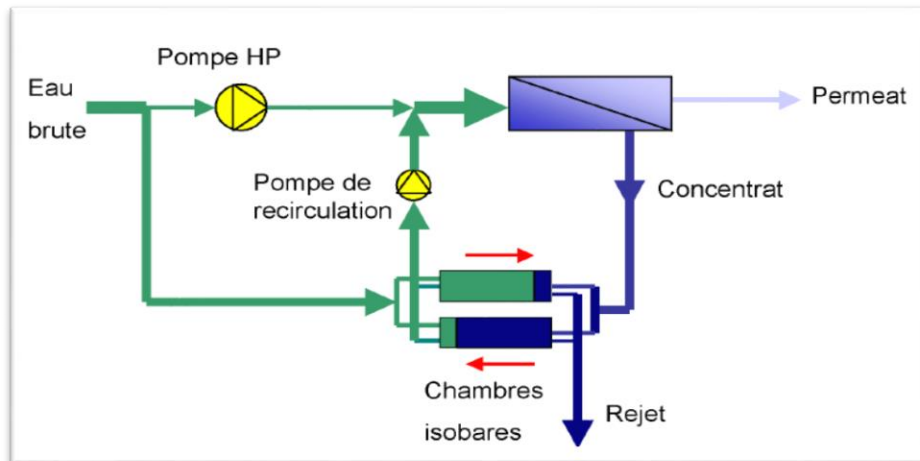


Figure II.21 : Schéma de la récupération d'énergie [10]

#### II.4.7. Consommation d'énergie

Le procédé d'OI présente une consommation d'énergie plus faible que les autres procédés de dessalement

Soit un groupe électro pompe portant un débit  $Q$  D'un liquide de densité  $d$  à la pression  $P$ , la puissance de pompage égal :

$$P_{kw} = \frac{Q \times P \times d}{36.7 \times \eta}$$

Avec :

$Q$  : le débit de la pompe ( $m^3/h$ ) ;

$P_{kw}$  : la puissance de la pompe (KW) ;

$P$  : la pression de refoulement de l'eau (bar) ;

$d$  : densité du liquide ;

$\eta_p$  : rendement du conversion de la pompe (%) ;

- Soit  $Y$  : le taux de conversion de la membrane :

$$Y = Q_p / Q_a$$

- L'énergie (KW h/m<sup>3</sup>) dépensée par m<sup>3</sup> d'eau du perméat est donnée par : [53]

$$W \text{ (kw h/m}^3\text{)} = \frac{Pkw}{Qp}$$

#### II.4.8. Limitations de l'osmose inverse

##### II.4.8.1. Définition du colmatage

Le colmatage d'une membrane peut résulter soit de l'obstruction des pores à l'intérieur même de la membrane (blocage des pores), soit de phénomènes d'adsorption, soit enfin d'un dépôt de matière en surface de la membrane par convection. [55]

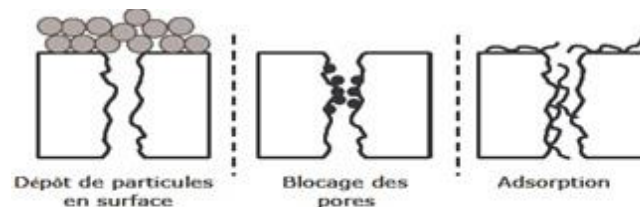


Figure II.22 : Les types de colmatage [55]

##### II.4.8.2. Indice de colmatage ou SDI (Silt Density Index)

Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau saline d'alimentation dans un procédé d'osmose inverse. Il dépend de la quantité de particules mais également des autres composants colloïdaux. Un essai de SDI consiste en la filtration d'un échantillon d'eau à travers une membrane de 0,45 µm (microfiltration) de surface filtrante 1,73X10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup> à une pression transmembranaire constante de 2,07 bar. Le SDI est déterminé par une comparaison des temps de filtration,  $t_1$  et  $t_2$ , nécessaires pour obtenir un volume de filtration fixe respectivement au temps 0 et après un temps  $t$ .

$$SDI_t = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) * 100}{t}$$

Avec

**SDI** : Silt Density Index (%min<sup>-1</sup>)

**t<sub>1</sub>** : Temps initial pour filtrer un échantillon de 500 mL (sec)

**t** : Temps après le départ de la mesure (min)

**t<sub>2</sub>** : Temps pour filtrer un échantillon de 500 mL après le temps T (sec) [46]

**II.4.9. Les Avantages et Les inconvénients d'osmose inverse :****A. Avantages**

Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bio électroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles :

- pH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibre de pH du sang généralement trop toxique).
- Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins.
- L'eau osmosée est antioxydante, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation ;
- L'énergie de l'eau osmosée (7200 unités Bovis) est nettement supérieure à celle de l'eau en bouteille (5000) qui est en outre chargée de tous les rayonnements nocifs qu'elle subit pendant son transport et dans les lieux de stockage.

**B. Inconvénients :**

- La faible durée de vie des membranes, qui est de l'ordre de 3 ans
- L'énergie consommée est énorme.
- Les pertes en eau : le rendement n'est que de 75% et ainsi 25% de saumure (solution aqueuse très concentrée en sel) restent à la fin et sont inutilisables.
- La pureté de l'eau est toujours inférieure à 100%. [G]

**II.5 Conclusion**

Les procédés de dessalement sont nombreux et en constantes évolution, chaque technique offre son lot de solutions mais engendre aussi différents inconvénients, le choix du procédé doit alors dépendre de plusieurs facteurs à la fois techniques et économiques, chercher le rapport qualité/prix est primordial afin de tirer le meilleur parti du dessalement.





---

# PARTIE 02

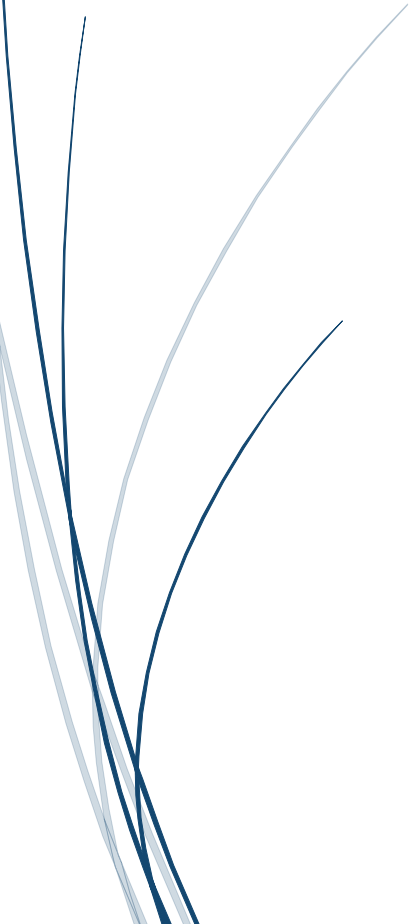
---

ETUDE EXPERIMENTALE



# Chapitre III

## **Matériels et méthodes**



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 pompage destiné à assurer la pression requise. Les essais ont été réalisés au laboratoire de TTE du Département d'Hydraulique à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen sur des échantillons d'eaux saumâtres diluées à partir des eaux de mer issues du prétraitement de la station de Honaine.

 **Objectif :**

- L'utilisation du pilote doit montrer le fonctionnement d'un module d'osmose inverse.
- Les expérimentations vérifient la performance de la membrane pour divers débits et diverses pressions. [56]

### ***III.1. Présentation du pilote TE200***

Le rôle principal du pilote TE 200 est de dessaler des solutions peu concentrées en Na Cl ou dessaler les eaux saumâtres. [57]

## ✚ Le pilote TE200 :



**Figure III.23 :** photo de pilot TE 200 (laboratoire TEE, Département d'Hydraulique, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen).

### *III.2. Description du pilote*

#### **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 60L, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en PTFE, DN 15.

**2 :** Canalisation 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 21bars; 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 40L, 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 m<sup>2</sup>.

**6 :** Cuve de réception du concentrât, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 60L, 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 **[56]**

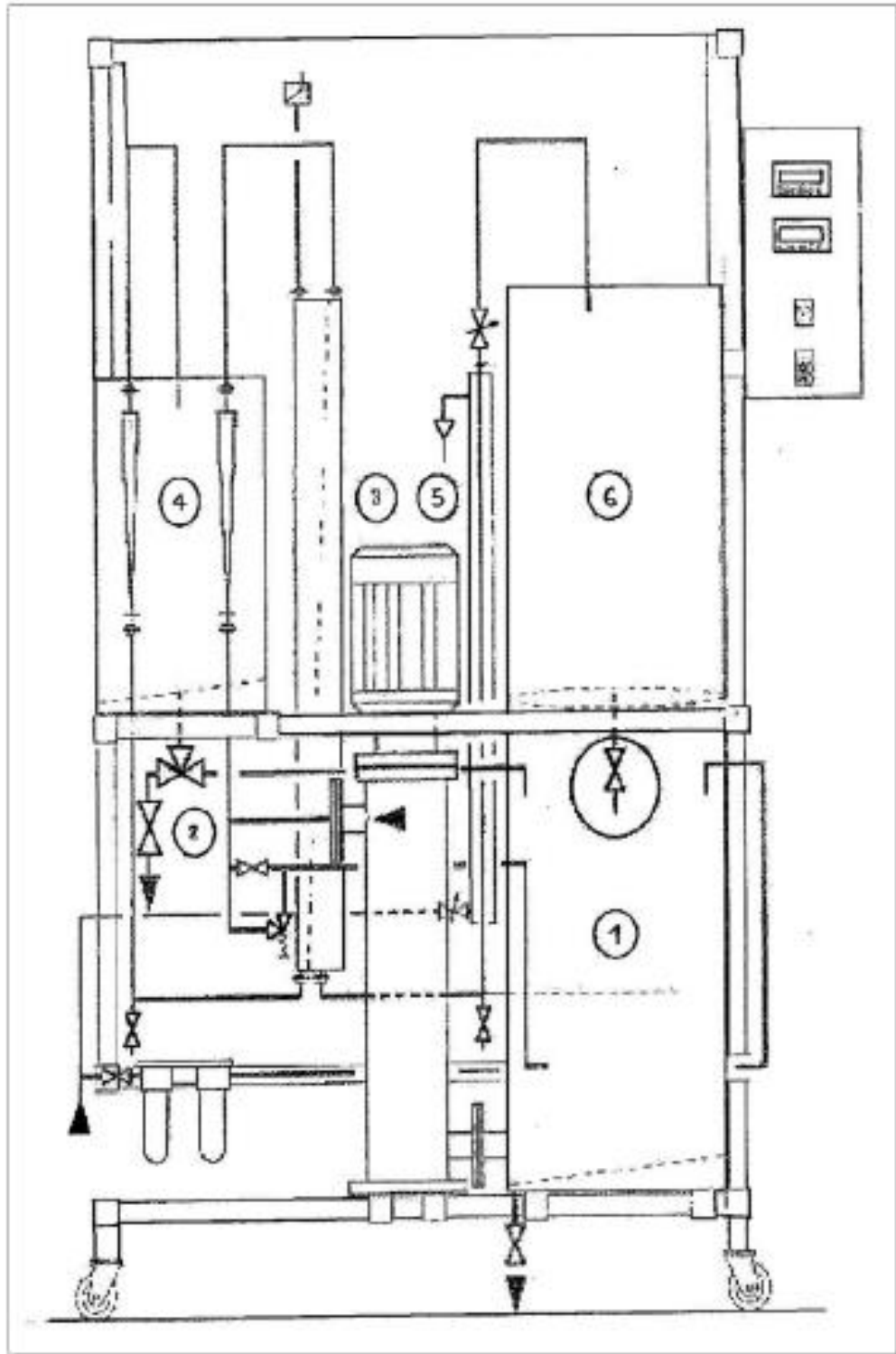


Figure III.24 : Construction de pilot TE 200.lahachi

**✚ 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  $\text{ms/cm}$ ) ; 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/Marche général ;
  - Fusibles de protection de tous 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  $\text{ms/cm}$  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. **[58]**

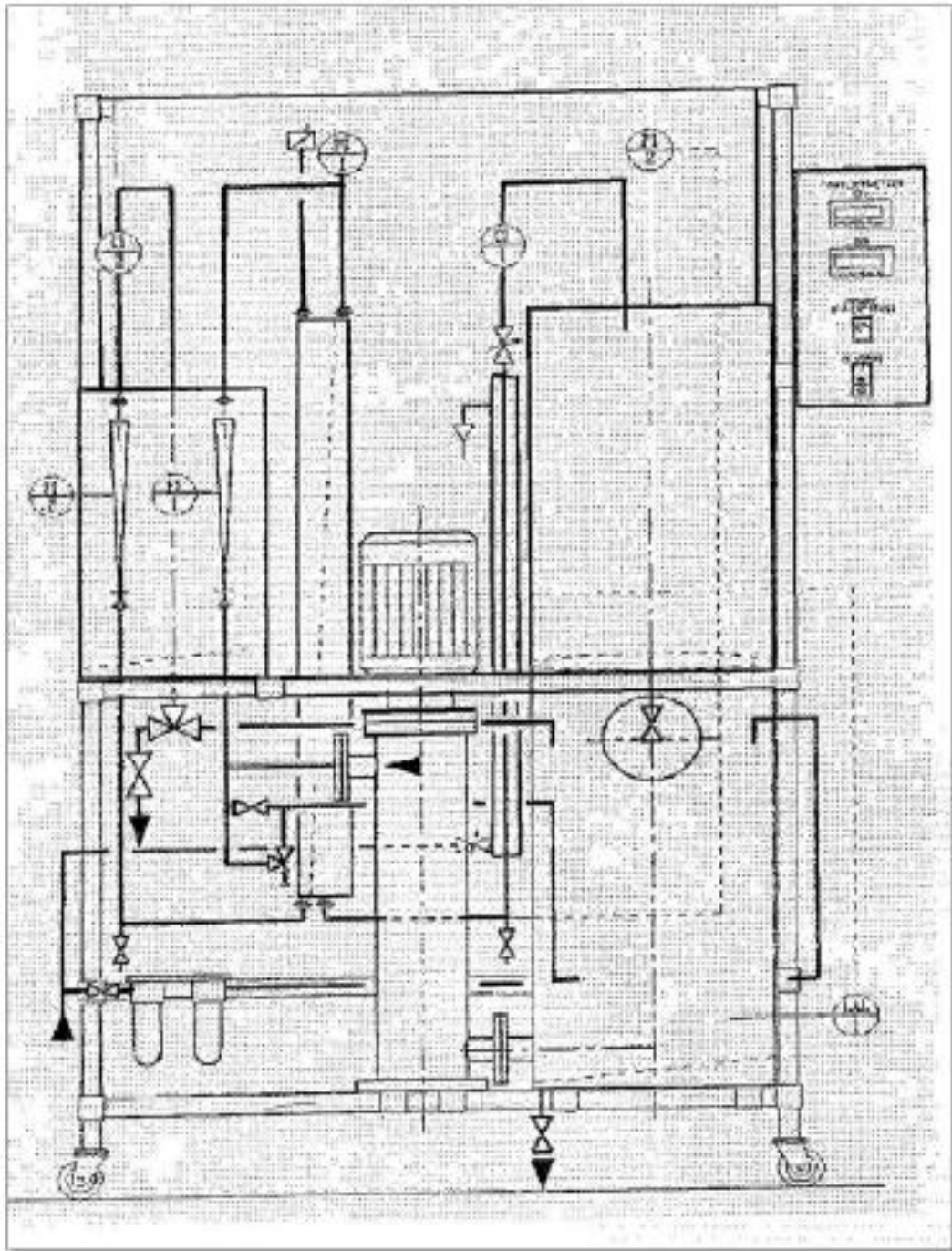


Figure III.25 : Instrumentation du pilot TE 200 [58].



**✚ Liste des vannes :**

**VA1** : Vanne manuelle d'arrêt alimentation eau naturelle.

**VA2** : Vanne manuelle d'arrêt échangeur concentrât.

**VA3** : Vanne manuelle d'arrêt sortie perméat.

**VS1** : Vanne manuelle sortie cuve alimentation.

**VS2** : Vanne manuelle sortie cuve perméat.

**VS3** : Vanne manuelle sortie cuve concentrât.

**VS4** : Vanne manuelle vidange canalisation concentrât.

**VS5** : Vanne manuelle vidange canalisation perméat.

**VR1** : Vanne manuelle de réglage by-pass pompe alimentation.

**VR2** : Vanne manuelle de réglage sortie concentrât. **[56]**

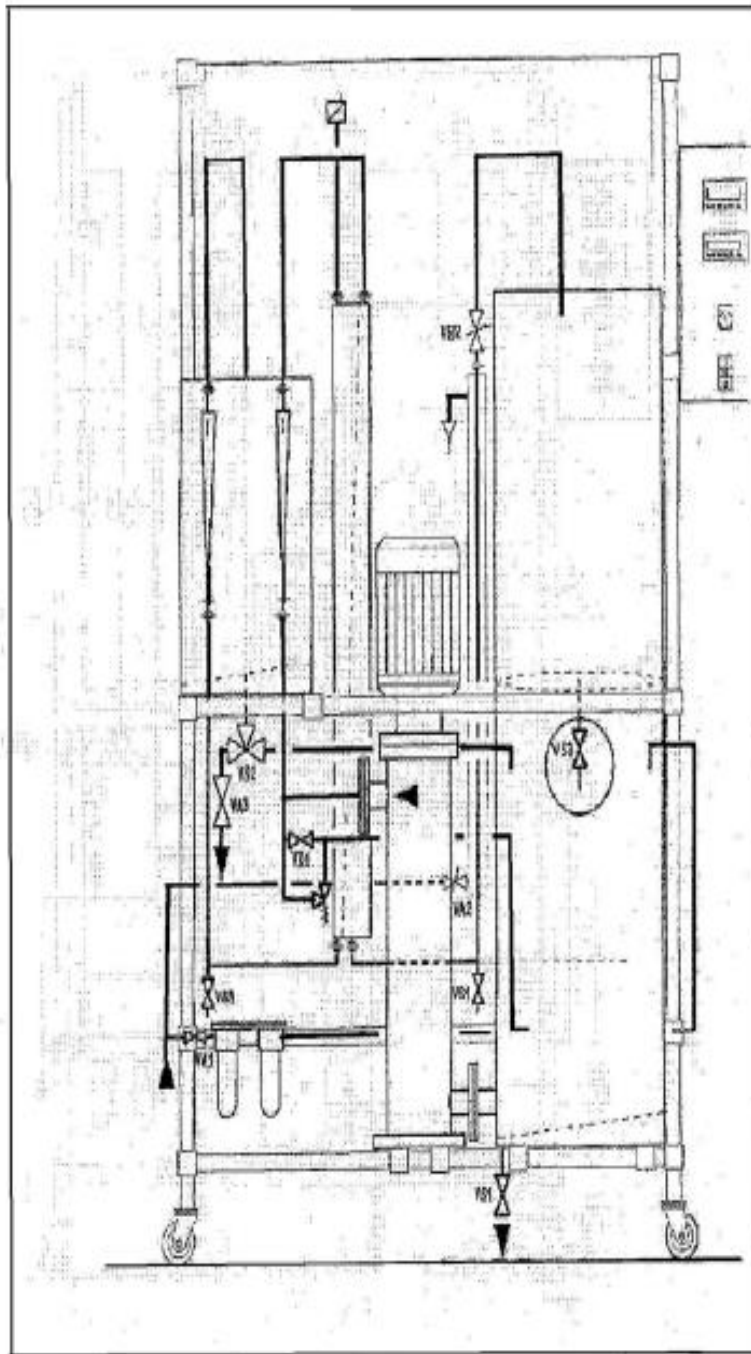


Figure III.26 Liste des vannes [58]

### III.3. Expériences

#### ✚ 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  $\Delta P$  est définie comme étant la différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane.  $\Delta P$  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). [59]
- 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). [56]

#### ✚ 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. [56]

#### ✚ 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 (alimentation 10 bars, 500 l/h) ;
- 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 [84].

**✚ 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 trios 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. [56]

**✚ Détermination de la concentration de sel de l'eau de mer de 'Honaine'****Mode opératoire:**

Prélever 100 ml d'eau à l'aide d'une pipette à deux traits dans un bécher (en ayant pris soin de le mettre à la tare), puis chauffer jusqu'à évaporation presque totale de l'eau, ensuite porter le bécher à l'étuve à 105 °C pendant 24h.

Laisser refroidir dans un dessiccateur pendant un quart d'heure. Peser rapidement après sortie du dessiccateur pour éviter toute absorption d'humidité.

La quantité de sel obtenue après l'expérience est équivalente à **39g/L**.

**✚ 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 1.5 g/l de NaCl.
- Régler la pression à l'entrée du module d'osmose à une pression fixe de 6 bars. Noter les débits d'entrée et de perméat.
- Renouveler l'opération pour des pressions de 7, 8, 9,10 ,11 ,12 ,13 et 14 bars.
- Tracer la courbe  $Q_p=f(\Delta p)$ .

$\Delta p$  est la différence de pression de part et d'autre de la membrane.

Nous rappelons que le flux massique de solvant est:

$$J_m = A * \Delta P$$

**Jm:** Kg. m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>

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

Ou dans notre cas:

**Jm:** Kg. s<sup>-1</sup>;

**S:** m<sup>2</sup>;

**Δp:** Pa ;

**A:** s.m<sup>-1</sup>.

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

### Manipulation (Rétention globale du module)

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

#### Mode opératoire

- Diluer la solution de 39 g/L jusqu'à 2g/L :  $V = \frac{50*2}{39} = 2.56L$
- Dans le bac d'alimentation verser 2.56L, compléter ensuite avec de l'eau de robinet jusqu'au 50L.
- Mesurer la conductivité de la solution.
- Utiliser 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 5.5 bars et une différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta p = 0$  (pression de sortie est 5.5bars).
- 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  $\Delta p$  (0.5, 1, 1.5, 2).

Pour chaque couple de valeurs calculer:

- Y
- Sp6
- Cp
- Rm

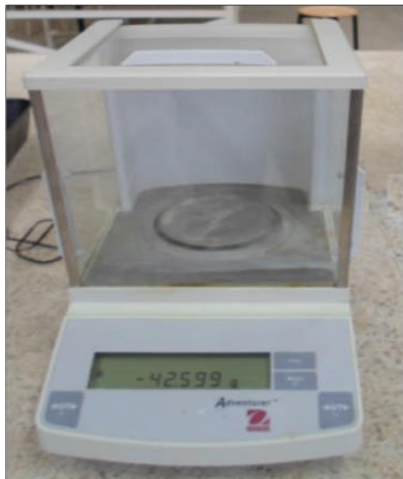
- Faire de même pour les concentrations de 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 g/l de NaCl.
- Ensuite, recommencer les étapes décrites ci-dessus pour une pression d'alimentation de 8 bars et 10.5 bars.

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,  $R_m = f(t)$  pour des différentes de pression de part et d'autre de la membrane.
- $R_m = f(C_p)$  de chaque concentration de la solution d'alimentation pour différentes pressions de sortie.

### III.3. Description des appareillages de mesure

✚ Description des appareillages de mesure :



**Figure III.27** : Balance électronique (Laboratoire TTE, Dprt Hydraulique, Université Tlemcen)



**Figure III.28** : Conductimètre (Laboratoire TTE, Dprt Hydraulique, Université Tlemcen)

A thick dark blue vertical bar is positioned on the left side of the page. From its base, several thin, light blue lines curve upwards and outwards, creating an abstract, grass-like or reed-like pattern.

# Chapitre IV

## Résultats et interprétations



## ❖ Etude de la rétention globale du module

Pour cette étude on dilue l'eau de mer à différentes concentrations (de 2g/l à 6.5 g/l) on fait changer la différence de pression de part et d'autre de la membrane  $\Delta P$ . Le perméat et le concentrât sont recyclés dans le bac d'alimentation afin de maintenir une concentration constante. La durée de chaque manipulation est de 23 minutes.

### *IV.1 Pression = 5,5 Bar*

#### *IV.1.1 Pour une concentration de 2 g/l*

- *Manipulation n°01*

$P=5.5bar$  ;  $\Delta P=0$  bar ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

Température avant : 20°C.

Température après : 38°C.

Calcul de la pression osmotique :

$C= 2g/l = 34.18 \text{ mol}/m^3$ .

$\pi= 2*35.18*8.316*(20+273.5)$ .

Donc:  $\pi=1.697bar$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 8 (annexe 1)**

- *Manipulation n°02*

$P=5.5bar$  ;  $\Delta P=0.5$  bar ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 9 (annexe 1)**

- *Manipulation n°03*

$P=5.5bar$  ;  $\Delta P=1$  bar ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

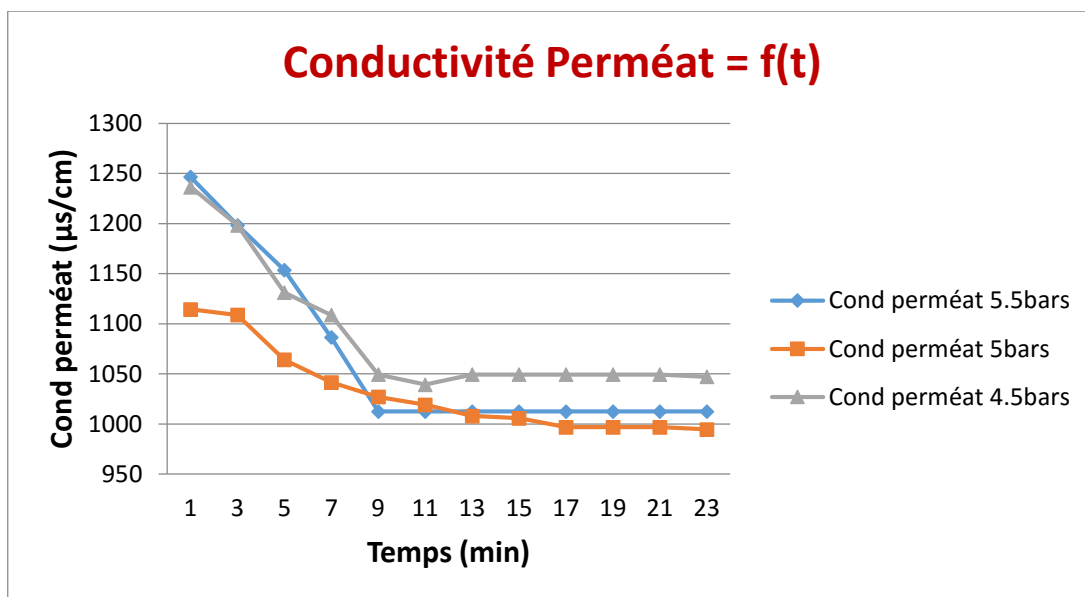
Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 10 (annexe 1)**

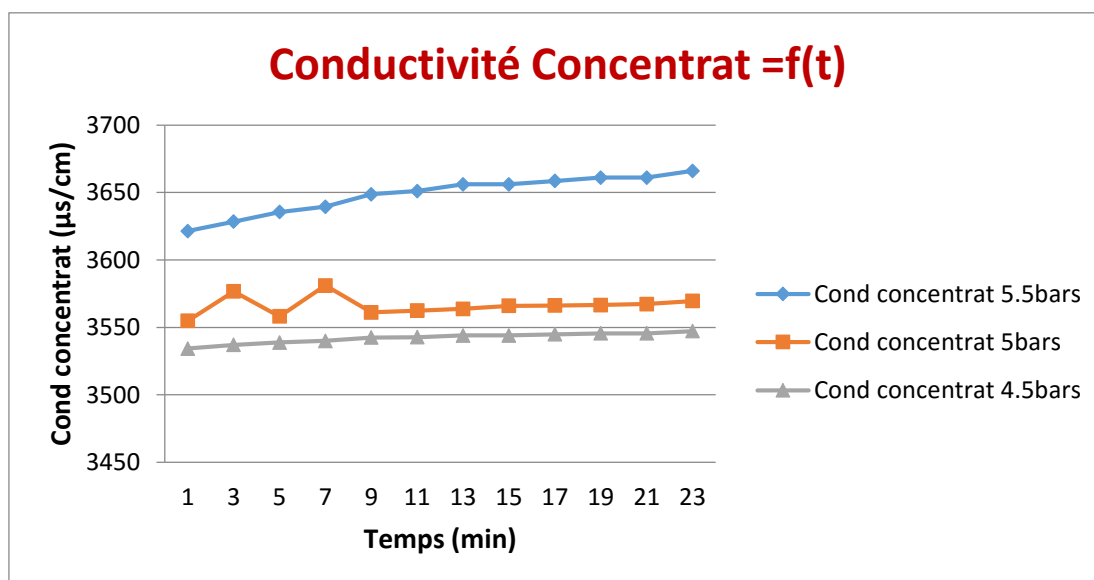
*IV.1.1.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps*

- La variation de conductivité du perméat



**Figure IV.29:** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=2g/l).

- La variation de conductivité du concentrât



**Figure IV.30 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=2g/l).

• La variation de volume du perméat en fonction du temps

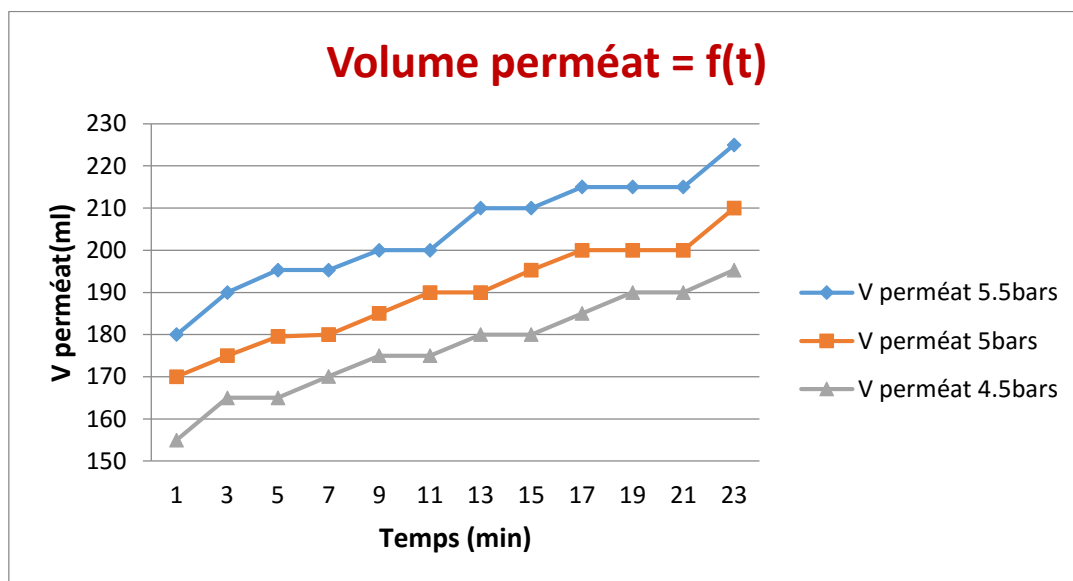


Figure IV.31 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=2g/l).

VI.1.1.2 La variation de la rétention globale du module

▪ IMPORTANT

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

$$\text{Conductivité} = (C_{Na^+} * Z_{Na^+} * \lambda_0_{Na^+}) + (C_{Cl^-} * Z_{Cl^-} * \lambda_0_{Cl^-})$$

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

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

Donc :

$$\text{Conductivité} = C_{NaCl} * (\lambda_0_{Na^+} + \lambda_0_{Cl^-})$$

$$\lambda_0_{Na^+} + \lambda_0_{Cl^-} = 126.$$

- Le taux de rejet a été calculé suivant les équations suivantes :

- La concentration du perméat :

$$C_p = \text{conductivité de perméat} / 126$$

- Le taux de rejet :

$$R_m = 1 - (C_p/C_0)$$

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

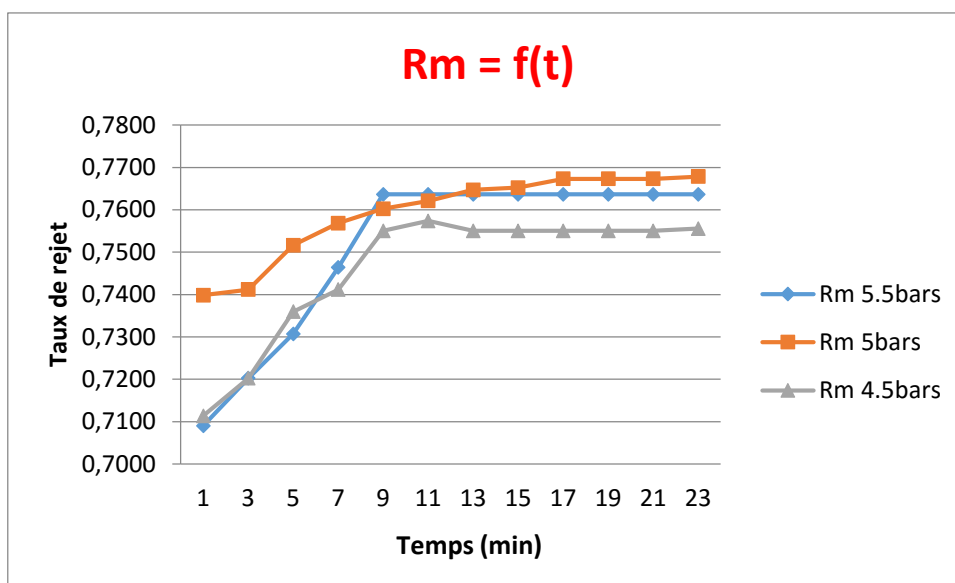


Figure IV.32 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1$  ;  $C=2g/l$ ).

- La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat:

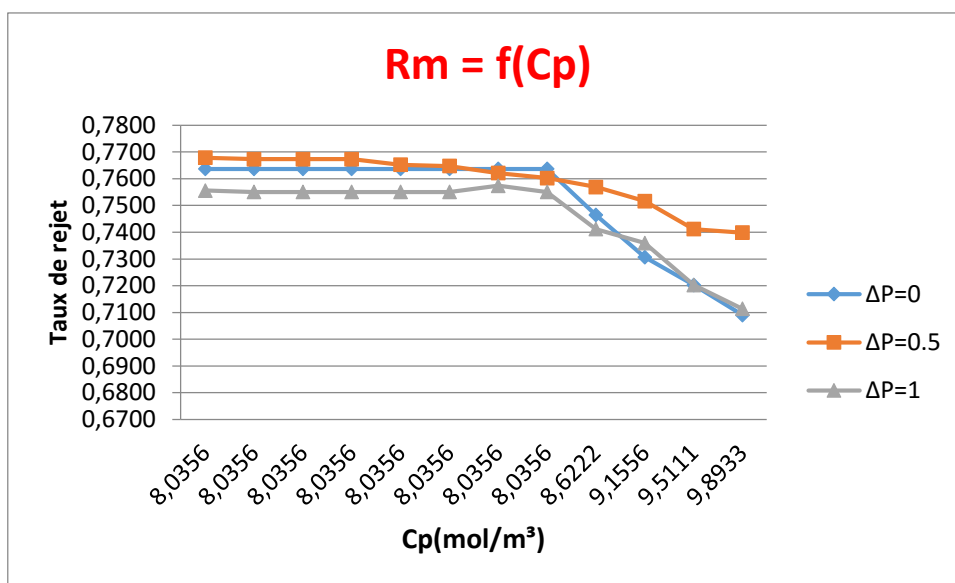


Figure IV.33 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1$  ;  $C=2g/l$ ).

### IV.1.2. Pour une concentration de 2.5 g/l

- **Manipulation n°01 :**

$P=5.5\text{bar}$  ;  $\Delta P=0\text{ bar}$  ;  $C=2.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

$C=2.5\text{ g/l} = 42.73\text{ mol/m}^3$ .

$\pi=2*42.73*8.316*(20+273.5)$ .

Donc :  $\pi=2.086\text{bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 11 (annexe 1)**

- **Manipulation n°02**

$P=5.5\text{bar}$  ;  $\Delta P=0.5\text{ bar}$  ;  $C=2.5\text{ g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 12 (annexe 1)**

- **Manipulation n°03**

$P=5.5\text{bar}$  ;  $\Delta P=1\text{ bar}$  ;  $C=2.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

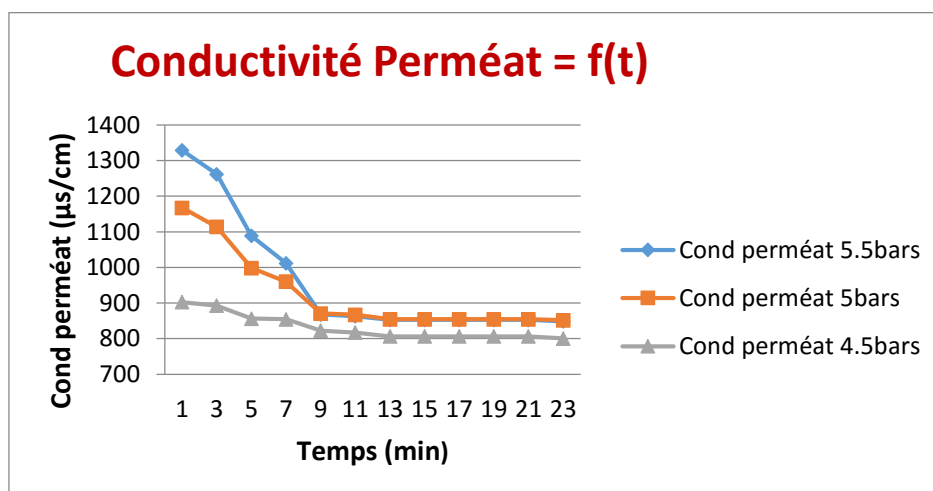
Température avant : 21 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 13 (annexe 1)**

#### IV.1.2.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps

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



**Figure IV.34 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1$  ;  $C=2.5\text{g/l}$ ).

- La variation de la conductivité du concentrât

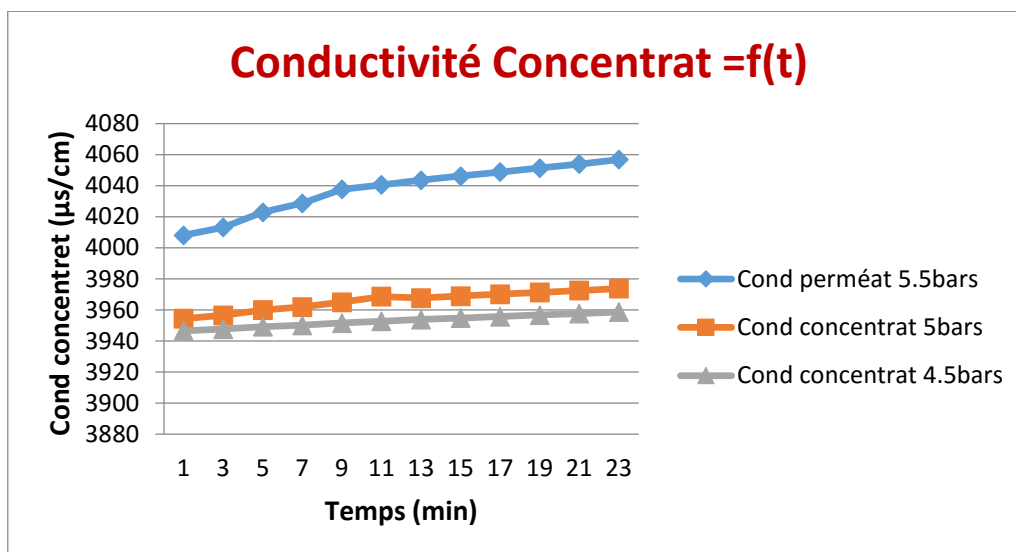


Figure IV.35 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1$  ;  $C=2.5g/l$ )

- La variation du volume de perméat en fonction du temps

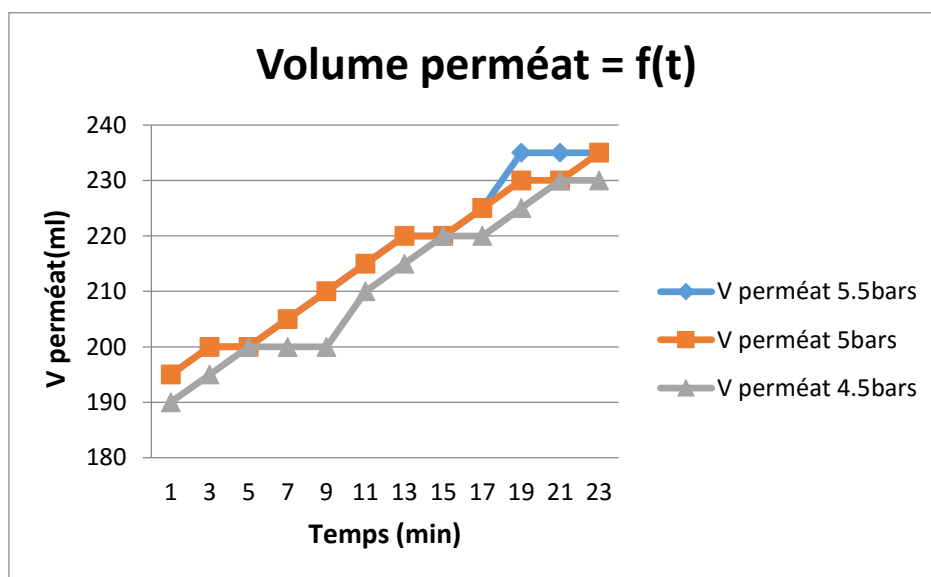


Figure IV.36 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1$  ;  $C=2.5g/l$ ).

IV.1.2.2 La variation de la rétention globale du module :

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

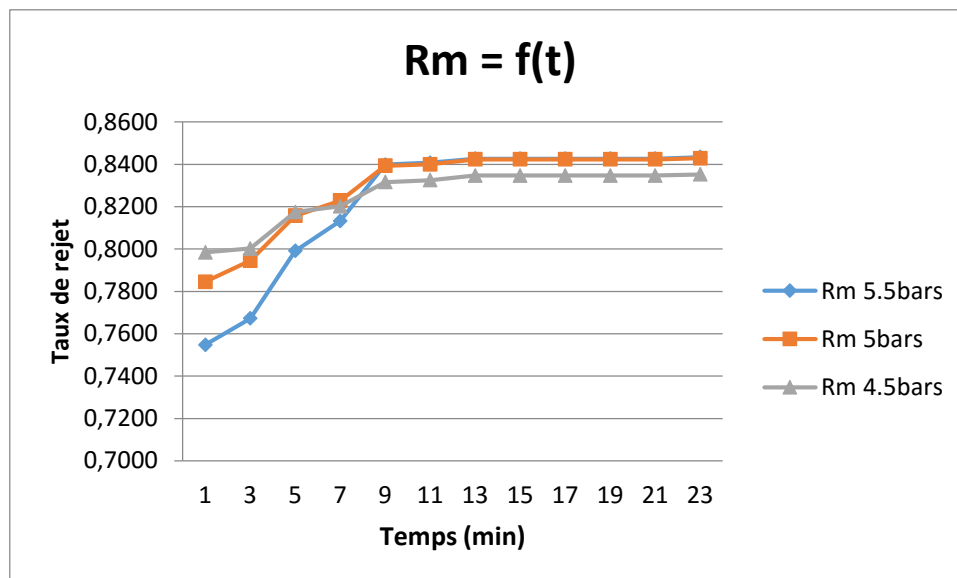


Figure IV.37 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; C=2.5g/l).

- La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat

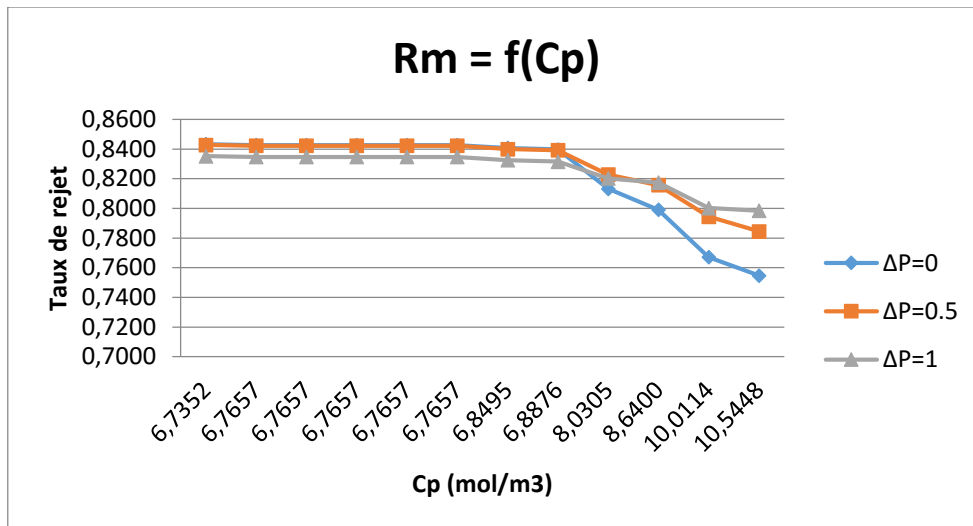


Figure IV.38 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=5.5bars ; ΔP= 0; 0.5;1; C=2.5g/L).

IV.1.3. Pour une concentration de 3 g/l

- Manipulation n°01

P=5.5bar ; ΔP=0 bar ; C=3g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 51.28 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 2.50 \text{ bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 14 (annexe 1)**

- **Manipulation n°02**

$$P = 5.5 \text{ bar} ; \Delta P = 0.5 \text{ bar} ; C = 3 \text{ g/L}$$

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 15 (annexe 1)**

- **Manipulation n°03**

$$P = 5.5 \text{ bar} ; \Delta P = 1 \text{ bar} ; C = 3 \text{ g/L}$$

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700  $\mu\text{s/cm}$ .

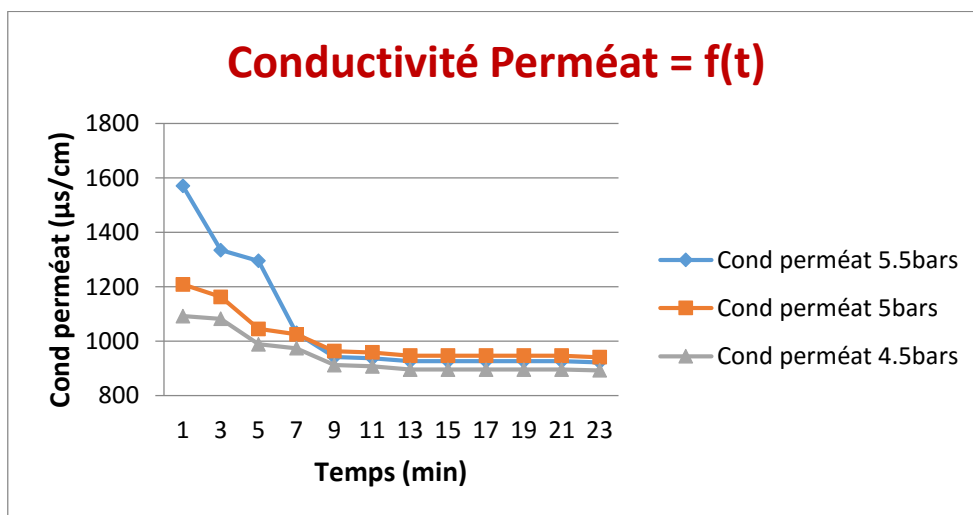
Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 16 (annexe 1)**

### IV.1.3.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps

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



**Figure IV.39 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1$ ;  $C = 3 \text{ g/l}$ ).



• La variation de la conductivité du concentrât

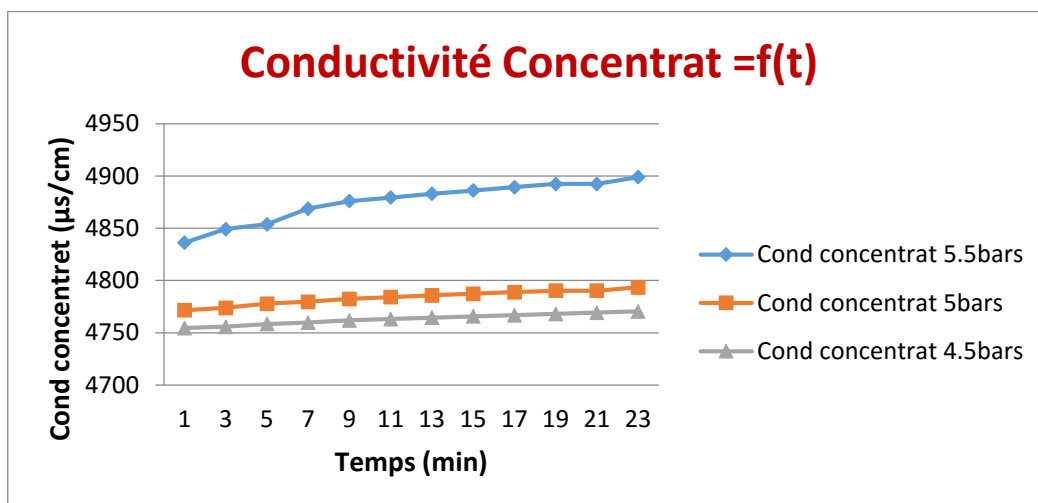


Figure IV.40 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=3g/l).

• La variation du volume du perméat en fonction du temps:

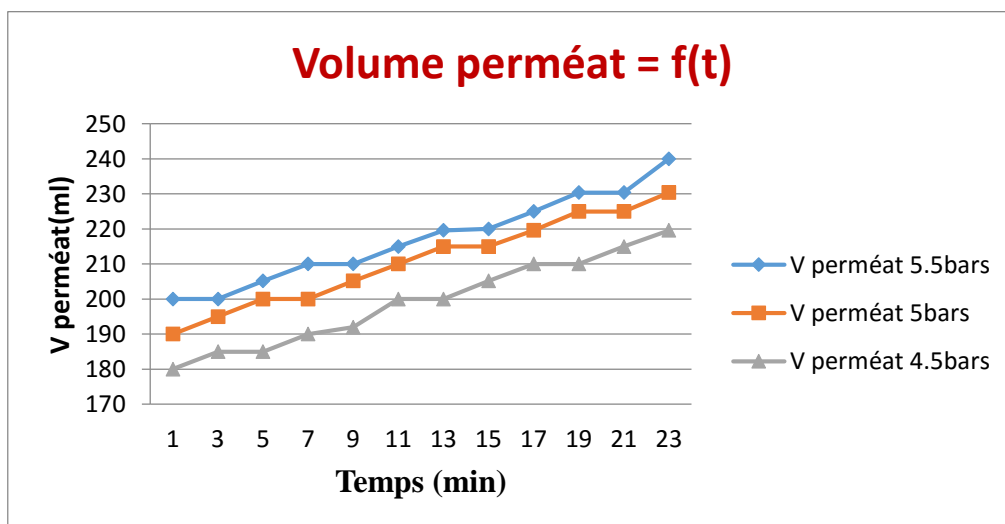


Figure IV.41 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=3g/l).

IV.1.3.2. La variation de la rétention globale du module :

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

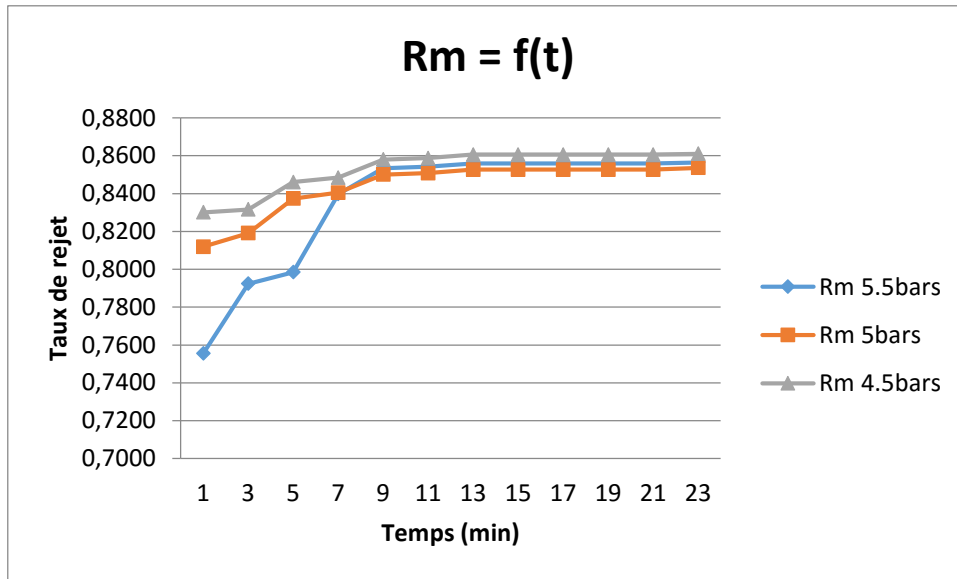


Figure IV.42 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=3g/l).

- La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

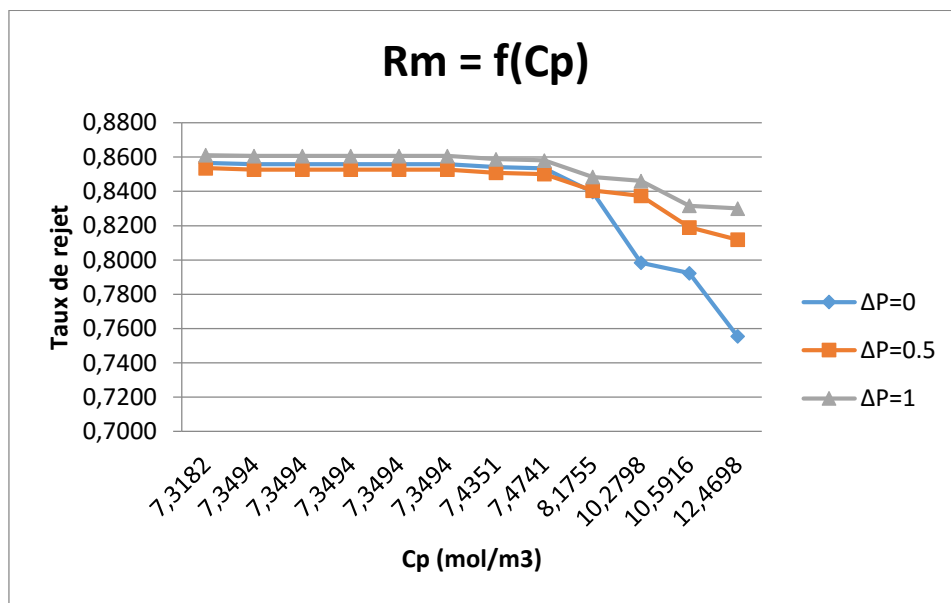


Figure IV.43 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1 ; C=3g/l).

IV.1.4. Pour une concentration de 3.5 g/l :

- Manipulation n°01

P=5.5bar ; ΔP=0 bar ; C=3.5g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 3.5 \text{ g/l} = 59.83 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 59.83 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 2.92 \text{ bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 17 (annexe 1)**

- **Manipulation n°02 :**

$$P = 5.5 \text{ bar} ; \Delta P = 0.5 \text{ bar} ; C = 3.5 \text{ g/L}$$

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 18(annexe 1)**

- **Manipulation n°04 :**

$$P = 5.5 \text{ bar} ; \Delta P = 1 \text{ bar} ; C = 3.5 \text{ g/L}$$

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

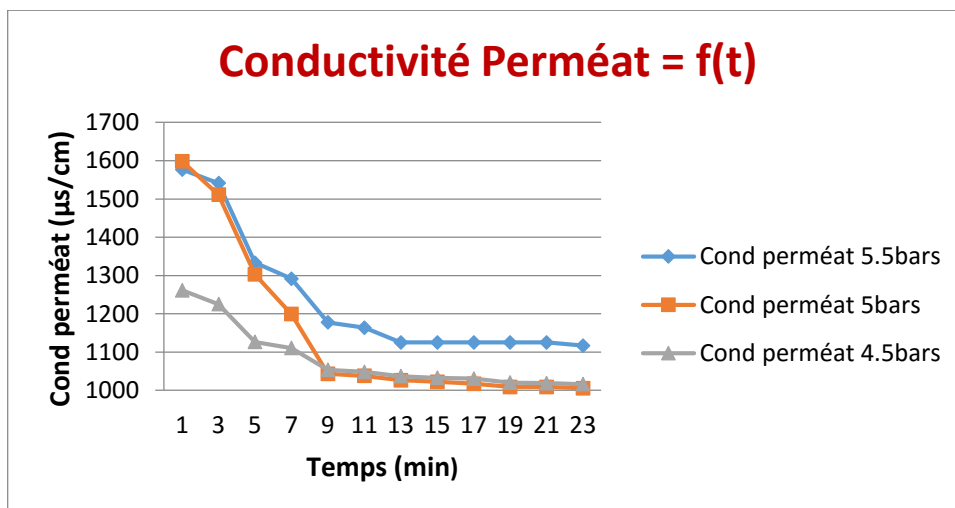
Température avant : 17 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 19 (annexe 1)**

#### IV.1.4.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps

- **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.44 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; C = 3.5 \text{ g/l}$ ).

- La variation de conductivité du concentrât :

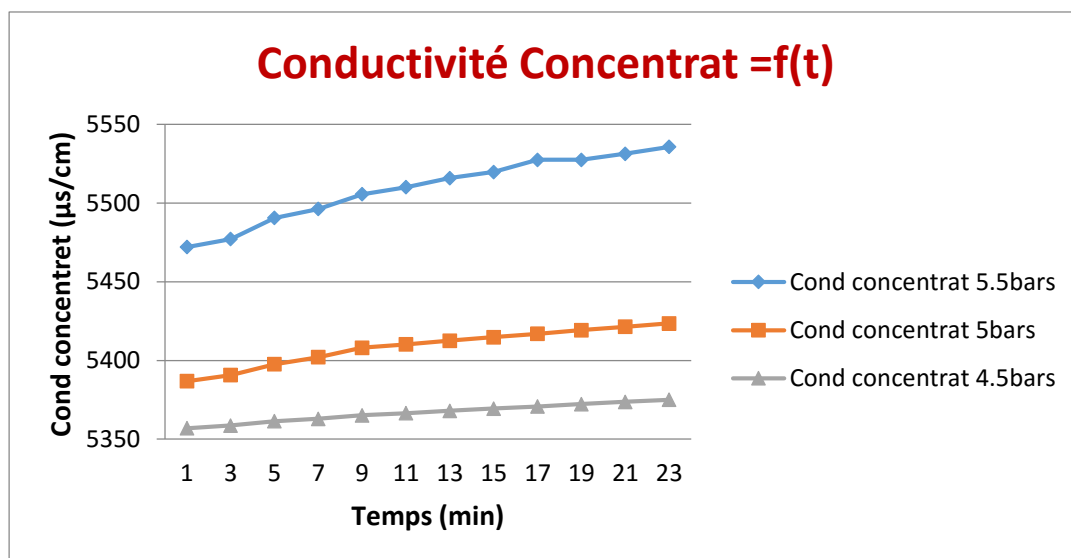


Figure IV.45 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; C=3.5g/l).

- La variation du volume du perméat et du concentrât en fonction du temps

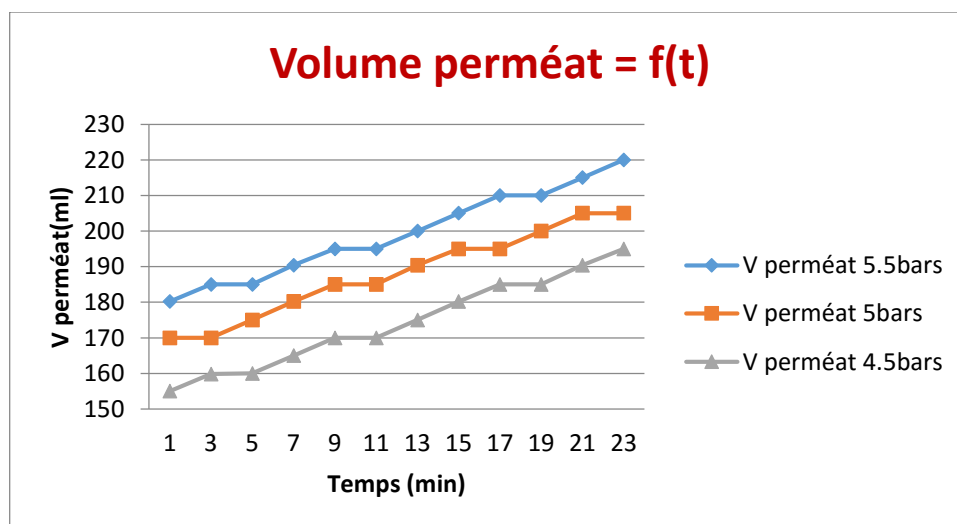


Figure IV.46 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; C=3.5g/l).

IV.1.4.2. La variation de la rétention globale du module

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

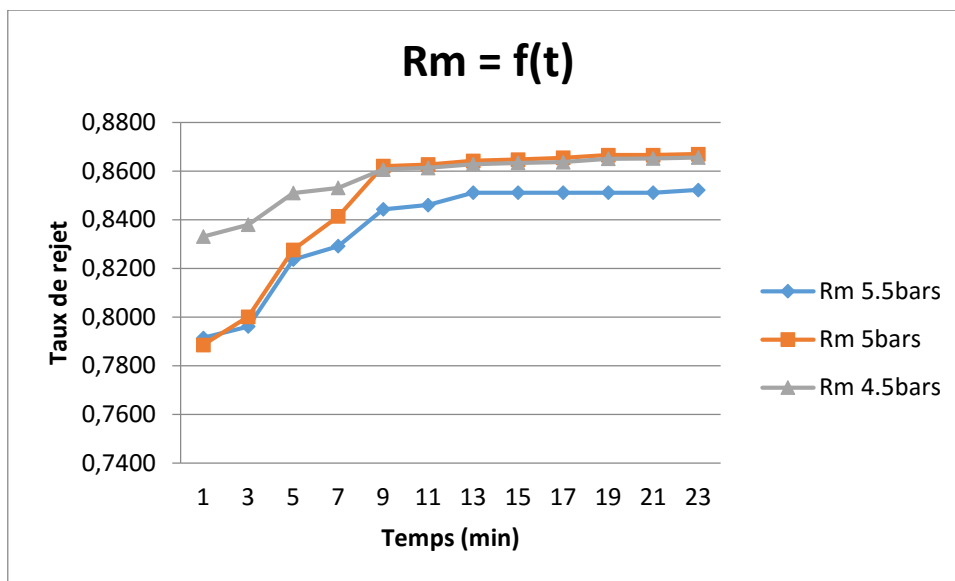


Figure IV.47 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0 ; 0.5;1; C=3.5g/l).

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

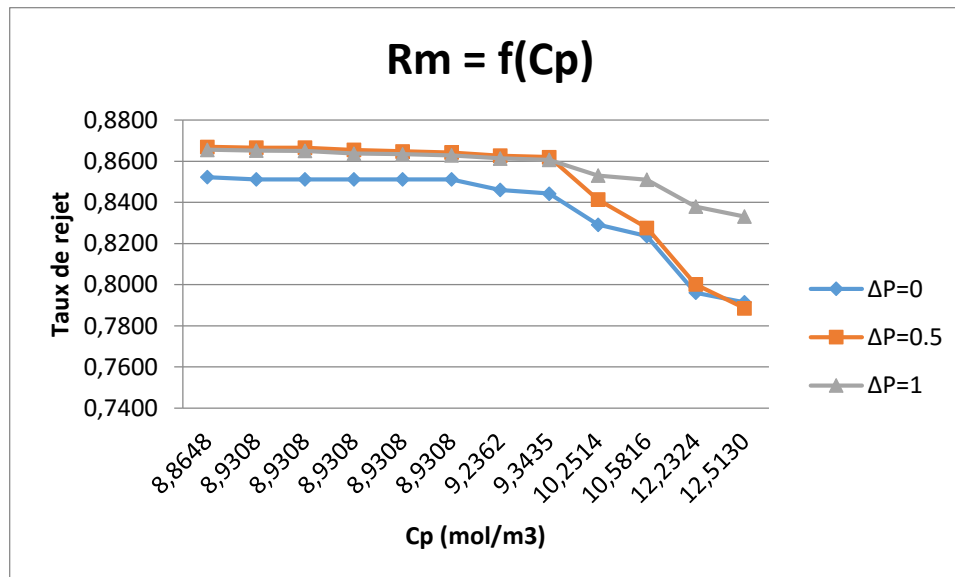


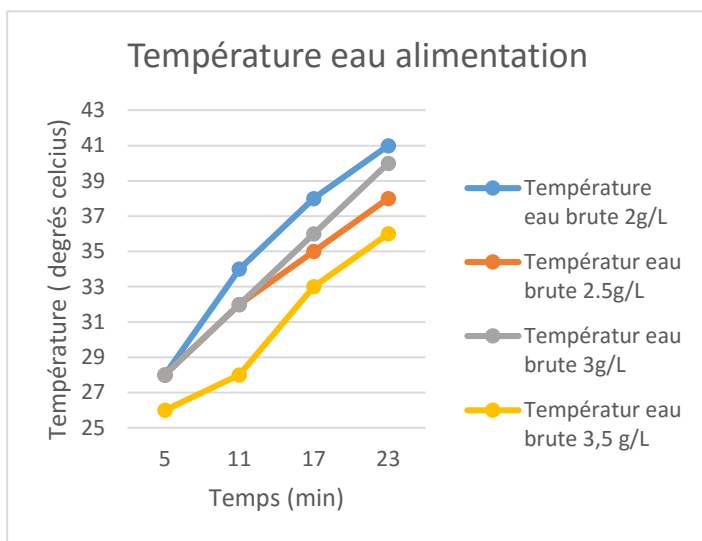
Figure IV.48 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=5.5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; C=3.5g/l).

**Interprétation des résultats :**

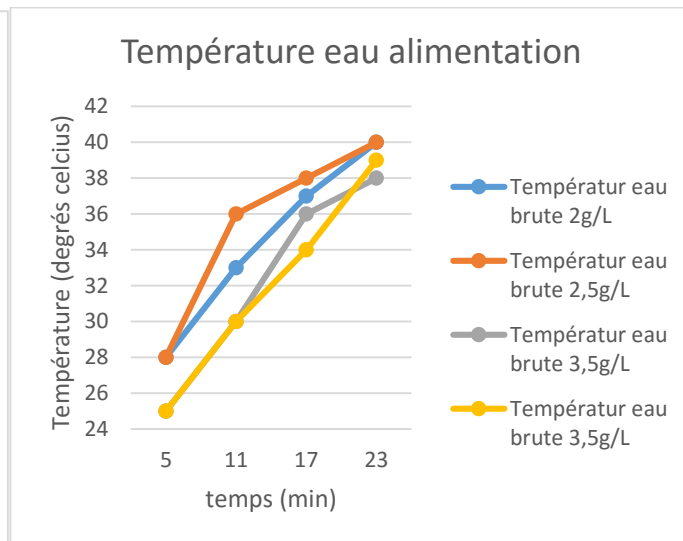
- Une augmentation de la conductivité du perméat, du concentrat et du volume en fonction du temps,
- Le taux de rejet et quant à lui élevé à mesure qu'on augmente la différence de pression, et il diminue toujours en fonction de la concentration du perméat.

**IV.1.5. La variation de la température pour toutes les concentrations**

- **La variation de la température de l'eau de l'alimentation en fonction du temps ( $\Delta p = 0 ; 1 \text{ bar}$ )**

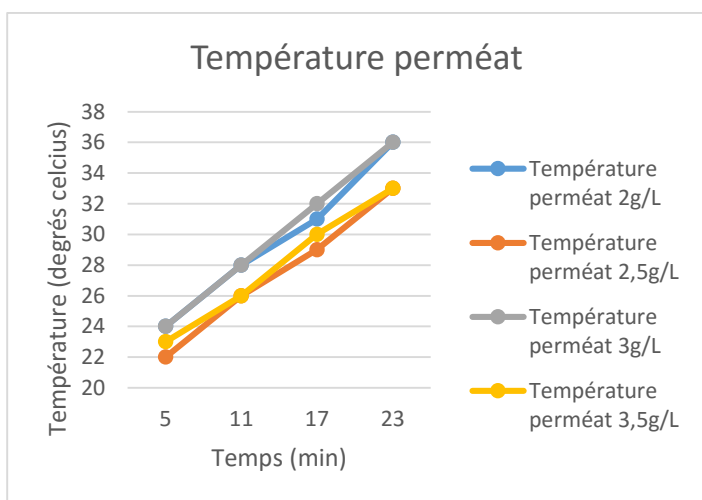


**Figure IV.49 :** La variation de la température de l'eau de l'alimentation  $\Delta p = 0$

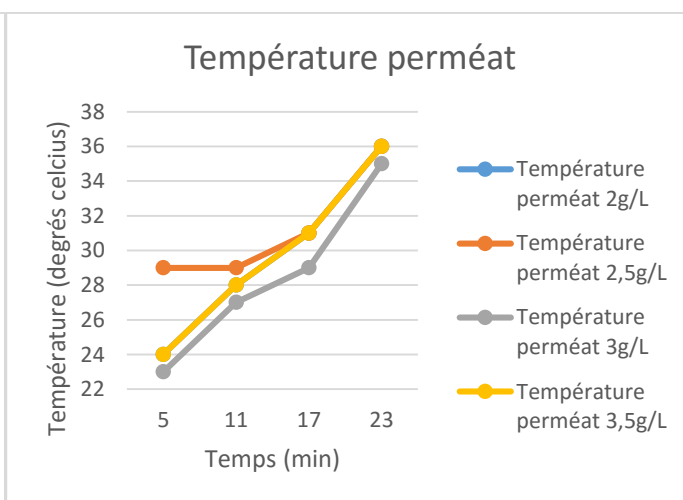


**Figure IV.50 :** La variation de la température de l'eau de l'alimentation  $\Delta p = 1$

- **La variation de la température du perméat en fonction du temps ( $\Delta p = 0 ; 1 \text{ bars}$ )**



**Figure IV.51 :** La variation de la température du perméat  $\Delta p = 0$



**Figure IV.52 :** La variation de la température du perméat  $\Delta p = 1$

➤ La variation de la température du concentrat en fonction du temps ( $\Delta p = 0$  ; 1 bars)

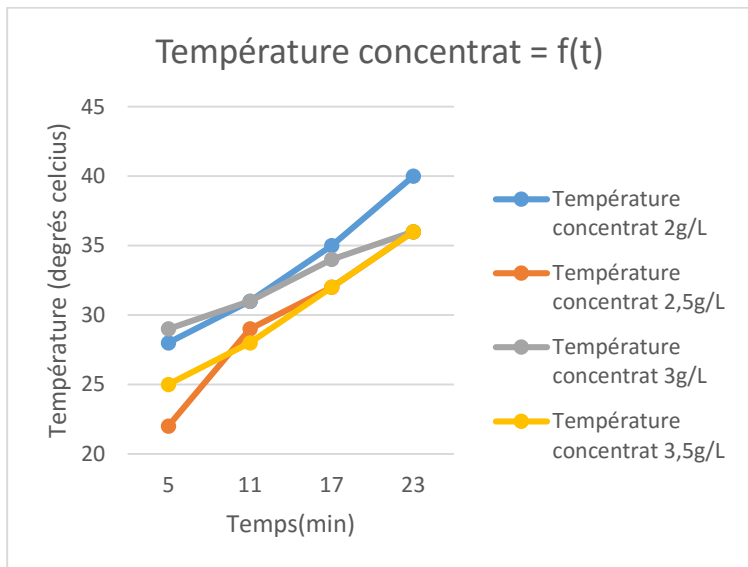


Figure IV.53 : La variation de la température du concentrat  $\Delta p = 0$

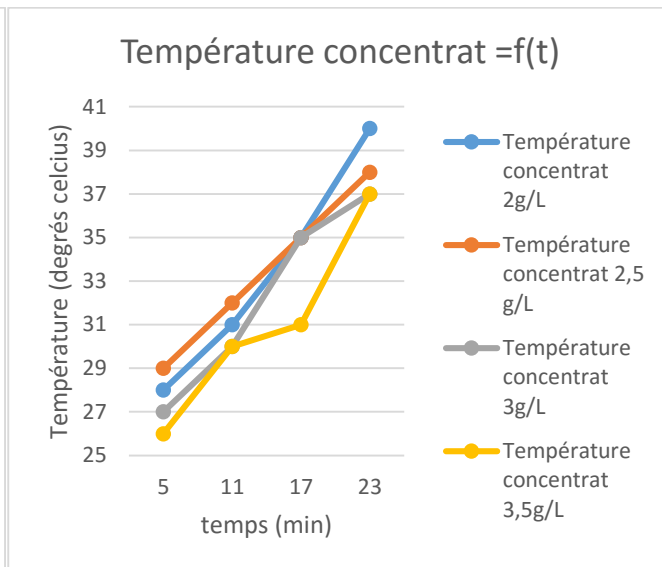


Figure IV.54 : La variation de la température du perméat  $\Delta p = 1$

## ***IV.2. Pression = 8bars :***

### ***IV.2.1 Pour une concentration de 2 g/l***

- ***Manipulation n°01***

$P=8bar$  ;  $\Delta P=0$  bar ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

Température avant : 22 °C.

Température après : 30°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$\pi=2*34.19*8.316*(20+273.5)$ .

Donc :  $\pi=1.67bar$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 20 (annexe 2)**

- ***Manipulation n°02***

$P=8bar$  ;  $\Delta P=0.5$  bar ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 21 (annexe 2)**

- ***Manipulation n°03***

$P=8bar$  ;  $\Delta P=1bar$  ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

Température avant : 18 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 22 (annexe 2)**

- ***Manipulation n°04***

$P=8bar$  ;  $\Delta P=1.5bar$  ;  $C=2g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500  $\mu s/cm$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 23 (annexe 2)**:



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

- La variation de la conductivité du perméat

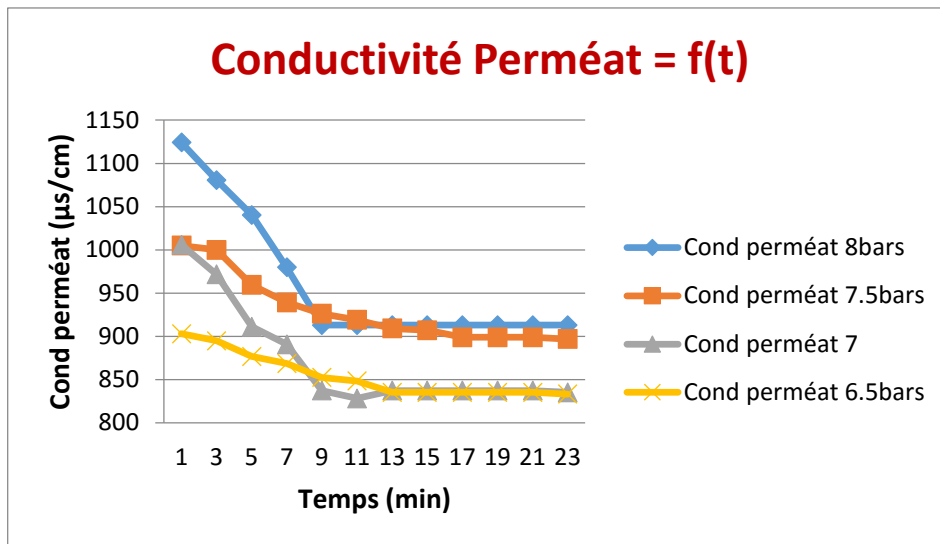


Figure IV.55: La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2g/l).

- La variation de la conductivité du concentrât

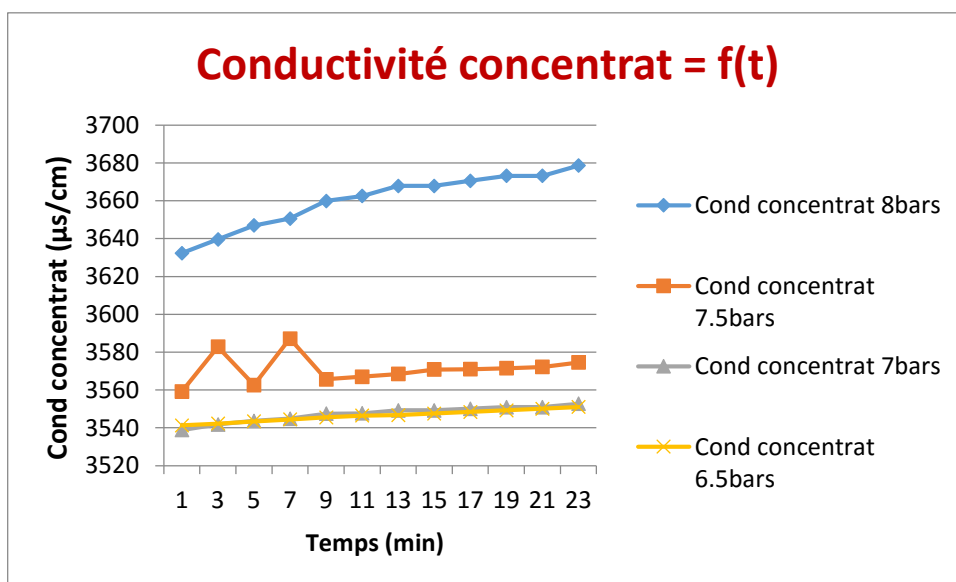


Figure IV.56: La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2g/l).

- La variation du volume de perméat en fonction du temps

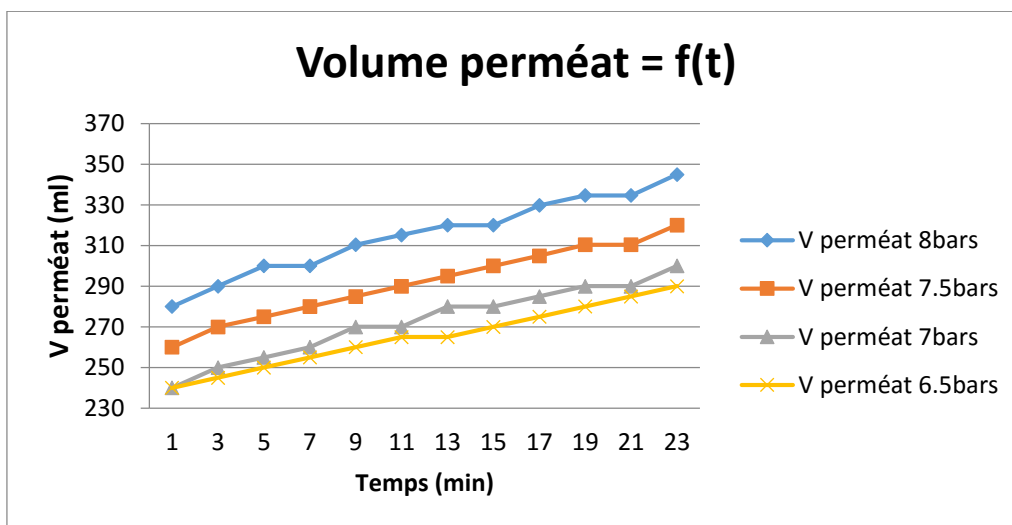


Figure IV.57: La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=2g/l$ ).

### II.2.1.2 La variation de la rétention globale du module

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

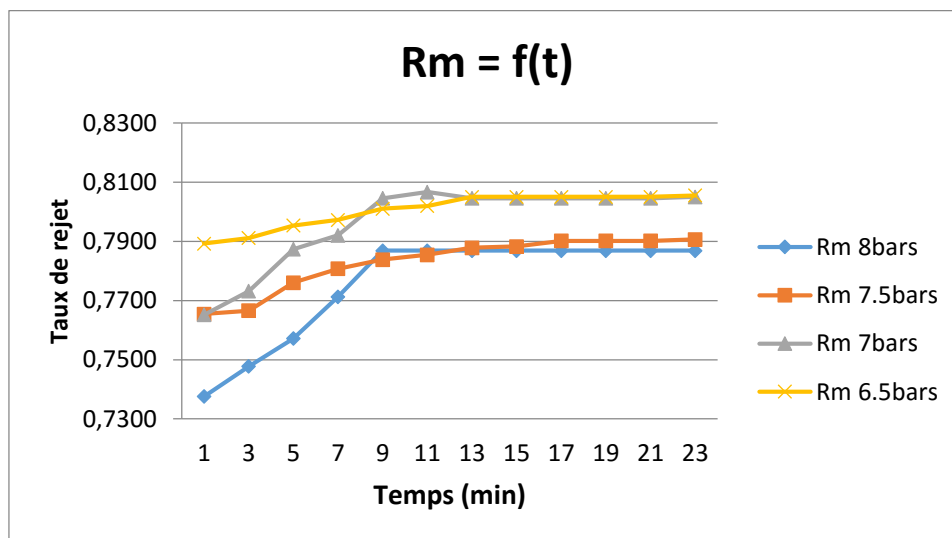
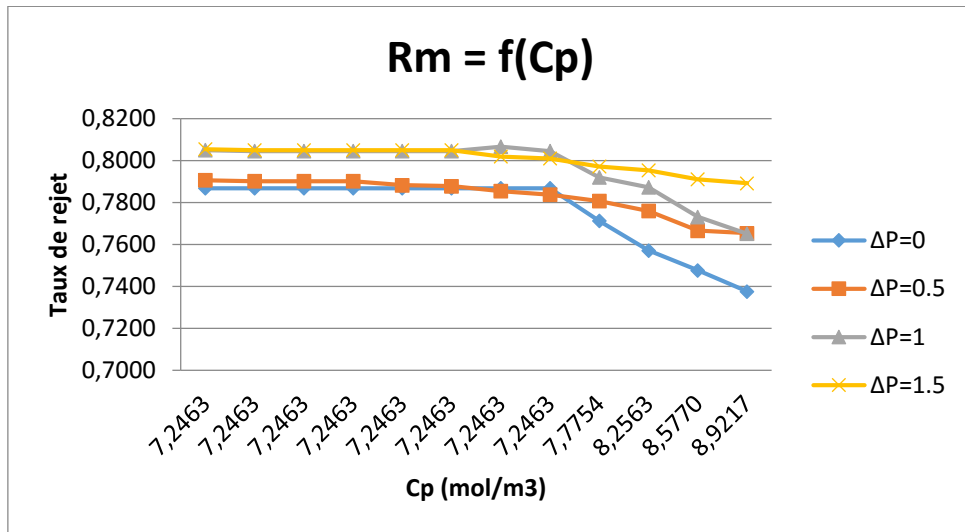


Figure IV.58: La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=2g/l$ ).

- La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat:



**Figure IV.59:** La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=2g/l).

#### IV.2.2 Pour une concentration de 2.5 g/l :

- **Manipulation n°01**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=0\text{ bar}$  ;  $C=2.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

$C=2.5\text{ g/l} = 42.73\text{ mol/m}^3$ .

$\pi=2*42.73*8.316*(20+273.5)$ .

Donc :  $\pi=2.086\text{bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 24 (annexe 2)**

- **Manipulation n°02**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=0.5\text{ bar}$  ;  $C=2.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 25(annexe 2)**

- **Manipulation n°03**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1\text{ bar}$  ;  $C=2.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 26 (annexe 2)**

**Manipulation n°04**

$P=8bar$  ;  $\Delta P=1.5 bar$  ;  $C=2.5g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu s/cm$ .

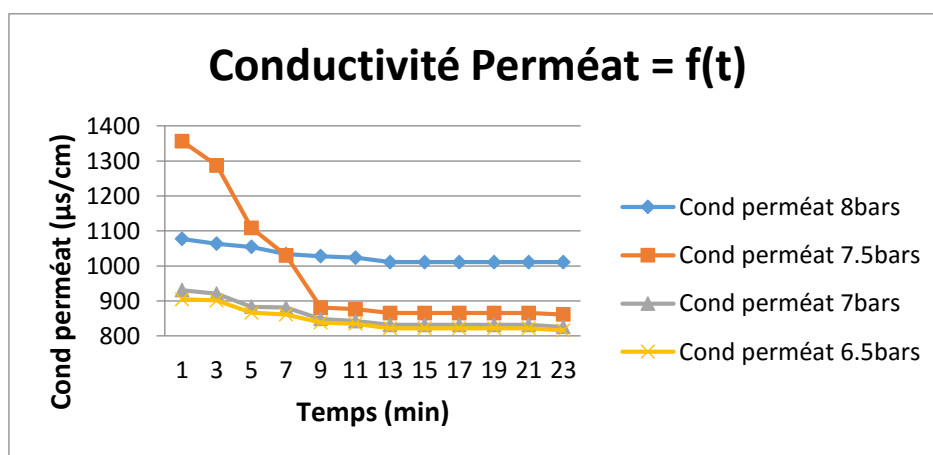
Température avant : 21 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 27 (annexe 2)**

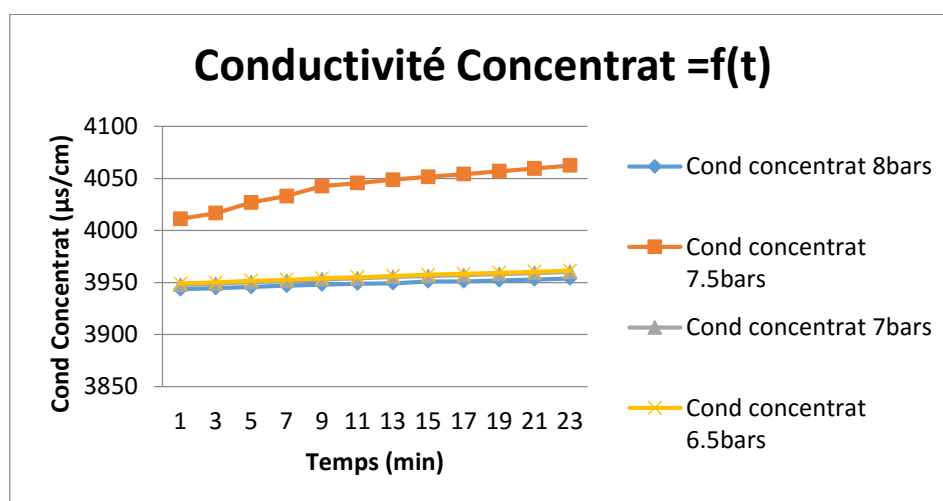
**IV.2.2.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

- La variation de conductivité du perméat



**Figure IV.60 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=2.5g/l$ ).

- La variation de la conductivité du concentrât



**Figure IV.61 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=2.5g/l$ ).

- La variation de volume du perméat en fonction du temps

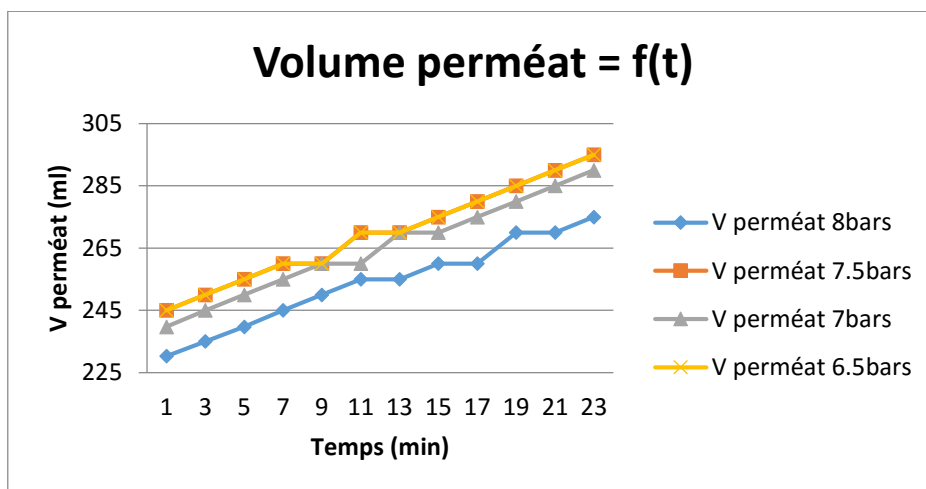


Figure IV.62 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=2.5g/l$ ).

#### IV.2.2.2 La variation de la rétention globale du module

- La variation du taux de rejet en fonction du temps

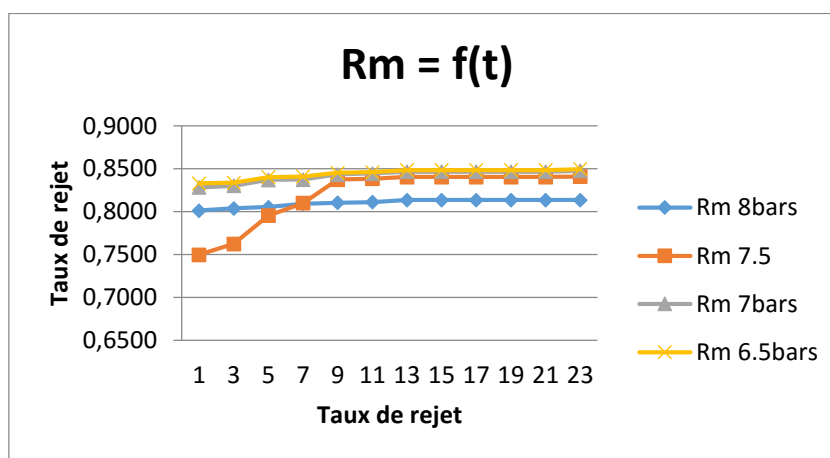


Figure IV.63: La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=2.5g/l$ ).

- La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat

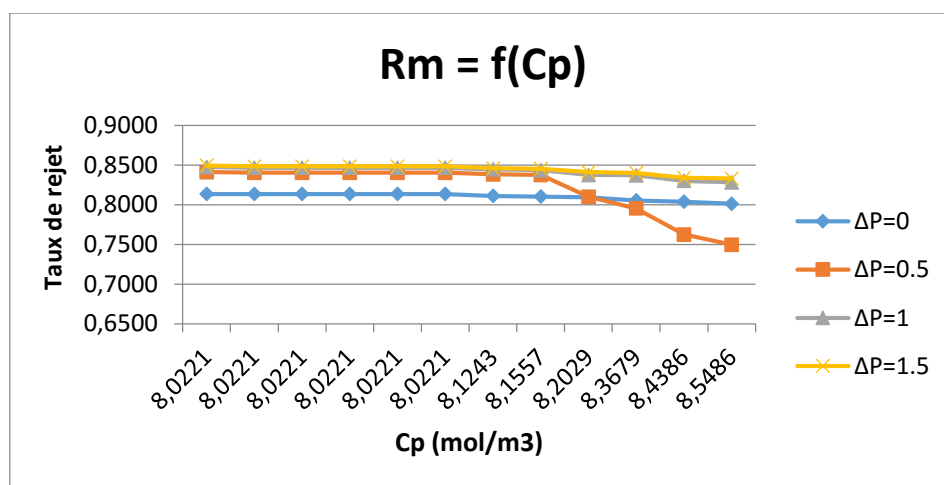


Figure IV.64: La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=2.5g/l$ ).

### IV.2.3. Pour une concentration de 3 g/l

- Manipulation n°01

$P=8bar$  ;  $\Delta P=0 bar$  ;  $C=3g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700  $\mu s/cm$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

$C= 3 g/l = 51.28 mol/m^3$ .

$\pi= 2*51.28*8.316*(20+273.5)$ .

Donc :  $\pi=2.50bar$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 28 (annexe 2)

- Manipulation n°02

$P=8bar$  ;  $\Delta P=0.5bar$  ;  $C=3 g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700  $\mu s/cm$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 29 (annexe 2)

- Manipulation n°03

$P=8bar$  ;  $\Delta P=1bar$  ;  $C=3g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700  $\mu s/cm$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le tableau 30 (annexe 2)

• **Manipulation n°04**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1.5\text{bar}$  ;  $C=3\text{ g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation :  $4700\text{ }\mu\text{s/cm}$ .

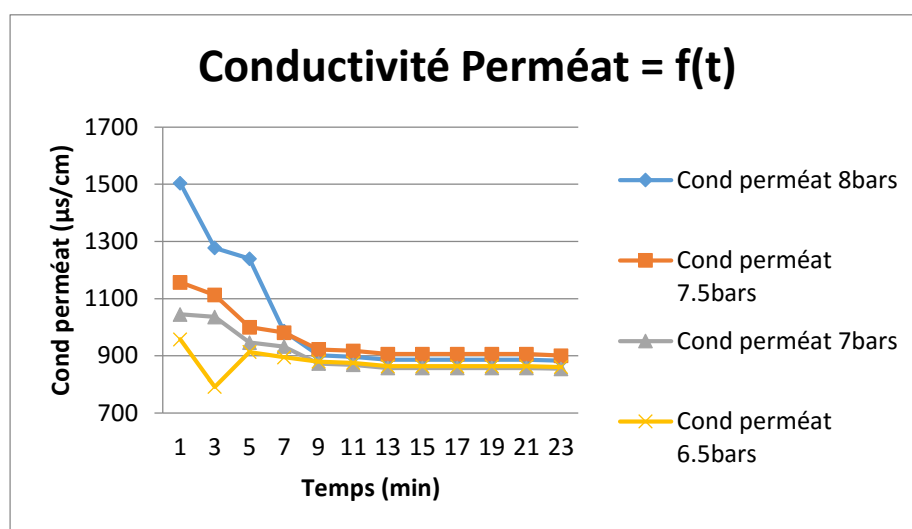
Température avant :  $19\text{ }^\circ\text{C}$ .

Température après :  $27\text{ }^\circ\text{C}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 31 (annexe 2)**

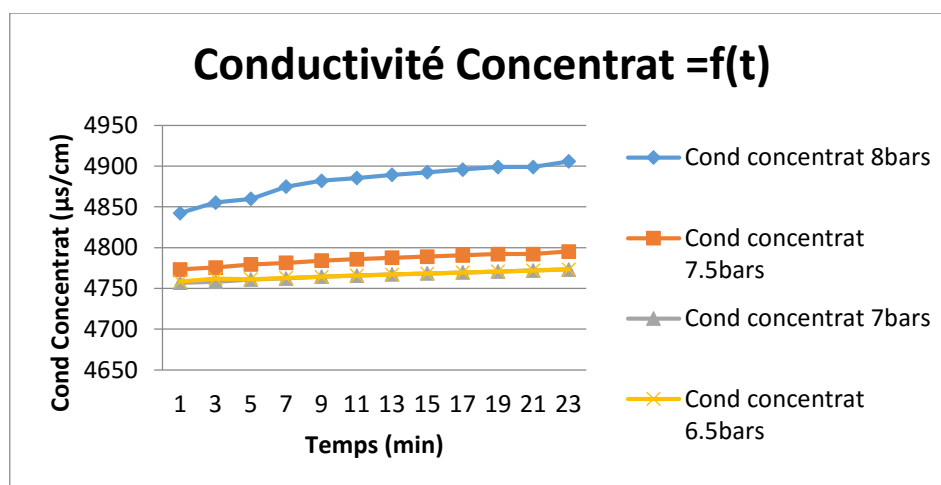
**IV.2.3.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat :**



**Figure IV.65 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=8bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3\text{g/l}$ ).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.66 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5;1; 1.5$  ;  $C=3\text{g/l}$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

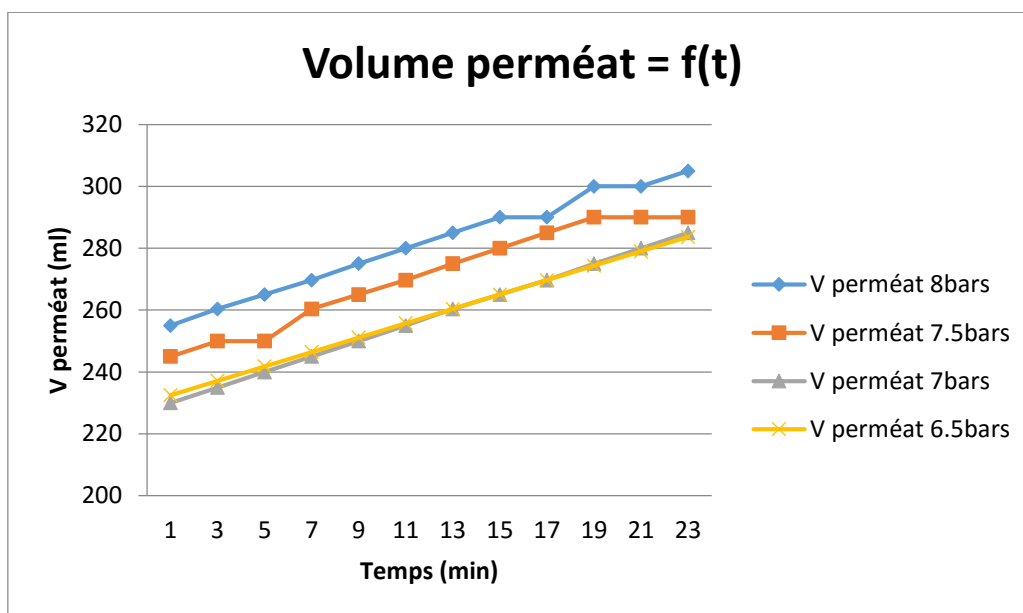


Figure IV.67 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=3g/l$ ).

II.2.3.2. La variation de la rétention globale du module

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

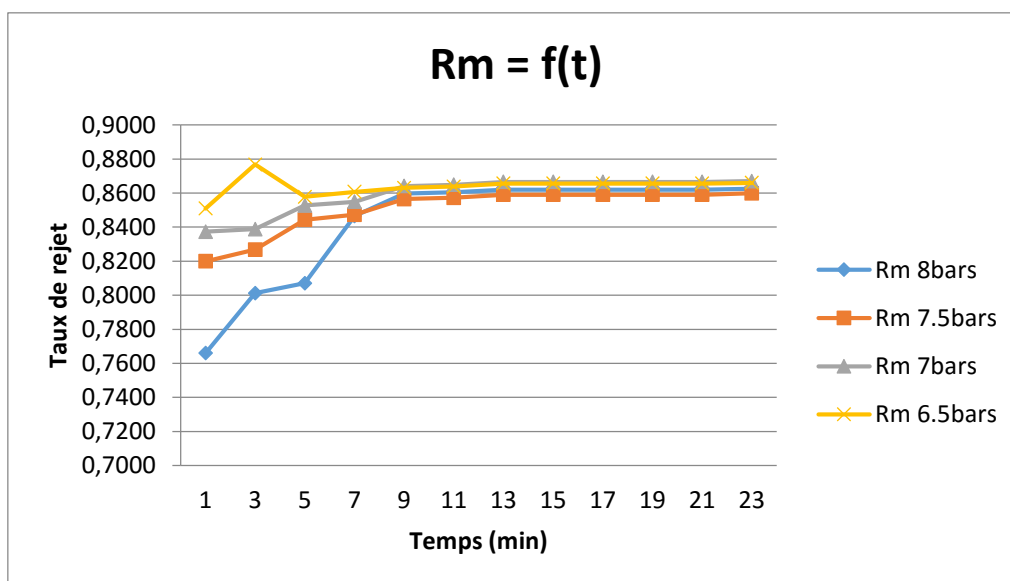


Figure IV.68: La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=3g/l$ ).



➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

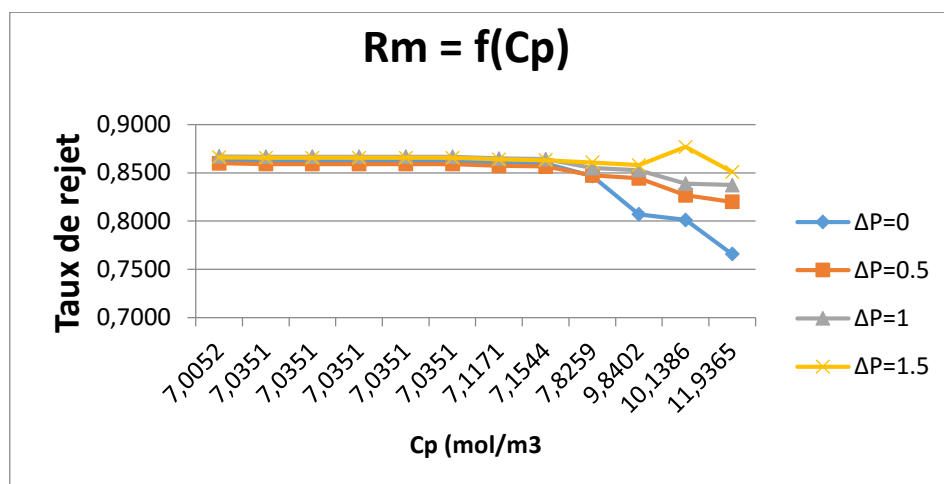


Figure IV.69: La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat ( $P_{\text{entrée}}=8$  bars ;  $\Delta P=0; 0,5; 1; 1,5$  ;  $C=3$ g/l).

#### IV.2.4 Pour une concentration de 3.5 g/l

- Manipulation n°01

$P=8$ bar ;  $\Delta P=0$  bar ;  $C=3,5$ g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300  $\mu$ s/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

$C=3,5$  g/l = 59.83 mol/m<sup>3</sup>.

$\pi=2*59,83*8,316*(20+273,5)$ .

Donc :  $\pi=2,92$ bar.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 32 (annexe 2)**

- Manipulation n°02

$P=8$ bar ;  $\Delta P=0,5$ bar ;  $C=3,5$ g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300  $\mu$ s/cm.

Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 33 (annexe 2)**

- Manipulation n°03

$P=8$ bar ;  $\Delta P=1$ bars ;  $C=3,5$ g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300  $\mu$ s/cm.

Température avant : 17 °C.

Température après : 25°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 34 (annexe 2)**

• **Manipulation n°04**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1.5\text{bar}$  ;  $C=2\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation :  $5300\ \mu\text{s/cm}$ .

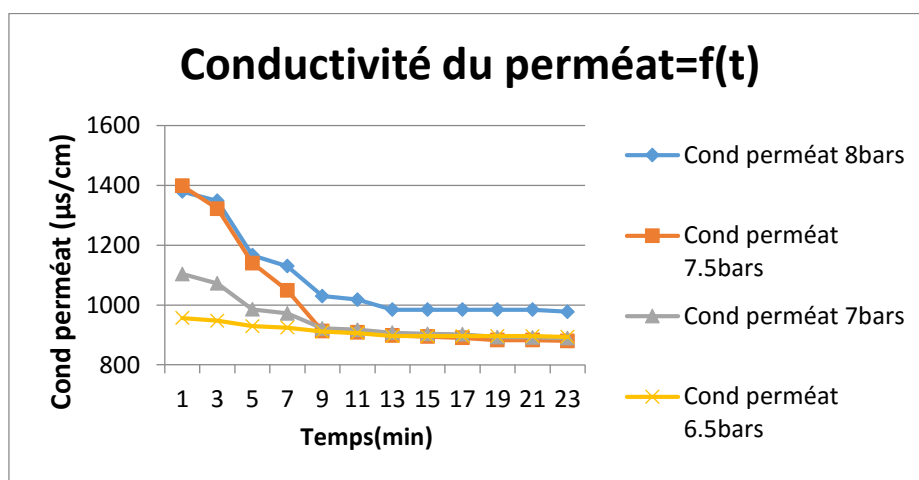
Température avant :  $17\ ^\circ\text{C}$ .

Température après :  $25\ ^\circ\text{C}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 35 (annexe 2)**

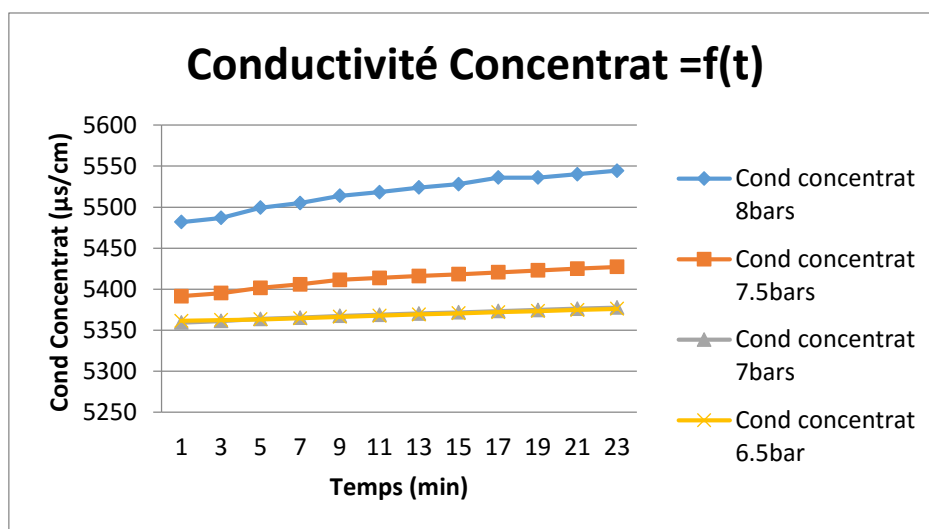
**IV.2.4.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.70** : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=3.5\text{g/l}$ ).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.71** : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=3.5\text{g/l}$ ).

➤ La variation du volume de perméat et du concentrât en fonction du temps

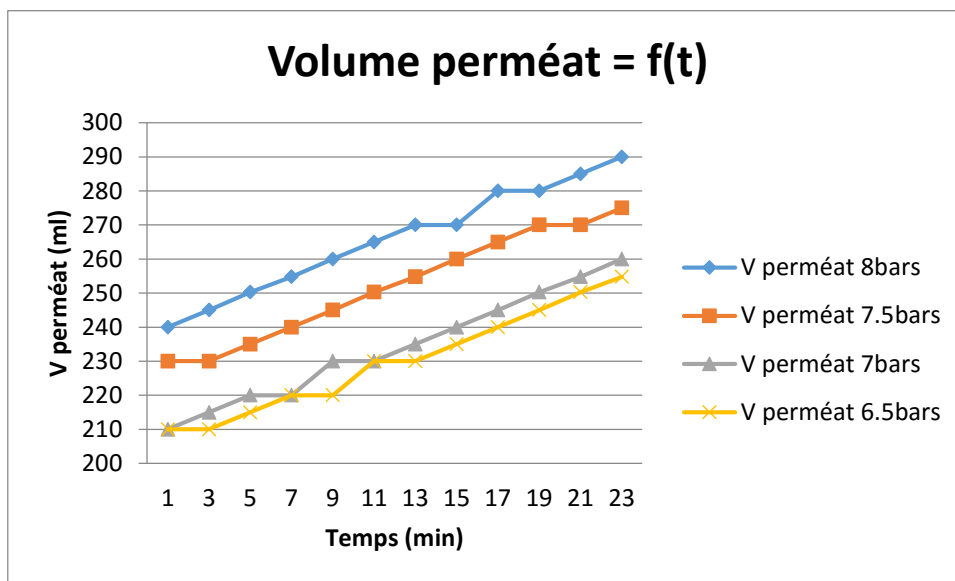


Figure IV.72 : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=3.5g/l$ ).

IV.2.4.2. La variation de la rétention globale du module

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

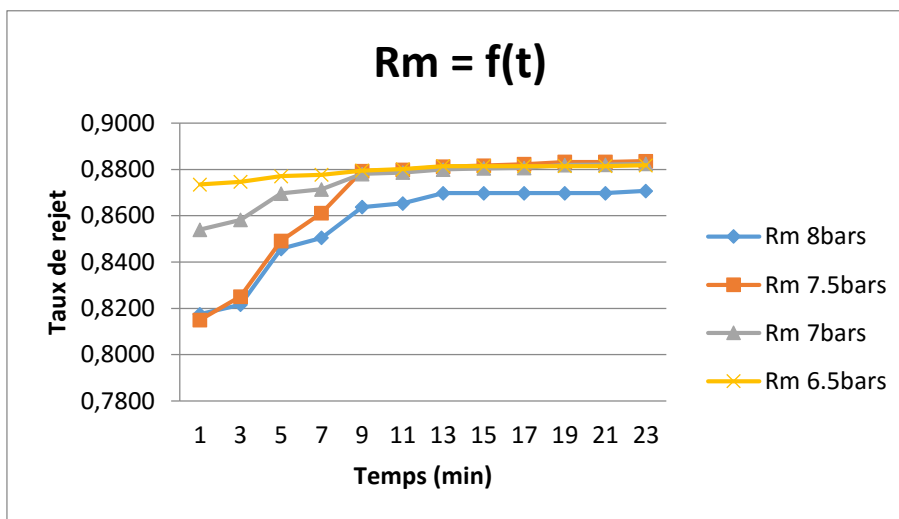


Figure IV.73: La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=3.5g/l$ ).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

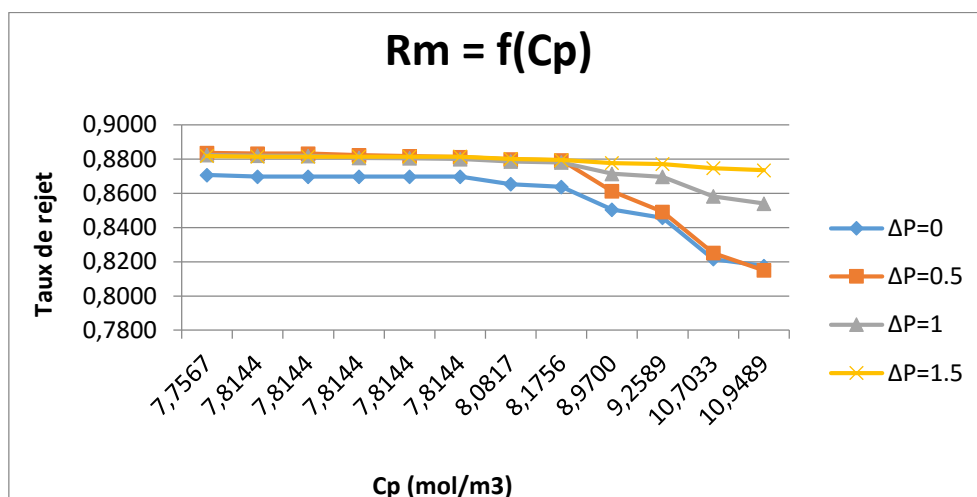


Figure IV.74: La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ;C=3.5g/l).

#### IV.2.5. Pour une concentration 4 g/l

- Manipulation n°01

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=0\text{bar}$  ;  $C=4\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 20 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$\pi= 2*68.38*8.316*(20+273.5)$ .

Donc :  $\pi=3.34\text{bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 36 (annexe 2)**

- Manipulation n°02

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=0.5\text{bar}$  ;  $C=4\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19°C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 37 (annexe 2)**

- Manipulation n°03

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1\text{bar}$  ;  $C=4\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 18°C.

Température après : 21°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 38 (annexe 2)**:

• **Manipulation n°04**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1.5\text{ bar}$  ;  $C=4\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation :  $6300\ \mu\text{s/cm}$ .

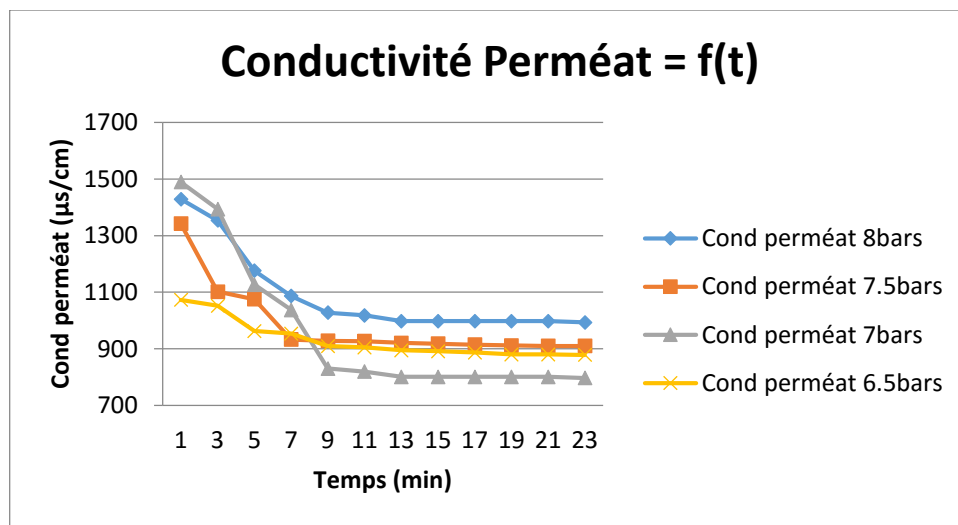
Température avant :  $18^\circ\text{C}$ .

Température après :  $26^\circ\text{C}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 39 (annexe 2)**

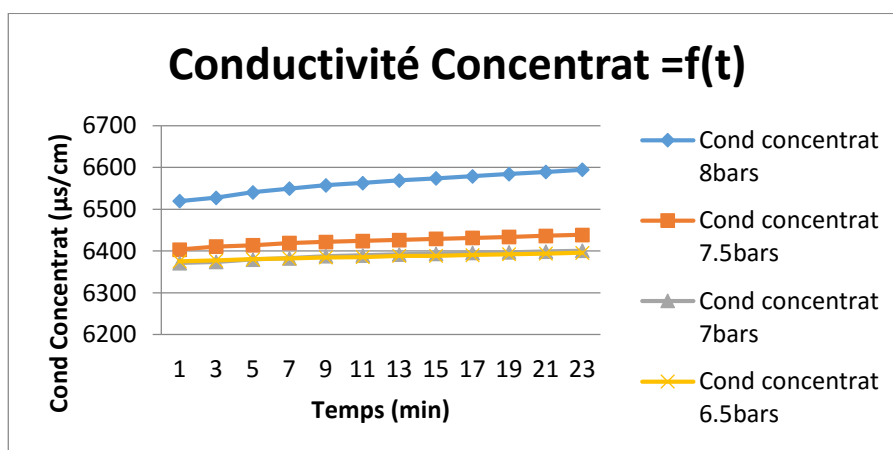
**IV.2.5.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.75 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=4\text{g/l}$ ).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.76 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=4\text{g/l}$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

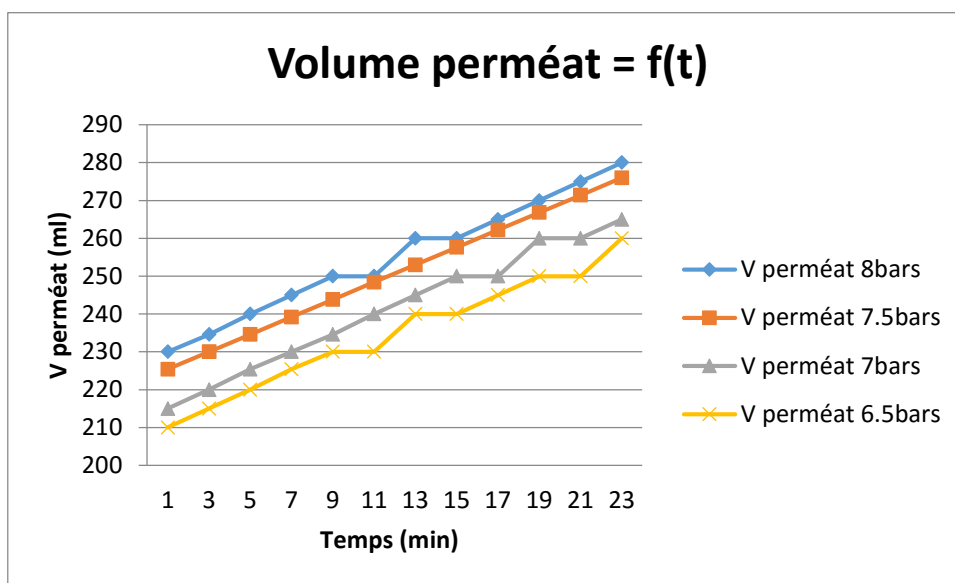


Figure IV.77: La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4g/l$ ).

II.2.5.2. La variation de la rétention globale du module

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

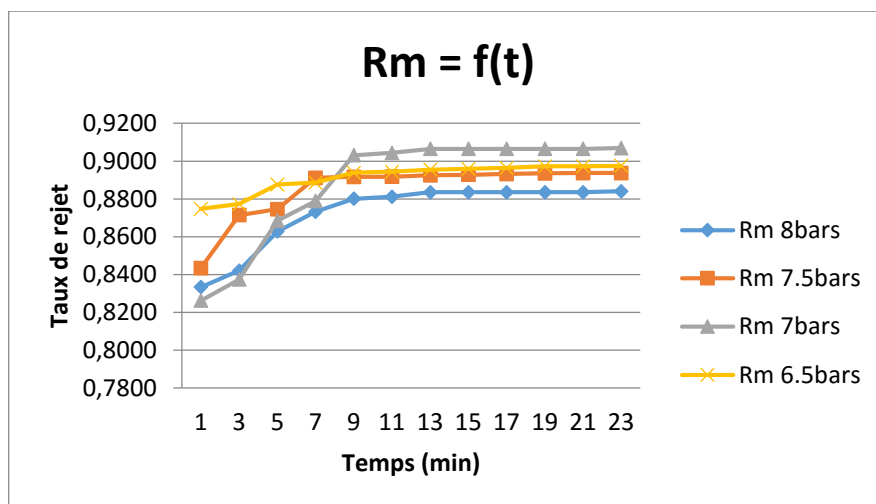


Figure IV.78: La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5$  ;  $C=4g/l$ ).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

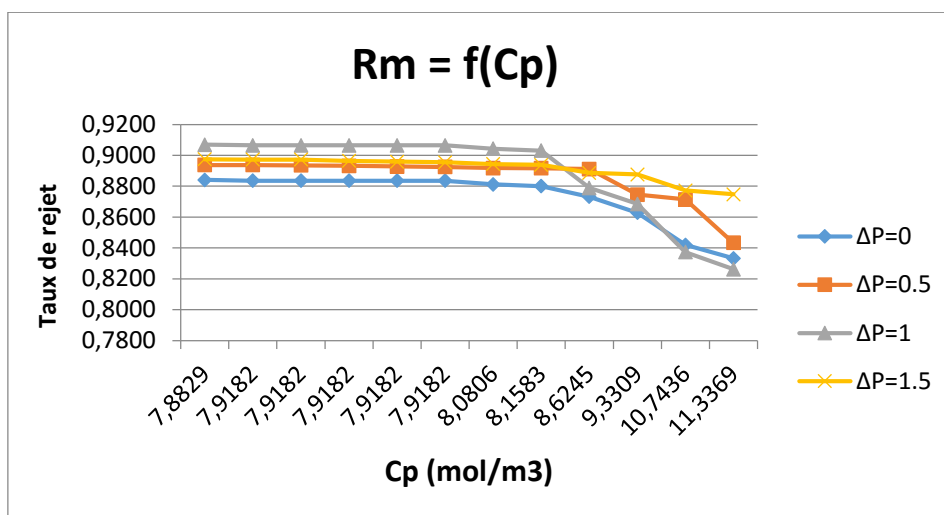


Figure IV.79: La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; C=4g/l).

### II.2.6. Pour une concentration de 4.5 g/l

- Manipulation n°01

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=0\text{ bar}$  ;  $C=4.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 17°C. Température après : 25°C.

Calcul de la pression osmotique :

$C=4.5\text{ g/l} = 76.92\text{ mol/m}^3$ .

$\pi=2*76.92*8.316*(20+273.5)$ .

Donc :  $\pi=3.75\text{bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 40 (annexe 2)**

- Manipulation n°02

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=0.5\text{ bar}$  ;  $C=4.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 18°C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 41 (annexe 2)**

- Manipulation n°03

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1\text{bar}$  ;  $C=4.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 42 (annexe 2)**

• **Manipulation n°04**

$P=8\text{bar}$  ;  $\Delta P=1.5\text{bar}$  ;  $C=4.5\text{g/L}$

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600  $\mu\text{s/cm}$ .

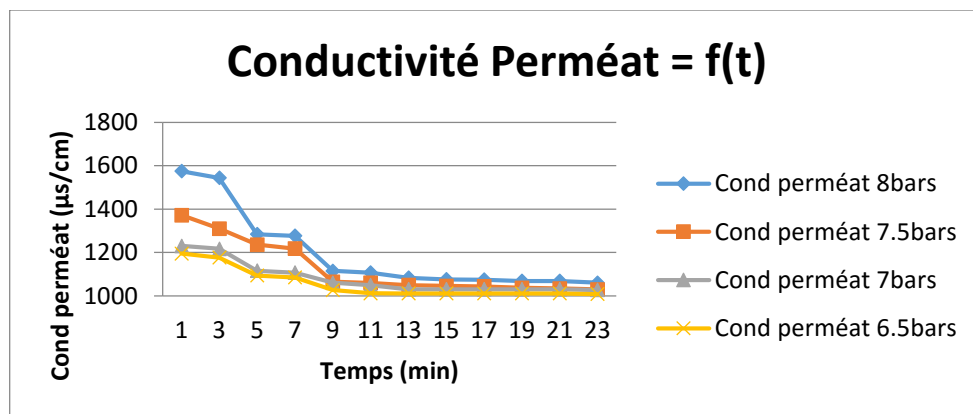
Température avant : 20°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 43 (annexe 2)**

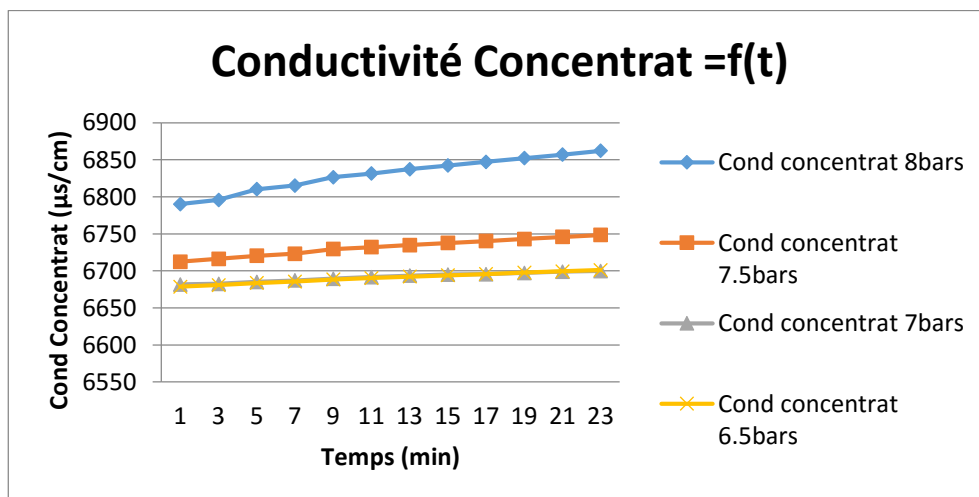
**IV.2.6.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.80 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=4.5\text{g/l}$ ).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.81 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=4.5\text{g/l}$ ).



➤ La variation du volume du perméat en fonction du temps :

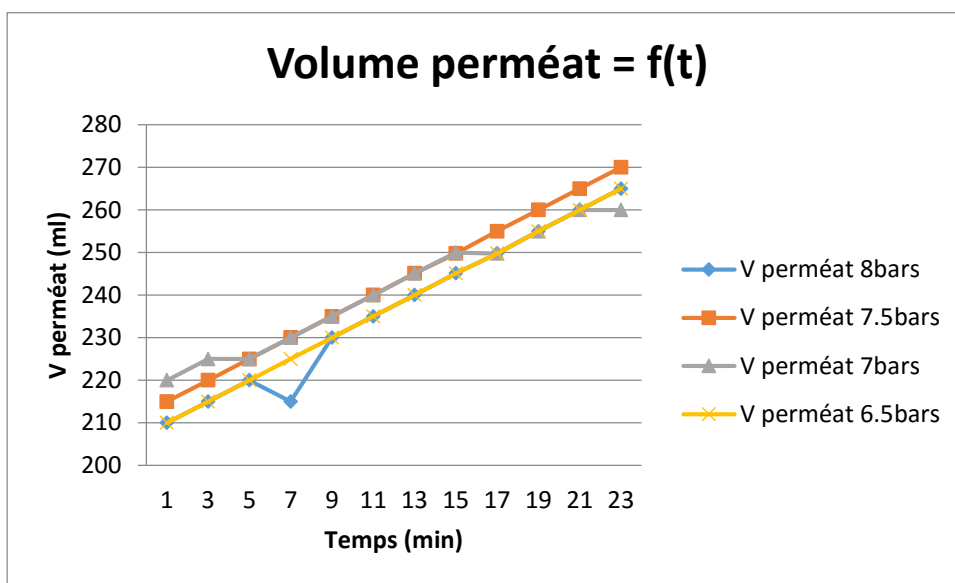


Figure 82 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=4.5g/l$ ).

II.2.6.2. La variation de la rétention globale du module

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

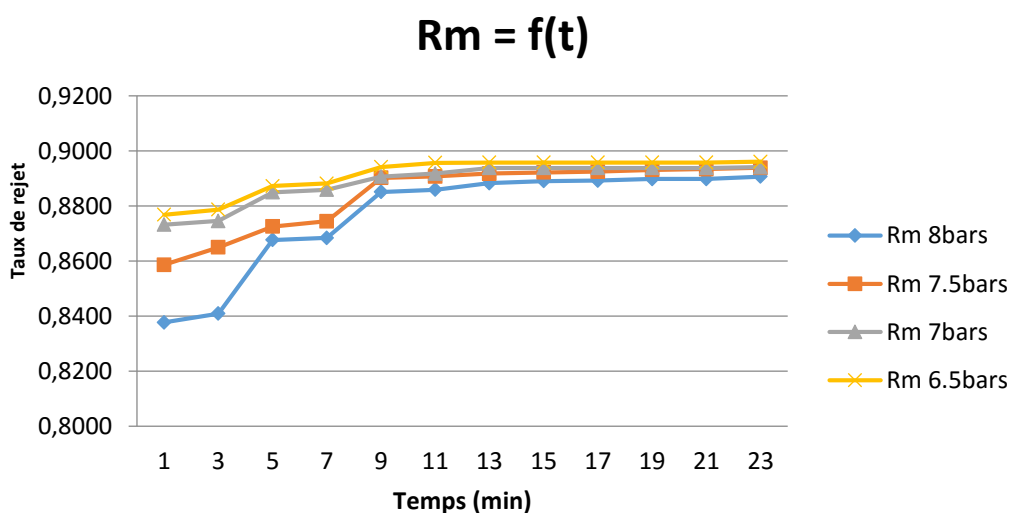


Figure IV.83: La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=4.5g/l$ ).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

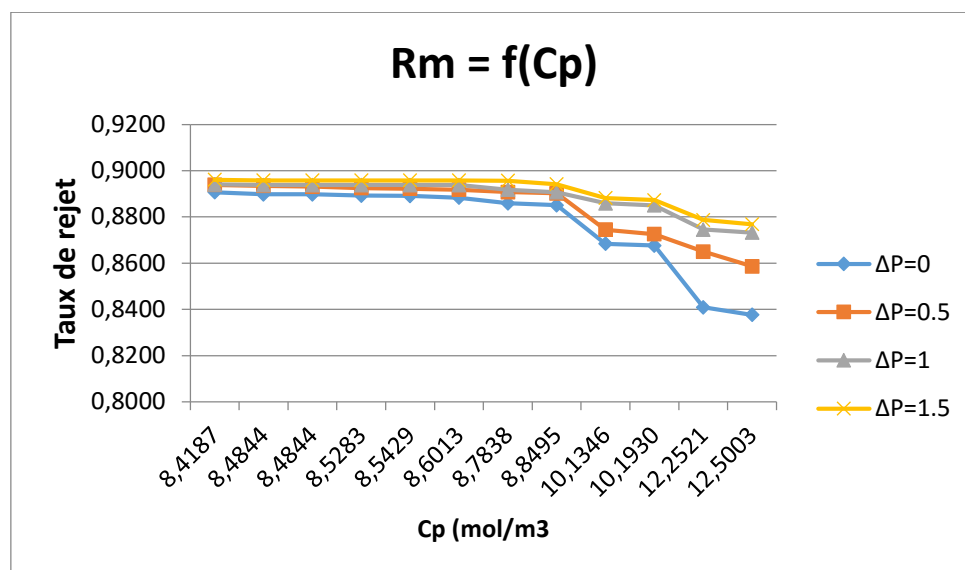


Figure IV.84: La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=4.5g/l).

II.2.7. Pour une concentration de 5 g/l

• Manipulation n°01

P=8bar ; ΔP=0 bar ; C=5g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

C= 5 g/l = 85.47 mol/m3.

$\pi = 2 \cdot 85.47 \cdot 8.316 \cdot (20 + 273.5)$ .

Donc :  $\pi = 4.17 \text{ bar}$ .

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 44 (annexe 2)**

• Manipulation n°02

P=8bar ; ΔP=0.5 bar ; C=5g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 45 (annexe 2)**

• Manipulation n°03

P=8bar ; ΔP=1 bar ; C=5g/L

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 46 (annexe 2)**

- **Manipulation n°04**
- $P=8bar$  ;  $\Delta P=1.5 bar$  ;  $C=5g/L$

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400  $\mu s/cm$ .

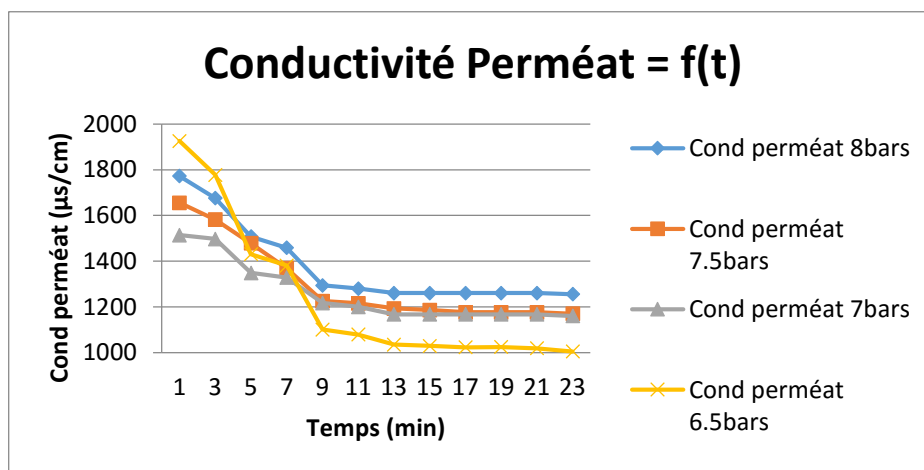
Température avant : 18 °C.

Température après : 26°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 47 (annexe 2)**

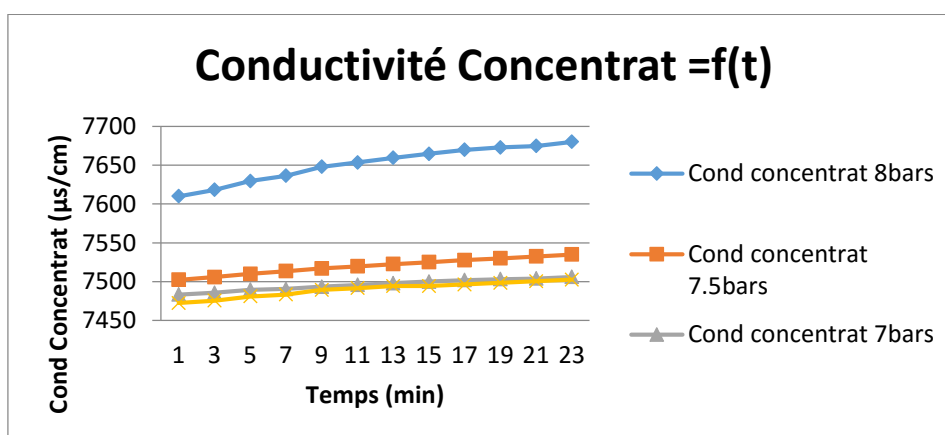
**II.2.7.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.85 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=5g/l$ ).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.86 :** La variation de la conductivité de concentrât en fonction du temps (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5$  ;  $C=5g/l$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

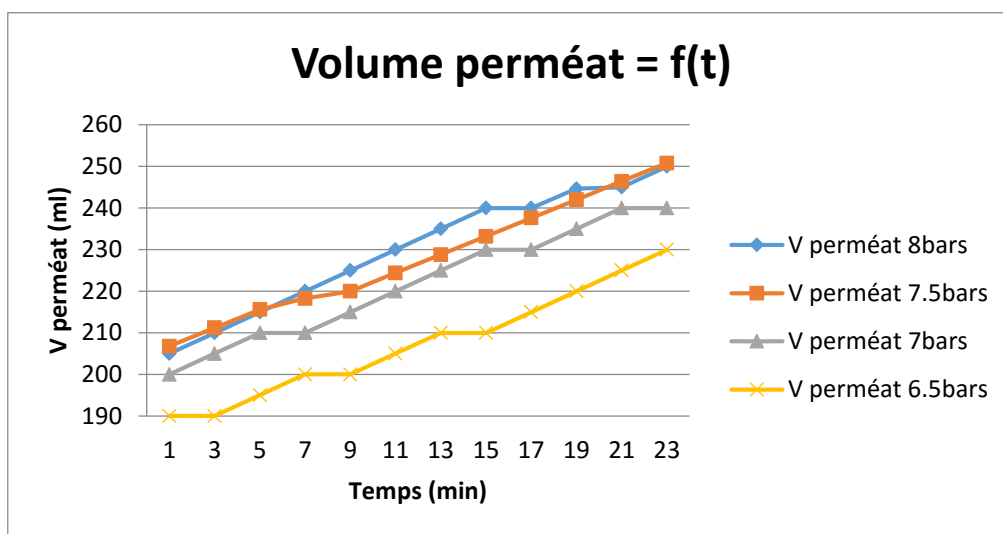


Figure IV.87 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=8bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; C=5g/l).

II.2.7.2. La variation de la rétention globale du module

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

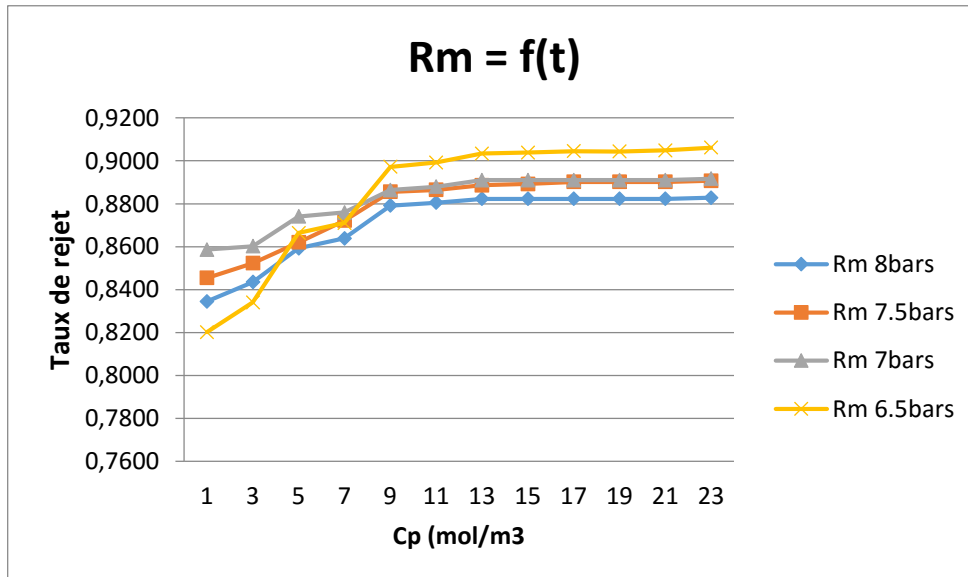
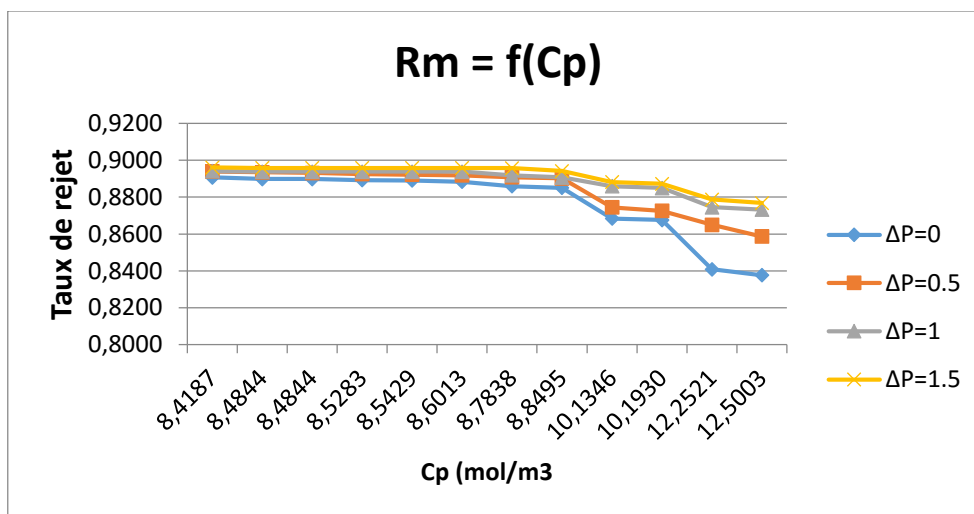


Figure IV.88: La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0 ; 0.5;1 ; 1.5 ; C=5g/l)

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat



**Figure IV.89:** La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=8 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ;C=5g/l).

*Interprétation des résultats :*

- Une augmentation de la conductivité du perméat, du concentrat et du volume en fonction du temps, on peut également constater que les résultats sont presque pareils lorsqu'on dépasse la différence de pression de 1 bars.
- Le taux de rejet et quant à lui élevé à mesure qu'on augmente la différence de pression, et il diminue toujours en fonction de la concentration du perméat.

### *IV.3. Pression = 10,5 bars*

#### *IV.3.1 Pour une concentration de 2 g/l*

- **Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=2g/L, ΔP= 0 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500 μs/cm

Température avant : 18 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 34.19 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 1.67 \text{ bars}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 48 (annexe 03)**

- **Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=2g/L, ΔP= 0.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 49 (annexe 03)**

- **Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=2g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500 μs/cm.

Température avant : 17 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 50 (annexe 03)**

- **Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=2g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 51 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=2g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3500 μs/cm.

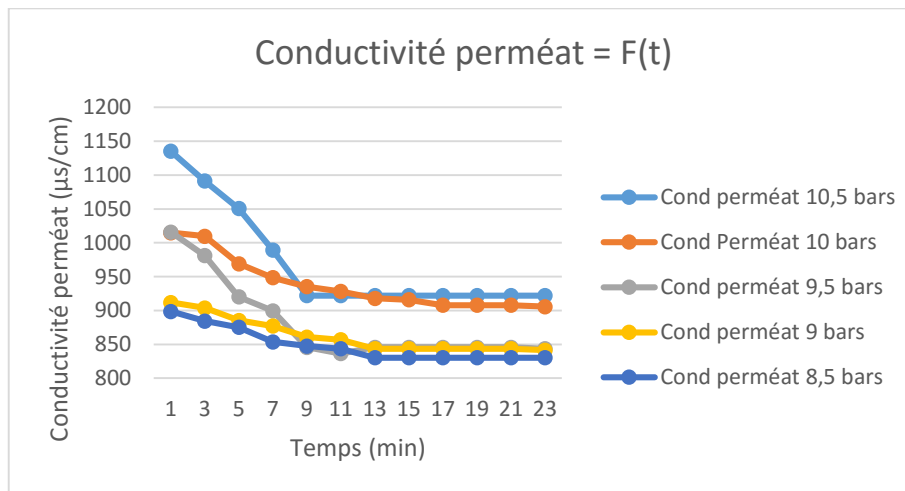
Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 52 (annexe 03)**

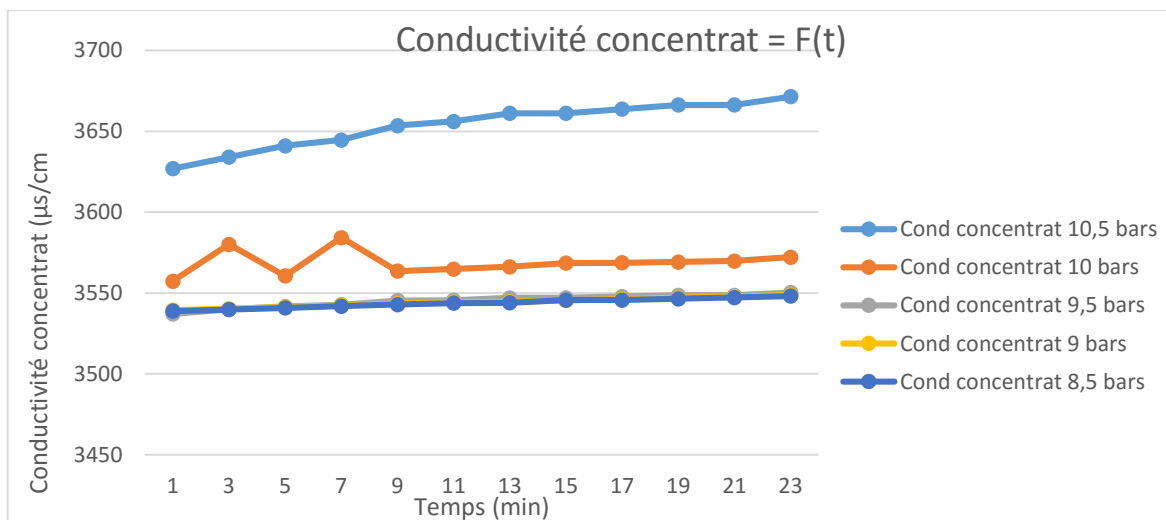
**IV.3.1.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.90 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.91 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=2g/l).

➤ La variation du volume du perméat en fonction du temps

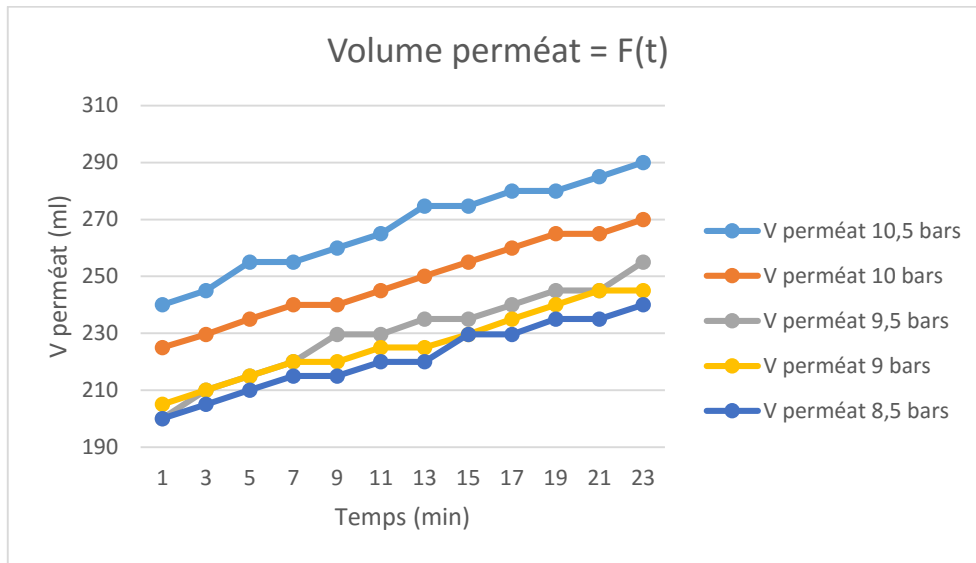


Figure IV.92 : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=2g/l$ ).

IV.3.1.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphs suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

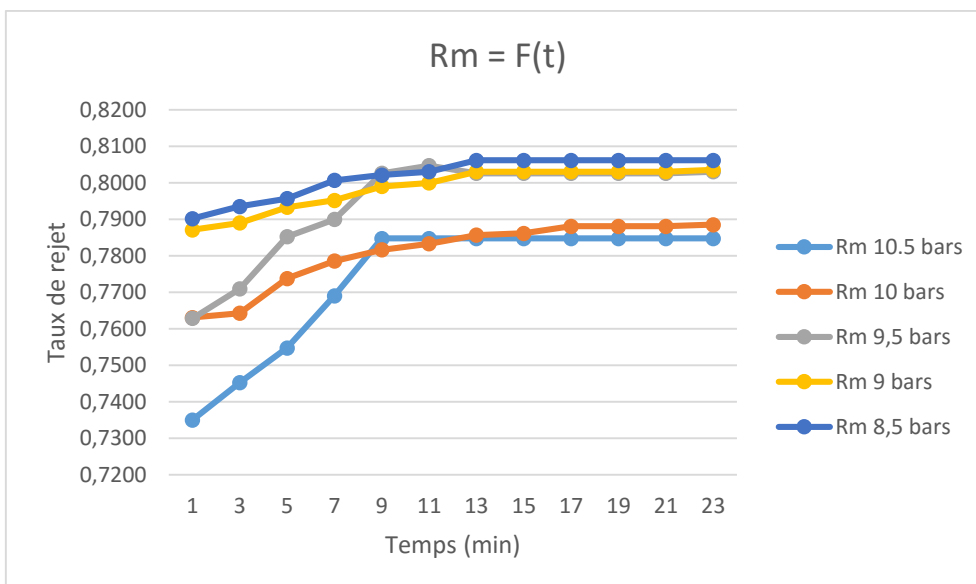


Figure IV.93 : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P= 0; 0.5; 1; 1.5 ; 2$  ;  $C=2g/l$ ).



- La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat

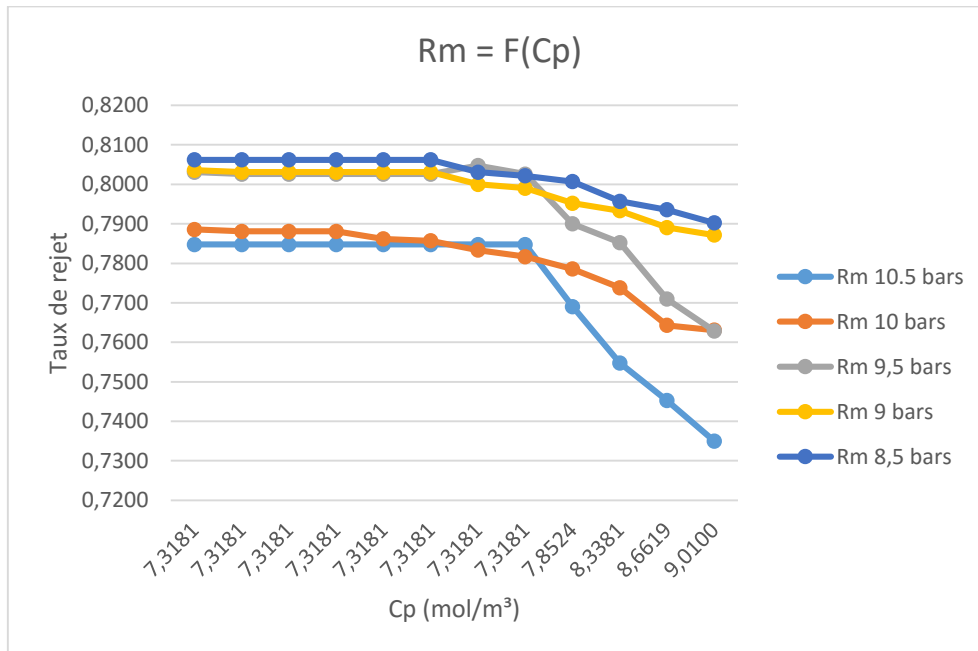


Figure IV.94 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P=0; 0,5; 1; 1,5; 2$  ;  $C=2\text{g/l}$ ).

#### IV.3.2. Pour une concentration de 2.5 g/l

- Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=2.5 g/L,  $\Delta P=0$  bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 32°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 2.5 \text{ g/l} = 42.73 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 \cdot 42.73 \cdot 8.316 \cdot (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 2.086$  bars

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 53 (annexe 03)**

- Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=2.5 g/L,  $\Delta P=0.5$  bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900  $\mu\text{s/cm}$ .

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 54 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=2.5 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900 μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 33°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 55 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=2.5 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900 μs/cm.

Température avant : 21 °C.

Température après : 31°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 56 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=2.5 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 3900 μs/cm.

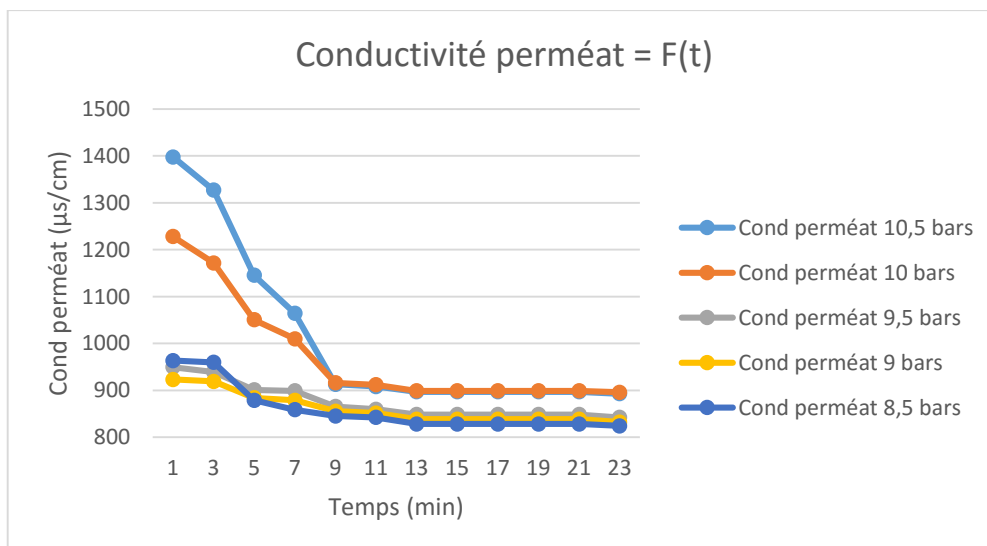
Température avant : 21 °C.

Température après : 31°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 57 (annexe 03)**

### III.3.2.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.95** : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l).

➤ La variation de conductivité du concentrât

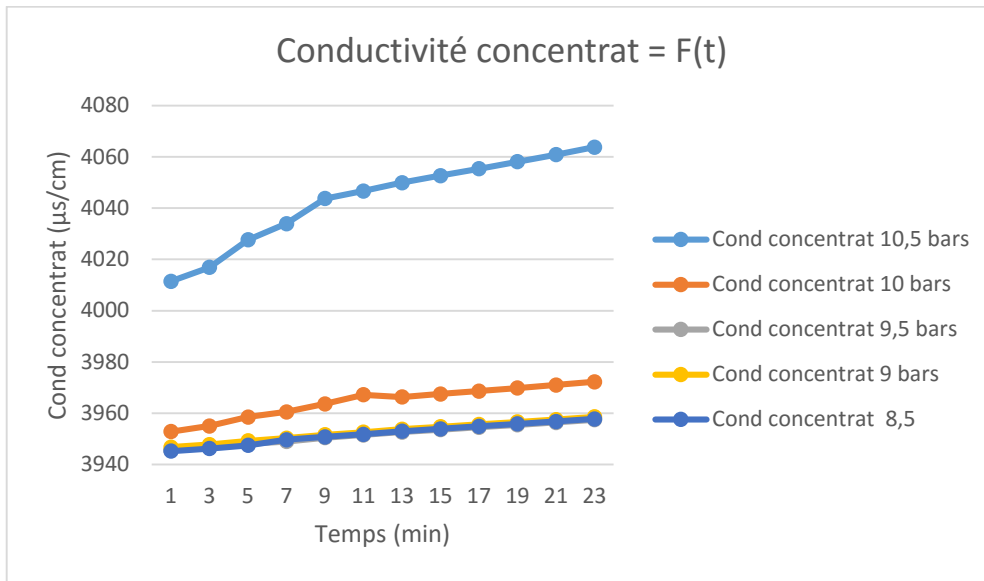


Figure IV.96 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=2.5g/l$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

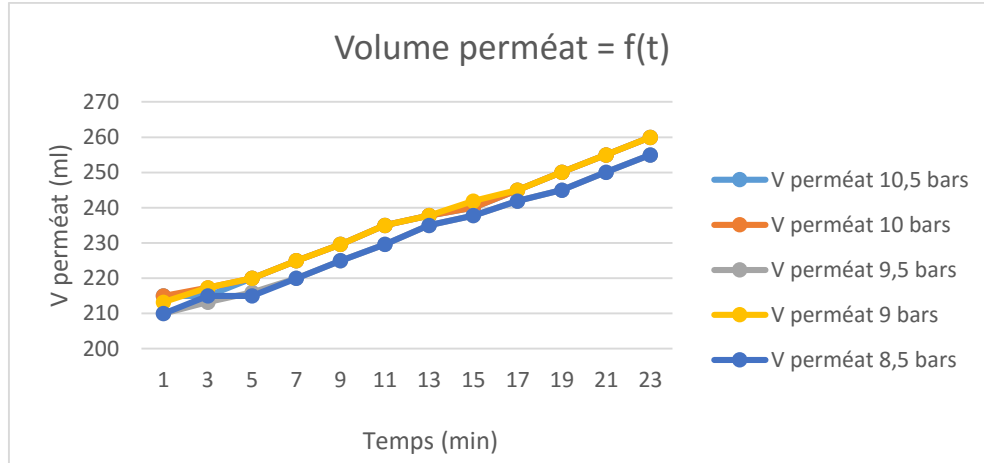


Figure IV.97: La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=2.5g/l$ ).

IV.3.2.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphes suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

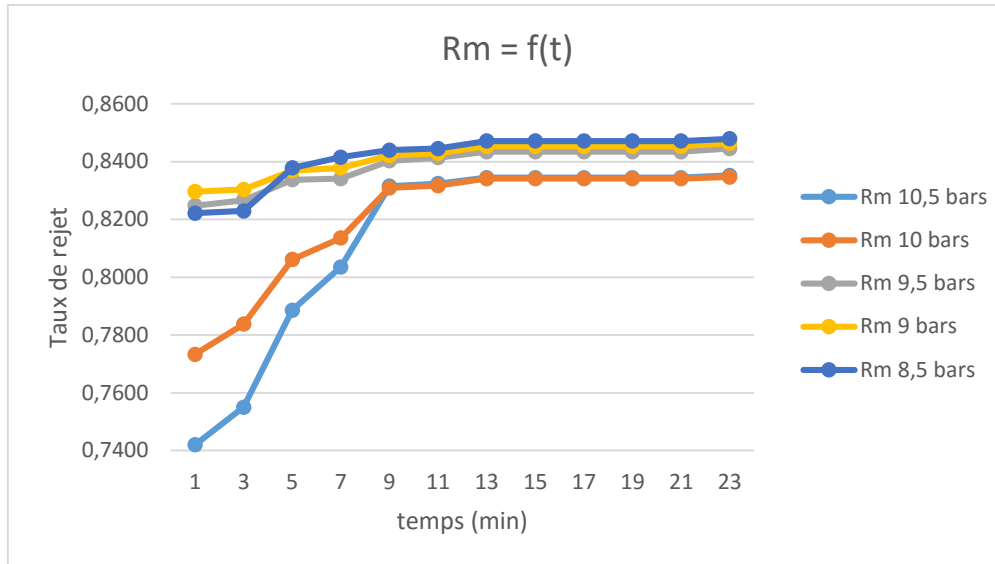


Figure IV.98 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l).

➤ La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat

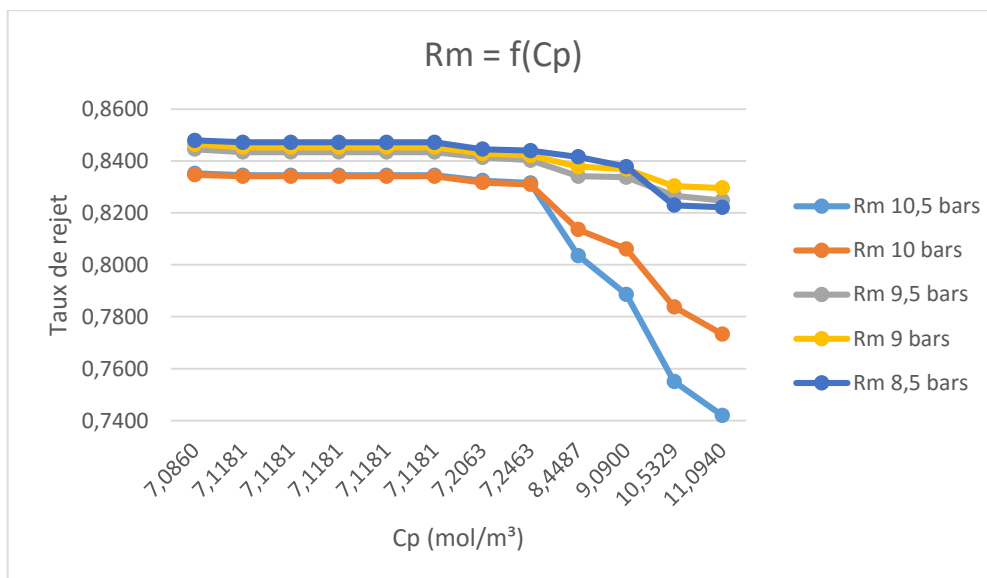


Figure IV.99 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=2.5g/l).

**IV.3.3. Pour une concentration de 3 g/l****➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=3 g/L, ΔP= 0 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700 μs/cm.

Température avant : 18 °C.

Température après : 27°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 51.28 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 2.50 \text{ bars}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 58 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=3 g/L, ΔP= 0.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 27°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 59 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=3 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700 μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 60 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=3 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 61 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=3 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 4700 μs/cm.

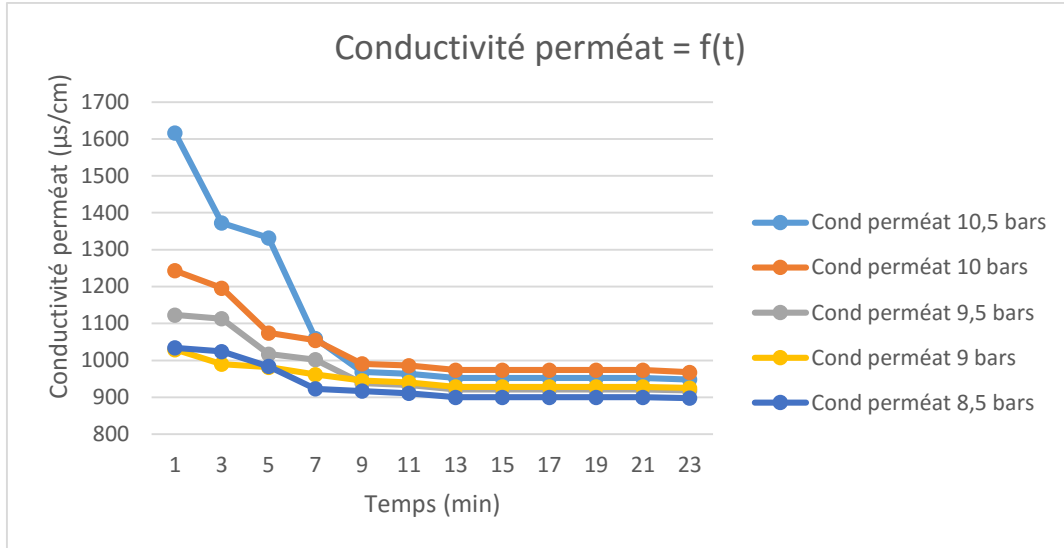
Température avant : 20 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 62 (annexe 03)**

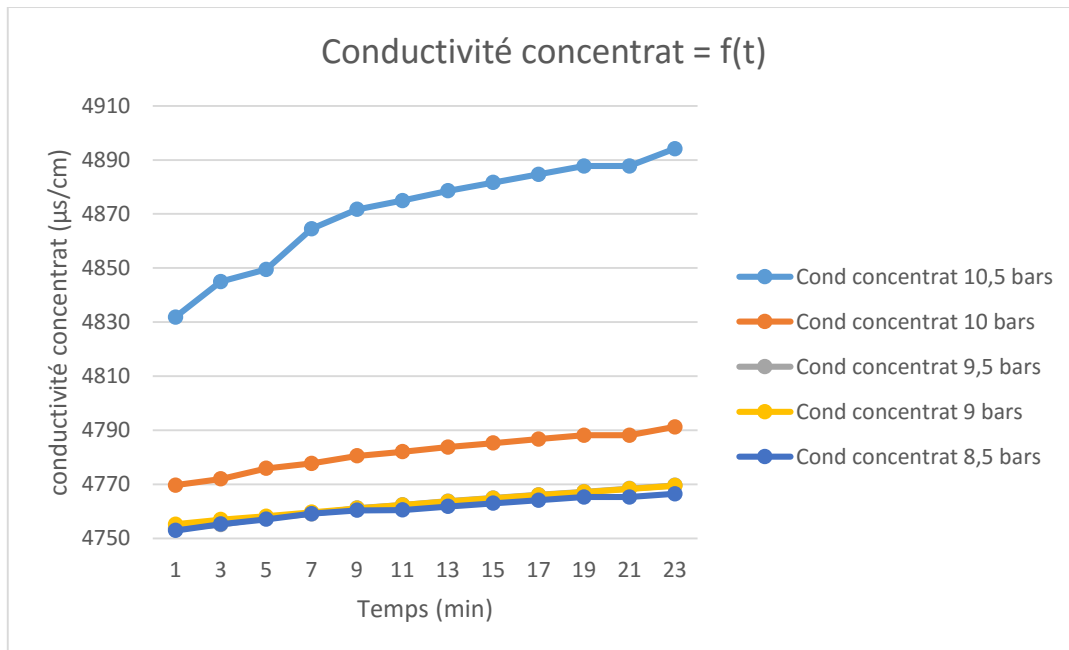
**IV.3.3.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.100 :** La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=3g/l$ ).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.101 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=3g/l$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

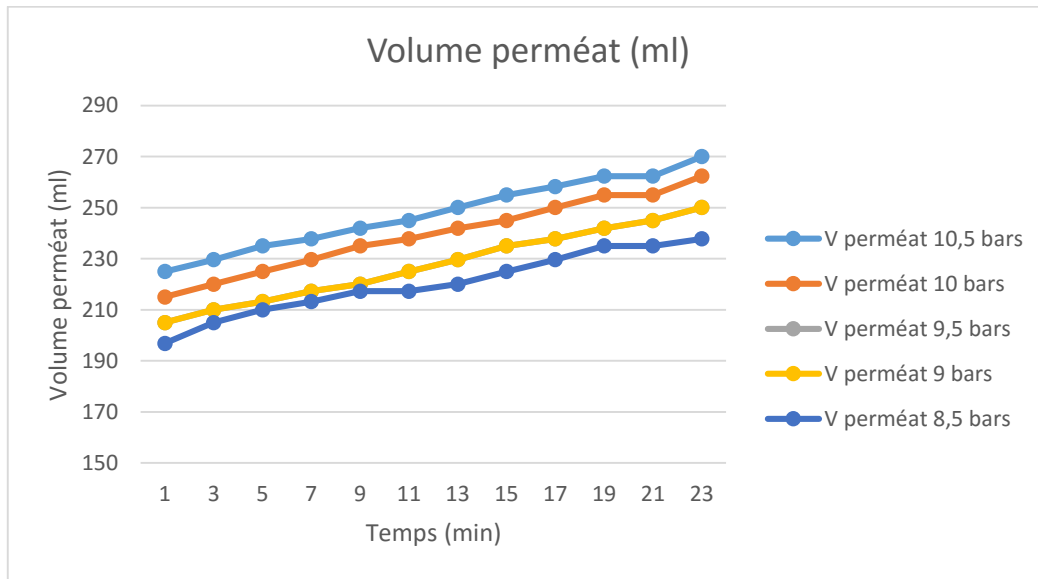


Figure IV.102 : La variation du volume du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ).

IV.3.3.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphes suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps :

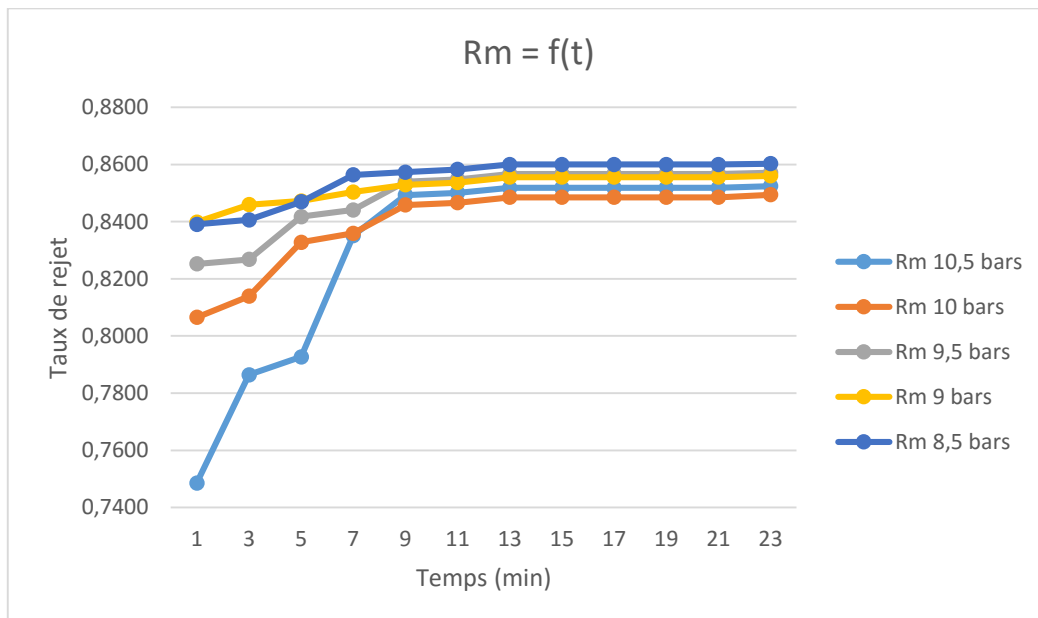


Figure IV.103 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l$ ).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat :

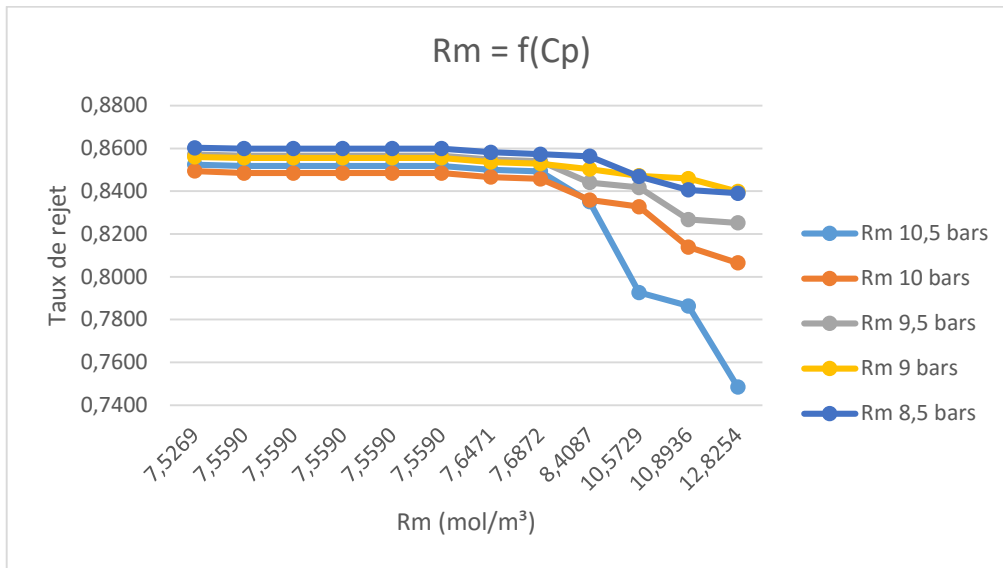


Figure IV.104 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3g/l).

IV.3.4. Pour une concentration de 3.5 g/l

➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=3.5 g/L, ΔP= 0 bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300 μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 31°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 3.5 \text{ g/l} = 59.83 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 59.83 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 2.92 \text{ bars}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 63 (annexe 03)**

➤ Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=3.5 g/L, ΔP= 0.5 bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 64 (annexe 03)**



➤ **Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=3.5 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 65 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=3.5 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 66 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=3.5 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 5300 μs/cm.

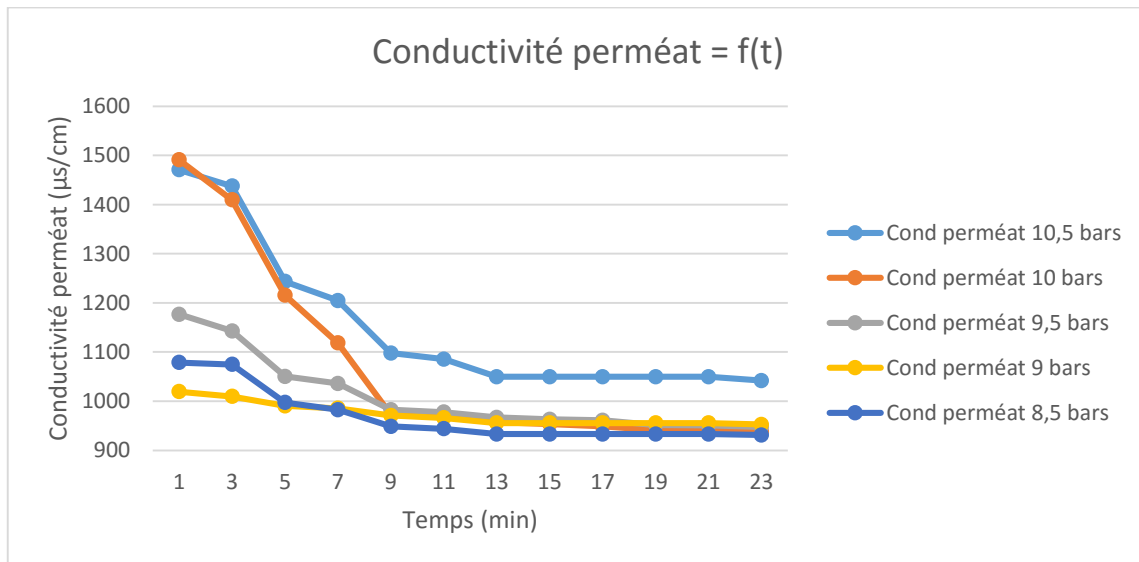
Température avant : 18 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 67 (annexe 03)**

**IV.3.4.1 La variation de la conductivité du perméat du, concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.105** : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=3,5g/l).

➤ La variation de conductivité du concentrât

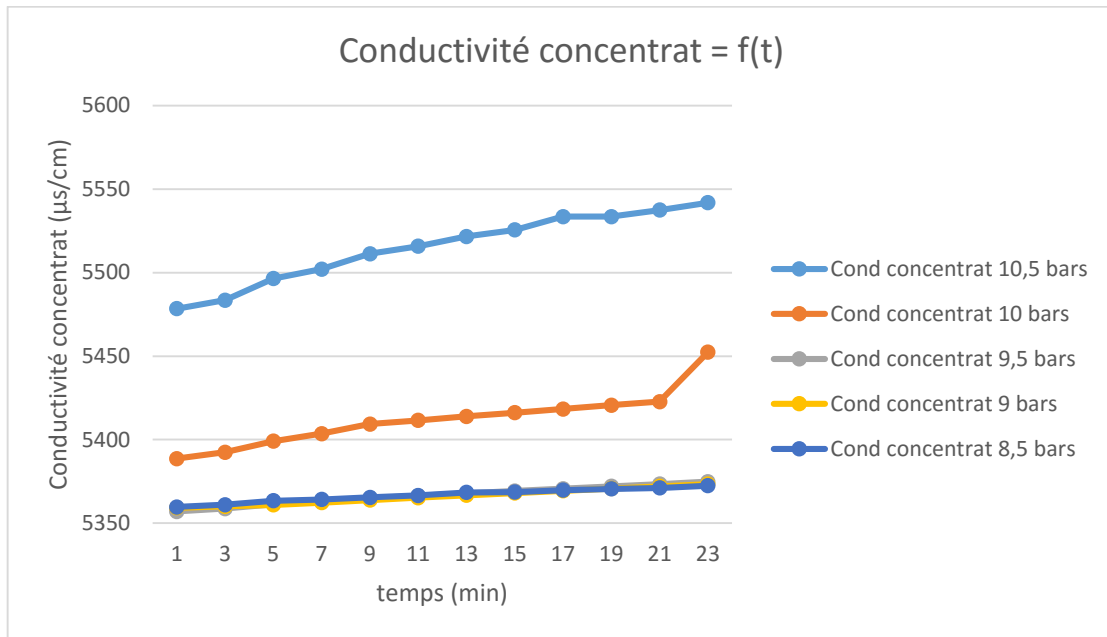


Figure IV.106 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=3,5g/l$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

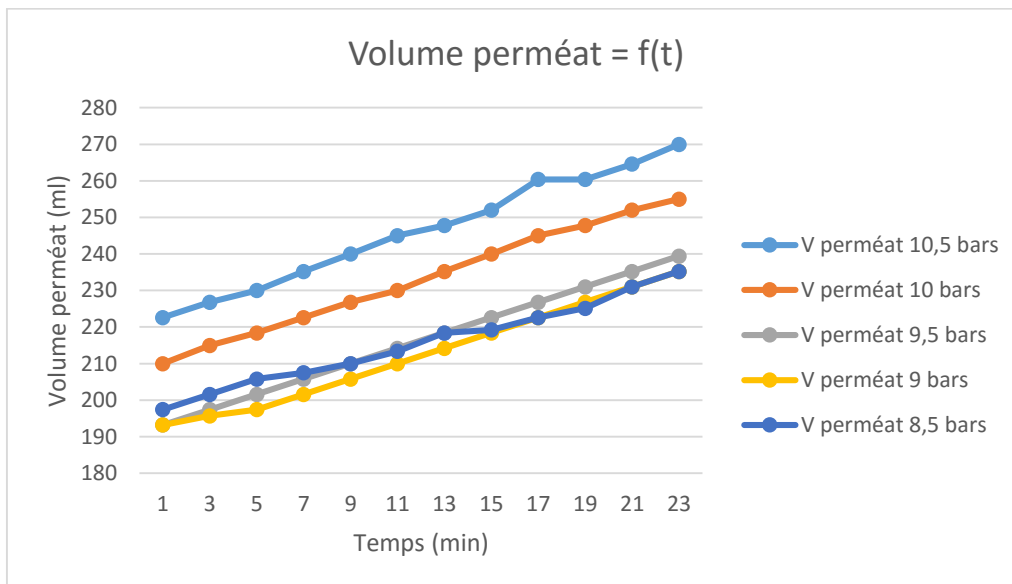
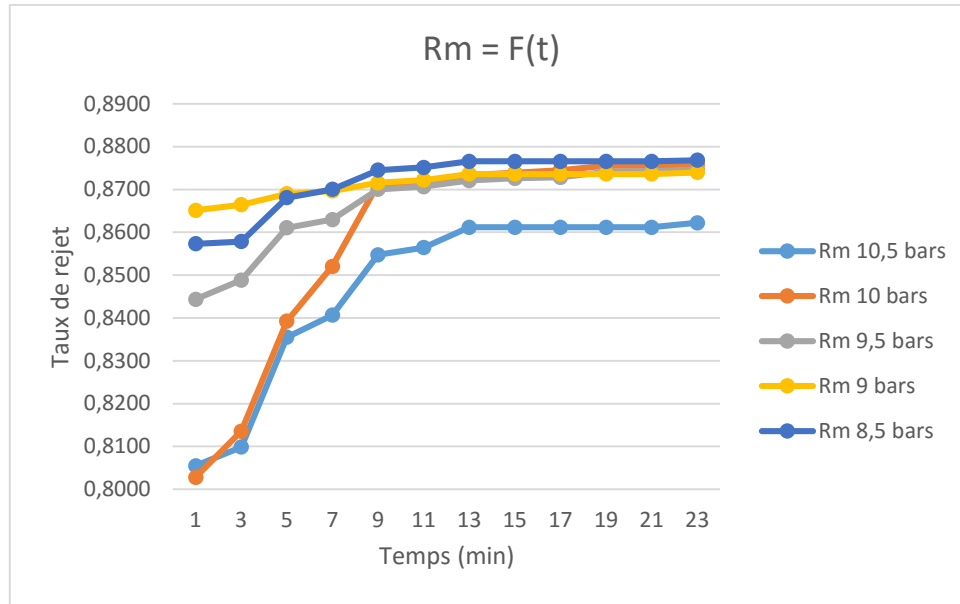


Figure IV.107 : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=3,5g/l$ ).

**IV.3.4.2. La variation de la rétention globale du module :**

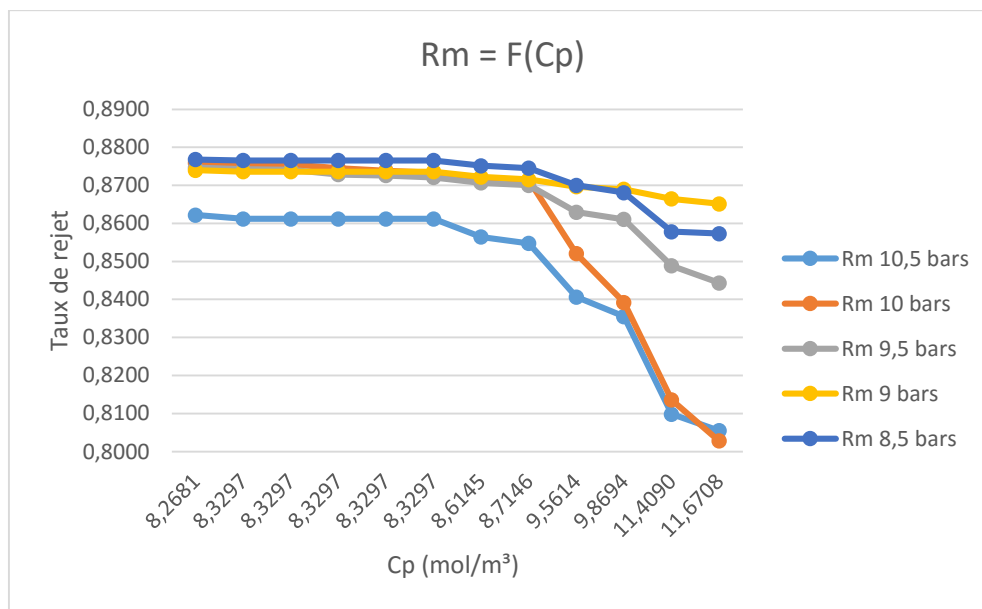
Les graphes suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ **La variation du taux de rejet en fonction du temps**



**Figure IV.108 :** La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=3,5g/l$ ).

➤ **La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat**



**Figure IV.109 :** La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=3,5g/l$ ).

**IV.3.5. Pour une concentration 4 g/l****➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 0 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300 μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 68.38 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 3.34 \text{ bars}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 68 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 0.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300 μs/cm.

Température avant : 19°C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 69 (annexe 03)**:

**➤ Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300 μs/cm.

Température avant : 18°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 70 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300 μs/cm.

Température avant : 18°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 71 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6300 μs/cm.

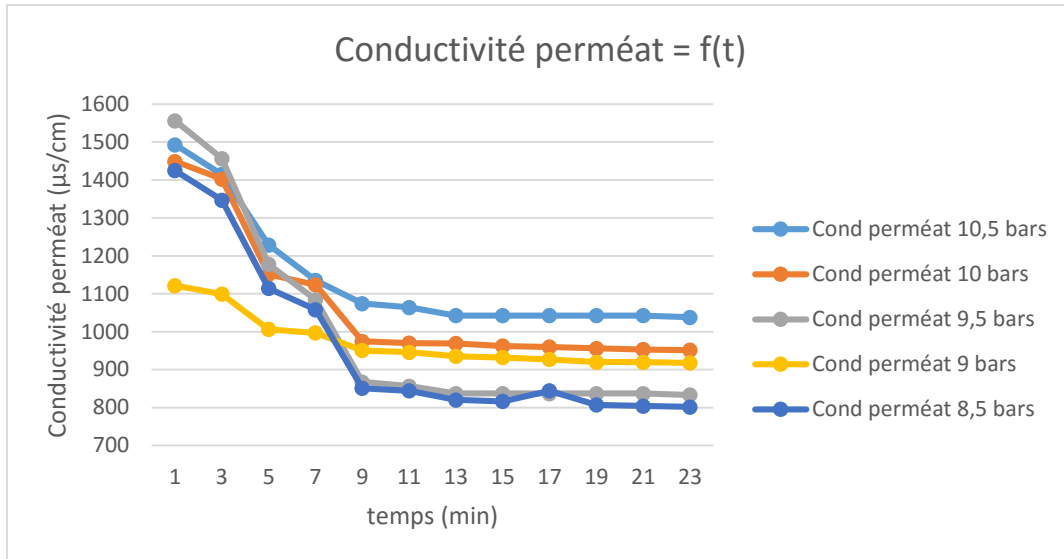
Température avant : 18°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 72 (annexe 03)**

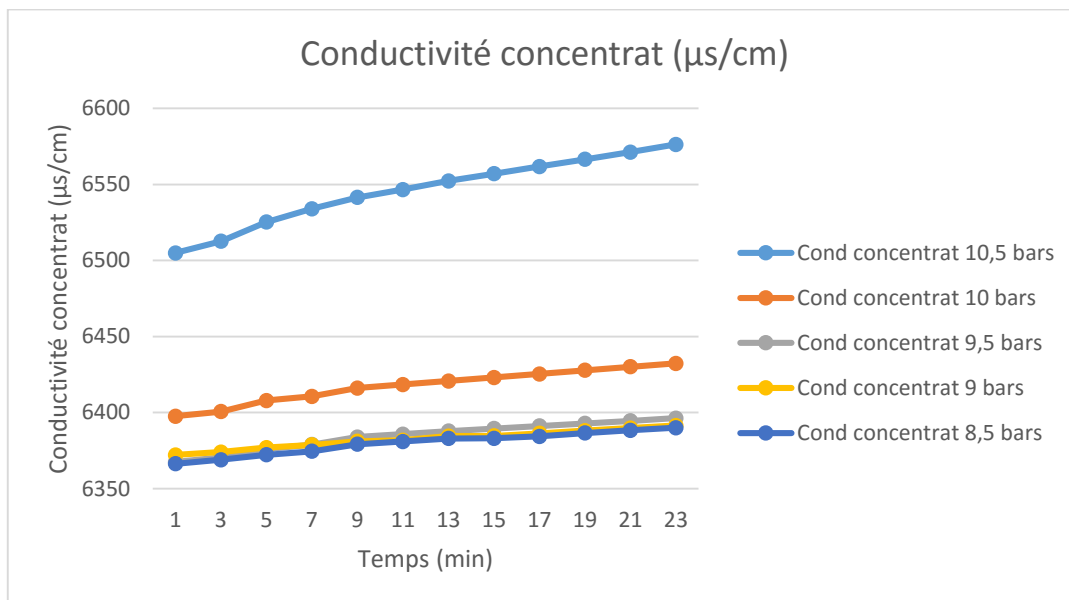
**IV.3.5.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.110 :** La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.111 :** La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

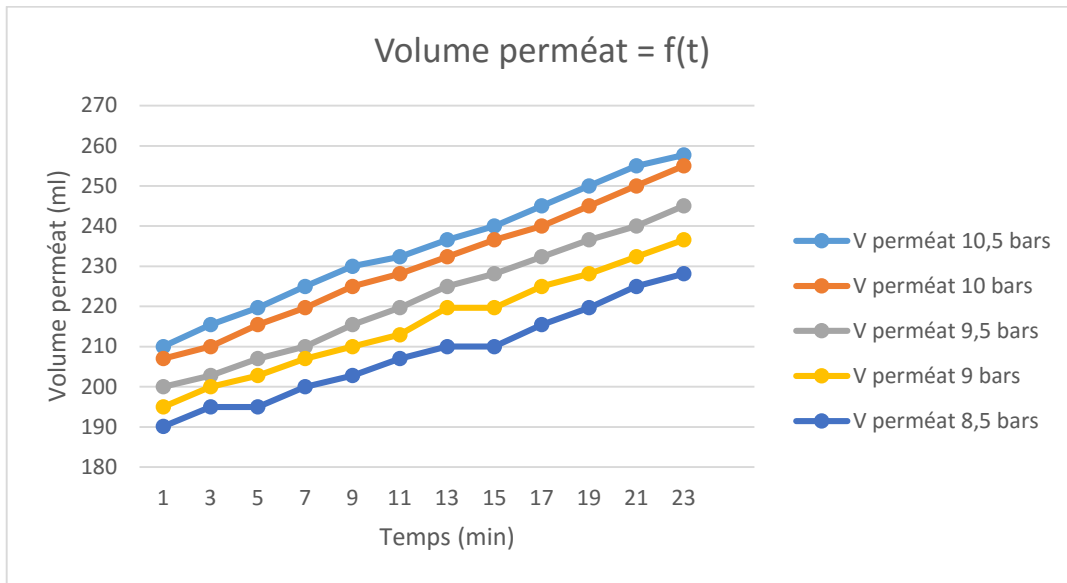


Figure IV.112 : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

IV.3.5.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphs suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

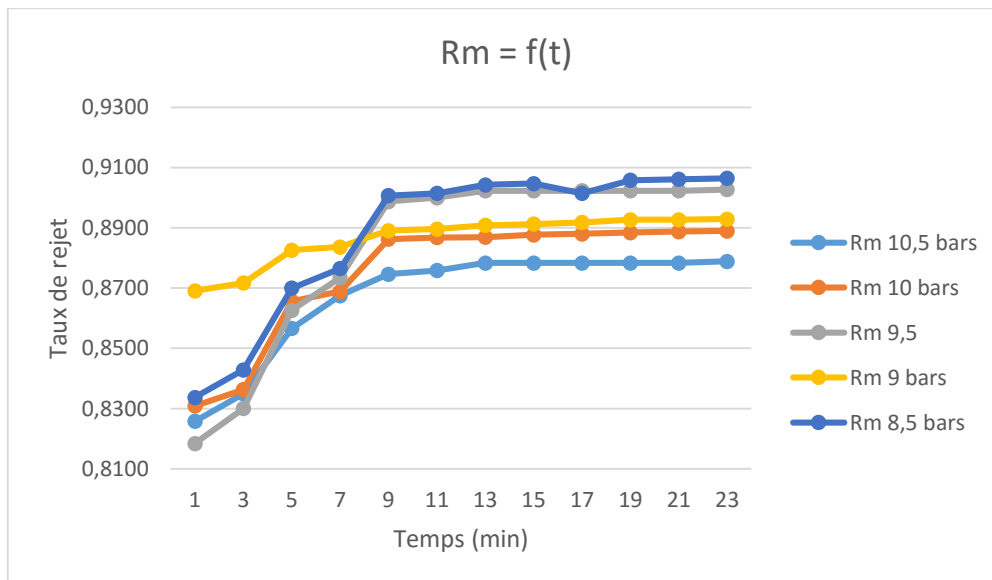


Figure IV.113 : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

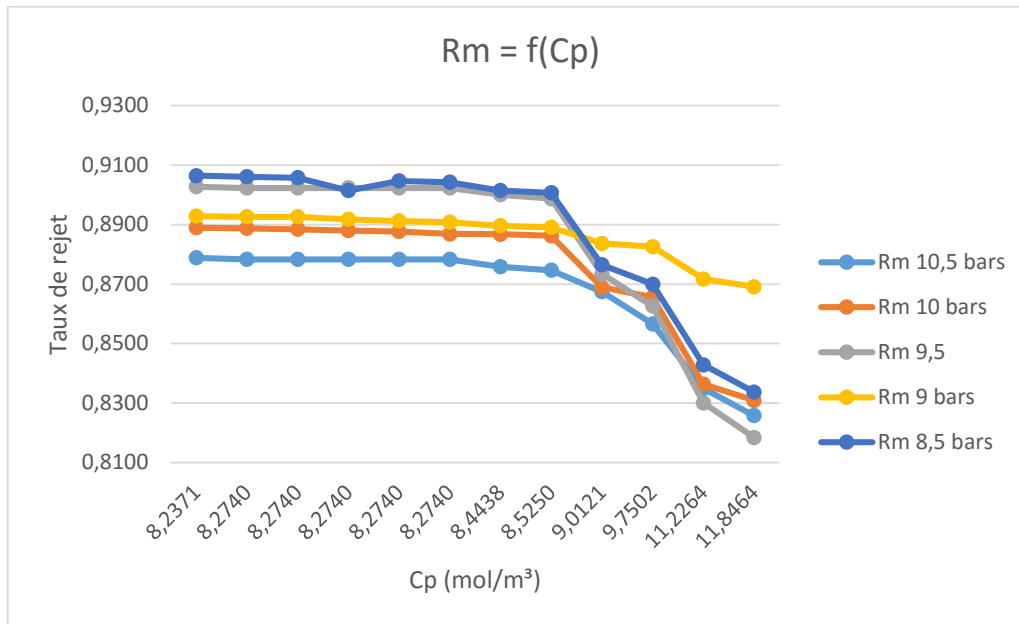


Figure IV.114 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat : (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4g/l).

IV.3.6. Pour une concentration de 4.5 g/l

➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 0 bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600 μs/cm.

Température avant : 17°C.

Température après : 28°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 4.5 \text{ g/l} = 76.92 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 76.92 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

Donc :  $\pi = 3.75 \text{ bars}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 73 (annexe 03)**

➤ Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 0.5 bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600 μs/cm.

Température avant : 18°C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans **tableau 74 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600 μs/cm.

Température avant : 19°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 75 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600 μs/cm.

Température avant : 20°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 76 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=4 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 6600 μs/cm.

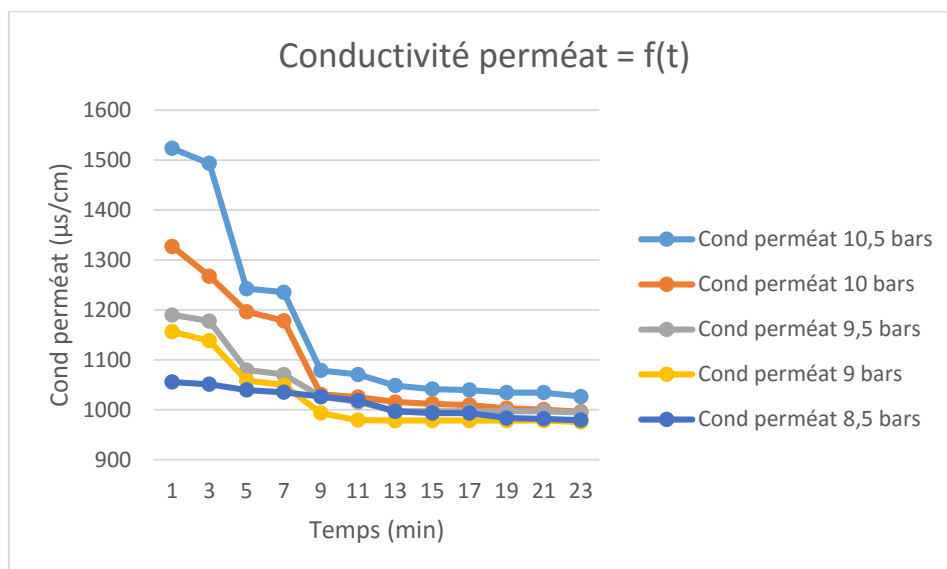
Température avant : 20°C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 77 (annexe 03)**

**IV.3.6.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.115** : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l).



➤ La variation de conductivité du concentrât

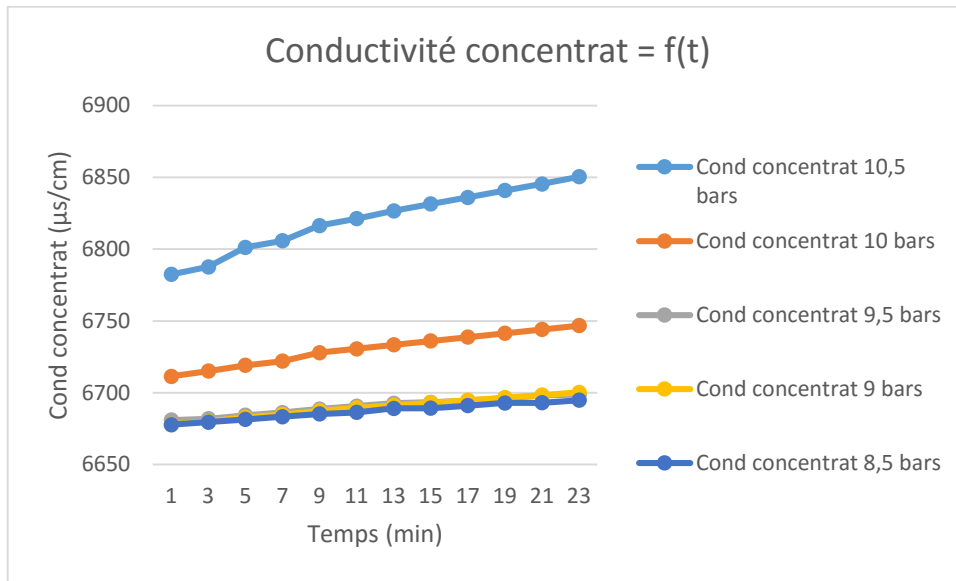


Figure IV.116 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=4,5g/l$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

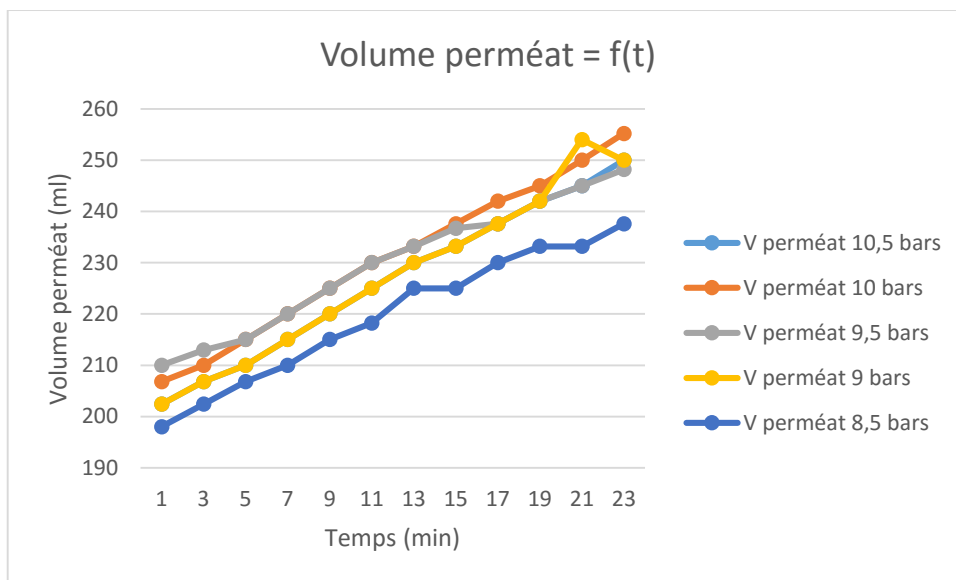


Figure IV.117 : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=4,5g/l$ ).

IV.3.6.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphes suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

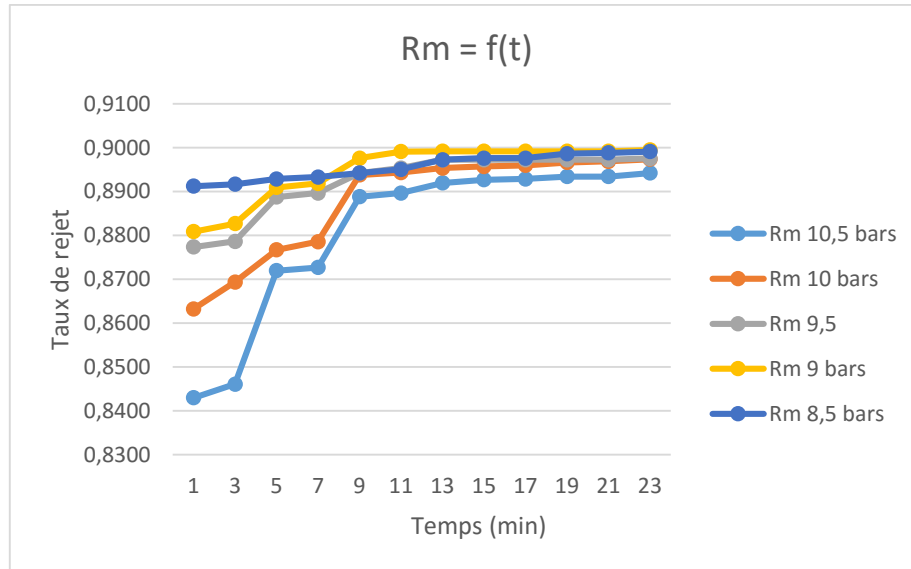


Figure IV.118 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

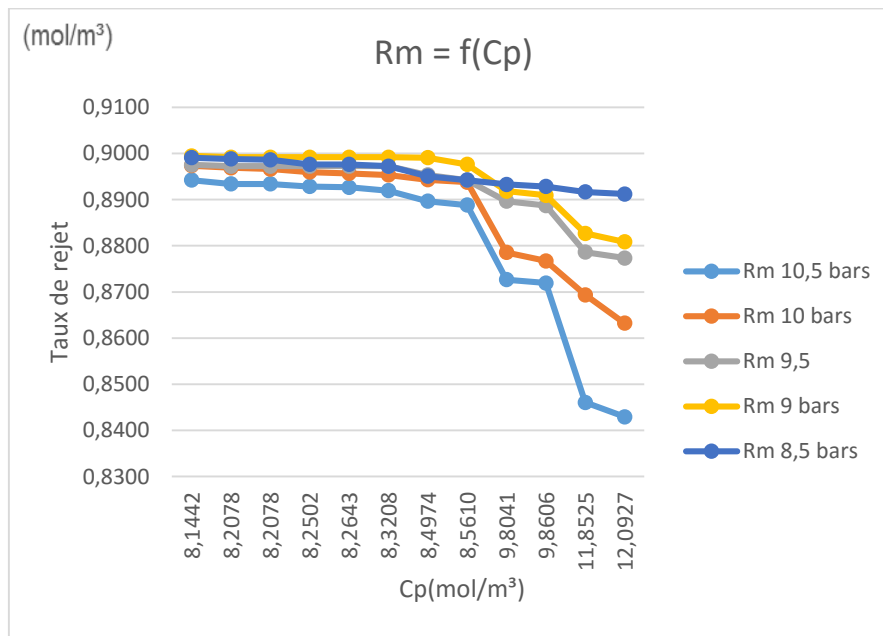


Figure IV.119 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=4,5g/l).

**III.3.7. Pour une concentration de 5 g/l****➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=5 g/L, ΔP= 0 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400 μs/cm.

Température avant : 17 °C.

Température après : 29°C.

Calcul de la pression osmotique :

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

$$\pi = 2 * 85.47 * 8.316 * (20 + 273.5).$$

$$\text{Donc : } \pi = 4.17 * 10^5 \text{ Pa.}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 78 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=5 g/L, ΔP= 0.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400 μs/cm.

Température avant : 18 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 79 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=5 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400 μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 80 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=5 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400 μs/cm.

Température avant : 18 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 81 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=5 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 7400 μs/cm.

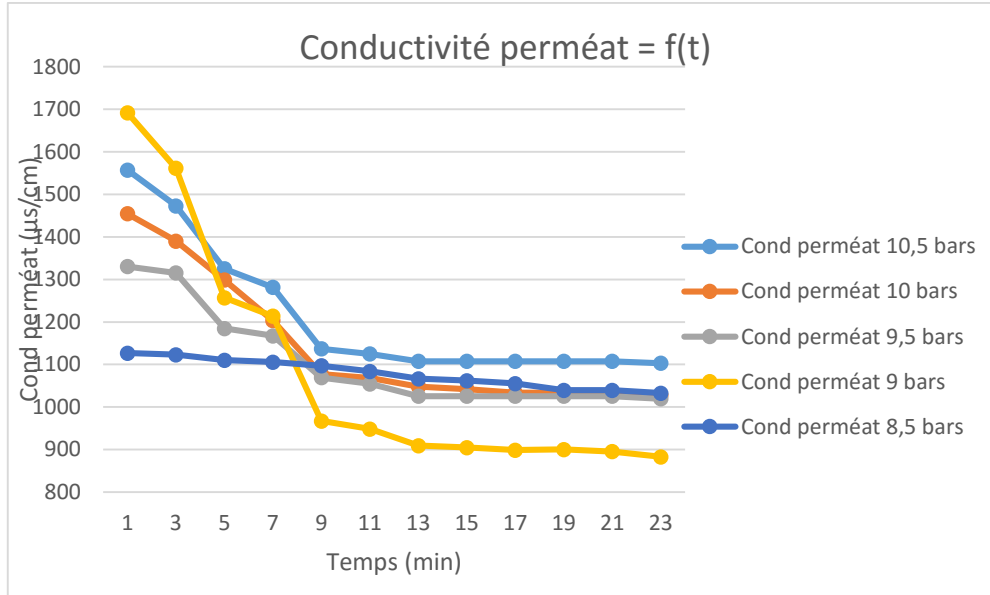
Température avant : 17 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 82 (annexe 03)**

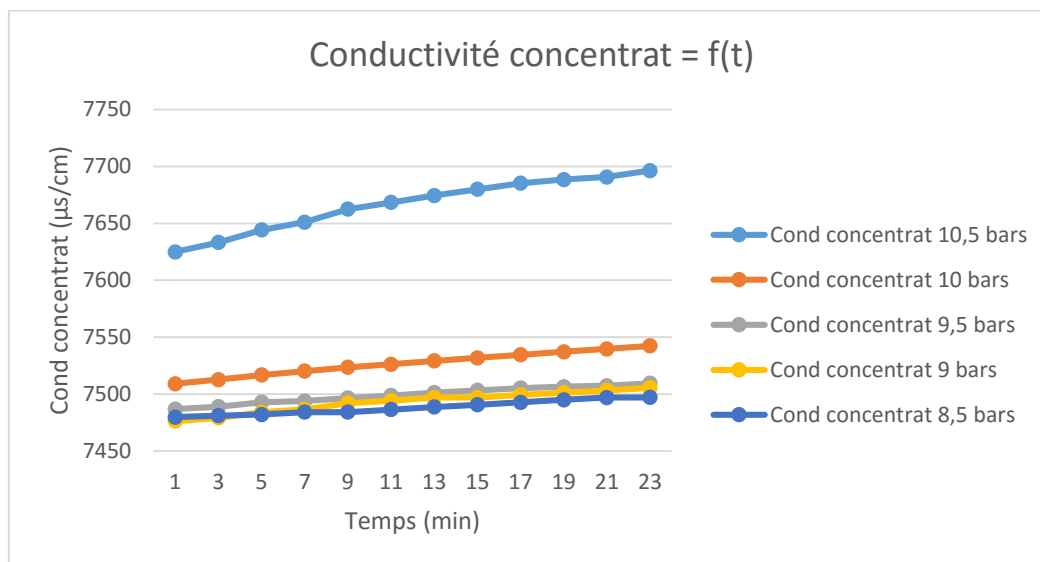
**IV.3.7.1. La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps**

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.120** : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ; C=5g/l).

➤ **La variation de conductivité du concentrât**



**Figure IV.121** : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ; C=5g/l).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

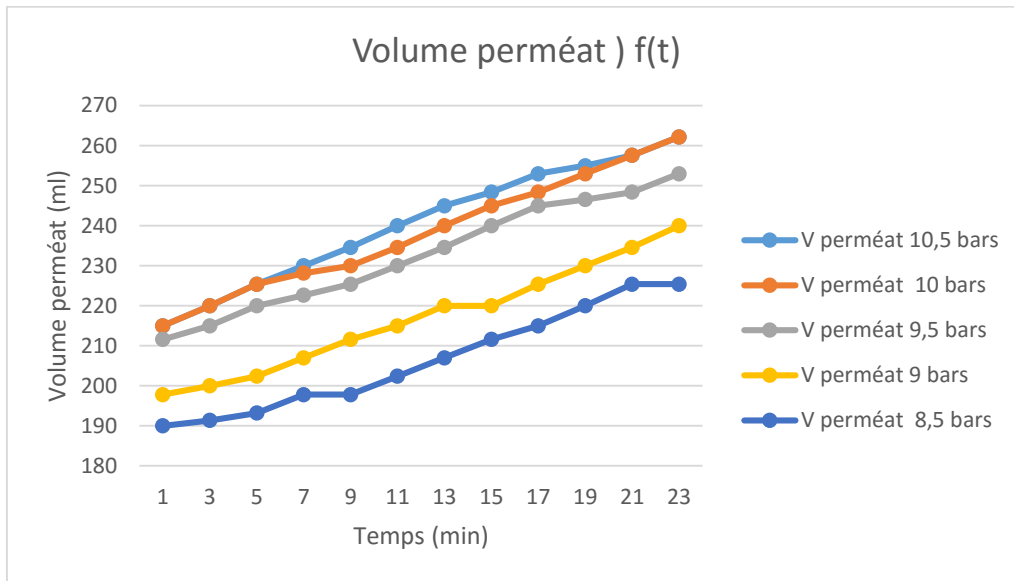


Figure IV.122 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=5g/l$ ).

IV.3.7.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphes suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation du taux de rejet en fonction du temps

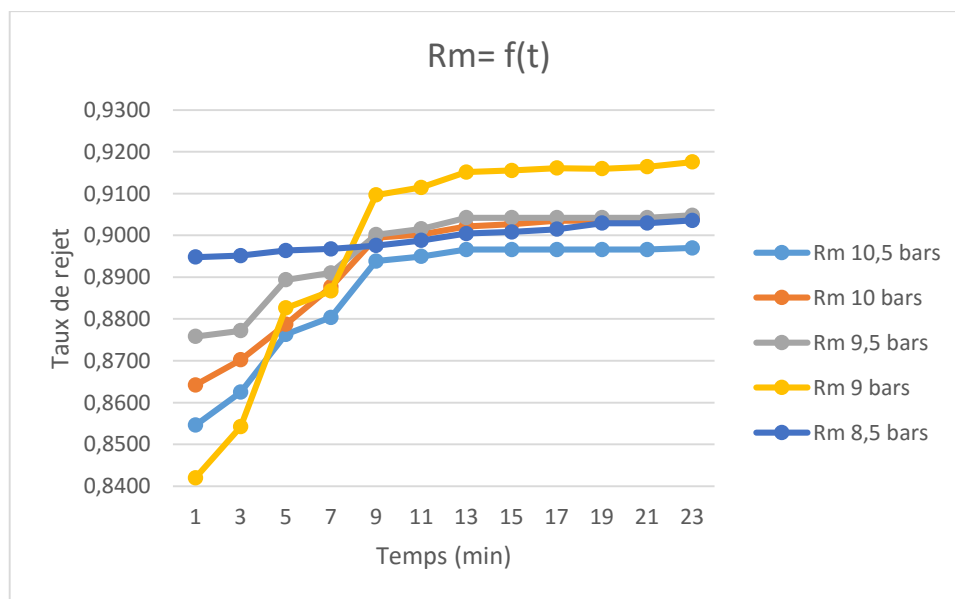


Figure IV.123 : La variation du taux de rejet en fonction de temps (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2$  ;  $C=5g/l$ ).

➤ La variation de taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

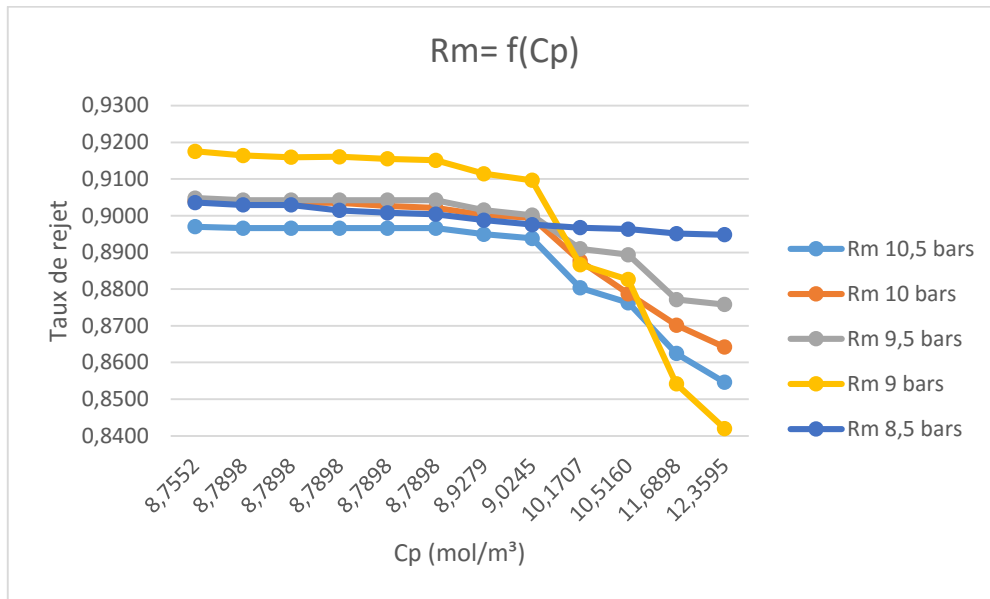


Figure IV.124 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=5g/l).

IV.3.8. Pour une concentration de 6 g/l

➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=6 g/L, ΔP= 0 bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 8500 μs/cm

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 6 \text{ g/l} = 102.56 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 102.56 * 8.316 * (20 + 273.5)$$

Donc :  $\pi = 5 \text{ bars}$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 83 (annexe 03)**

➤ Manipulation n°02 : (P=10.5 bars, C=6 g/L, ΔP= 0.5 bars)

Conductivité de la solution d'alimentation : 8500 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 84 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°03 : (P=10.5 bars, C=6 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 8500μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 28°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 85 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°04 : (P=10.5 bars, C=6 g/L, ΔP= 1.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 8500μs/cm.

Température avant : 20 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 86 (annexe 03)**

➤ **Manipulation n°05 : (P=10.5 bars, C=6 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 8500μs/cm.

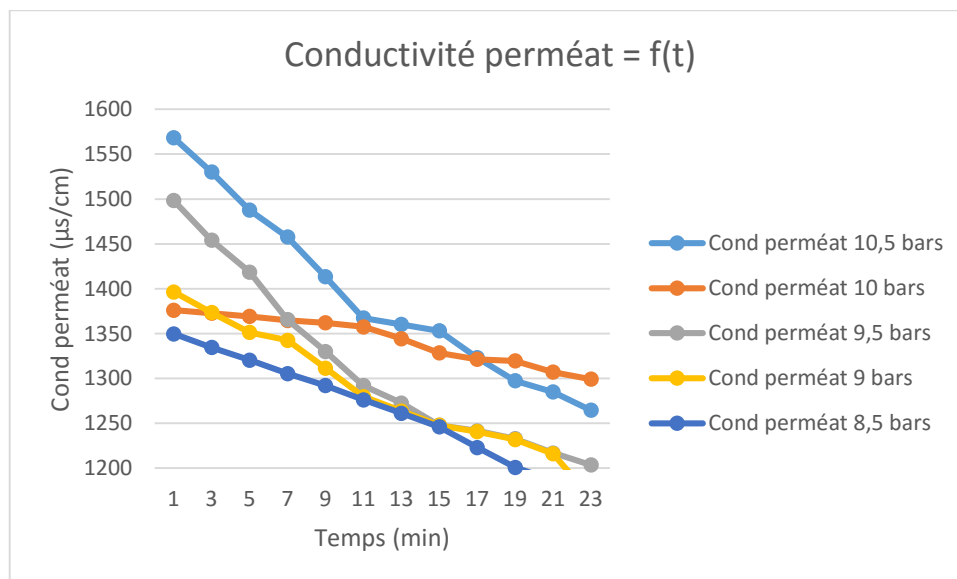
Température avant : 20 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 87 (annexe 03)**

#### IV.3.8.1 La variation de la conductivité du perméat, du concentrât et du volume en fonction du temps

➤ **La variation de conductivité du perméat**



**Figure IV.125** : La variation de la conductivité de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l).

➤ La variation de conductivité du concentrât

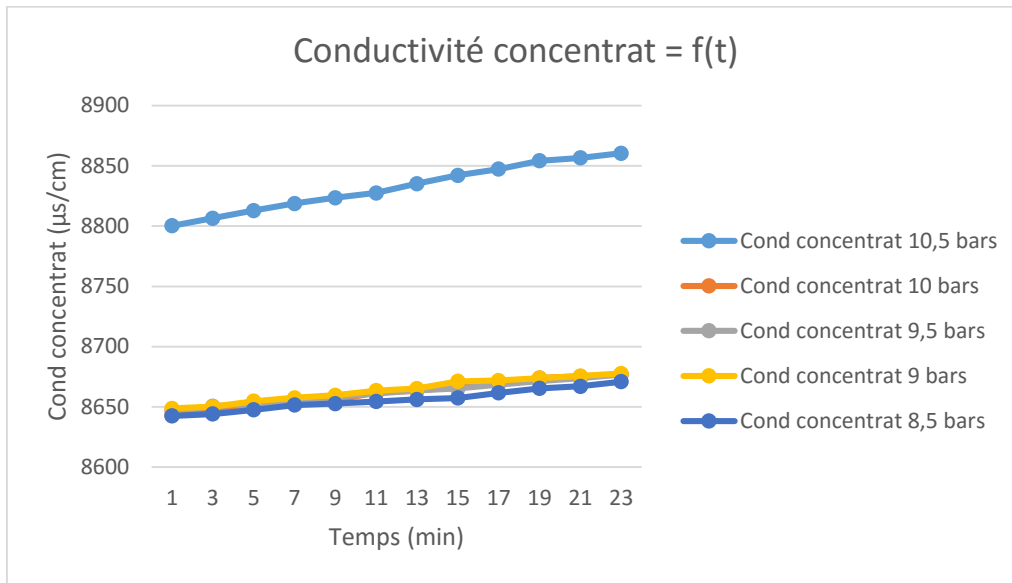


Figure IV.126 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

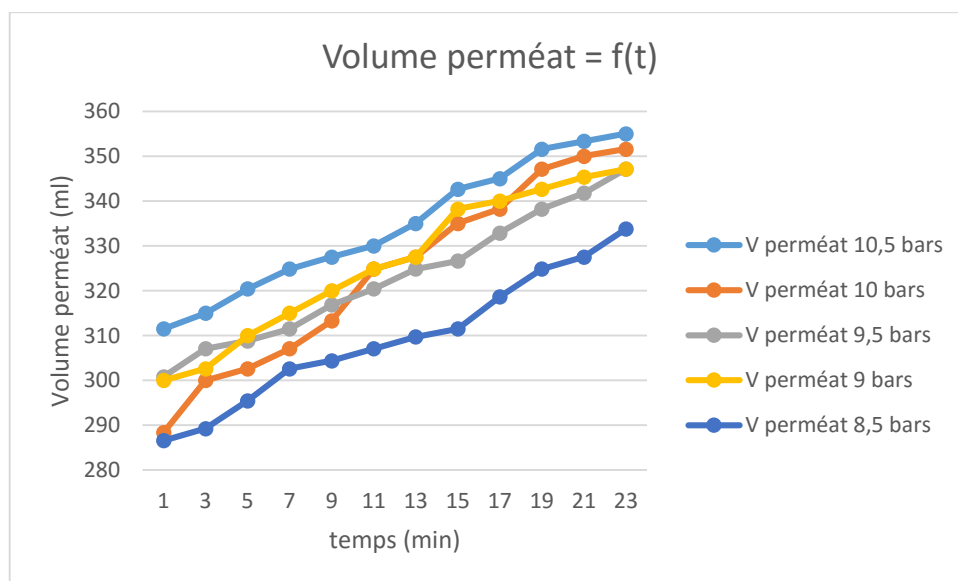


Figure IV.127 : La variation de volume de perméat en fonction du temps (Pentree=10,5 bars ;  $\Delta P = 0 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 ; 2 ; C=6g/l$ ).



IV.3.8.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphes suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation de la rétention globale du module en fonction du temps

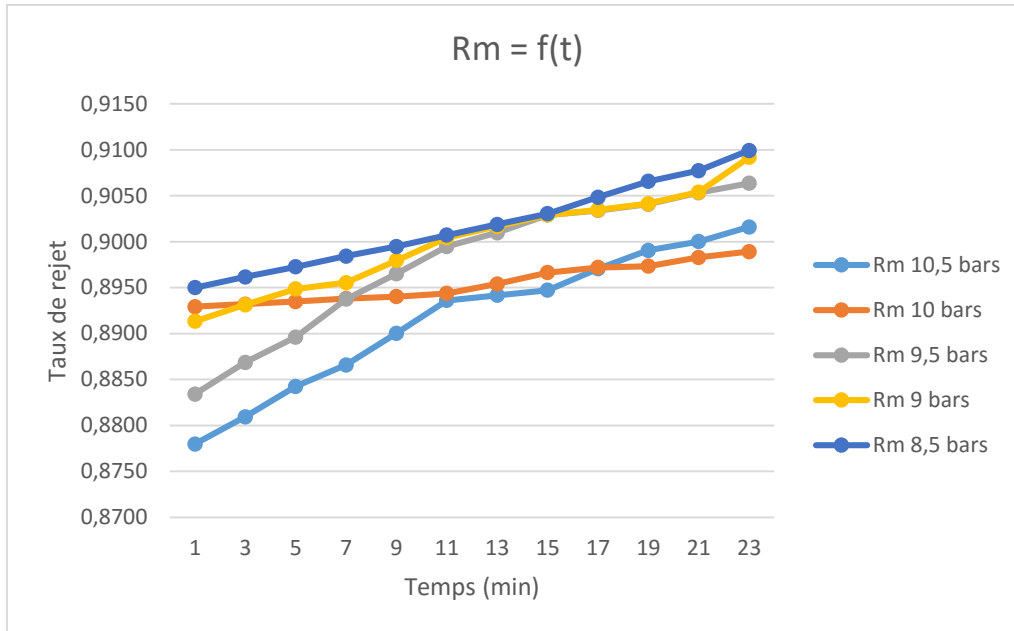


Figure IV.128 : La variation du taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=6g/l).

➤ La variation de la rétention globale du module en fonction de la concentration du perméat

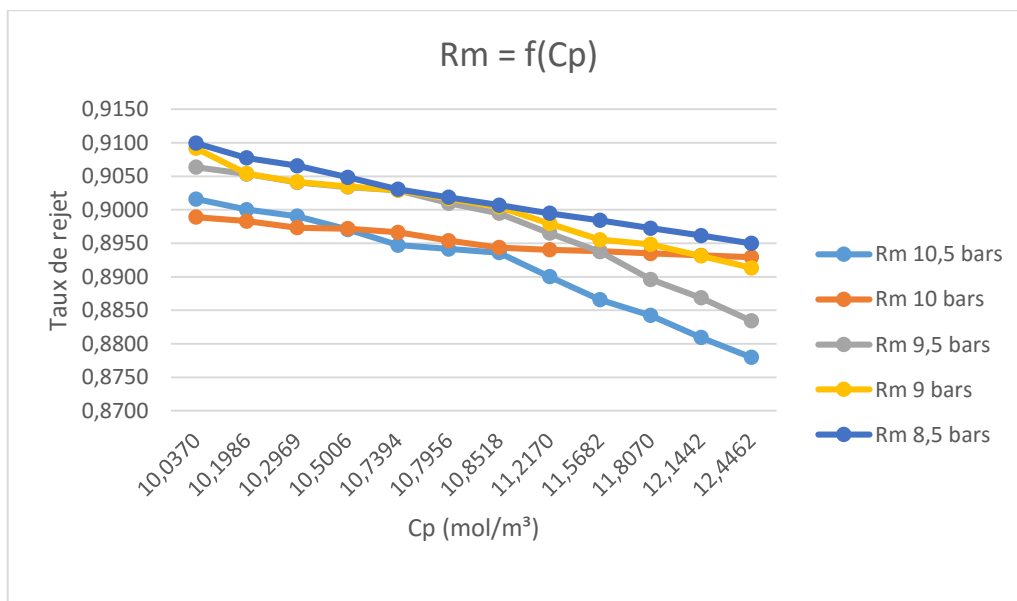


Figure IV.129 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=6g/l).

**IV.3.9. Pour une concentration de 6,5 g/l****➤ Manipulation n°01 : (P=10.5 bars, C=6.5 g/L, ΔP= 0 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 9100 μs/cm.

Température avant : 18 °C.

Température après : 30°C.

Calcul de la pression osmotique :

$$C = 6,5 \text{ g/l} = 111.11 \text{ mol/m}^3.$$

$$\pi = 2 * 111.11 * 8.316 * (20 + 273.5)$$

$$\text{Donc : } \pi = 5,423 * 10^5 \text{ PA}$$

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 88 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°2 : (P=10.5 bars, C=6.5 g/L, ΔP= 0.5 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 9100 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 89 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°3 : (P=10.5 bars, C=6.5 g/L, ΔP= 1 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 9100 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 90 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°4 : (P=10.5 bars, C=6.5 g/L, ΔP= 1.5bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 9100 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 29°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 91 (annexe 03)**

**➤ Manipulation n°5 : (P=10.5 bars, C=6.5 g/L, ΔP= 2 bars)**

Conductivité de la solution d'alimentation : 9100 μs/cm.

Température avant : 19 °C.

Température après : 30°C.

Les résultats de cette manipulation sont représentés dans le **tableau 92 (annexe 03)**

IV.3.9.1 La variation de la conductivité du perméat et du concentrât en fonction du temps

➤ La variation de la conductivité du perméat

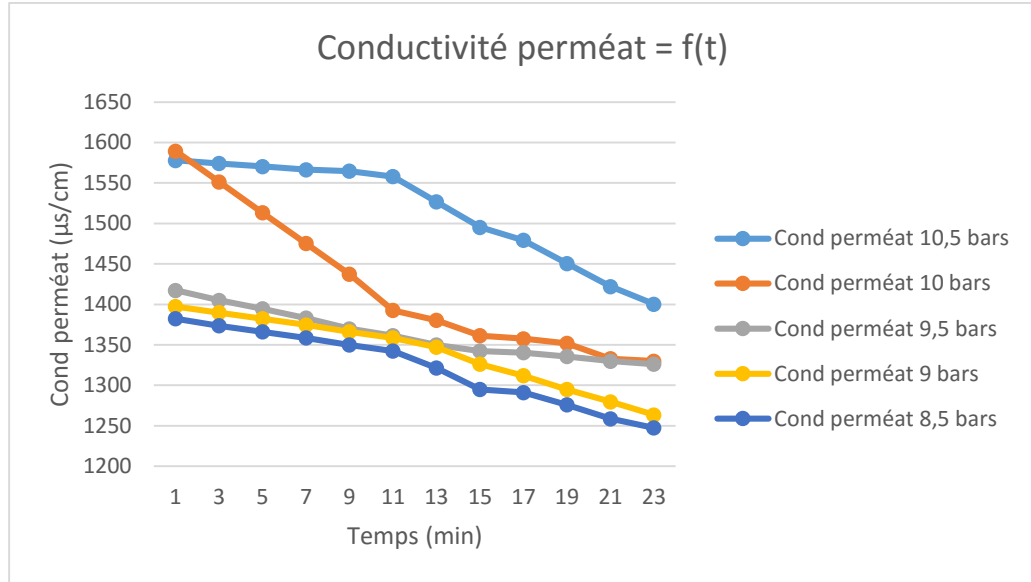


Figure IV.130 : La variation de la conductivité du perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l).

➤ La variation de conductivité du concentrât

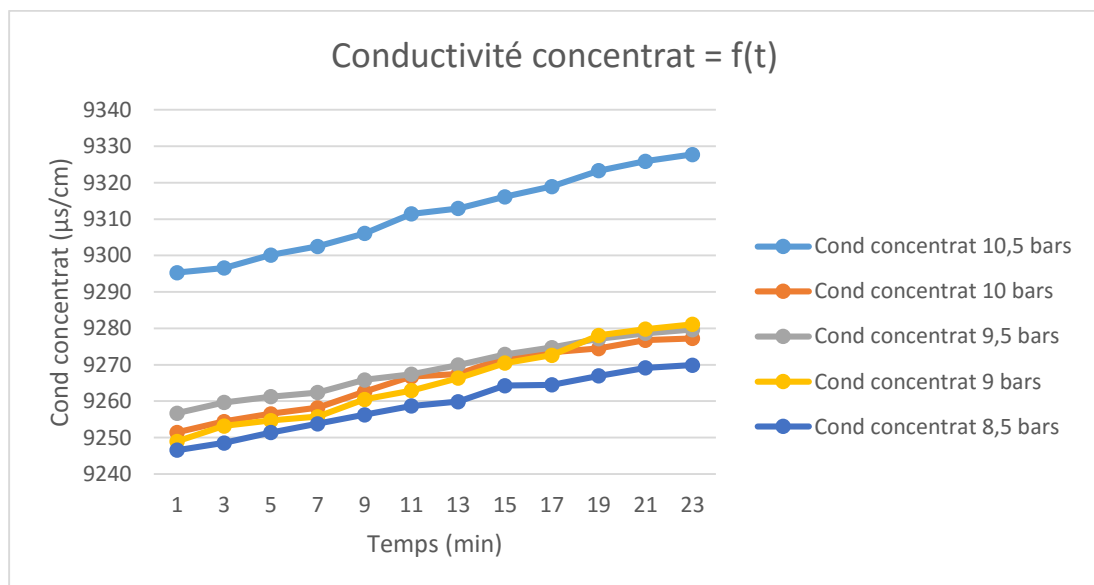


Figure IV.131 : La variation de la conductivité du concentrât en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l).

➤ La variation du volume de perméat en fonction du temps

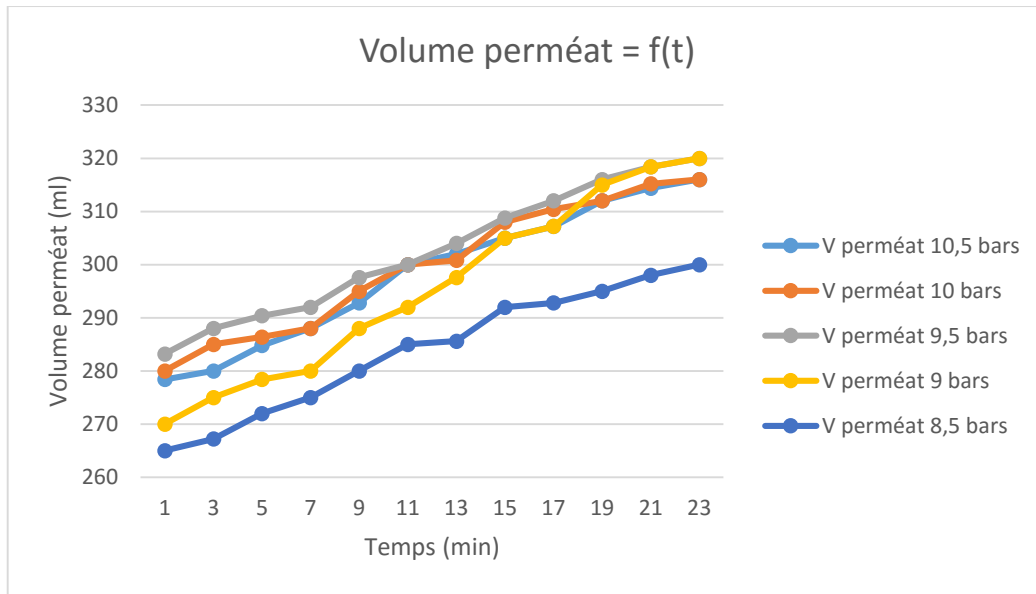


Figure IV.132 : La variation du volume de perméat en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l).

IV.3.9.2. La variation de la rétention globale du module

Les graphs suivants montrent la variation du taux de rejet en fonction du temps et de la concentration du perméat :

➤ La variation de la rétention globale du module en fonction du temps

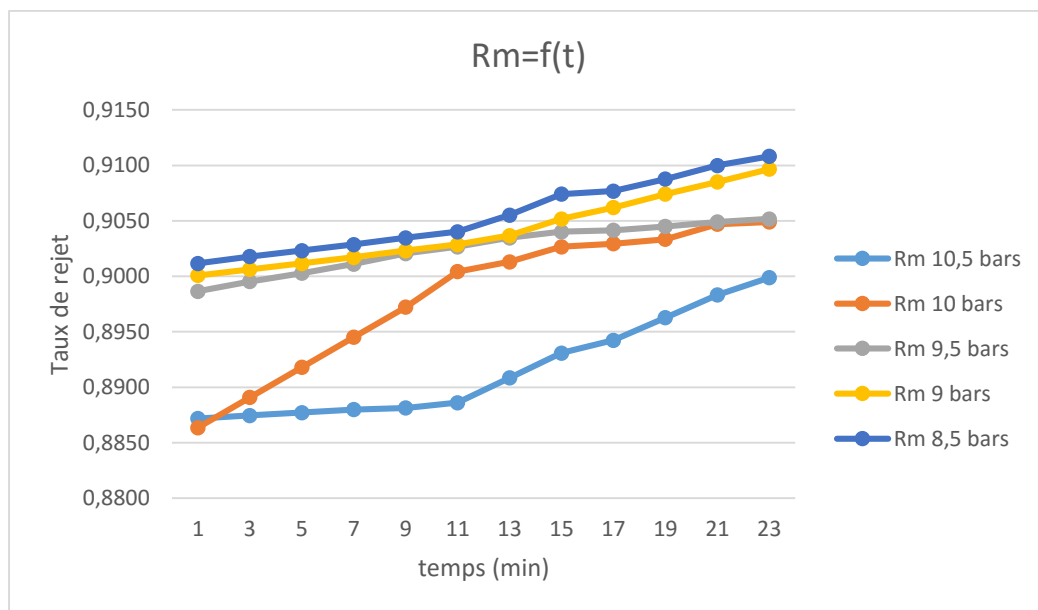


Figure IV.133 : La variation de taux de rejet en fonction du temps (Pentrée=10,5 bars ; ΔP= 0; 0.5;1; 1.5 ; 2 ; C=6,5g/l).

➤ La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat

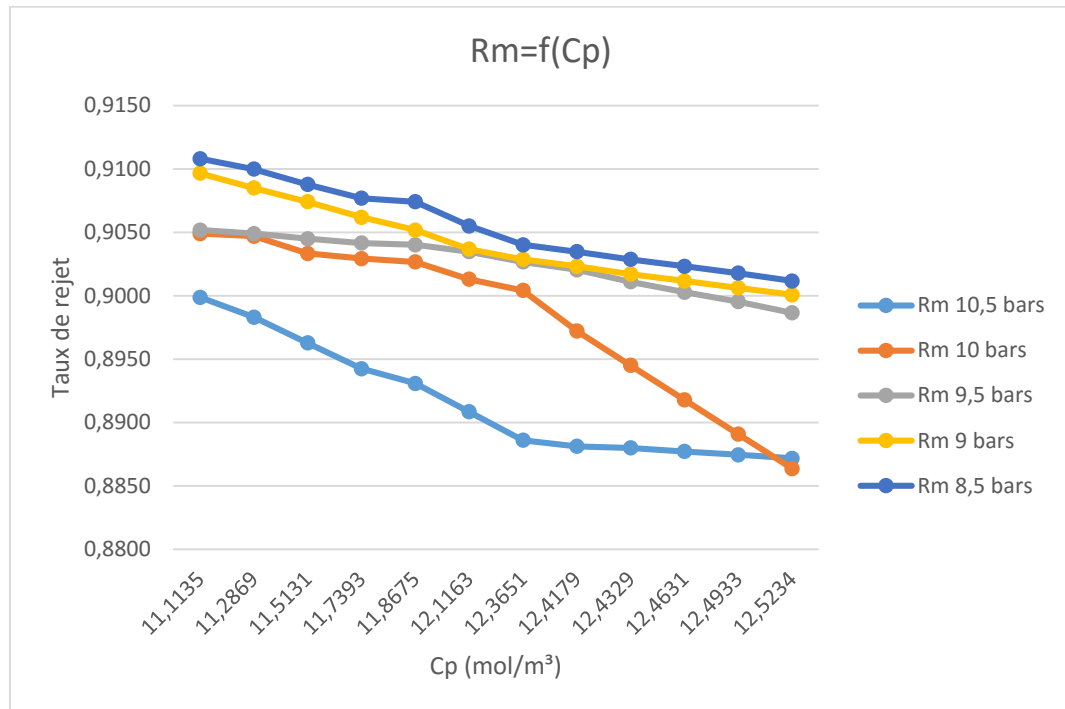


Figure IV.134 : La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0; 0.5; 1; 1.5; 2$  ;  $C = 6,5g/l$ ).

**Interprétation des résultats :**

Les figures montrent une augmentation de la conductivité du perméat, du concentrat et du volume en fonction du temps, on peut également constater que les résultats sont presque pareils lorsqu'on dépasse la différence de pression de 1 bars. Le taux de rejet et quant à lui élevé à mesure qu'on augmente la différence de pression, et il diminue toujours en fonction de la concentration du perméat.

III.3.10. La variation de la température pour toutes les concentrations

- La variation de la température de l'eau de l'alimentation en fonction du temps ( $\Delta p = 0$  ; 1 bars)

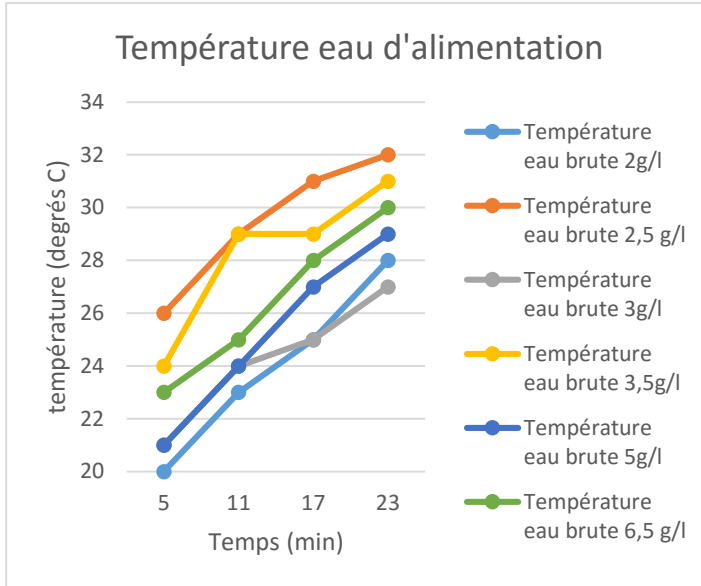


Figure IV.135 : La variation de la température de l'eau de l'alimentation  $\Delta p = 0$

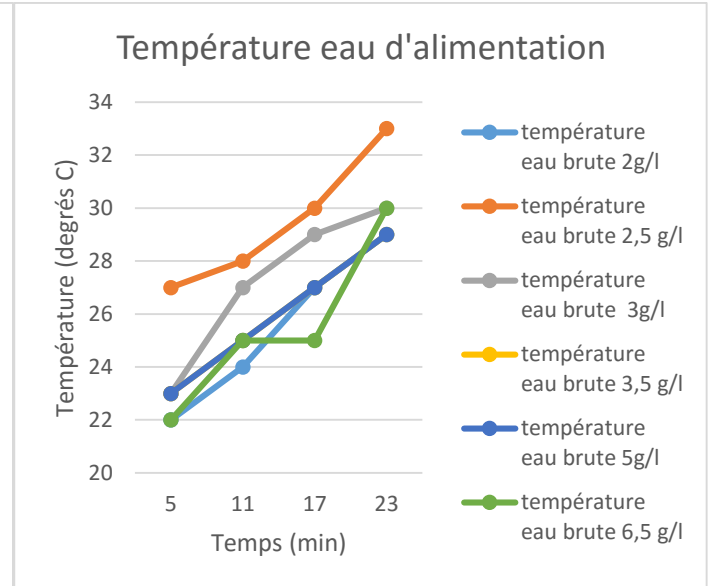


Figure IV.136 : La variation de la température de l'eau de l'alimentation  $\Delta p = 1$

- La variation de la température du perméat en fonction du temps ( $\Delta p = 0$  ; 1 bars):

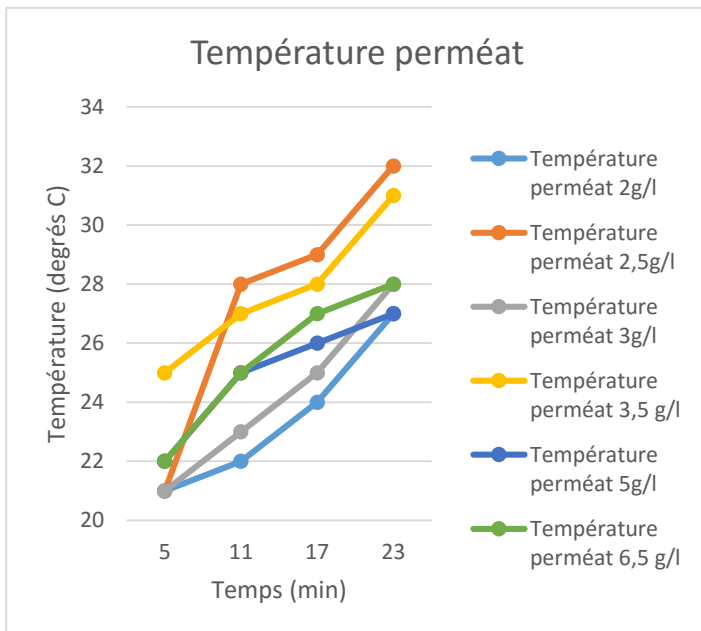


Figure IV.137 : La variation de la température de l'eau du perméat  $\Delta p = 0$

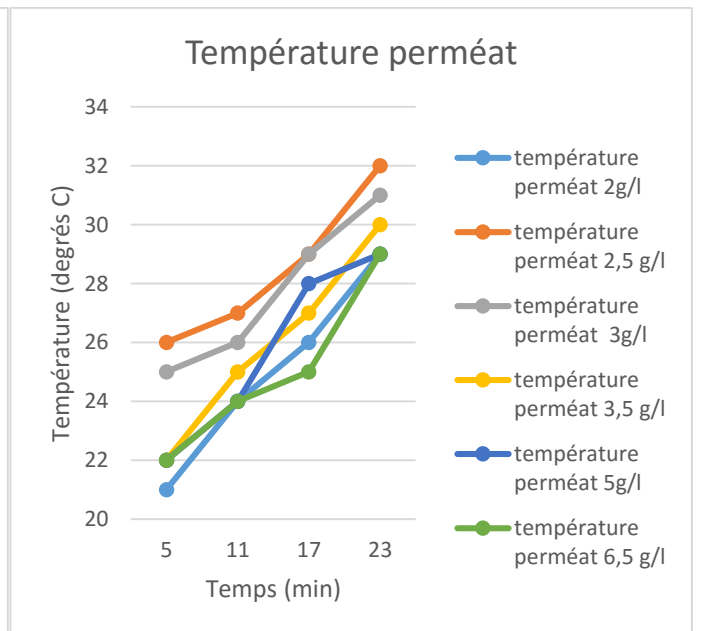


Figure IV.138 : La variation de la température de l'eau du perméat  $\Delta p = 1$

➤ La variation de la température du concentrat en fonction du temps ( $\Delta p = 0$ ; 1 bars)

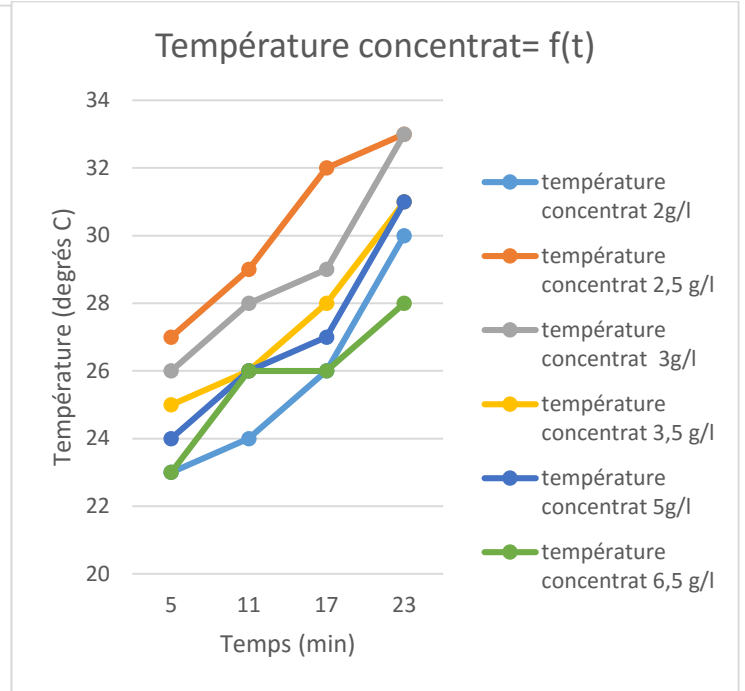
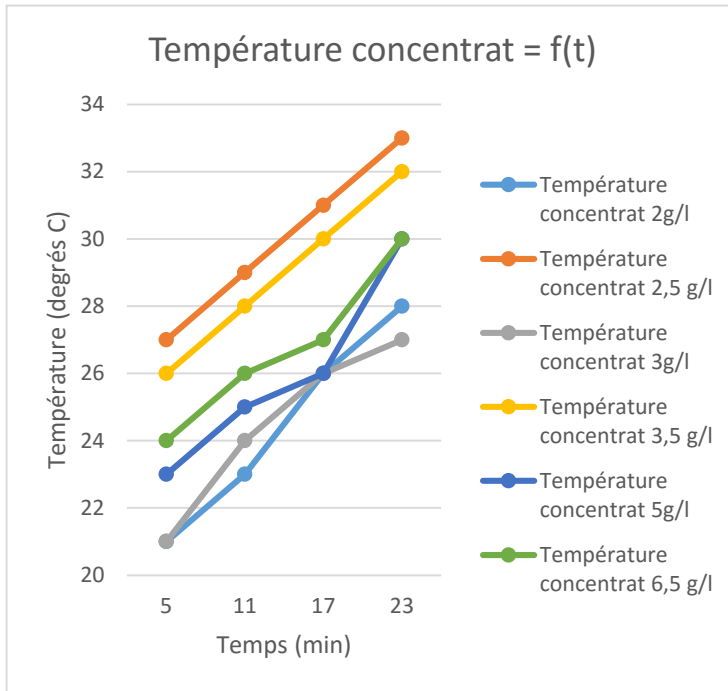


Figure IV.139 : La variation de la température de l'eau du concentrat  $\Delta p = 0$

Figure IV.140 : La variation de la température de l'eau du concentrat  $\Delta p = 1$

IV.4. Perméabilité de la membrane au solvant

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 93 : Résultats des débits de perméat en fonction des pressions.

Pression (bar)	Débit alimentation (l/h)	Volume perméat (ml)	Débit perméat (l/h)	Pression alimentation $\cdot 10^6$ (Pascal)	Débit perméat $\cdot 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /s
6	210	500	10	0,6	0,277
7	230	815	16,3	0,7	0,452
8	250	1000	20	0,8	0,555
9	270	1200	24	0,9	0,666
10	290	1410	28,2	1	0,783
11	300	1635	32,7	1,1	0,908
12	320	1850	37	1,2	1,027
13	330	2010	40,2	1,3	1,116
14	350	2210	44,2	1,4	1,227

La courbe tracée (Figure IV.141) montre la variation du flux de solvant en fonction de la pression appliquée de part et d'autre de la membrane.

$Q_p$  (m<sup>3</sup>/s) =  $JV_1$  (flux volumique de solvant).

On ne connaît pas la surface de la membrane :

$$Jv_1 = Jm_1/\rho = (A * S)/\rho * (\Delta P - \Delta \pi)$$

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

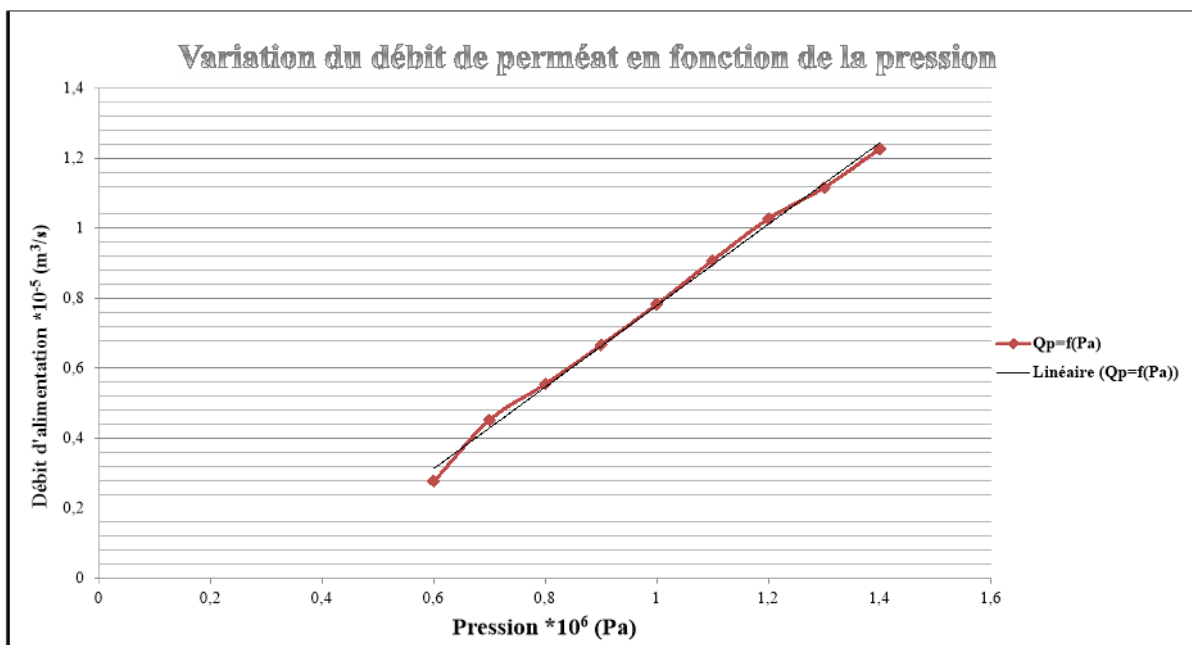
$\Delta P = P$  en sortie du concentrât – P en sortie du perméat.

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 :

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



**Figure IV.141** : Perméabilité de la membrane au solvant.



## IV. 5 Interprétation des données

### IV.5.1.Pression = 5,5 bar, et 8 bars

La conductivité du perméat sur toutes les concentrations diminue en fonction du temps jusqu' à atteindre un certain équilibre, cette diminution est d' autant plus importante à mesure que la différence de pression augmente.

La conductivité du concentrât va évidemment à l' inverse du celle de perméat et augmente en fonction du temps jusqu' à un certain équilibre, celle-ci atteint généralement son paroxysme lorsque la différence de pression est nulle.

Le volume du perméat quant à lui est en constante augmentation en fonction du temps mais celui-ci est différent selon  $\Delta P$ , en effet plus on augmente la différence de pression plus le volume est moindre et donc moins de débit du perméat et plus de débit du concentrât.

Le taux de rejet se caractérise par une forte augmentation pendant les dix premières minutes pour trouver son équilibre juste après, a l' inverse du graph de  $R_m = F(C_p)$  qui montre un taux de rejet stable durant ces mêmes 10 minutes pour ensuite commencer à diminuer juste après à mesure que la concentration du perméat augmente.

Lorsque les concentrations varient entre **2g/L** et **3.5g/L**, c' est  $\Delta P = 0.5$  qui donne les meilleurs résultats offrant ainsi le meilleur compromis entre un volume bien élevé, une bonne conductivité du perméat, du concentrât et un taux de rejet important, par contre si la concentration est supérieure à **3.5g/L** (allant jusqu' à **5g/L** dans ce cas) on privilégie le  $\Delta P = 1$  bar.

### IV.5.2.Pression = 10,5 bar

Durant cette expérience nous avons augmenté la différence de pression jusqu' à 2 bars pour voir comment les données réagissent.

La conductivité du perméat, du concentrât ainsi que le volume du perméat agissent de la même manière que les pressions précédentes, cependant lorsque  $1 < \Delta P < 2$  on notera une très légère différence parfois quasiment la même au niveau des valeurs (là où les courbes se chevauche).

Mêmes résultats en ce qui concerne le taux de rejet en fonction du temps, celui-ci augmente pendant les 10 premières minutes pour se stabiliser après. Et c' est l' inverse qui se produit pour le taux de rejet en fonction et de la concentration du perméat, il reste constant pendant 10 minutes et diminue tout de suite après.

Ainsi pour obtenir des résultats optimaux la différence de pression doit être égale à **0.5 bars** lorsque  $2g/L \leq C \leq 3.5g/L$ , et  $\Delta P = 1$  bars lorsque  $4g/L \leq C \leq 6.5g/L$

### IV.5.3 Variation de la température :

Durant les manipulations, nous avons pris le soin de prendre la température à la fois de l'eau d'alimentation, du perméat et du concentrât à différents intervals du temps pour voir si son augmentation est proportionnelle à la pression d'entrée du module qu'on utilise.

En effet à **P = 5.5 bars** la température a dépassé le seuil des **40 Degrés Celsius** tandis qu'à **P= 10.5 bars** cette dernière n'atteint même pas les **34 Degrés Celsius**.

Ce résultat illustré sur les figures (**49 à 54 pour P= 5.5 Bars**) et (**135 à 140 pour P= 10.5 bars**) démontre bien que plus la pression est basse, plus la chaleur augmente ceci quelques soit la différence de pression ( $\Delta p$ ) qu'on utilise.



---

# CONCLUSION GENERALE

---



## Conclusion générale

---

Le but de ce mémoire est de faire une étude sur le dessalement des eaux Saumâtres à partir des eaux de mer en utilisant le pilote TE200 du laboratoire TEE de département d'Hydraulique.

D'après les résultats obtenus et leurs interprétations nous en sommes arrivés à la conclusion suivante :

- L'augmentation de la concentration du sel de la solution d'alimentation engendre une augmentation de la pression osmotique ce qui nécessite une pression d'entrée du module plus élevée ;
- Plus le temps passe plus la conductivité du perméat diminue. Elle varie fortement dans les 10 premières minutes pour atteindre ensuite une certaine stabilité. Par contre plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus la conductivité du perméat diminue ;
- Plus le temps passe plus la conductivité du concentrât augmente et elle diminue quand la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente ;
- Plus le temps passe plus le volume du perméat augmente ;
- Plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le volume du perméat diminue ;
- La variation du taux de rejet en fonction du temps présente une grande croissance dans les 10 premières minutes pour se stabiliser après ;
- Plus la différence de pression de part et d'autre de la membrane augmente plus le taux de rejet est grand ;
- La variation du taux de rejet en fonction de la concentration du perméat est stable pendant les 10 premières minutes et commence à diminuer après à mesure que la concentration du perméat augmente ;
- Nous remarquons aussi que plus la concentration en sel augmente plus la conductivité de perméat augmente ;
- Que ce soit dans **P= 5.5, 8 ou 10 bars** ; on obtient le meilleur compromis que si  $\Delta P = 0.5 \text{ bars}$  lorsque  $2\text{g/L} \leq C \leq 3.5\text{g/L}$ , et  $\Delta P = 1\text{bars}$  lorsque  $4\text{g/L} \leq C \leq 6.5\text{g/L}$ .

# ***Bibliographies***

- [1] F.Berné, J.Cordonnier (1991) « traitement des eaux », Editions Technip . P3.
- [2] O.M.S (1977) « Surveillance de la qualité de l'eau de boisson », Genève 1977
- [3] IGOR.R (1983) « La décennie ; pas seulement une question de pompes ou de tuyaux ; Santé du Monde », O.M.S 1983
- [4] Yacine Barhoumi, Julien Gaudremeau, Benoit Gerbe, Frédéric Khamsing, Yoann rabatel (2004) « eau ressources et menaces », PDF consulté le 08/01/2016, P3
- [5] Lakhdar Zella (2007) « l'eau pénurie ou incurie », Edition 4894, P8 P9
- [6] Abderrazak ATALLAH (2014) « Procède de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de mer de honaine », MEMOIRE DE FIN D'ETUDE, Master en Biologie.
- [7] D F I (2005) « Département fédéral de l'intérieur, Ordonnance sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale », du 23 novembre 2005 (Etat le 1er janvier 2014), n: 817.022.102, PDF Consulté le 16/01/2016, P4916
- [8] Aggab Chahrazed (2014) « Caractéristique physico-chimique des eaux de la station de dessalement Souk Tleta (NW, Algérie) », Mémoire de fin d'étude, Diplôme d'ingénieur d'Etat, Hydrogéologie, P2.
- [9] P. Danis.(2003) « Dessalement de l'eau de mer. » Techniques de l'Ingénieur, J 2700. Juin 2003.P2 P3, PDF consulté le 12/01/2016
- [10] Alain Maurel (2006) « dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2<sup>e</sup> édition, Lavoisier Tec&Doc, P21 à P22, P133 à P135, P 286
- [11] Université Pierre et Marie Curie (2006) « Cours de Chimie Inorganique, chapitre II », Année2005-2006, P77, PDF Consulté le 15/01/2016.
- [12] Jacques B. Boislève (2010) « Structure et propriétés de l'eau », conseil et formation santé-relations humains, P9, PDF Consulté le 15/01/2016.
- [13] Monique Henry (1991) « Les eaux naturelles et les eaux de consommation », Saint Laurent 1991
- [14] Jean Juc Celleric (2002) « La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau », Paris 2002

- [15] Jeun Rodier (2005) « l'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer », 8eme édition: Dunod, Paris.
- [16] SAVARY P, (2010) « Guide des analyses de la qualité de l'eau », Edition territorial, P75.
- [17] OMS (Organisation mondiale de santé), (1994) « Protection et amélioration de la qualité de l'eau. » 2eme édition. Volume 1.Genève:18.
- [18] M Satin B Selmi (1999) « Guide technique de l'assainissement» 2eme édition: Moniteur, P75.
- [19] Degremont G (2005) « Mémento technique de l'eau Tome 1», édition 10eme :Tec et doc, P3 P38.
- [20] Sari Hassiba (2014) « Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source «Attar » (Tlemcen) », Diplôme de master, Sciences des aliments, P14 , P19
- [21] Mens et Derouane, (2000) « État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie », 2000
- [22] Gaujour D 1995 « La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire »,2eme édition : Lavoisier, P49
- [23] Louise Guilbert « Analyse de la dureté de l'eau », Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire.
- [24] Jeun Rodier (2009) « l'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer », 9eme édition, Dunod, Paris.
- [25] Sapan Patel, Laverrière Romain (2013) « Sampling and Analysis of Natural Water», université de Genève, P11
- [26] Kahoul M., Touhami M. (2014) « Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (ALGERIE) », Larhyss Journal, n°19, Septembre 2014, P129 P1380.
- [27] Groupe scientifique sur l'eau (2003) « Nitrates/Nitrites», Fiche Nitrates/Nitrites, PDF Consulté le 14/01/2016 P1.
- [28] Agence de la santé et des services sociaux de chaudière-appalaches (2011) « Quoi faire si la quantité de nitrates-nitrites dans l'eau de votre puits dépasse la norme?», 2011 PDF Consulté le 14/01/2016, P1.
- [29] M. Di Benedetto, (1997) « Méthodes spectrométrique d'analyse et de caractérisation, les métaux lourds », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, P4, PDF Consulté le 14/01/2016.

[30] Salomon, J. (2012). Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir?. Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n.º 1 (Junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Pág. 237 a 262

[31] Jean dunglas (2014) « Membre de l'Académie d'agriculture de France : Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau » Manuscrit publié en février 2014

[32] Viviane Renaudin (Maître de conférences au Département Génie Chimique, Génie des Procédés de l'IUT de Nancy Brabois, Université Henri Poincaré et chercheur au LSGC (Laboratoire des Sciences du Génie Chimique), CNRS, Nancy), relu par Guillaume Champion (professeur agrégé à l'ENS). Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.

[33] K.A. Al-Shayji, (1998) « Modeling Simulation, and Optimization of Large-Scale Commercial Desalination Plants», Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute and State University.

[34] Séminaire International (2009) : « Le dessalement des eaux: une opportunité pour les régions en pénurie d'eau? » *Tanger 8-10 mai 2009*  
[http://aem.portailgref.org/upload/documents/2009145101101\\_RecueildescommunicationsduSeminaireDessalementTangermai2009AIGR.pdf](http://aem.portailgref.org/upload/documents/2009145101101_RecueildescommunicationsduSeminaireDessalementTangermai2009AIGR.pdf) consulté le 29/01/2016

[35] A.D. Khawajia, I.K. Kutubkhanaha, J-M. Wieb,(2008) « Advances in seawater desalination technologies, Desalination » , 221 P47-69.

[36] HAMITI Omar (2010) : « L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement de GHAZAOUET ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[37] BENAÏSSA Fatima Zohra (2013) « Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres », Mémoire de projet de fin d'Etudes Pour l'obtention du Diplôme de master en Hydraulique, université de tlemcen.

[38] Dessalement eau de mer-la thermocompression, technique d'ingénieur doc j2700-17

[39] Patrice Bacchin (Sep 2005) : « Principes de base des Technologies à Membranes. », 2<sup>e</sup> eme Ecole d'Etude Franco- Maghrébine " Sciences et Technologies à Membranes ", Monastir, Tunisia.

[40] Valérie JACQUET VIOLLEAU (1999) « DEMINERALISATION PAR ELECTRODIALYSE EN PRESENCE D'UN COMPLEXANT APPLICATION AU LACTOSERUM », THESE présentée pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE SPECIALITE : Sciences des Agroressources P122

[41] François de Dardel, directeur technique, Rohm and Haas : « Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable ». PDF Consulté le 31/01/2016

[42] Maurel, A. (2001) « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. » Technique et documentation, Paris.

[43] TRIKI Zakaria. « Études, Analyses et Optimisation de la Consommation Énergétique des Unités de Dessalement pour les Sites Isolés. », Université Constantine 1 Faculté des Sciences de la Technologie Département de Génie Climatique, P 39

[44] O.K. Buross (2000): « The ABCs of Desalting, Second », ed. International Desalination Association, Topsfield, Mass,

[45] mehdi metaiche (2006): « optimisation des systemes de dessalement par osmose invers: conception, parametres de fonctionnement et simulation numerique », mémoire de doctorat, p15, p17, p18

[46] Chatkaew TANSAKUL (2009): « Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT, université de TOULOUSE France. P26 P28

[47] S.Houria, B.Bekai (2014) « l'influence des différentes concentration de sel sur le dessalemnt des eaux faiblement saumâtres avec des concentrations de NaCl=1g/L, 3g/L, 5G/L », mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, option : technologie de traitement des eaux. P31

[48] Axel ETTORI (2011) : « Vieillissement chimique de membranes d'osmose inverse ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT université de Toulouse III - Paul Sabatier FRANCE. P11, P12

[49] Alain Maurel (1988) « Techniques séparatives à membranes: Considérations théoriques », Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés J2790,

[50] J. Wagner (2001) « Membrane filtration Handbook: Practical Tips and Hints. », Edition Osmonics.

[51] G. Morales, M. Barrufet (2002) « Desalination of produced water using reverse osmosis », J.GasTIPS, summer P13–17.

[52] B. Liberman (2004) « The importances of energy recovery devices in reverse osmosis desalination », The Future of Desalination in Texas-Volume 2: Technical Papers, Case Studies, and Desalination Technology Resources.



[53] G. Migliorini, E. Luzzo (2004) «Seawater reverse osmosis plant using the pressure exchanger for energy recovery: a calculation model», *Desalination*, 165 P289–298.

[54] BELHADDAD BENAOUA (2014) « SUIVI ET DIAGNOSTIC D'UNE STATION D'OSMOSE INVERSE », mémoire Master en Chimie, P23.

[55] Julie Mendret (2007) : « Mise au point de méthodes de caractérisation du colmatage de membranes : application à la caractérisation in situ d'un dépôt particulaire en ultrafiltration frontale en lien avec les performances du procédé ». Thèse présentée en vue de l'obtention du DOCTORAT, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse France. P22

## **WEBOGRAPHIE :**

- A-** [http://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Ions\\_cations\\_et\\_anions/1102427](http://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Ions_cations_et_anions/1102427).
- B-** [http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/dessalement.php4](http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dessalement.php4)
- C-** <http://www.lenntech.fr>
- D-** <http://www.electrocolloidal.com/2010/07/18/quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-de-la-distillation/>
- E-** <https://docs.school/> Consulté le 31/01/2016
- F-** <https://docs.school/sciences-politiques-economiques-administratives/ecologie-et-environnement/dissertation/dessalement-eau-mer-104167.htm>

## ANNEXE 01

**Tableau 8 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=2g/l). 400

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	5,5	215	11	3621	1247	180
3	5,5	5,5	215	11	3628	1198	190
5	5,5	5,5	215	12	3636	1154	195
7	5,5	5,5	215	12	3639	1086	195
9	5,5	5,5	215	12	3649	1012	200
11	5,5	5,5	215	12	3651	1012	200
13	5,5	5,5	215	13	3656	1012	210
15	5,5	5,5	215	13	3656	1012	210
17	5,5	5,5	215	13	3659	1012	215
19	5,5	5,5	215	13	3661	1012	215
21	5,5	5,5	215	13	3661	1012	215
23	5,5	5,5	215	13	3666	1012	225

**Tableau 9 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2g/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	5	462	10	3555	1114	170
3	5,5	5	462	14	3577	1109	175
5	5,5	5	462	11	3558	1064	180
7	5,5	5	462	15	3581	1042	180
9	5,5	5	462	11	3561	1027	185
11	5,5	5	462	11	3562	1019	190
13	5,5	5	462	12	3564	1008	190
15	5,5	5	462	12	3566	1006	195
17	5,5	5	462	12	3566	997	200
19	5,5	5	462	12	3567	997	200
21	5,5	5	462	12	3567	997	200
23	5,5	5	462	12	3570	995	210

## ANNEXE 01

**Tableau 10 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5bars ;  $\Delta P = 1\text{bar}$  ; C=2g/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	4,5	620	9	3534	1236	155
3	5,5	4,5	620	10	3537	1198	165
5	5,5	4,5	620	10	3539	1131	165
7	5,5	4,5	620	10	3540	1109	170
9	5,5	4,5	620	11	3543	1049	175
11	5,5	4,5	620	11	3543	1039	175
13	5,5	4,5	620	11	3544	1049	180
15	5,5	4,5	620	11	3544	1049	180
17	5,5	4,5	620	11	3545	1049	185
19	5,5	4,5	620	11	3546	1049	190
21	5,5	4,5	620	11	3546	1049	190
23	5,5	4,5	620	12	3547	1047	195

**Tableau 11:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0\text{bar}$  ; C=2.5g/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	5,5	290	12	4008	1329	195
3	5,5	5,5	290	12	4013	1261	200
5	5,5	5,5	290	12	4023	1089	200
7	5,5	5,5	290	12	4029	1012	205
9	5,5	5,5	290	13	4038	868	210
11	5,5	5,5	290	13	4041	863	215
13	5,5	5,5	290	13	4044	852	220
15	5,5	5,5	290	13	4046	852	220
17	5,5	5,5	290	14	4049	852	225
19	5,5	5,5	290	14	4051	852	235
21	5,5	5,5	290	14	4054	852	235
23	5,5	5,5	290	14	4057	849	235

## ANNEXE 01

**Tableau 12** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	5,5	5	600	12	3954	1167	195
3	5,5	5	600	12	3957	1114	200
5	5,5	5	600	12	3960	998	200
7	5,5	5	600	12	3962	960	205
9	5,5	5	600	13	3965	871	210
11	5,5	5	600	13	3969	867	215
13	5,5	5	600	13	3968	854	220
15	5,5	5	600	13	3969	854	220
17	5,5	5	600	14	3970	854	225
19	5,5	5	600	14	3971	854	230
21	5,5	5	600	14	3972	854	230
23	5,5	5	600	14	3974	852	235

**Tableau 13** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=2.5g/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	4,5	750	11	3947	902	190
3	5,5	4,5	750	12	3948	893	195
5	5,5	4,5	750	12	3949	856	200
7	5,5	4,5	750	12	3950	854	200
9	5,5	4,5	750	12	3952	823	200
11	5,5	4,5	750	13	3953	817	210
13	5,5	4,5	750	13	3954	806	215
15	5,5	4,5	750	13	3955	806	220
17	5,5	4,5	750	13	3956	806	220
19	5,5	4,5	750	14	3957	806	225
21	5,5	4,5	750	14	3958	806	230
23	5,5	4,5	750	14	3959	801	230

# ANNEXE 01

**Tableau 14** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3g/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	5,5	285	12	4836	1571	200
3	5,5	5,5	285	12	4849	1335	200
5	5,5	5,5	285	12	4854	1295	205
7	5,5	5,5	285	13	4869	1030	210
9	5,5	5,5	285	13	4876	942	210
11	5,5	5,5	285	13	4879	937	215
13	5,5	5,5	285	13	4883	926	220
15	5,5	5,5	285	13	4886	926	220
17	5,5	5,5	285	14	4889	926	225
19	5,5	5,5	285	14	4892	926	230
21	5,5	5,5	285	14	4892	926	230
23	5,5	5,5	285	14	4899	922	240

**Tableau 15** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3g/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	5	570	11	4772	1209	190
3	5,5	5	570	12	4774	1163	195
5	5,5	5	570	12	4778	1045	200
7	5,5	5	570	12	4780	1025	200
9	5,5	5	570	12	4782	963	205
11	5,5	5	570	13	4784	958	210
13	5,5	5	570	13	4786	947	215
15	5,5	5	570	13	4787	947	215
17	5,5	5	570	13	4789	947	220
19	5,5	5	570	13	4790	947	225
21	5,5	5	570	13	4790	947	225
23	5,5	5	570	14	4793	941	230

## ANNEXE 01

**Tableau 16 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=3g/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	4,5	725	11	4755	1092	180
3	5,5	4,5	725	11	4756	1082	185
5	5,5	4,5	725	11	4758	989	185
7	5,5	4,5	725	11	4760	974	190
9	5,5	4,5	725	12	4762	912	192
11	5,5	4,5	725	12	4763	907	200
13	5,5	4,5	725	12	4765	896	200
15	5,5	4,5	725	12	4766	896	205
17	5,5	4,5	725	13	4767	896	210
19	5,5	4,5	725	13	4768	896	210
21	5,5	4,5	725	13	4769	896	215
23	5,5	4,5	725	13	4770	893	220

**Tableau 17 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3.5g/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	5,5	245	11	5472	1577	180
3	5,5	5,5	245	11	5477	1541	185
5	5,5	5,5	245	11	5491	1333	185
7	5,5	5,5	245	11	5496	1292	190
9	5,5	5,5	245	12	5506	1177	195
11	5,5	5,5	245	12	5510	1164	195
13	5,5	5,5	245	12	5516	1125	200
15	5,5	5,5	245	12	5520	1125	205
17	5,5	5,5	245	13	5527	1125	210
19	5,5	5,5	245	13	5527	1125	210
21	5,5	5,5	245	13	5531	1125	215
23	5,5	5,5	245	13	5536	1117	220

## ANNEXE 01

**Tableau 18:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	5,5	5	445	10	5387	1598	170
3	5,5	5	445	10	5391	1511	170
5	5,5	5	445	11	5398	1303	175
7	5,5	5	445	11	5402	1199	180
9	5,5	5	445	11	5408	1043	185
11	5,5	5	445	11	5410	1038	185
13	5,5	5	445	11	5413	1026	190
15	5,5	5	445	12	5415	1022	195
17	5,5	5	445	12	5417	1017	195
19	5,5	5	445	12	5419	1009	200
21	5,5	5	445	12	5421	1009	205
23	5,5	5	445	12	5424	1006	205

**Tableau 19 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=5.5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	5,5	4,5	675	9	5357	1262	155
3	5,5	4,5	675	10	5359	1225	160
5	5,5	4,5	675	10	5361	1126	160
7	5,5	4,5	675	10	5363	1111	165
9	5,5	4,5	675	10	5365	1054	170
11	5,5	4,5	675	10	5367	1048	170
13	5,5	4,5	675	11	5368	1037	175
15	5,5	4,5	675	11	5369	1033	180
17	5,5	4,5	675	11	5371	1031	185
19	5,5	4,5	675	11	5372	1020	185
21	5,5	4,5	675	11	5374	1019	190
23	5,5	4,5	675	12	5375	1016	195



# **ANNEXE 01**

## Annexe 02

**Tableau 20** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=2g/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	8	8	320	17	3632	1124	280
3	8	8	320	17	3640	1081	290
5	8	8	320	18	3647	1040	300
7	8	8	320	18	3651	980	300
9	8	8	320	19	3660	913	310
11	8	8	320	19	3663	913	315
13	8	8	320	19	3668	913	320
15	8	8	320	19	3668	913	320
17	8	8	320	20	3671	913	330
19	8	8	320	20	3673	913	335
21	8	8	320	20	3673	913	335
23	8	8	320	21	3679	913	345

**Tableau 21** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2g/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	8	7,5	690	16	3559	1005	260
3	8	7,5	690	22	3583	1000	270
5	8	7,5	690	17	3563	960	275
7	8	7,5	690	23	3587	939	280
9	8	7,5	690	17	3566	926	285
11	8	7,5	690	17	3567	919	290
13	8	7,5	690	18	3568	909	295
15	8	7,5	690	18	3571	907	300
17	8	7,5	690	18	3571	899	305
19	8	7,5	690	18	3571	899	310
21	8	7,5	690	19	3572	899	310
23	8	7,5	690	19	3575	897	320

## Annexe 02

**Tableau 22** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=2g/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	8	7	930	14	3539	1006	240
3	8	7	930	15	3542	972	250
5	8	7	930	15	3544	911	255
7	8	7	930	16	3545	891	260
9	8	7	930	16	3547	837	270
11	8	7	930	16	3548	828	270
13	8	7	930	17	3549	837	280
15	8	7	930	17	3549	837	280
17	8	7	930	17	3550	837	285
19	8	7	930	17	3551	837	290
21	8	7	930	17	3551	837	290
23	8	7	930	18	3553	835	300

**Tableau 23** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=2g/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	8	6,5	930	15	3541	903	240
3	8	6,5	930	15	3542	895	245
5	8	6,5	930	15	3543	877	250
7	8	6,5	930	15	3544	869	255
9	8	6,5	930	16	3546	852	260
11	8	6,5	930	16	3546	848	265
13	8	6,5	930	16	3547	835	265
15	8	6,5	930	16	3548	835	270
17	8	6,5	930	17	3548	835	275
19	8	6,5	930	17	3549	835	280
21	8	6,5	930	17	3550	835	285
23	8	6,5	930	17	3551	833	290

## Annexe 02

**Tableau 24 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=2.5g/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	8	8	910	14	3944	1077	230
3	8	8	910	14	3945	1063	235
5	8	8	910	14	3946	1054	240
7	8	8	910	15	3947	1034	245
9	8	8	910	15	3948	1028	250
11	8	8	910	15	3949	1024	255
13	8	8	910	15	3949	1011	255
15	8	8	910	16	3951	1011	260
17	8	8	910	16	3951	1011	260
19	8	8	910	16	3952	1011	270
21	8	8	910	16	3953	1011	270
23	8	8	910	17	3954	1011	275

**Tableau 25 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	8	7,5	350	15	4011	1356	245
3	8	7,5	350	15	4017	1287	250
5	8	7,5	350	15	4027	1109	255
7	8	7,5	350	16	4033	1030	260
9	8	7,5	350	16	4043	881	260
11	8	7,5	350	16	4046	876	270
13	8	7,5	350	16	4049	865	270
15	8	7,5	350	17	4051	865	275
17	8	7,5	350	17	4054	865	280
19	8	7,5	350	17	4057	865	285
21	8	7,5	350	17	4060	865	290
23	8	7,5	350	18	4062	861	295

## Annexe 02

**Tableau 26 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=2.5g/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	8	7	910	14	3948	931	240
3	8	7	910	15	3949	921	245
5	8	7	910	15	3950	883	250
7	8	7	910	15	3951	881	255
9	8	7	910	16	3953	848	260
11	8	7	910	16	3954	842	260
13	8	7	910	16	3955	832	270
15	8	7	910	16	3956	832	270
17	8	7	910	17	3957	832	275
19	8	7	910	17	3958	832	280
21	8	7	910	17	3959	832	285
23	8	7	910	17	3960	826	290

**Tableau 27 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=2.5g/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	8	6,5	910	15	3949	905	245
3	8	6,5	910	15	3950	901	250
5	8	6,5	910	15	3952	866	255
7	8	6,5	910	16	3953	861	260
9	8	6,5	910	16	3954	839	260
11	8	6,5	910	16	3955	835	270
13	8	6,5	910	16	3956	822	270
15	8	6,5	910	17	3957	822	275
17	8	6,5	910	17	3958	822	280
19	8	6,5	910	17	3959	822	285
21	8	6,5	910	17	3960	822	290
23	8	6,5	910	18	3961	816	295

## Annexe 02

**Tableau 28** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3g/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	8	8	360	15	4842	1504	255
3	8	8	360	16	4855	1277	260
5	8	8	360	16	4860	1240	265
7	8	8	360	16	4875	986	270
9	8	8	360	16	4882	901	275
11	8	8	360	17	4885	897	280
13	8	8	360	17	4889	886	285
15	8	8	360	17	4892	886	290
17	8	8	360	18	4896	886	290
19	8	8	360	18	4899	886	300
21	8	8	360	18	4899	886	300
23	8	8	360	18	4906	883	305

**Tableau 29** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3g/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	8	7,5	730	15	4773	1157	245
3	8	7,5	730	15	4776	1113	250
5	8	7,5	730	15	4779	1000	250
7	8	7,5	730	16	4781	981	260
9	8	7,5	730	16	4784	922	265
11	8	7,5	730	16	4786	917	270
13	8	7,5	730	16	4788	906	275
15	8	7,5	730	17	4789	906	280
17	8	7,5	730	17	4791	906	285
19	8	7,5	730	17	4792	906	290
21	8	7,5	730	17	4792	906	290
23	8	7,5	730	18	4795	901	290

## Annexe 02

**Tableau 30** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=3g/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	8	7	910	14	4757	1045	230
3	8	7	910	14	4758	1036	235
5	8	7	910	15	4761	947	240
7	8	7	910	15	4762	932	245
9	8	7	910	15	4764	873	250
11	8	7	910	15	4766	869	255
13	8	7	910	16	4767	857	260
15	8	7	910	16	4768	857	265
17	8	7	910	16	4770	857	270
19	8	7	910	16	4771	857	275
21	8	7	910	17	4772	857	280
23	8	7	910	17	4773	854	285

**Tableau 31** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3g/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	8	6,5	910	14	4758	958	233
3	8	6,5	910	14	4762	791	237
5	8	6,5	910	15	4761	914	242
7	8	6,5	910	15	4763	895	246
9	8	6,5	910	15	4764	880	251
11	8	6,5	910	15	4766	875	256
13	8	6,5	910	16	4767	864	260
15	8	6,5	910	16	4768	864	265
17	8	6,5	910	16	4769	864	270
19	8	6,5	910	16	4771	864	274
21	8	6,5	910	17	4772	864	279
23	8	6,5	910	17	4773	861	284

## Annexe 02

**Tableau 32 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3.5g/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	8	8	326	14	5482	1380	240
3	8	8	326	15	5487	1349	245
5	8	8	326	15	5499	1167	250
7	8	8	326	15	5505	1130	255
9	8	8	326	16	5514	1030	260
11	8	8	326	16	5518	1018	265
13	8	8	326	16	5524	985	270
15	8	8	326	16	5528	985	270
17	8	8	326	17	5536	985	280
19	8	8	326	17	5536	985	280
21	8	8	326	17	5540	985	285
23	8	8	326	17	5544	977	290

**Tableau 33 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	8	7,5	595	14	5392	1399	230
3	8	7,5	595	14	5395	1322	230
5	8	7,5	595	14	5402	1140	235
7	8	7,5	595	14	5406	1049	240
9	8	7,5	595	15	5411	913	245
11	8	7,5	595	15	5414	908	250
13	8	7,5	595	15	5416	898	255
15	8	7,5	595	16	5418	895	260
17	8	7,5	595	16	5421	890	265
19	8	7,5	595	16	5423	883	270
21	8	7,5	595	16	5425	883	270
23	8	7,5	595	17	5427	880	275



## Annexe 02

**Tableau 34** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=3.5g/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	8	7	900	13	5359	1104	210
3	8	7	900	13	5361	1072	215
5	8	7	900	13	5364	986	220
7	8	7	900	13	5365	972	220
9	8	7	900	14	5367	922	230
11	8	7	900	14	5369	917	230
13	8	7	900	14	5370	907	235
15	8	7	900	14	5372	904	240
17	8	7	900	15	5373	902	245
19	8	7	900	15	5375	893	250
21	8	7	900	15	5376	892	255
23	8	7	900	16	5378	889	260

**Tableau 35** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	8	6,5	900	13	5361	956	210
3	8	6,5	900	13	5362	947	210
5	8	6,5	900	13	5363	929	215
7	8	6,5	900	13	5365	925	220
9	8	6,5	900	13	5366	911	220
11	8	6,5	900	14	5368	906	230
13	8	6,5	900	14	5369	896	230
15	8	6,5	900	14	5371	896	235
17	8	6,5	900	14	5372	896	240
19	8	6,5	900	15	5373	896	245
21	8	6,5	900	15	5375	896	250
23	8	6,5	900	15	5376	894	255

## Annexe 02

**Tableau 36 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=4g/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	8	8	320	14	6520	1428	230
3	8	8	320	14	6528	1354	235
5	8	8	320	14	6541	1176	240
7	8	8	320	15	6550	1087	245
9	8	8	320	15	6558	1028	250
11	8	8	320	15	6563	1018	250
13	8	8	320	15	6569	998	260
15	8	8	320	16	6574	998	260
17	8	8	320	16	6579	998	265
19	8	8	320	16	6584	998	270
21	8	8	320	17	6589	998	275
23	8	8	320	17	6595	993	280

**Tableau 37 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=4g/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	8	7,5	660	14	6404	1342	225
3	8	7,5	660	14	6411	1102	230
5	8	7,5	660	14	6414	1075	235
7	8	7,5	660	14	6419	933	239
9	8	7,5	660	15	6422	928	244
11	8	7,5	660	15	6424	927	248
13	8	7,5	660	15	6427	921	253
15	8	7,5	660	15	6429	918	258
17	8	7,5	660	16	6431	915	262
19	8	7,5	660	16	6434	912	267
21	8	7,5	660	16	6436	910	271
23	8	7,5	660	17	6439	910	276

## Annexe 02

**Tableau 38** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=4g/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	8	7	890	13	6371	1489	215
3	8	7	890	13	6374	1394	220
5	8	7	890	14	6380	1127	225
7	8	7	890	14	6383	1038	230
9	8	7	890	14	6388	830	235
11	8	7	890	14	6390	820	240
13	8	7	890	15	6392	801	245
15	8	7	890	15	6394	801	250
17	8	7	890	15	6395	801	250
19	8	7	890	15	6397	801	260
21	8	7	890	16	6399	801	260
23	8	7	890	16	6401	797	265

**Tableau 39** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=4g/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	8	6,5	890	13	6376	1073	210
3	8	6,5	890	13	6378	1052	215
5	8	6,5	890	13	6381	963	220
7	8	6,5	890	14	6382	954	225
9	8	6,5	890	14	6385	910	230
11	8	6,5	890	14	6386	905	230
13	8	6,5	890	14	6389	895	240
15	8	6,5	890	14	6389	892	240
17	8	6,5	890	15	6390	887	245
19	8	6,5	890	15	6392	880	250
21	8	6,5	890	15	6394	880	250
23	8	6,5	890	15	6396	878	260

## Annexe 02

**Tableau 40** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	8	8	350	13	6790	1575	210
3	8	8	350	13	6796	1544	215
5	8	8	350	13	6810	1284	220
7	8	8	350	14	6815	1277	215
9	8	8	350	14	6826	1115	230
11	8	8	350	14	6831	1107	235
13	8	8	350	14	6837	1084	240
15	8	8	350	15	6842	1076	245
17	8	8	350	15	6847	1075	250
19	8	8	350	15	6852	1069	255
21	8	8	350	16	6857	1069	260
23	8	8	350	16	6862	1061	265

**Tableau 41** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	8	7,5	620	13	6712	1372	215
3	8	7,5	620	13	6716	1310	220
5	8	7,5	620	14	6720	1236	225
7	8	7,5	620	14	6723	1218	230
9	8	7,5	620	14	6729	1065	235
11	8	7,5	620	14	6732	1060	240
13	8	7,5	620	15	6735	1050	245
15	8	7,5	620	15	6738	1046	250
17	8	7,5	620	15	6740	1043	255
19	8	7,5	620	16	6743	1037	260
21	8	7,5	620	16	6746	1034	265
23	8	7,5	620	16	6748	1029	270

## Annexe 02

**Tableau 42** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=4.5g/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	8	7	890	13	6682	1230	220
3	8	7	890	13	6682	1217	225
5	8	7	890	14	6685	1116	225
7	8	7	890	14	6687	1107	230
9	8	7	890	14	6690	1061	235
11	8	7	890	14	6691	1050	240
13	8	7	890	15	6694	1030	245
15	8	7	890	15	6695	1030	250
17	8	7	890	15	6695	1030	250
19	8	7	890	15	6697	1030	255
21	8	7	890	16	6699	1030	260
23	8	7	890	16	6700	1028	260

**Tableau 43** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	8	6,5	890	13	6679	1195	210
3	8	6,5	890	13	6681	1177	215
5	8	6,5	890	13	6684	1094	220
7	8	6,5	890	14	6686	1085	225
9	8	6,5	890	14	6688	1027	230
11	8	6,5	890	14	6690	1012	235
13	8	6,5	890	14	6692	1011	240
15	8	6,5	890	15	6694	1011	245
17	8	6,5	890	15	6696	1011	250
19	8	6,5	890	15	6698	1011	255
21	8	6,5	890	16	6699	1011	260
23	8	6,5	890	16	6701	1008	265

## Annexe 02

**Tableau 44** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=5g/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	8	8	345	12	7610	1772	205
3	8	8	345	13	7618	1676	210
5	8	8	345	13	7630	1508	215
7	8	8	345	13	7636	1458	220
9	8	8	345	13	7648	1294	225
11	8	8	345	14	7654	1280	230
13	8	8	345	14	7660	1260	235
15	8	8	345	14	7665	1260	240
17	8	8	345	15	7670	1260	240
19	8	8	345	15	7673	1260	245
21	8	8	345	15	7675	1260	245
23	8	8	345	15	7680	1255	250

**Tableau 45** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=5g/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	8	7,5	710	12	7502	1655	207
3	8	7,5	710	13	7506	1582	211
5	8	7,5	710	13	7510	1478	216
7	8	7,5	710	13	7513	1369	218
9	8	7,5	710	13	7517	1226	220
11	8	7,5	710	13	7520	1216	224
13	8	7,5	710	14	7522	1193	229
15	8	7,5	710	14	7525	1186	233
17	8	7,5	710	14	7528	1176	238
19	8	7,5	710	15	7530	1176	242
21	8	7,5	710	15	7532	1176	246
23	8	7,5	710	15	7535	1170	251

## Annexe 02

**Tableau 46 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=5g/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	8	7	870	12	7483	1514	200
3	8	7	870	12	7485	1497	205
5	8	7	870	13	7489	1348	210
7	8	7	870	13	7490	1329	210
9	8	7	870	13	7493	1217	215
11	8	7	870	13	7496	1200	220
13	8	7	870	13	7498	1167	225
15	8	7	870	14	7500	1167	230
17	8	7	870	14	7502	1167	230
19	8	7	870	14	7503	1167	235
21	8	7	870	14	7504	1167	240
23	8	7	870	15	7506	1160	240

**Tableau 47 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=8 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=5g/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	8	6,5	870	11	7472	1926	190
3	8	6,5	870	12	7475	1777	190
5	8	6,5	870	12	7481	1431	195
7	8	6,5	870	12	7483	1381	200
9	8	6,5	870	12	7489	1101	200
11	8	6,5	870	12	7491	1079	205
13	8	6,5	870	13	7494	1035	210
15	8	6,5	870	13	7494	1030	210
17	8	6,5	870	13	7496	1023	215
19	8	6,5	870	13	7498	1025	220
21	8	6,5	870	13	7500	1019	225
23	8	6,5	870	14	7503	1005	230

## ANNEXE 03

**Tableau 48 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=2g/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	10,5	10,5	280	14	3627	1135	240
3	10,5	10,5	280	15	3634	1091	245
5	10,5	10,5	280	15	3641	1051	255
7	10,5	10,5	280	15	3645	989	255
9	10,5	10,5	280	16	3654	922	260
11	10,5	10,5	280	16	3656	922	265
13	10,5	10,5	280	16	3661	922	275
15	10,5	10,5	280	16	3661	922	275
17	10,5	10,5	280	17	3664	922	280
19	10,5	10,5	280	17	3666	922	280
21	10,5	10,5	280	17	3666	922	285
23	10,5	10,5	280	17	3672	922	290

**Tableau 49:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2g/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	10,5	10	600	14	3557	1015	225
3	10,5	10	600	19	3580	1010	230
5	10,5	10	600	14	3561	969	235
7	10,5	10	600	19	3584	949	240
9	10,5	10	600	15	3564	935	240
11	10,5	10	600	15	3565	928	245
13	10,5	10	600	15	3566	918	250
15	10,5	10	600	15	3569	916	255
17	10,5	10	600	15	3569	908	260
19	10,5	10	600	16	3569	908	265
21	10,5	10	600	16	3570	908	265
23	10,5	10	600	16	3572	906	270



## ANNEXE 03

**Tableau 50** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=2g/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	10,5	9,5	820	12	3537	1016	200
3	10,5	9,5	820	13	3540	981	210
5	10,5	9,5	820	13	3542	920	215
7	10,5	9,5	820	13	3543	900	220
9	10,5	9,5	820	14	3545	846	230
11	10,5	9,5	820	14	3546	836	230
13	10,5	9,5	820	14	3547	846	235
15	10,5	9,5	820	14	3547	846	235
17	10,5	9,5	820	15	3548	846	240
19	10,5	9,5	820	15	3549	846	245
21	10,5	9,5	820	15	3549	846	245
23	10,5	9,5	820	15	3550	844	255

**Tableau 51** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=2g/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	10,5	9	820	12	3539	912	205
3	10,5	9	820	13	3540	904	210
5	10,5	9	820	13	3541	885	215
7	10,5	9	820	13	3542	877	220
9	10,5	9	820	13	3543	861	220
11	10,5	9	820	14	3544	857	225
13	10,5	9	820	14	3545	844	225
15	10,5	9	820	14	3545	844	230
17	10,5	9	820	14	3546	844	235
19	10,5	9	820	14	3547	844	240
21	10,5	9	820	15	3548	844	245
23	10,5	9	820	15	3549	842	245

## **ANNEXE 03**

**Tableau 52** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=2g/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	10,5	8,5	820	12	3539	899	200
3	10,5	8,5	820	12	3540	884	205
5	10,5	8,5	820	13	3541	875	210
7	10,5	8,5	820	13	3542	854	215
9	10,5	8,5	820	13	3543	848	215
11	10,5	8,5	820	13	3544	844	220
13	10,5	8,5	820	13	3544	830	220
15	10,5	8,5	820	14	3546	830	230
17	10,5	8,5	820	14	3546	830	230
19	10,5	8,5	820	14	3546	830	235
21	10,5	8,5	820	14	3547	830	235
23	10,5	8,5	820	15	3548	830	240

**Tableau 53** : Influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=2.5g/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	10,5	10,5	300	13	4011	1398	215
3	10,5	10,5	300	13	4017	1327	215
5	10,5	10,5	300	13	4028	1145	220
7	10,5	10,5	300	14	4034	1065	225
9	10,5	10,5	300	14	4044	913	230
11	10,5	10,5	300	14	4047	908	235
13	10,5	10,5	300	14	4050	897	238
15	10,5	10,5	300	15	4053	897	240
17	10,5	10,5	300	15	4055	897	245
19	10,5	10,5	300	15	4058	897	250
21	10,5	10,5	300	15	4061	897	255
23	10,5	10,5	300	15	4064	893	260

## **ANNEXE 03**

**Tableau 54** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=2.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	10,5	10	660	13	3953	1228	215
3	10,5	10	660	13	3955	1172	217
5	10,5	10	660	13	3959	1050	220
7	10,5	10	660	14	3960	1010	225
9	10,5	10	660	14	3964	916	230
11	10,5	10	660	15	3967	912	235
13	10,5	10	660	14	3966	899	238
15	10,5	10	660	15	3967	899	240
17	10,5	10	660	15	3969	899	245
19	10,5	10	660	15	3970	899	250
21	10,5	10	660	15	3971	899	255
23	10,5	10	660	15	3972	896	260

**Tableau 55** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=2.5g/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	10,5	9,5	827	13	3945	949	210
3	10,5	9,5	827	13	3947	939	213
5	10,5	9,5	827	13	3948	901	216
7	10,5	9,5	827	13	3949	899	220
9	10,5	9,5	827	14	3950	866	225
11	10,5	9,5	827	14	3951	860	230
13	10,5	9,5	827	14	3953	848	235
15	10,5	9,5	827	14	3954	848	238
17	10,5	9,5	827	15	3954	848	242
19	10,5	9,5	827	15	3955	848	245
21	10,5	9,5	827	15	3956	848	250
23	10,5	9,5	827	15	3957	842	255

## ANNEXE 03

**Tableau 56** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=2.5g/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	10,5	9	827	13	3947	923	213
3	10,5	9	827	13	3948	919	217
5	10,5	9	827	13	3949	884	220
7	10,5	9	827	14	3950	879	225
9	10,5	9	827	14	3952	855	230
11	10,5	9	827	14	3953	851	235
13	10,5	9	827	14	3954	838	238
15	10,5	9	827	15	3955	838	242
17	10,5	9	827	15	3956	838	245
19	10,5	9	827	15	3957	838	250
21	10,5	9	827	15	3958	838	255
23	10,5	9	827	15	3959	832	260

**Tableau 57** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la Membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=2.5g/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	10,5	8,5	827	13	3945	964	210
3	10,5	8,5	827	13	3946	960	215
5	10,5	8,5	827	13	3947	879	215
7	10,5	8,5	827	13	3950	859	220
9	10,5	8,5	827	14	3951	845	225
11	10,5	8,5	827	14	3952	842	230
13	10,5	8,5	827	14	3953	828	235
15	10,5	8,5	827	14	3954	828	238
17	10,5	8,5	827	15	3955	828	242
19	10,5	8,5	827	15	3956	828	245
21	10,5	8,5	827	15	3957	828	250
23	10,5	8,5	827	15	3958	824	255

## **ANNEXE 03**

**Tableau 58** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3g/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	10,5	10,5	330	14	4832	1616	225
3	10,5	10,5	330	14	4845	1373	230
5	10,5	10,5	330	14	4849	1332	235
7	10,5	10,5	330	14	4865	1059	238
9	10,5	10,5	330	15	4872	969	242
11	10,5	10,5	330	15	4875	964	245
13	10,5	10,5	330	15	4879	952	250
15	10,5	10,5	330	15	4882	952	255
17	10,5	10,5	330	15	4885	952	258
19	10,5	10,5	330	16	4888	952	262
21	10,5	10,5	330	16	4888	952	262
23	10,5	10,5	330	16	4894	948	270

**Tableau 59** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=3g/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	10,5	10	660	13	4770	1243	215
3	10,5	10	660	13	4772	1196	220
5	10,5	10	660	14	4776	1075	225
7	10,5	10	660	14	4778	1054	230
9	10,5	10	660	14	4781	991	235
11	10,5	10	660	14	4782	986	238
13	10,5	10	660	15	4784	974	242
15	10,5	10	660	15	4785	974	245
17	10,5	10	660	15	4787	974	250
19	10,5	10	660	15	4788	974	255
21	10,5	10	660	15	4788	974	255
23	10,5	10	660	16	4791	968	262

## ANNEXE 03

**Tableau 60** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=3g/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	10,5	9,5	830	12	4754	1123	205
3	10,5	9,5	830	13	4755	1113	210
5	10,5	9,5	830	13	4758	1017	213
7	10,5	9,5	830	13	4759	1002	217
9	10,5	9,5	830	13	4761	938	220
11	10,5	9,5	830	14	4762	933	225
13	10,5	9,5	830	14	4764	921	230
15	10,5	9,5	830	14	4765	921	235
17	10,5	9,5	830	14	4766	921	238
19	10,5	9,5	830	15	4767	921	242
21	10,5	9,5	830	15	4768	921	245
23	10,5	9,5	830	15	4770	918	250

**Tableau 61**: L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3g/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	10,5	9	830	12	4755	1029	205
3	10,5	9	830	13	4759	850	210
5	10,5	9	830	13	4758	982	213
7	10,5	9	830	13	4760	962	217
9	10,5	9	830	13	4761	945	220
11	10,5	9	830	14	4762	940	225
13	10,5	9	830	14	4764	928	230
15	10,5	9	830	14	4765	928	235
17	10,5	9	830	14	4766	928	238
19	10,5	9	830	15	4767	928	242
21	10,5	9	830	15	4768	928	245
23	10,5	9	830	15	4770	925	250

## **ANNEXE 03**

**Tableau 62** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=3g/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	10,5	8,5	830	12	4753	1034	197
3	10,5	8,5	830	12	4755	1024	205
5	10,5	8,5	830	13	4757	984	210
7	10,5	8,5	830	13	4759	923	213
9	10,5	8,5	830	13	4760	917	217
11	10,5	8,5	830	13	4760	911	217
13	10,5	8,5	830	13	4762	900	220
15	10,5	8,5	830	14	4763	900	225
17	10,5	8,5	830	14	4764	900	230
19	10,5	8,5	830	14	4765	900	235
21	10,5	8,5	830	14	4765	900	235
23	10,5	8,5	830	14	4767	898	238

**Tableau 63** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=3.5g/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	10,5	10,5	300	13	5478	1471	223
3	10,5	10,5	300	14	5484	1438	227
5	10,5	10,5	300	14	5496	1244	230
7	10,5	10,5	300	14	5502	1205	235
9	10,5	10,5	300	14	5511	1098	240
11	10,5	10,5	300	15	5516	1085	245
13	10,5	10,5	300	15	5522	1050	248
15	10,5	10,5	300	15	5526	1050	252
17	10,5	10,5	300	16	5534	1050	260
19	10,5	10,5	300	16	5534	1050	260
21	10,5	10,5	300	16	5538	1050	265
23	10,5	10,5	300	16	5542	1042	270

## **ANNEXE 03**

**Tableau 64** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ;  $C=3.5$ 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	10,5	10	550	13	5389	1491	210
3	10,5	10	550	13	5392	1409	215
5	10,5	10	550	13	5399	1215	218
7	10,5	10	550	13	5404	1118	223
9	10,5	10	550	14	5409	973	227
11	10,5	10	550	14	5412	968	230
13	10,5	10	550	14	5414	957	235
15	10,5	10	550	14	5416	954	240
17	10,5	10	550	15	5418	949	245
19	10,5	10	550	15	5421	941	248
21	10,5	10	550	15	5423	941	252
23	10,5	10	550	15	5452	938	255

**Tableau 65** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ;  $C=3.5$ 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	10,5	9,5	850	12	5357	1177	193
3	10,5	9,5	850	12	5359	1143	197
5	10,5	9,5	850	12	5361	1051	202
7	10,5	9,5	850	12	5363	1036	206
9	10,5	9,5	850	13	5365	983	210
11	10,5	9,5	850	13	5366	978	214
13	10,5	9,5	850	13	5368	967	218
15	10,5	9,5	850	13	5369	963	223
17	10,5	9,5	850	14	5371	961	227
19	10,5	9,5	850	14	5372	952	231
21	10,5	9,5	850	14	5373	951	235
23	10,5	9,5	850	14	5375	948	239



## **ANNEXE 03**

**Tableau 66** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=3.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	10,5	9	850	12	5359	1019	193
3	10,5	9	850	12	5360	1010	196
5	10,5	9	850	12	5361	990	197
7	10,5	9	850	12	5362	986	202
9	10,5	9	850	12	5364	971	206
11	10,5	9	850	13	5365	966	210
13	10,5	9	850	13	5367	955	214
15	10,5	9	850	13	5368	955	218
17	10,5	9	850	13	5369	955	223
19	10,5	9	850	14	5371	955	227
21	10,5	9	850	14	5372	955	231
23	10,5	9	850	14	5373	953	235

**Tableau 67** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=3.5g/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	10,5	8,5	850	12	5360	1079	197
3	10,5	8,5	850	12	5361	1075	202
5	10,5	8,5	850	12	5363	997	206
7	10,5	8,5	850	12	5364	983	207
9	10,5	8,5	850	13	5365	949	210
11	10,5	8,5	850	13	5367	944	213
13	10,5	8,5	850	13	5368	933	218
15	10,5	8,5	850	13	5369	933	219
17	10,5	8,5	850	13	5370	933	223
19	10,5	8,5	850	14	5371	933	225
21	10,5	8,5	850	14	5371	933	231
23	10,5	8,5	850	14	5372	931	235

## **ANNEXE 03**

**Tableau 68:** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=4g/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	10,5	10,5	310	13	6505	1493	210
3	10,5	10,5	310	13	6513	1415	215
5	10,5	10,5	310	13	6525	1229	220
7	10,5	10,5	310	13	6534	1136	225
9	10,5	10,5	310	14	6541	1074	230
11	10,5	10,5	310	14	6547	1064	232
13	10,5	10,5	310	14	6552	1043	237
15	10,5	10,5	310	14	6557	1043	240
17	10,5	10,5	310	15	6562	1043	245
19	10,5	10,5	310	15	6567	1043	250
21	10,5	10,5	310	15	6571	1043	255
23	10,5	10,5	310	15	6576	1038	258

**Tableau 69 :** L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=4g/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	10,5	10	630	12	6398	1449	207
3	10,5	10	630	13	6401	1402	210
5	10,5	10	630	13	6408	1151	215
7	10,5	10	630	13	6411	1123	220
9	10,5	10	630	13	6416	975	225
11	10,5	10	630	14	6418	970	228
13	10,5	10	630	14	6421	969	232
15	10,5	10	630	14	6423	963	237
17	10,5	10	630	14	6425	960	240
19	10,5	10	630	15	6428	956	245
21	10,5	10	630	15	6430	953	250
23	10,5	10	630	15	6432	951	255

## ANNEXE 03

**Tableau 70** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=4g/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	10,5	9,5	850	12	6367	1556	200
3	10,5	9,5	850	12	6370	1456	203
5	10,5	9,5	850	12	6376	1177	207
7	10,5	9,5	850	13	6379	1084	210
9	10,5	9,5	850	13	6384	868	215
11	10,5	9,5	850	13	6386	857	220
13	10,5	9,5	850	13	6388	837	225
15	10,5	9,5	850	14	6389	837	228
17	10,5	9,5	850	14	6391	837	232
19	10,5	9,5	850	14	6393	837	237
21	10,5	9,5	850	14	6394	837	240
23	10,5	9,5	850	15	6396	833	245

**Tableau 71** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=4g/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	10,5	9	850	12	6372	1122	195
3	10,5	9	850	12	6374	1099	200
5	10,5	9	850	12	6377	1006	203
7	10,5	9	850	12	6379	997	207
9	10,5	9	850	13	6381	950	210
11	10,5	9	850	13	6382	946	213
13	10,5	9	850	13	6385	936	220
15	10,5	9	850	13	6385	932	220
17	10,5	9	850	13	6386	927	225
19	10,5	9	850	14	6388	920	228
21	10,5	9	850	14	6390	920	232
23	10,5	9	850	14	6391	918	237

## **ANNEXE 03**

**Tableau 72** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=4g/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	10,5	8,5	850	11	6366	1425	190
3	10,5	8,5	850	12	6369	1347	195
5	10,5	8,5	850	12	6372	1114	195
7	10,5	8,5	850	12	6375	1058	200
9	10,5	8,5	850	12	6379	851	203
11	10,5	8,5	850	12	6381	844	207
13	10,5	8,5	850	13	6383	820	210
15	10,5	8,5	850	13	6383	817	210
17	10,5	8,5	850	13	6384	844	215
19	10,5	8,5	850	13	6387	807	220
21	10,5	8,5	850	13	6388	804	225
23	10,5	8,5	850	14	6390	802	228

**Tableau 73** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=4.5g/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	10,5	10,5	350	12	6782	1524	202
3	10,5	10,5	350	12	6788	1493	207
5	10,5	10,5	350	13	6801	1242	210
7	10,5	10,5	350	13	6806	1235	215
9	10,5	10,5	350	13	6816	1079	220
11	10,5	10,5	350	13	6821	1071	225
13	10,5	10,5	350	14	6827	1048	230
15	10,5	10,5	350	14	6831	1041	233
17	10,5	10,5	350	14	6836	1040	238
19	10,5	10,5	350	15	6841	1034	242
21	10,5	10,5	350	15	6845	1034	245
23	10,5	10,5	350	15	6850	1026	250

## **ANNEXE 03**

**Tableau 74** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s/cm}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	10,5	10	600	12	6711	1327	207
3	10,5	10	600	13	6715	1267	210
5	10,5	10	600	13	6719	1196	215
7	10,5	10	600	13	6722	1178	220
9	10,5	10	600	13	6728	1031	225
11	10,5	10	600	14	6731	1025	230
13	10,5	10	600	14	6733	1015	233
15	10,5	10	600	14	6736	1012	238
17	10,5	10	600	15	6739	1009	242
19	10,5	10	600	15	6741	1003	245
21	10,5	10	600	15	6744	1000	250
23	10,5	10	600	15	6747	996	255

**Tableau 75** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=4.5g/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	10,5	9,5	860	13	6681	1190	210
3	10,5	9,5	860	13	6682	1177	213
5	10,5	9,5	860	13	6684	1080	215
7	10,5	9,5	860	13	6686	1071	220
9	10,5	9,5	860	13	6689	1026	225
11	10,5	9,5	860	14	6691	1015	230
13	10,5	9,5	860	14	6693	997	233
15	10,5	9,5	860	14	6693	997	237
17	10,5	9,5	860	14	6694	997	238
19	10,5	9,5	860	15	6696	997	242
21	10,5	9,5	860	15	6698	997	245
23	10,5	9,5	860	15	6699	994	248

## **ANNEXE 03**

**Tableau 76** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=4.5g/l).

Temps (min)	Pression entrée (bar)	Pression sortie (bar)	Débit alimentation (l/h)	Débit perméat (l/h)	Conductivité concentrât ( $\mu\text{s}$ )	Conductivité perméat ( $\mu\text{s/cm}$ )	Volume perméat (ml)
1	10,5	9	860	12	6678	1156	202
3	10,5	9	860	12	6680	1138	207
5	10,5	9	860	13	6683	1058	210
7	10,5	9	860	13	6685	1049	215
9	10,5	9	860	13	6687	993	220
11	10,5	9	860	13	6689	979	225
13	10,5	9	860	14	6691	978	230
15	10,5	9	860	14	6693	978	233
17	10,5	9	860	14	6695	978	238
19	10,5	9	860	15	6697	978	242
21	10,5	9	860	15	6698	978	254
23	10,5	9	860	15	6700	975	250

**Tableau 77** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=4.5g/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	10,5	8,5	860	12	6678	1056	198
3	10,5	8,5	860	12	6679	1051	202
5	10,5	8,5	860	12	6681	1040	207
7	10,5	8,5	860	13	6683	1035	210
9	10,5	8,5	860	13	6685	1026	215
11	10,5	8,5	860	13	6686	1018	218
13	10,5	8,5	860	13	6689	997	225
15	10,5	8,5	860	13	6689	993	225
17	10,5	8,5	860	14	6691	993	230
19	10,5	8,5	860	14	6693	983	233
21	10,5	8,5	860	14	6693	982	233
23	10,5	8,5	860	14	6695	979	238

## **ANNEXE 03**

**Tableau 78** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=5g/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	10,5	10,5	350	13	7625	1557	215
3	10,5	10,5	350	13	7633	1473	220
5	10,5	10,5	350	14	7644	1325	225
7	10,5	10,5	350	14	7651	1282	230
9	10,5	10,5	350	14	7662	1137	235
11	10,5	10,5	350	14	7668	1125	240
13	10,5	10,5	350	15	7674	1108	245
15	10,5	10,5	350	15	7680	1108	248
17	10,5	10,5	350	15	7685	1108	253
19	10,5	10,5	350	15	7689	1108	255
21	10,5	10,5	350	15	7691	1108	258
23	10,5	10,5	350	16	7696	1103	262

**Tableau 79** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0.5$  bar ; C=5g/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	10,5	10	720	13	7509	1455	215
3	10,5	10	720	13	7513	1390	220
5	10,5	10	720	14	7517	1299	225
7	10,5	10	720	14	7520	1203	228
9	10,5	10	720	14	7524	1077	230
11	10,5	10	720	14	7526	1068	235
13	10,5	10	720	14	7529	1048	240
15	10,5	10	720	15	7532	1042	245
17	10,5	10	720	15	7535	1034	248
19	10,5	10	720	15	7537	1034	253
21	10,5	10	720	15	7540	1034	258
23	10,5	10	720	16	7542	1028	262

## **ANNEXE 03**

**Tableau 80** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=5g/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	10,5	9,5	900	13	7487	1330	212
3	10,5	9,5	900	13	7489	1315	215
5	10,5	9,5	900	13	7493	1185	220
7	10,5	9,5	900	13	7494	1168	223
9	10,5	9,5	900	14	7497	1069	225
11	10,5	9,5	900	14	7499	1054	230
13	10,5	9,5	900	14	7501	1026	235
15	10,5	9,5	900	14	7503	1026	240
17	10,5	9,5	900	15	7505	1026	245
19	10,5	9,5	900	15	7507	1026	247
21	10,5	9,5	900	15	7507	1026	248
23	10,5	9,5	900	15	7509	1020	253

**Tableau 81** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1.5$  bar ; C=5g/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	10,5	9	900	12	7476	1692	198
3	10,5	9	900	12	7479	1562	200
5	10,5	9	900	12	7484	1257	202
7	10,5	9	900	12	7487	1214	207
9	10,5	9	900	13	7492	967	212
11	10,5	9	900	13	7494	948	215
13	10,5	9	900	13	7497	909	220
15	10,5	9	900	13	7497	905	220
17	10,5	9	900	14	7499	899	225
19	10,5	9	900	14	7501	900	230
21	10,5	9	900	14	7503	895	235
23	10,5	9	900	14	7506	883	240



## **ANNEXE 03**

**Tableau 82** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=5g/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	10,5	8,5	900	11	7480	1127	190
3	10,5	8,5	900	11	7481	1123	191
5	10,5	8,5	900	12	7482	1110	193
7	10,5	8,5	900	12	7484	1106	198
9	10,5	8,5	900	12	7484	1097	198
11	10,5	8,5	900	12	7486	1084	202
13	10,5	8,5	900	12	7489	1067	207
15	10,5	8,5	900	13	7491	1062	212
17	10,5	8,5	900	13	7493	1055	215
19	10,5	8,5	900	13	7495	1040	220
21	10,5	8,5	900	14	7497	1040	225
23	10,5	8,5	900	14	7497	1033	225

**Tableau 83** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (P entrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=6g/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	10,5	10,5	450	19	8800	1568	312
3	10,5	10,5	450	19	8807	1530	315
5	10,5	10,5	450	19	8813	1488	320
7	10,5	10,5	450	19	8819	1458	325
9	10,5	10,5	450	20	8824	1413	328
11	10,5	10,5	450	20	8828	1367	330
13	10,5	10,5	450	20	8835	1360	335
15	10,5	10,5	450	21	8842	1353	343
17	10,5	10,5	450	21	8847	1323	345
19	10,5	10,5	450	21	8854	1297	352
21	10,5	10,5	450	21	8857	1285	353
23	10,5	10,5	450	21	8861	1265	355

## **ANNEXE 03**

**Tableau 84** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ; C=6g/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	10,5	10	880	17	8643	1376	288
3	10,5	10	880	18	8648	1373	300
5	10,5	10	880	18	8650	1369	303
7	10,5	10	880	18	8653	1365	307
9	10,5	10	880	19	8656	1362	313
11	10,5	10	880	19	8662	1358	325
13	10,5	10	880	20	8663	1344	328
15	10,5	10	880	20	8667	1328	335
17	10,5	10	880	20	8669	1321	338
19	10,5	10	880	21	8674	1320	347
21	10,5	10	880	21	8675	1307	350
23	10,5	10	880	21	8677	1299	352

**Tableau 85** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=6g/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	10,5	9,5	880	18	8647	1498	301
3	10,5	9,5	880	18	8651	1454	307
5	10,5	9,5	880	19	8652	1419	309
7	10,5	9,5	880	19	8655	1366	312
9	10,5	9,5	880	19	8658	1330	317
11	10,5	9,5	880	19	8661	1292	320
13	10,5	9,5	880	19	8664	1273	325
15	10,5	9,5	880	20	8665	1248	327
17	10,5	9,5	880	20	8669	1242	333
19	10,5	9,5	880	20	8672	1233	338
21	10,5	9,5	880	21	8674	1217	342
23	10,5	9,5	880	21	8677	1204	347

## ANNEXE 03

**Tableau 86** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1,5$  bar ; C=6g/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	10,5	9	880	18	8649	1397	300
3	10,5	9	880	18	8650	1374	303
5	10,5	9	880	19	8655	1351	310
7	10,5	9	880	19	8658	1343	315
9	10,5	9	880	19	8660	1312	320
11	10,5	9	880	19	8664	1280	325
13	10,5	9	880	20	8665	1264	328
15	10,5	9	880	20	8671	1248	338
17	10,5	9	880	20	8672	1241	340
19	10,5	9	880	21	8674	1232	343
21	10,5	9	880	21	8676	1216	345
23	10,5	9	880	21	8678	1167	347

**Tableau 87** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=6g/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	10,5	8,5	880	17	8642	1350	287
3	10,5	8,5	880	17	8644	1335	289
5	10,5	8,5	880	18	8648	1320	295
7	10,5	8,5	880	18	8652	1305	303
9	10,5	8,5	880	18	8653	1292	304
11	10,5	8,5	880	18	8654	1276	307
13	10,5	8,5	880	19	8656	1261	310
15	10,5	8,5	880	19	8657	1246	312
17	10,5	8,5	880	19	8662	1223	319
19	10,5	8,5	880	19	8665	1201	325
21	10,5	8,5	880	20	8667	1186	328
23	10,5	8,5	880	20	8671	1158	334

## **ANNEXE 03**

**Tableau 88** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0$  bar ; C=6,5g/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	10,5	10,5	660	17	9295	1578	278
3	10,5	10,5	660	17	9297	1574	280
5	10,5	10,5	660	17	9300	1570	285
7	10,5	10,5	660	17	9303	1567	288
9	10,5	10,5	660	18	9306	1565	293
11	10,5	10,5	660	18	9311	1558	300
13	10,5	10,5	660	18	9313	1527	302
15	10,5	10,5	660	18	9316	1495	305
17	10,5	10,5	660	18	9319	1479	307
19	10,5	10,5	660	19	9323	1451	312
21	10,5	10,5	660	19	9326	1422	314
23	10,5	10,5	660	19	9328	1400	316

**Tableau 89** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 0,5$  bar ; C=6,5g/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	10,5	10	850	17	9251	1589	280
3	10,5	10	850	17	9254	1551	285
5	10,5	10	850	17	9257	1513	286
7	10,5	10	850	17	9258	1475	288
9	10,5	10	850	18	9263	1437	295
11	10,5	10	850	18	9267	1393	300
13	10,5	10	850	18	9267	1380	301
15	10,5	10	850	18	9272	1361	308
17	10,5	10	850	19	9273	1358	310
19	10,5	10	850	19	9274	1352	312
21	10,5	10	850	19	9277	1333	315
23	10,5	10	850	19	9277	1330	316

## ANNEXE 03

**Tableau 90** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1$  bar ; C=6,5g/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	10,5	9,5	850	17	9257	1417	283
3	10,5	9,5	850	17	9260	1405	288
5	10,5	9,5	850	17	9261	1395	290
7	10,5	9,5	850	18	9262	1383	292
9	10,5	9,5	850	18	9266	1370	298
11	10,5	9,5	850	18	9267	1361	300
13	10,5	9,5	850	18	9270	1350	304
15	10,5	9,5	850	19	9273	1342	309
17	10,5	9,5	850	19	9275	1340	312
19	10,5	9,5	850	19	9277	1336	316
21	10,5	9,5	850	19	9279	1330	318
23	10,5	9,5	850	19	9280	1326	320

**Tableau 91** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 1,5$  bar ; C=6,5g/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	10,5	9	850	16	9249	1397	270
3	10,5	9	850	17	9253	1390	275
5	10,5	9	850	17	9255	1382	278
7	10,5	9	850	17	9256	1375	280
9	10,5	9	850	17	9260	1366	288
11	10,5	9	850	18	9263	1359	292
13	10,5	9	850	18	9266	1347	298
15	10,5	9	850	18	9270	1326	305
17	10,5	9	850	18	9273	1312	307
19	10,5	9	850	19	9278	1295	315
21	10,5	9	850	19	9280	1280	318
23	10,5	9	850	19	9281	1264	320

## **ANNEXE 03**

**Tableau 92** : L'influence de la différence de la pression de part et d'autre de la membrane sur le dessalement (Pentrée=10,5 bars ;  $\Delta P = 2$  bar ; C=6,5g/l).

<b>Temps (min)</b>	<b>Pression entrée (bar)</b>	<b>Pression sortie (bar)</b>	<b>Débit alimentation (l/h)</b>	<b>Débit perméat (l/h)</b>	<b>Conductivité concentrât (<math>\mu\text{s/cm}</math>)</b>	<b>Conductivité perméat (<math>\mu\text{s/cm}</math>)</b>	<b>Volume perméat (ml)</b>
1	10,5	8,5	850	16	9247	1382	265
3	10,5	8,5	850	16	9249	1374	267
5	10,5	8,5	850	16	9251	1366	272
7	10,5	8,5	850	17	9254	1359	275
9	10,5	8,5	850	17	9256	1350	280
11	10,5	8,5	850	17	9259	1342	285
13	10,5	8,5	850	17	9260	1321	286
15	10,5	8,5	850	18	9264	1295	292
17	10,5	8,5	850	18	9264	1291	293
19	10,5	8,5	850	18	9267	1276	295
21	10,5	8,5	850	18	9269	1259	298
23	10,5	8,5	850	18	9270	1247	300