

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

SESSION 2016

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

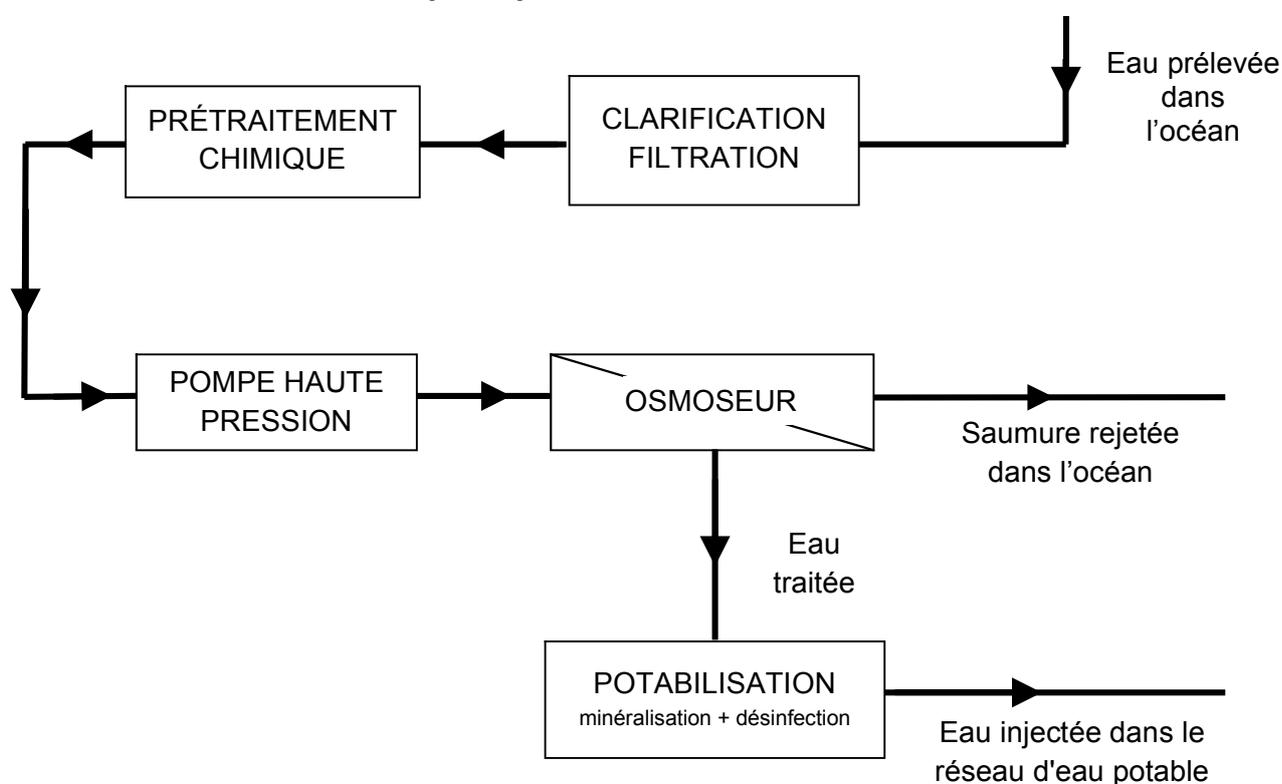
L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet comporte **9** pages.

Dessalement par osmose inverse

L'approvisionnement en eau potable est un enjeu majeur dans le monde actuel. Pour permettre le développement de certaines régions littorales, des programmes de construction d'usines de dessalement de l'eau de mer sont mis en place. On s'intéresse à une de ces unités, située sur la côte atlantique (voir schéma ci-dessous). Cette usine prélève l'eau dans l'océan. L'eau subit d'abord des étapes de clarification et filtration puis de prétraitement chimique. Le dessalement est réalisé dans l'osmoseur selon la technique de l'osmose inverse. La saumure enrichie en sel est rejetée à la mer. L'eau traitée est potabilisée (minéralisée et désinfectée) puis injectée dans le réseau d'eau potable.

Schéma de principe d'une usine de dessalement



On étudie dans ce sujet une partie du fonctionnement de cette station.

Le sujet comporte trois parties indépendantes que le candidat peut traiter dans l'ordre de son choix. Les documents sont réunis en fin d'énoncé.

PARTIE 1 : mesure du débit d'eau salée dans la conduite d'alimentation (8 points)

PARTIE 2 : prétraitement chimique de l'eau salée à l'acide sulfurique (5 points)

PARTIE 3 : principe de l'osmose inverse (7 points)

Partie 1 : mesure du débit d'eau salée dans la conduite d'alimentation (8 points)

L'eau est acheminée vers le procédé de prétraitement par une conduite cylindrique de 500 mm de diamètre. L'installation est conçue pour traiter un débit volumique de $630 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ d'eau de mer, contrôlé par un débitmètre à ultrasons (voir **Document 1** page 7).

Le débitmètre est constitué de deux transducteurs piézoélectriques A et B jouant alternativement le rôle d'émetteur et de récepteur d'ondes ultrasonores. Les deux transducteurs sont positionnés de part et d'autre de la conduite.

Le principe de la mesure repose sur le fait qu'une onde ultrasonore se propageant à contre sens de l'écoulement met plus de temps pour parcourir la même distance qu'une onde ultrasonore se propageant dans le sens de l'écoulement.

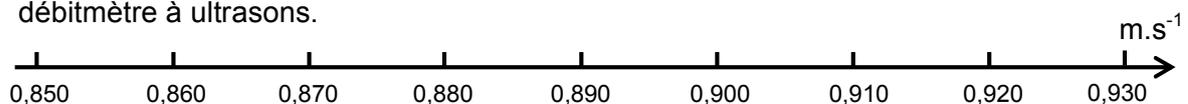
- 1.1 Le transducteur A émet le signal sous forme de salves d'impulsions. Une salve a été enregistrée sur le **Document 2**. Donner la valeur de la période T_E du signal.
- 1.2 Calculer alors la fréquence f_E de ce signal. Vérifier qu'il s'agit d'ultrasons ($f > 20 \text{ kHz}$).
- 1.3 Le signal émis par le transducteur A est reçu par le transducteur B. À partir de l'enregistrement du **Document 3**, identifier la voie correspondant au signal émis et celle correspondant au signal reçu. Donner deux arguments justifiant votre réponse.
- 1.4 Le traitement électronique du signal fournit les données suivantes : $t_{AB} = 475,00 \mu\text{s}$ et $t_{BA} = 475,40 \mu\text{s}$. Calculer à l'aide du **Document 1** la vitesse moyenne V de l'écoulement.
- 1.5 Rappeler l'expression littérale liant le débit volumique et la vitesse d'écoulement. Montrer alors que le débit volumique mesuré par le débitmètre vaut $0,174 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- 1.6 Comparer avec la valeur prévue lors de l'installation et dire si l'installation est correctement utilisée.

Une entreprise spécialisée est chargée de contrôler le débitmètre à ultrasons. Pour cela elle compare la valeur fournie par ce débitmètre avec celle d'un capteur-étalon. Le capteur-étalon affiche une valeur égale à $0,884 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ avec une incertitude de $0,006 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ correspondant à un intervalle de confiance à 95 %.

- 1.7 Le débitmètre à ultrasons affiche une valeur de $0,89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer l'incertitude $U(V)$ de la mesure de la vitesse pour un intervalle de confiance de 95 %, sachant que :

$$U(V) = \frac{2}{\sqrt{3}} \times (1,5\% \text{ de la valeur affichée} + 0,01)$$

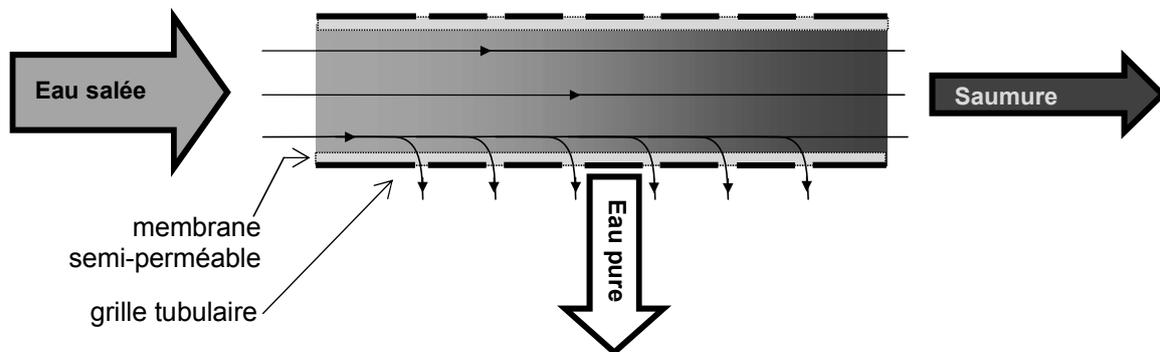
- 1.8 En déduire alors l'intervalle de confiance à 95 % de la mesure de la vitesse.
- 1.9 Préciser l'intervalle de confiance à 95 % du capteur-étalon.
- 1.10 **RECOPIER** l'axe ci-dessous sur votre copie ($2 \text{ cm pour } 0,010 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) et y porter dans deux couleurs différentes les intervalles de confiance à 95 % du capteur-étalon et du débitmètre à ultrasons.



- 1.11 Comparer ces deux intervalles et conclure sur la justesse du débitmètre à ultrasons.

Partie 2 : prétraitement chimique de l'eau salée à l'acide sulfurique (5 points)

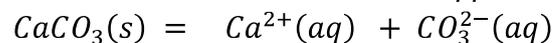
L'osmoseur est l'élément central du traitement de l'eau de mer (voir page 2). Son principe de fonctionnement est décrit dans le schéma ci-dessous. Il repose sur l'utilisation d'une membrane semi-perméable qui laisse passer l'eau mais retient les ions. Dans des conditions optimales, pour 1,00 L d'eau salée injectée en entrée, on récupère 0,50 L d'eau pure et 0,50 L de saumure.



Si l'eau de mer n'est pas traitée en amont de l'osmoseur, certains ions vont provoquer la formation d'un dépôt de carbonate de calcium (ou tartre).

Afin d'analyser ce phénomène, on étudie une cellule d'osmose inverse alimentée par une solution ionique contenant des ions carbonate CO_3^{2-} et calcium Ca^{2+} de concentrations molaires : $C_0 = [Ca^{2+}]_0 = [CO_3^{2-}]_0 = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

L'équation de dissolution du carbonate de calcium est rappelé ci-dessous :

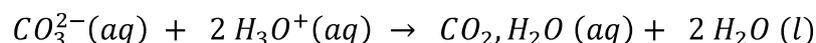


- 2.1 Expliquer qualitativement pourquoi la concentration en ions augmente le long du tube lors du passage de la solution ionique dans l'osmoseur.
- 2.2 Si on suppose qu'aucune transformation chimique ne se produit dans le tube, montrer que les concentrations molaires à la sortie de l'osmoseur valent :

$$[Ca^{2+}]_1 = [CO_3^{2-}]_1 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot L^{-1} .$$

- 2.3 Exprimer puis calculer le quotient de réaction Q_{R1} à la sortie de l'osmoseur.
- 2.4 La constante de dissolution a pour valeur $K_S = 5,0 \cdot 10^{-9}$ à $25^\circ C$. Comparer Q_{R1} à cette constante d'équilibre K_S et conclure sur les problèmes rencontrés.

En réalité, dans l'usine, un prétraitement chimique de l'eau de mer est réalisé avant l'injection dans l'osmoseur. On la mélange à de l'acide sulfurique qui réagit avec les ions carbonate de l'eau de mer suivant la réaction :

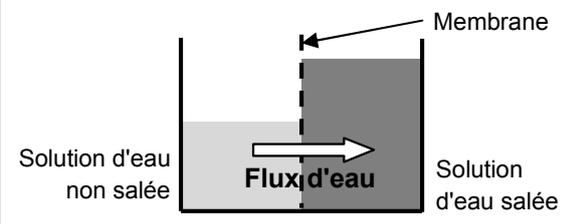
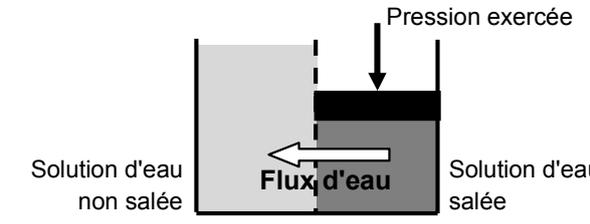


- 2.5 Expliquer par un texte argumenté de 5 lignes au maximum l'intérêt d'ajouter de l'acide sulfurique pour éviter l'entartrage des membranes osmotiques. La réponse devra être soigneusement justifiée et les étapes du raisonnement seront clairement détaillées.

Partie 3 : principe de l'osmose inverse (7 points)

A. Circuit hydraulique haute pression

On étudie dans cette partie l'osmoseur de la station de dessalement, au bord de l'Atlantique.

Osmose	Osmose inverse
	
<p>Le phénomène d'osmose est un flux spontané d'eau à travers une membrane, d'une solution diluée vers une solution concentrée. Il existe donc une différence de pression entre les deux compartiments, appelée « pression osmotique ».</p>	<p>Pour obtenir de l'eau non salée à partir de l'eau de mer, il faut s'opposer au phénomène d'osmose. Une pompe haute pression permet d'inverser le flux d'eau en exerçant une pression supérieure à la pression osmotique.</p>

On considère ici que le chlorure de sodium est le seul composant dissous dans l'eau de mer.

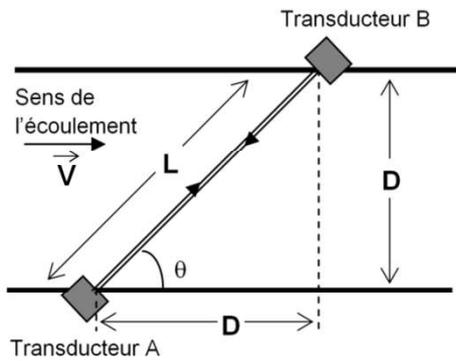
- 3.1 Connaissant les masses molaires suivantes : $M_{\text{Na}} = 23,0 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$, et à l'aide du **Document 4** (page 8) montrer que la concentration molaire C_{NaCl} de chlorure de sodium contenu dans l'eau salée alimentant la station est de $0,60 \text{ mol.L}^{-1}$.
- 3.2 L'osmoseur utilise le phénomène d'osmose inverse. Pour assurer son fonctionnement, la pression doit être égale à au moins 2,5 fois la pression osmotique.
Dans les systèmes hydrauliques, l'unité habituelle de pression est le mètre de Colonne d'Eau (mCE). À partir du **Document 5**, calculer la pression minimale de sortie de la pompe haute pression (en mCE) si la température de l'eau de mer est égale à $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 3.3 L'eau à la sortie de la pompe haute pression est injectée dans l'osmoseur par l'intermédiaire de canalisations en acier inoxydable (voir **Document 6**).
En vous aidant du **Document 7**, expliquer qualitativement et brièvement ce que sont les pertes de charge régulières dans une canalisation. Préciser comment elles dépendent de la longueur et du diamètre intérieur des canalisations.
- 3.4 Une partie du plan de raccordement de la pompe haute pression à l'osmoseur est donnée sur le **Document 6**. Sur ce plan sont indiqués les longueurs et les diamètres des différents éléments de canalisation à utiliser. Déterminer alors les pertes de charge régulières entre la pompe et l'osmoseur à l'aide du **Document 7**.

- 3.5** En tenant compte des pertes de charges calculées précédemment et de la pression minimale nécessaire au fonctionnement de l'osmoseur, on devrait avoir une pression de 735 mCE à la sortie de la pompe. En fait, pour correspondre au fonctionnement attendu, il faut imposer une pression supérieure à cette valeur. Citer au moins un paramètre du circuit hydraulique qu'il faut considérer pour justifier cette pression supérieure à 735 mCE.

B. Comparaison des différents modes de dessalement de l'eau de mer

- 3.6** À partir de l'étude des **Documents 8 à 11** (page 9), expliquer en une dizaine de lignes quels sont les avantages ou les inconvénients environnementaux et énergétiques de la technique de l'osmose inverse par rapport aux différentes techniques de dessalement par distillation. **La qualité de la rédaction et la pertinence des arguments utilisés seront pris en compte dans la notation.**

Document 1 : principe du débitmètre à ultrasons



V : vitesse moyenne de l'écoulement (en m.s^{-1})
 L : distance entre les 2 transducteurs A et B (en m)
 D : distance axiale entre les 2 transducteurs (en m)
 θ : angle entre la direction AB et la direction de l'écoulement (en $^\circ$).

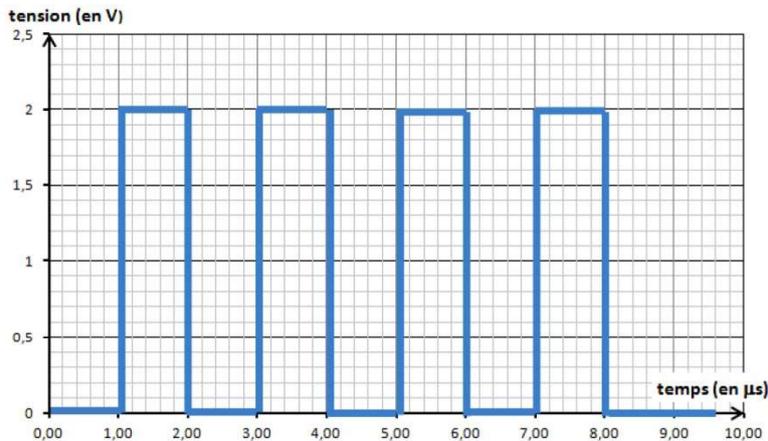
$$\theta = 45,0^\circ \quad D = 0,500 \text{ m} \quad L = 0,710 \text{ m}$$

Le débitmètre mesure la durée de propagation t_{AB} des ondes se propageant de A vers B, ainsi que la durée de propagation t_{BA} des ondes se propageant de B vers A.

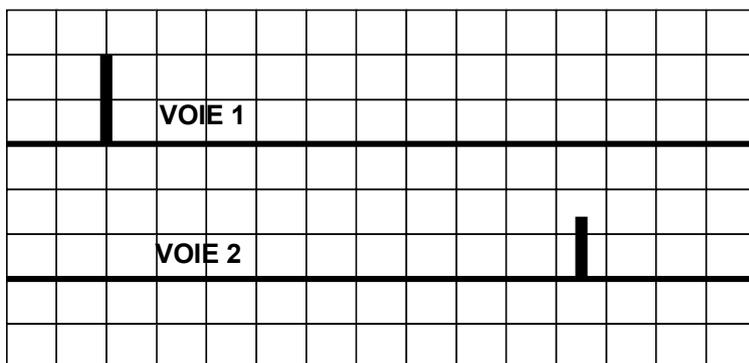
On note $\Delta t = t_{BA} - t_{AB}$ la différence des durées de propagation (en s). Elle permet de mesurer la vitesse V de l'écoulement (encadré ci-contre) :

$$V = \frac{D \times \Delta t}{t_{AB} \times t_{BA}}$$

Document 2 : profil d'une salve ultrasonore



Document 3 : enregistrement d'un signal émis par le transducteur A et reçu par le transducteur B



Base de temps :
 $50 \mu\text{s}/\text{div}$

Sensibilité verticale :
 $1 \text{ V}/\text{div}$ pour les deux voies

Document 4 : valeurs moyennes de la minéralisation de l'eau des mers et des océans

Mer Baltique	7 g.L ⁻¹
Mer Noire	20 g.L ⁻¹
Océan Atlantique	35 g.L ⁻¹
Océan Pacifique	35 g.L ⁻¹
Mer Méditerranée	39 g.L ⁻¹
Mer Rouge	40 g.L ⁻¹
Golfe Arabique	45 g.L ⁻¹
Mer Noire	270 g.L ⁻¹

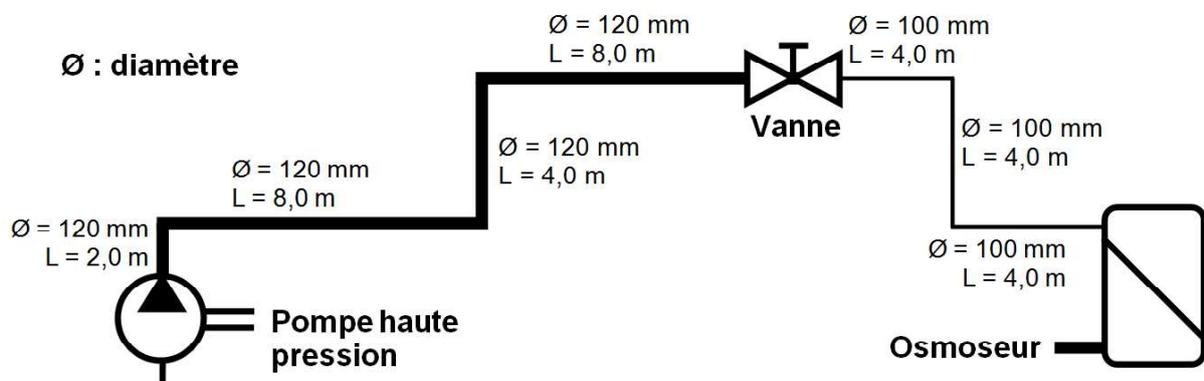
Document 5 : relation entre pression osmotique et taux de minéralisation

On considère que le chlorure de sodium est le composant unique dissous dans l'eau de mer. Dans ce cas :

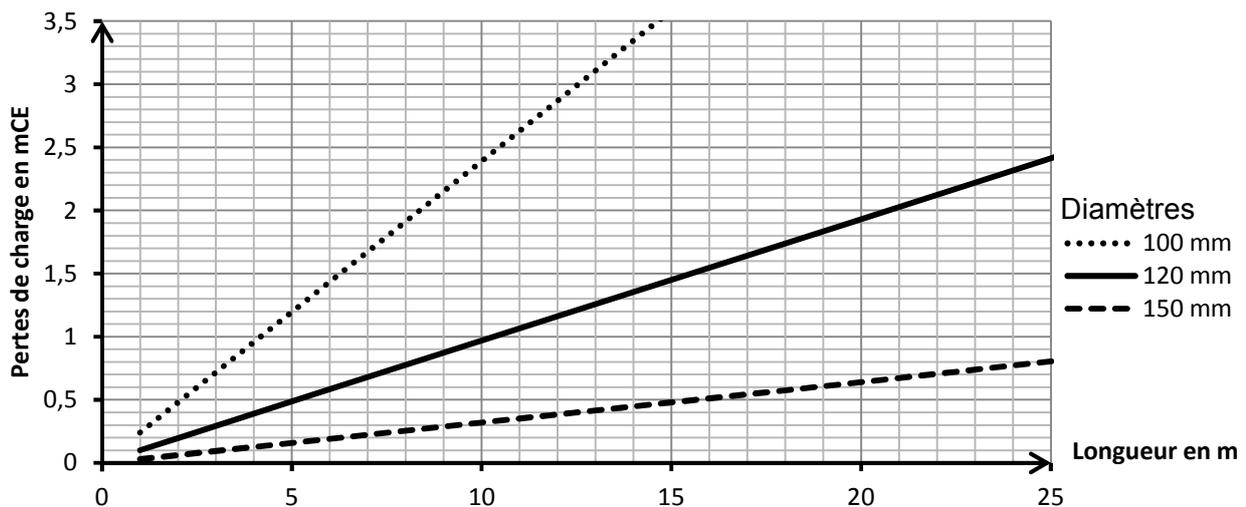
$$P = 0,2 \times C_{\text{NaCl}} \times R \times T$$

- P : pression osmotique (en mCE)
 C_{NaCl} : concentration molaire de NaCl dissout (en mol.L⁻¹)
 R : constante des gaz parfaits (R = 8,31 J.mol⁻¹.K⁻¹)
 T : température (en K) T (en °C) = T (en K) + 273

Document 6 : plan d'implantation d'une pompe associée à un osmoseur



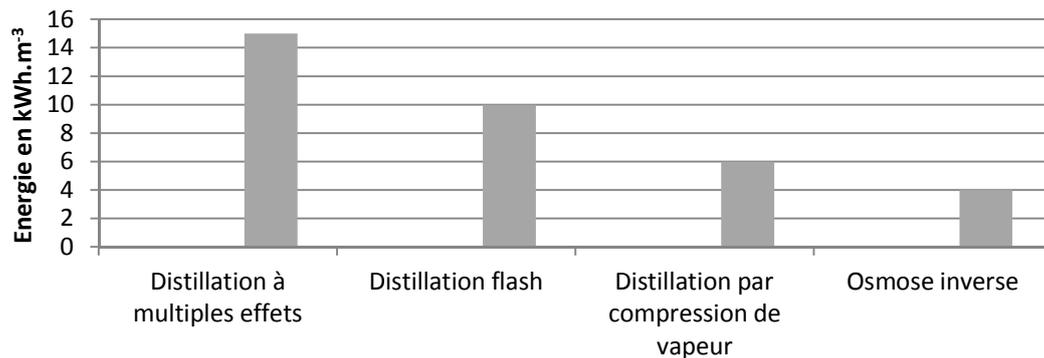
Document 7 : évolution des pertes de charge régulières en fonction de la longueur et du diamètre intérieur des canalisations



Document 8 : impact sur l'environnement des usines de dessalement

Le rejet d'eaux des usines de dessalement (saumures) avec une forte salinité et une température élevée, entraîne une diminution de la teneur en dioxygène. Cela nuit à certains organismes et entraîne un changement durable dans la diversité et l'abondance des espèces présentes dans la zone de rejet.

Document 9 : comparaison énergétique des techniques de dessalement



Document 10 : salinité des saumures

Dans les usines à procédé par distillation, le taux de conversion de l'eau de mer en eau douce est en moyenne de 10 %. Ainsi, 10 L d'eau salée permettent de produire 1 L d'eau pure. La concentration des effluents issus de ces usines est en moyenne 10 % plus concentrée que l'eau de mer. De plus, les eaux de rejets sont souvent diluées par deux avec des eaux de refroidissement (eau de mer classique), ce qui donne donc un effluent environ 5 % plus concentré que l'eau de mer naturelle.

Pour les usines à osmose inverse, la saumure a une concentration environ 30 % plus grande que l'eau de mer. Ainsi, lorsqu'elle est rejetée sans dilution, elle induit une forte augmentation de la concentration en sel dans la zone de rejet.

Document 11 : température des saumures

Pour les usines à osmose inverse, l'augmentation de température entre l'eau de mer et la saumure est relativement faible, inférieure à 1 °C en moyenne.

Pour les usines à procédé par distillation, cette élévation de température est bien plus importante, de l'ordre de 2,8 °C en moyenne, beaucoup plus dans certains cas.