

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LABORATOIRE

Épreuve d'analyse de documents scientifiques

Temps de préparation : 2 heures

Temps de présentation devant les examinateurs : 10 minutes

Échange avec les examinateurs : 15 minutes

Conversion chimico-mécanique dans une usine osmotique

Conversion chimico-mécanique dans une usine osmotique

« L'énergie osmotique est l'une des technologies les plus prometteuses. À l'échelle de la planète, l'exploitation des différences de salinité entre eaux douce et salée, dans les estuaires notamment, pourrait générer des énergies équivalentes à celles produites par plusieurs dizaines de centrales nucléaires. »

Bruno Mottet, co-fondateur et CEO de la startup Sweetch Energy implantée à Rennes.

Entretien extrait d'un article publié le 5 décembre 2019 sur

<https://www.rennes-business.com/fr/business-a-rennes/actualites/sweetch-energy/>

Problématique :

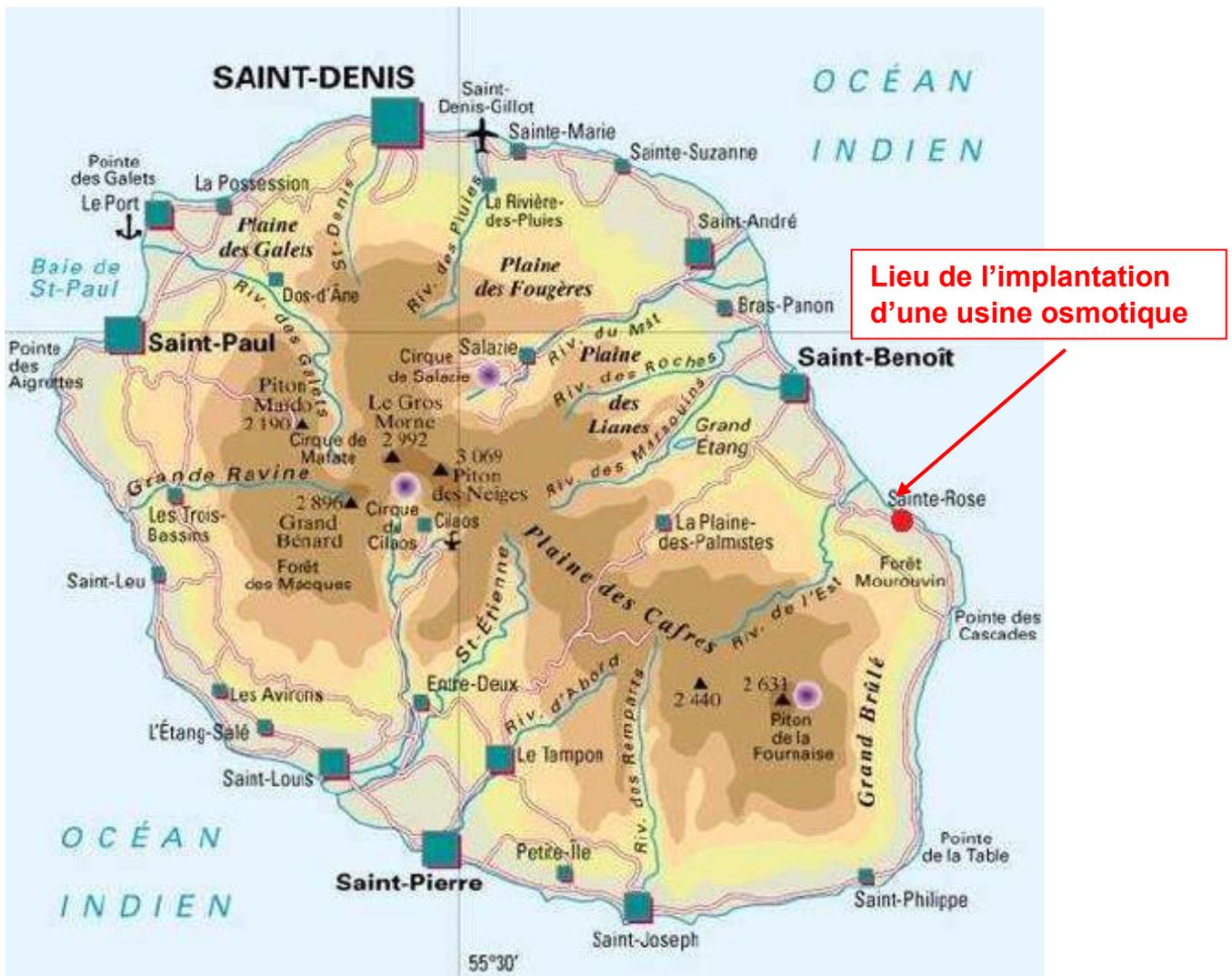
La ville de Sainte Rose sur la côte est de l'île de La Réunion s'est interrogée il y a quelques années sur l'intérêt de développer une usine osmotique en aval de la centrale hydroélectrique déjà existante au niveau de l'embouchure du fleuve de la rivière de l'est.

Comment coupler une usine osmotique à la centrale hydroélectrique de Saint Rose pour obtenir une puissance électrique de 1 MW ?

À l'aide de vos connaissances, des documents fournis et de ressources présentes sur Internet, préparer une présentation orale s'appuyant sur un diaporama et présentant :

- Le principe d'une usine osmotique.
- L'intérêt de coupler une usine osmotique à une centrale hydroélectrique.
- Le dimensionnement d'une telle usine pour fournir la puissance voulue de 1 MW.

Toute analyse quantitative sera valorisée.



CONSIGNES ET CONSEILS POUR LA PREPARATION DE L'ÉPREUVE

La présentation orale doit être conduite de manière structurée en s'appuyant sur un ou plusieurs supports informatiques qui seront vidéoprojetés (diaporama, carte mentale, etc.).

Le candidat peut écrire sur les documents, les surligner, mais il doit les remettre aux examinateurs en fin d'épreuve. Tous les supports produits (y compris les brouillons) pourront être conservés par le jury.

L'accès à Internet est autorisé tout au long de la durée de préparation, à l'exception de tout outil de communication avec une personne extérieure (courrier électronique, réseaux sociaux, etc.). Un inventaire des sites consultés sera effectué par le jury pour chaque candidat.

Les supports numériques de présentation orale seront élaborés en salle de préparation, puis transférés sur la clé USB fournie. En fin de préparation, le candidat doit rassembler et ordonner soigneusement tous les documents nécessaires à sa présentation orale.

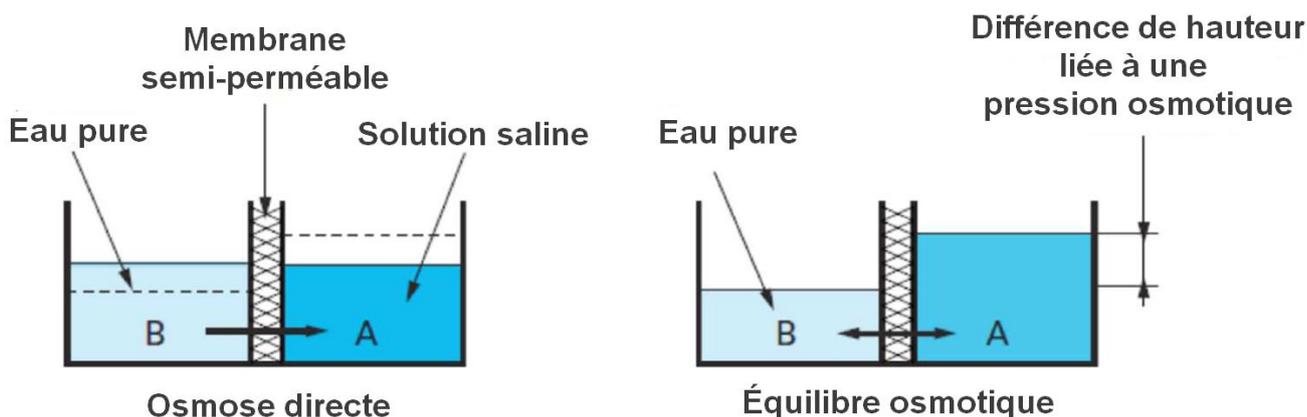
À l'issue de l'épreuve, le candidat doit remettre aux examinateurs le dossier scientifique dans son intégralité.

Document 1. Composition de l'eau de mer

La salinité de l'eau correspond à la masse de sels dissouts dans un kilogramme de solution. Au niveau de l'île de la Réunion, la salinité de l'eau de mer est d'environ $35 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Pour simplifier, on pourra considérer que cela correspond à 35 g de chlorure de sodium dissout par litre de solution.

Masses molaires : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Document 2. Principe de l'osmose



On considère deux réservoirs (*dessin de gauche*), l'un contenant de l'eau salée (noté A), l'autre ne contenant que de l'eau pure (noté B). Ces deux réservoirs sont séparés par une membrane semi-perméable ne laissant passer que l'eau. Les deux solutions étant de concentrations différentes en ions Na^+ et Cl^- , ce n'est pas un état d'équilibre.

Il y aura donc transfert de solvant du compartiment B vers le compartiment A : l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution d'eau pure vers la solution concentrée d'eau saline jusqu'à atteindre un équilibre des concentrations entre les deux réservoirs.

Dans le compartiment A, le niveau d'eau va augmenter alors que dans le compartiment B, il va diminuer.

À l'équilibre, la différence de hauteur entre les surfaces de liquide crée une différence de pression entre les deux compartiments nommée pression osmotique et notée Π .

Cette pression osmotique Π (en kPa) peut se calculer selon la formule de Van't Hoff :

$$\Pi = ([\text{Na}^+] + [\text{Cl}^-]) \times R \times T$$

avec R la constante des gaz parfaits qui vaut $8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, la température T en K et où les concentrations molaires des ions sont exprimées en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Document 3. Usine osmotique

« L'énergie osmotique désigne l'énergie exploitable à partir de la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce, les deux natures d'eau étant séparées par une membrane semi-perméable. Elle consiste à utiliser une hauteur d'eau ou une pression créée par la migration de molécules d'eau à travers ladite membrane. La pression d'eau en résultant assure un débit qui peut alors être turbiné pour produire de l'électricité.

L'énergie osmotique est aujourd'hui la moins avancée de ces énergies marines du point de vue de la recherche en raison des investissements importants nécessaires et de la faible performance des membranes actuelles. »

D'après <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-osmotique>

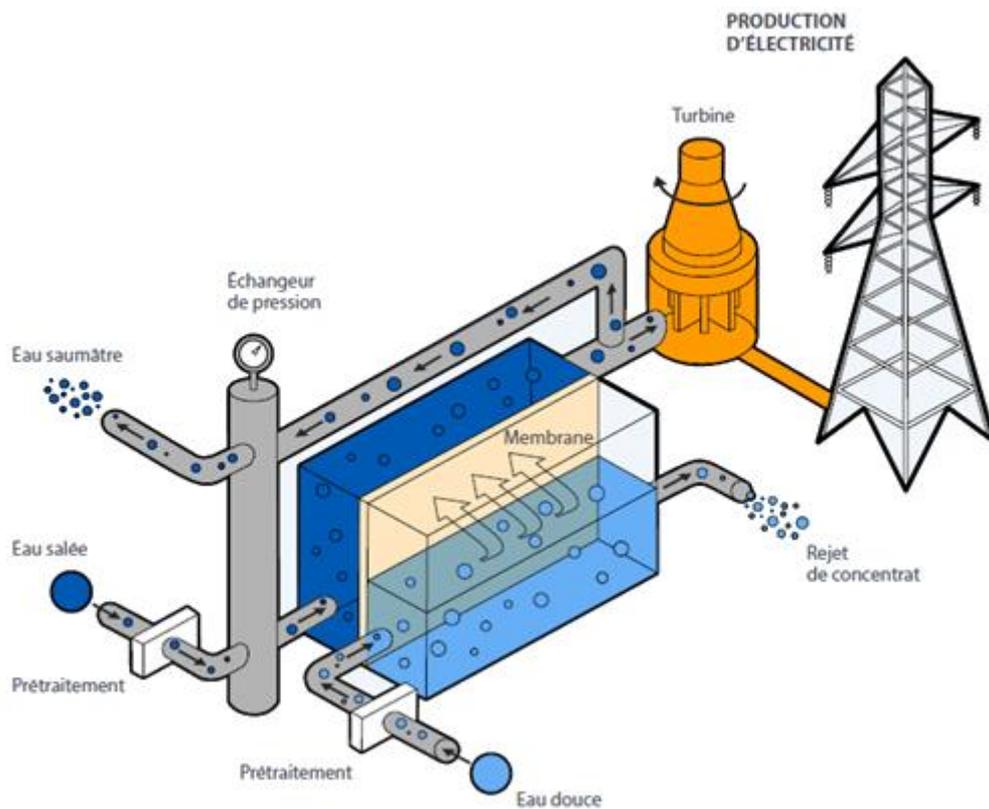
« Le 24 novembre 2009, Statkraft a mis en service le premier prototype de centrale osmotique au monde. L'inauguration officielle était présidée par Son Altesse Royale la princesse héritière Mette-Marit de Norvège. Ce prototype génère de l'énergie grâce à l'exploitation de l'énergie libérée par le mélange d'eau douce et d'eau de mer. L'énergie osmotique est une source d'énergie renouvelable et sans émissions sur laquelle Statkraft mène des recherches depuis 10 ans [...] »

<https://www.statkraft.fr/presse/Communiqués-de-presse/Communiqués-de-presse-archives/2009/le-premier-prototype-de-centrale-osmotique/>

Une centrale osmotique comporte peu d'éléments :

- Des filtres à eau douce et à eau salée qui servent à optimiser la performance de la membrane (prétraitement).
- Un échangeur de pression qui pressurise l'eau salée en entrée du compartiment, nécessaire au maintien d'une salinité élevée en aval de la membrane.
- Une membrane semi-perméable contenue dans des équipements préfabriqués appelés « modules ». Une turbine qui génère une force motrice en fonction de la pression et du débit de l'écoulement.

Près de 80% à 90% de l'eau douce puisée traverse la membrane semi-perméable.

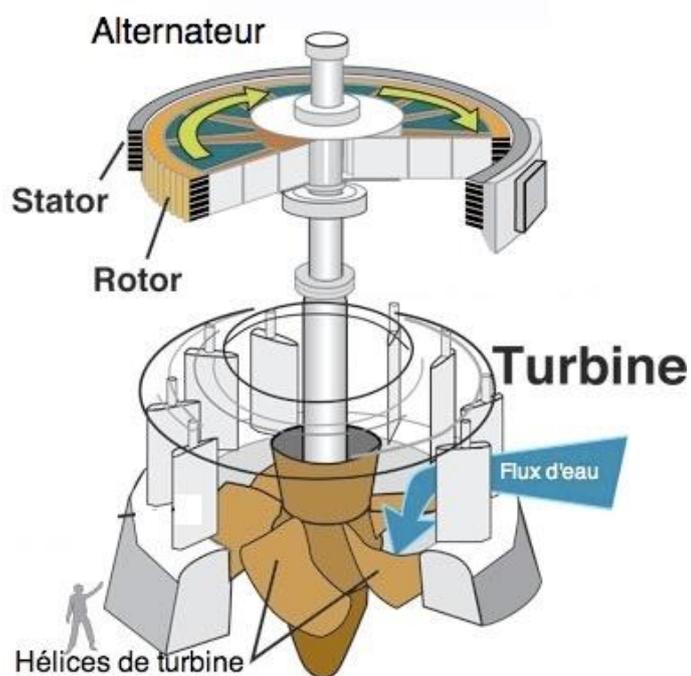


Sources : hydro Quebec

Selon la société *Statkraft*, il faudrait mélanger $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ d'eau douce à $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ d'eau de mer pressurisée à 12 bars dans une centrale osmotique pour obtenir une production électrique de 1 MW.

Document 4. Production d'électricité

Le niveau restant constant dans le réservoir en aval de la membrane, le débit d'eau y entrant, en ressort par une canalisation. Une partie de ce débit peut alors être utilisée pour produire de l'électricité en actionnant une turbine associée à un alternateur selon le même principe que celui des barrages hydroélectriques.



Production d'électricité par association turbine / alternateur

Document 5. Membranes, modules et étages de modules

Avantages et inconvénients des membranes organiques

	Avantages	Inconvénients
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible => colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes
Type Polyamide	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique.	Grande sensibilité aux oxydants Faible perméabilité Phénomènes d'adsorption
Membranes composites	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température	Mauvaise tenue au chlore

Débit d'eau à travers une membrane

Le débit d'eau pure Q_p (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) traversant la membrane peut se calculer à l'aide de la relation :

$$Q_p = L_p \times S \times (\Pi - \Delta P)$$

Avec

- S la surface de membrane traversée (en m^2),
- Π la pression osmotique (en Pa) entre les deux compartiments,
- ΔP la différence de pression (en Pa) de part et d'autre de la membrane,
- L_p la perméabilité membranaire.

Pour une membrane d'osmose : $L_p = 1 \text{ L/h/m}^2/\text{bar}$ soit $L_p = 2,2 \times 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$.

Modules de membranes à spirales

Vu les importantes surfaces d'échanges mises en jeu, des processus d'optimisation de la surface existent pour limiter l'encombrement de ces membranes. Pour ce faire, on utilise des modules de membranes à spirales enroulées. Chaque module, d'un diamètre de 30 cm et de 1 m de long, représente environ 30 m^2 de membrane.

Caractéristiques d'un module :

Longueur : 1 m environ

Diamètre extérieur : 0,30 m

Surface de membrane active : 30 m^2

Coût TTC : 900 €.

Dans les usines de dessalement où ils sont déjà en fonction, ces modules sont disposés en série dans des cylindres en matériau composite pouvant supporter de fortes pressions.

Chacun de ces longs cylindres représente un « étage ». Ces étages peuvent être disposés verticalement ou horizontalement sur plusieurs mètres de haut et de large.



Photo de plusieurs « étages » recevant les modules de membranes semi-perméables.

Caractéristiques d'un étage dans le dimensionnement d'une usine :

Nombre de modules par étage : 6

Longueur : 10 m environ (chaque étage mesure réellement 6 mètres, on prend 4 mètres de marge pour les opérations de maintenance)

Distance entre chaque étage : 50 cm en largeur et en hauteur (diamètre de 30 cm du cylindre d'un étage et espacement de 20 cm entre chaque étage).

D'après Maurel A. - 2001 - Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Paris, Tec et Doc

et
Note d'opportunités sur l'énergie osmotique avec l'utilisation du rejet d'eau de la centrale hydroélectrique de Sainte Rose, <http://www.arer.org/Opportunité-de-l-énergie-osmotique.html>