Chapitre 3 : Traitement des eaux et production d’eau potable

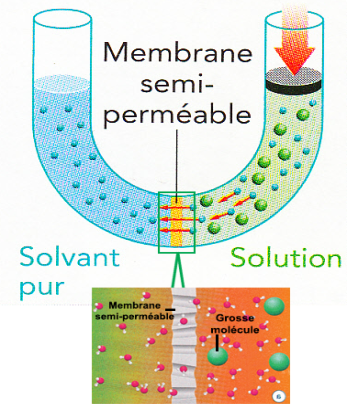
**Objectifs du chapitre:**

* Connaitre le principe de fonctionnement d’une station d’épuration.
* Mettre en œuvre un protocole expérimental simulant des étapes de traitements de l’eau dans une station.
* Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d’éliminer des métaux dans une solution.
* Connaitre différentes méthodes de désinfection de l’eau.
* Connaitre quelques critères de potabilité de l’eau.
* Connaitre le principe d’obtention d’eau potable par diffusion au travers d’une membrane et par distillation.
* Exploiter des informations concernant la façon de répondre aux besoins en eau d’un pays.

**Correction de l’activité I :Production d’eau potable par diffusion ou par distillation**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Numéro | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Légende attribuée | Potence | Thermomètre | Colonne de vigreux | Réfrigérant | Erlenmeyer  contenant le distillat | Chauffe ballon | Support élévateur | Ballon |

1. Lors d’une distillation, l’eau est portée à ébullition pour la transformer en vapeur. Celle-ci est condensée par la suite à l’aide d’un réfrigérant ou au contact d’une surface de température plus faible afin d’obtenir de l’eau pure.
2. En présence d’une solution de nitrate d’argent, les ions chlorure forment un précipité blanc qui noircit à la lumière. Pour une eau distillée, ce test est négatif car celle-ci est exempte de sels minéraux.
3. L’osmose est un phénomène spontané naturel. Si deux solutions de concentrations différentes sont versées dans deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable comme indiquée sur le schéma alors l’eau de la solution la moins concentrée migre vers la solution la solution la plus concentré. Mais l’osmose inverse n’est pas un phénomène spontané car il nécessite l’application d’une pression appelé « pression osmotique » sur le compartiment de la solution la plus concentrée. La membrane semi-perméable empêche aux grosses molécules de suivre le mouvement de l’eau comme indiqué sur le document ci-dessous.



1. Ces différents systèmes de dessalement provoquent une dégradation non négligeable de l’environnement dans les espaces où ils sont implantés. Parmi les inconvénients causés par ces deux systèmes, on peut citer :

* Consommation d’importante quantité énergétique ;
* Rejet de saumure dont la teneur en sel est assez élevée ;
* Rejet d’importante quantité de polluants atmosphériques
* Déversement d’eau à de température plus élevé que la normale.

**Correction de l’activité II : Répondre aux besoins en eau potable d’un pays**

1. ONEAD signifie Office National des Eaux et de l’Assainissement de Djibouti.
2. Les deux facteurs qui menacent l’eau à Djibouti sont la salinité et la pollution anthropique.
3. On remarque que plus la production d’eau potable de l’usine par jour est importante plus le coût de l’eau diminue.
4. En utilisant les données du tableau du Doc.4, nous pouvons calculer  les coûts de l’investissement d’une usine qui a une capacité de 50 000 m3 d’osmose inverse puis de la technique MED :

* Pour l’osmose inverse (eau de mer) : 1 jour → 1050 €

(1 an) 365 jour → x € ↔ x = 383250 €

Ainsi, l’investissement de cette technique pour 30 ans correspond 11497500 €.

* Pour la technique MED : 1 jour → 1539 €

(1 an) 365 jour → x € ↔ x = 561735 €

Ainsi, l’investissement de cette technique pour 30 ans correspond 16852050 €.

1. Le frais de construction du projet AEP financé le gouvernement chinois a nécessité en Euro:

Frais = 327000000 × 0,89 €

= 291030000 €

On remarque le frais de ce projet est 17 fois plus coûteux que celui de l’installation d’une osmose inverse et 25 fois plus coûteux que l’installation d’une usine de distillation MED.

1. En comparant le frais de l’installation de différentes techniques, nous allons choisir l’osmose inverse mais en prenant compte la survie de l’environnement, la technique la plus favorable pour la Nation est le projet AEP reliant Djibouti et Éthiopie.

**Correction de l’activité III : Élimination des métaux lourds par un traitement physico-chimique**

1. a. Les couples oxydant/ réducteur intervenant dans cette équation sont MnO/Mn2+  et Fe3+/ Fe2+.

b. MnO/Mn2+: ( MnO + 5 e**-** + 8 H+→ Mn2+  + 4 H2O)

Fe3+/ Fe2+ : ( Fe2+ + e**-** → Fe3+ ) × 5

MnO (aq) + 8 H+(aq) + 5 Fe2+ (aq) → 5 Fe3+ (aq) + Mn2+ (aq) + 4 H2O(l)

c. Ils permettent de réduire les ions permanganate en ions manganèse Mn2+. L’acide sulfurique sert à acidifier le milieu pour que la réaction ait lieu.

2. D’après le Doc.6, la solubilité des ions manganèse est très faible (presque nulle) pour pH = 11. Par conséquent, tous les ions manganèse sont précipités en hydroxyde de manganèse (II).

3. 2 OH- (aq) + Mn2+ (aq) → Mn(HO)2 (s) .

4. A la fin de l’expérience, nous obtenons une eau limpide et incolore dépourvu des ions manganèse.

**Correction de l’activité IV : Simulation des étapes d’une usine de production d’eau potable**

1. La solution d’eau brute préparée a une couleur marron (« boueuse »), inodore, possède un pH et une conductivité égale à celle de l’eau de robinet (Si l’eau brute a été préparée à partir de l’eau de robinet).
2. Les indications fournies par le pH et la valeur de la conductivité montrent que l’eau contient des ions mais aussi qu’elle a un caractère acide.
3. C’est l’ozonation qui ne peut pas être modélisée au laboratoire. Le rôle de cette étape est de désinfecter l’eau mais aussi d’améliorer la qualité de l’eau.
4. On peut le remplacer par l’eau de javel. Le rôle de l’eau de javel est d’éviter le développement des microorganismes durant son trajet dans les canalisations.
5. Elle permet d’éliminer les matières en suspensions qui ne sont pas retenues pas lors du dégrillage et tamisage.
6. Le charbon actif retient les micropolluants et les pesticides mais aussi améliore la couleur de l’eau.
7. A la fin de l’expérience, l’eau n’est pas potable. Même si l’eau a été traitée et qu’elle est limpide et incolore, l’eau doit respecter les critères de potabilité régis par la législation.

**Correction des exercices**

**Corrigé exos N°1 : Définition**

1. L'**eau douce** est une [eau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau) qui contient peu d'[ions](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ion) ou, en termes non chimiques, qui n'est pas salée. C'est l'eau des rivières, des [lacs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lac), l'[eau de pluie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_de_pluie), des [glaciers](https://fr.wikipedia.org/wiki/Glacier). Une eau douce contient généralement moins d'un gramme de matières solides dissoutes (comme les sels, métaux et éléments nutritifs) par litre.

Le volume d’eau douce est de 3 % du volume total d’eau présent à la surface de la Terre.

1. Une eau potable est une eau qui ne doit porter atteinte à la santé du consommateur. Elle doit être en conformité avec les critères de potabilités régis par la législation.
2. Une **eau saumâtre** est une [eau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau) dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'[eau de mer](https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_de_mer). La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/l alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Non, elles ne sont pas potables car leur teneur en sel est assez importante.
3. L’eau de mer est chauffée dans des enceintes fermées et produire ainsi de la vapeur d’eau qu’il suffit de condenser pour obtenir de l’eau pure.
4. L’**osmose inverse** est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de [filtrage](https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_(physique)) très fin qui ne laisse passer que les [molécules](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mol%C3%A9cule) d'[eau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau).
5. Les **eaux usées**, aussi appelées « [eaux polluées](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l%27eau) », sont constituées de toutes les eaux de nature à contaminer les milieux dans lesquels elles sont déversées. Elles peuvent être d’origine domestique, agricole ou industrielle.

**Corrigé exos N°2 : QCM**

1. b
2. a
3. a
4. b
5. b et c
6. a et c
7. c

**Corrigé exos N° 3 : QCM**

1. b.
2. a.
3. b.
4. a.

**Corrigé exos N°4 : traitement de l’eau**

1. Pour qu’une eau brute prélevé dans la Nature devienne potable, elle doit subir diverses traitements tels que :

|  |  |
| --- | --- |
| Nom de l’étape | Principe |
| Dégrillage et tamisage | Éliminer les gros déchets à l’aide des grilles et des tamis plus ou moins fines |
| Décantation | Éliminer les matières en suspensions non retenu par les mailles de tamis et de grilles |
| Filtration | * Éliminer les derniers flocons en faisant traverser dans des couches de sables * Retenir les micropolluants et les pesticides à l’aide du charbon actif |
| Désinfection | * Détruire tous les microorganismes * Éviter le développement des microorganismes dans circuits de canalisations |

1. Nous ne devons pas déverser nos eaux usées directement dans la Nature car elles peuvent contenir des polluants néfastes pour l’environnement et qui peuvent s’accumuler dans les diverses couches de la Terre. Elles peuvent aussi atteindre les nappes phréatiques et la rendre ainsi inutilisable.
2. Avant leur rejet, les eaux usées doivent être traitées :

|  |  |
| --- | --- |
| Nom de l’étape | Principe |
| Dégrillage | Éliminer les gros déchets à l’aide des grilles et des tamis plus ou moins fines |
| Dégraissage | Éliminer les graisses |
| Dessablage | Retenir les sables |
| Décantation primaire | Éliminer les matières en suspensions non retenu par les mailles de tamis et de grilles |
| Traitement par voie biologique | * Éliminer les composés carbonés et azotés à l’aide d’une flore d’une bactérienne |
| Clarification ou décantation secondaire | * Éliminer les matières en suspensions produites lors du traitement biologique |

1. Une eau est dite « épurée » car 90% des polluants qu’elles contenaient a été éliminés.

**Corrigé Exos N°5 : Résines échangeuses d’ions**

1. Les résines anioniques échangent leurs ions contre les anions ( Cl- ; NO3 -; F-)
2. Les résines cationiques échangent leurs ions contre les Cations ( Mg2+ ; Na+; K+; Ca 2+)

**Corrigé exos N°6 : Normes de potabilité**

1. cf cours
2. Absences totales de germes.
3. Si l’on s’en tient aux seuls paramètres de potabilité, une eau minérale n’est pas forcément une eau potable car la concentration de certains ions dépasse les valeurs limites. Une consommation exclusive et trop fréquente de cette eau pourrait avoir aussi des effets néfastes sur la santé

**Corrigé exos N°7 : L’eau à la maison**

1. EAU POTABLE
2. Avant son traitement, l’eau brute peut être prélevée à partir d’une nappe phréatique, d’un lac, d’un fleuve, d’une rivière, d’une source ou tout autre endroit

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Numéro de l’étape | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Nom attribuée | Dégrillage et tamisage | Coagulation et floculation | Décantation | Filtration | Ozonation | Chloration | Distribution |

1. A l’étape 1, les gros déchets sont retenus à l’aide des tamis et des grilles plus ou moins fines alors que la décantation permet d’éliminer les particules en suspension qui n’ont pas pu être retenu par les grilles ou les tamis.
2. Le chlore ajouté à ce niveau sert à protéger l’eau contre les microorganismes pouvant se développer dans les canalisations lors de la distribution.

**Corrigé exos N°8 : Osmose inverse (I)**

1. Membrane qui ne laisse passer que les [solvants](http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/chimie-solvant-2893/), comme l'eau, et non les substances en solution.
2. Elle ne contient que de l’eau pure.
3. 

**Corrigé exos N°9 : Station d’épuration**

1. Cette étape est le traitement par voie biologique car les restes des étapes d’une station d’épuration et celles d’une usine de production d’eau potable suivent les mêmes principes.
2. Le dégrillage permet d’éliminer les gros déchets à l’aide des grilles. Le dessablage sert à piéger les graviers et les sables par gravité au fond d’un bassin conique. Le déshuilage sert à éliminer les huiles et les graisses à laide d’un racleur (par injection d’air, les graisses hydrophobes remontent à la surface).
3. Dans le traitement par voie biologique, les bactéries participent à la dégradation des composés organiques qui seront transformés en ions à l’aide d’une oxygénation poussée des eaux. Le dioxygène apporté sert à développer la flore bactérienne.
4. Elles peuvent être utilisées dans l’agriculture à la place des engrais.
5. Le recyclage d’une matière est la réutilisation de cette matière à des fins ultérieures. A cet effet, l’eau épurée est réutilisée dans l’irrigation des champs.

**Corrigé exos N°10: Eau potable ou eau pure**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Numéro | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Nom attribuée | Eau salée | Évaporation de l’eau | Vitre transparente | Rayon du soleil | Liquéfaction de l’eau | Eau douce | Bassin d’eau salée |

1. L’évaporation est le passage de l’état liquide à l’état gazeux et la liquéfaction est le passage de l’état gazeux à l’état liquide.
2. Le domaine de longueur d’onde du spectre visible est compris entre 400 nm et 800 nm.
3. Oui, ce système serait fonctionnel dans un pays tel que Djibouti car le temps d’ensoleillement et la chaleur reçue est assez importante.
4. Elle augmente et si l’eau salée n’est pas renouvelée dans le bassin alors on aurait l’apparition des cristaux de sels.
5. Ce terme signifie que l’eau produite ne contient que des molécules d’eau.
6. Non, cette eau n’est pas potable car elle ne contient pas de sels minéraux nécessaire au bon fonctionnement de notre organisme.
7. Il faut la minéraliser.

**Corrigé exos N°11: Dosage spectrophotométrique des ions nitrate d’une eau**

1. 2 NO (aq) + 3 Cu (s) + 8 H+ (aq) = 3 Cu2+ (aq) + 2 NO (g) + 4 H2O (l)
2. Le tableau d’avancement de cette transformation est donné ci-dessus:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Équation de la réaction | | 2 NO (aq) + 3 Cu (s)  + 8 H+ (aq) = 3 Cu2+ (aq) + 2 NO (g) + 4 H2O(l) | | | | | |
| État du système | Avancement | Quantité de matière en mol | | | | | |
| État initial | 0 | n(NO) | n(Cu) | Ex | 0 | 0 | Ex |
| Au cours de la transformation | x | n(NO) - 2x | n(Cu)-3x | Ex | 3x | 2x | Ex |
| État final attendu | *xmax* | n(NO)-2xmax | n(Cu)-3xmax | Ex | 3 xmax | 2xmax | Ex |

Comme les ions nitrates sont le réactif limitant alors  or n(Cu2+)formées = 3 xmax

Par conséquent :

|  |
| --- |
| n(Cu2+)formées = n(NO) |

1. Cu2+ (aq) + NH(aq) → Cu(NH3)(aq)
2. La concentration en ion nitrate de chaque solution est regroupée ci-dessous :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Solution Si | S0 | S1 | S2 | S3 |
| C en mmol/L | 0,80 | 0,60 | 0,40 | 0,20 |

1. A partir de la courbe d’étalonnage, on a A = 60,24 C Cu(NH3).

Par conséquent, la solution Seau a une concentration Ceau = 4,8 × 10-4 mol/L.

1. La quantité d’ions cuivre (II) formée est : n(Cu2+)formées = C × V = 4,8 × 10-4 × 100 × 10–3

= 4,8 × 10–5 mol

1. En utilisant la réponse à la question 2, la quantité d’ions nitrate présents dans 50 mL d’eau polluée est :

n(NO) = 3,2 × 10–5 mol.

La teneur massique en ions nitrate dans l’eau polluée est :

1. Cette eau est potable car la limite fixée par la législation n’est pas dépassée (t ˂50 mg/L)

**Corrigé exos N°12: Osmose inverse (II)**

A Las Cruces, il est indispensable d’adoucir car la dureté de l’eau est très forte et dépasse la norme. Ainsi, les appareils d’osmose inverse exercent une pression osmotique de 8 atm qui est à l’adoucissement de celle-ci.

Pour savoir si ces appareils peuvent dessaler l’eau de mer, il faudrait calculer la pression osmotique ∏ nécessaire à cette action :  avec - i = 2 car l’eau de mer contient 2 ions (Na+ et Cl-) ;

* C = 0,6mol/l
* T = 27 + 273,15 = 300,15 k

∏ = 2994,5 kPa soit ∏ = 29, 6 atm

Cette valeur est supérieure à la capacité des appareils d’osmose inverse mis à Las Cruces ( 8 atm ˂ ∏+Patm) donc ils ne peuvent pas être utiliser pour un dessalement d’eau de mer.

Pour savoir si ces appareils peuvent adoucir l’eau de Las Cruces, il faudrait calculer la pression osmotique ∏ nécessaire à cette action :  avec - i = 2 car l’eau de Las Cruces contient 2 ions (Ca2+ et CO3-) ;

- tCaCO3 = TH × 10 = 56 × 10 = 5,6 × 102 mg ∙ L–1 = 0,56 g/L → C =5,6× 10-3 mol/L

* T = 27 + 273,15 = 300,15 k

∏ = 28 kPa soit ∏ = 0,28 atm

Cette valeur est inférieure à la capacité des appareils d’osmose inverse mis à Las Cruces ( 8 atm ˃ ∏+Patm) donc ils peuvent être utiliser pour adoucir l’eau de Las Cruces.

**Corrigé exos N°13: taux de chlore actif dans l’eau**

1. Pour que la désinfection à l’eau de javel soit efficace, il faut que le pH de l’eau à traiter soit inférieur à 7,3.
2. Pour diluer 10 fois la solution mère d’eau de javel, Il faut prélever **5,0 mL d’eau de javel** à l’aide d’une **pipette jaugée de 5 mL** et l’introduire dans une **fiole jaugée de 50mL**.
3. Il sert à acidifier le milieu
4. Parce que les ions ClO- doivent disparaitre dans la première réaction et doivent être le réactif limitant.
5. La concentration des ions hypochlorites dans la solution S’vaut  0,0395 mol/L et celle de la solution mère S est C = 0,395 mol/L.
6. Pour traiter 1 litre d’eau, il faut 3 mg d’ions hypochlorites.

A cet effet, nous allons chercher le volume de cette eau de javel qui correspond à 3 mg d’ions hypochlorites. Calculons ce volume : 

Application numérique : V = 0,15 mL

Ainsi : 0,15 mL d’eau de javel → 1 litre d’eau traitée

X mL d’eau de javel → 200 litre d’eau traitée ↔ 

Ainsi il faudrait 30 mL de cette eau de javel pour désinfecter 200 L d’eau.

**Type bac**

**Corrigé exos N°14 : Eau potable ou non (Bac 2014, Pondichéry)**

**Questions préalables :**

Les étudiants ont effectué des dilutions en ajoutant une solution tampon de pH = 10,4.

Or le pKa du PNP vaut 7,2.

Dans ces conditions expérimentales, pH > pKa alors le PNP est essentiellement sous forme de sa base conjuguée C6H4NO3–.

*Remarque : Ne pas confondre forme (acide ou basique) avec l’état (solide, liquide, gazeux, aqueux).*

Sur le document 2, on constate que l’absorbance maximale du PNP sous forme acide (spectre 1) est inférieure à celle du PNP sous forme basique (spectre 2).

Or l’erreur relative sur la mesure de l’absorbance est d’autant plus faible que la valeur de A est élevée.

Il est donc préférable de travailler en solution basique, comme l’ont fait les étudiants.

La longueur d’onde λmax correspondant à l’absorbance maximale pour la forme basique est légèrement supérieure à 400 nm, ce qui justifie le choix d’une radiation visible pour les mesures de l’absorbance.

**Résolution de problème**

Il s’agit de déterminer la concentration massique en PNP de l’eau à l’aide d’une étude spectrophotométrique, puis de la comparer à la valeur maximale autorisée par l’agence américaine EPA.

Les étudiants ont préparé une gamme de solutions étalons afin de mettre en œuvre la loi de Beer-Lambert.

Déterminons les concentrations massiques de ces solutions obtenues par dilution.

Solution mère : S0 Solution fille : Si

Vi voir tableau V = 100,0 mL

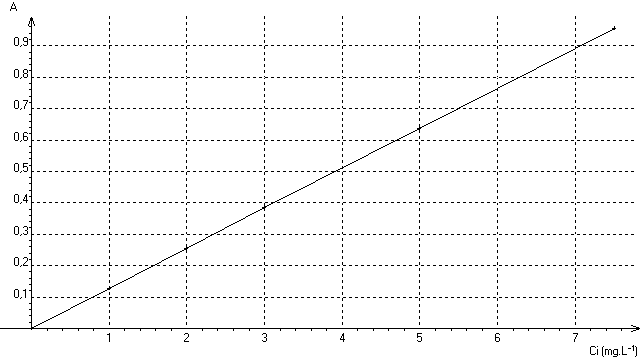
C0 = 100 mg.L-1 Ci = ?

Au cours de la dilution, la masse de PNP se conserve donc Vi.C0 = V.Ci

Ainsi Ci = , avec les valeurs numériques on a Ci =  = Vi.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Solution | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
| *Vi (mL)* | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 7,5 |
| **Ci (en mg.L-1)** | **1,0** | **2,0** | **3,0** | **5,0** | **7,5** |
| *A* | 0,128 | 0,255 | 0,386 | 0,637 | 0,955 |

À partir de leurs résultats expérimentaux, traçons la courbe représentative de l’absorbance en fonction de la concentration massique en PNP.



Cette courbe est une droite passant par l’origine, ce qui est conforme à la loi de Beer-Lambert.

Pour déterminer la concentration massique C’ en PNP de la solution S’, on lit l’abscisse du point d’ordonnée

A’ = 0,570.

On lit C’ = 4,5 mg.L-1.

Cependant si l’on tient compte de l’incertitude égale à 0,010 sur A, on peut dire que

4,4 ≤ C’ ≤ 4,6 mg.L-1.

La solution S’ a été obtenue en mélangeant 50,0 mL de solution S et 50,0 mL de solution tampon.

Solution mère : S Solution fille : S’

C = ? 4,4 ≤ C’ ≤ 4,6 mg.L-1

V = 50,0 mL V’ = 50,0 + 50,0 = 100,0 mL

C.V = C’.V’

Soit C = 



 mg.L-1

Cette solution S est 100 fois plus concentrée en PNP que l’eau avant évaporation donc   
CE = , où CE est la concentration massique en PNP de l’eau.

 mg.L-1

 µg.L-1

Le seuil fixé par l’agence américaine de protection environnemental EPA est 60 µg.L-1. La valeur obtenue expérimentalement pour l’eau étudiée est supérieure à ce seuil, **elle n’est donc pas potable sur le continent américain.**

Mais cette eau serait déclarée potable au Brésil, et enfin non potable en Europe !