

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2018

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 8

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1 sur 11 à 11 sur 11, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I : La mission Proxima (11 points)

L'astronaute Thomas Pesquet s'est envolé dans l'espace pour une mission de longue durée, appelée mission Proxima, lors de laquelle il a mené à bien de multiples activités scientifiques et pédagogiques. Pendant six mois, son domicile et son lieu de travail se sont trouvés à environ 400 kilomètres au-dessus de la Terre.

Thomas Pesquet a décollé à bord d'un lanceur russe Soyouz du cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan en novembre 2016, et est revenu sur Terre en mai 2017. Il était accompagné du cosmonaute russe Oleg Novitsky et de l'astronaute de la NASA Peggy Whitson.

D'après un site internet (Proxima - CNES)

L'exercice comporte deux parties A et B indépendantes.

A. À la rencontre de la station spatiale internationale (ISS).

Les systèmes de lanceurs Soyouz mettent des modules habités et des satellites en orbite autour de la Terre depuis près d'un demi-siècle. Ce sont les lanceurs les plus utilisés au monde.

Lors du décollage du lanceur Soyouz, quatre propulseurs d'appoint assurent la poussée pendant les deux premières minutes de vol avant d'être largués par le lanceur. Au bout d'environ dix minutes de vol, à une altitude de près de 220 km, le module Soyouz est mis en orbite autour de la Terre, puis après des corrections orbitales, il rejoint l'orbite de la station spatiale internationale à une altitude d'environ 400 km.

Données :

- rayon de la Terre : $R_T = 6380$ km ;
- altitude de l'orbite basse du module Soyouz : $h_S = 220$ km ;
- période orbitale du module Soyouz sur son orbite basse : $T_S = 88,66$ min ;
- altitude de l'orbite haute du module Soyouz : $H_S = 320$ km ;
- altitude de la station spatiale internationale (ISS) : $h_{ISS} = 400$ km.

L'étude est conduite dans le référentiel géocentrique ayant pour origine le centre de la Terre et dont les axes pointent vers trois étoiles lointaines. Ce référentiel est supposé galiléen.

1. Orbites du module Soyouz et de l'ISS

Au bout de 10 min de vol, le module Soyouz atteint son orbite basse considérée comme circulaire.

- 1.1.** En utilisant la période orbitale du module Soyouz, déterminer la valeur de sa vitesse V_S sur son orbite basse.

On considère que le module Soyouz et la station spatiale internationale (ISS) ont des orbites circulaires.

- 1.2.** Démontrer l'expression suivante en explicitant votre démarche :

$$\frac{T_S^2}{(R_T + h_S)^3} = \frac{T_{ISS}^2}{(R_T + h_{ISS})^3}$$

- 1.3.** Déterminer la valeur de la vitesse V_{ISS} de la station spatiale internationale sur son orbite.

2. Orbite de transfert

Pour que le module Soyouz puisse rejoindre l'orbite de l'ISS des corrections orbitales sont nécessaires. On s'intéresse à présent à une première étape permettant au module Soyouz de se trouver sur une orbite haute plus proche de l'ISS.

À un instant donné, lorsque le module Soyouz passe par le point A de son orbite basse, on modifie la valeur de sa vitesse, sans changer sa direction, jusqu'à une valeur V_1 . Le module Soyouz suit alors une trajectoire elliptique appelée orbite de transfert (**figure 1**).

Lorsque le module Soyouz arrive au point B de son orbite de transfert, il a une vitesse V_2 . On modifie à nouveau la valeur de sa vitesse, sans changer sa direction, jusqu'à la valeur finale V_F qui permet au module de rester sur une orbite haute.

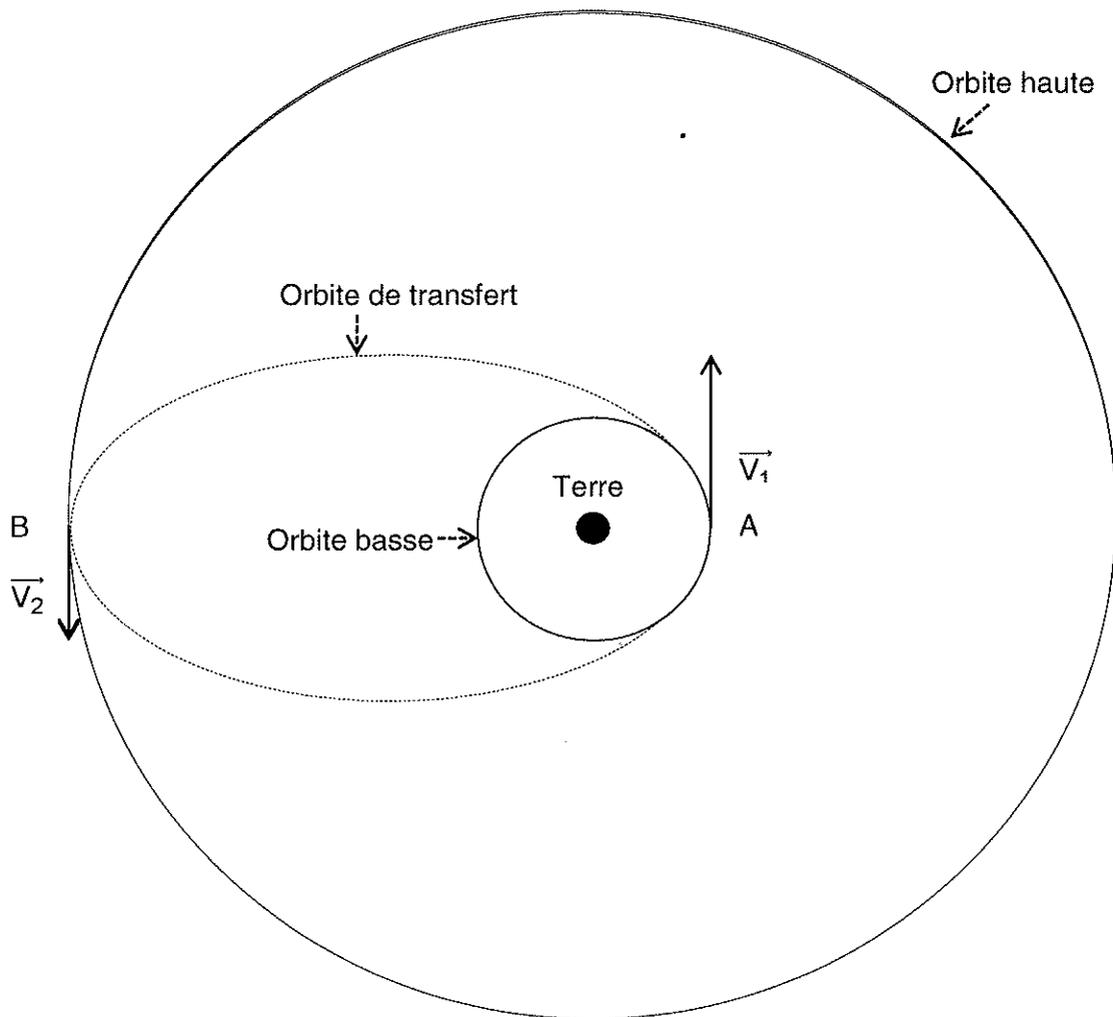


Figure 1 : Représentation de l'orbite de transfert du module Soyouz (sans souci d'échelle)

2.1. Énoncer la deuxième loi de Kepler. En quoi cette loi permet-elle de montrer que $V_2 < V_1$?

L'expression de l'énergie potentielle E_p du module Soyouz, définie à une constante près, est la suivante :

$$E_p = - \frac{G \cdot m \cdot M_T}{R_T + h}$$

avec m : la masse du satellite ;
 $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$: la constante de gravitation ;
 $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$: la masse de la Terre ;
 h : l'altitude du vaisseau Soyouz.

2.2. Montrer que l'énergie potentielle $E_p(B)$ du module Soyouz au point B est plus grande que l'énergie $E_p(A)$ au point A.

- 2.3. Justifier que l'énergie mécanique du module Soyouz sur son orbite de transfert entre les points A et B ne varie pas.
- 2.4. En déduire si la variation d'énergie cinétique entre A et B est positive ou négative. Ce résultat est-il en accord avec la 2^{ème} loi de Kepler ?
- 2.5. Exprimer l'énergie mécanique du module Soyouz au point A en fonction de m , G , M_T , h_S , R_T et V_1 .
- 2.6. Sachant que la valeur de la vitesse V_1 est égale à $7,80 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$, déterminer la valeur de la vitesse V_2 . Ce résultat est-il en accord avec les résultats précédents ?

3. Ajustement final

Que faut-il faire ensuite pour que le module Soyouz atteigne la station spatiale ISS ?

B. Échographe télé-opéré

4. Ondes ultrasonores

L'une des expériences mise en œuvre au cours de la mission Proxima, appelée ECHO met en œuvre un échographe télé-opéré depuis la Terre.

L'objectif est d'illustrer le principe du fonctionnement d'un échographe.

Les ondes sonores ou ultrasonores sont des ondes mécaniques longitudinales.

- 4.1. Préciser la signification du mot longitudinale.
- 4.2. Citer une différence qui existe entre une onde ultrasonore et une onde sonore.

La mesure de la célérité des ondes ultrasonores dans un milieu donné peut être réalisée en laboratoire. Le principe de l'expérience peut être schématisé comme indiqué ci-dessous (**figure 2**).

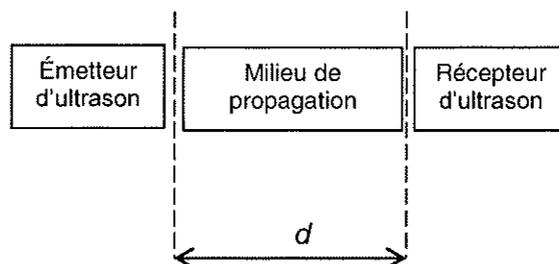


Figure 2 : Principe de l'expérience de mesure de célérité d'une onde

À l'instant $t = 0$ s, l'émetteur émet une salve ultrasonore. Le signal présenté à la **figure 3** est celui reçu par le récepteur lorsque le milieu de propagation est l'air.

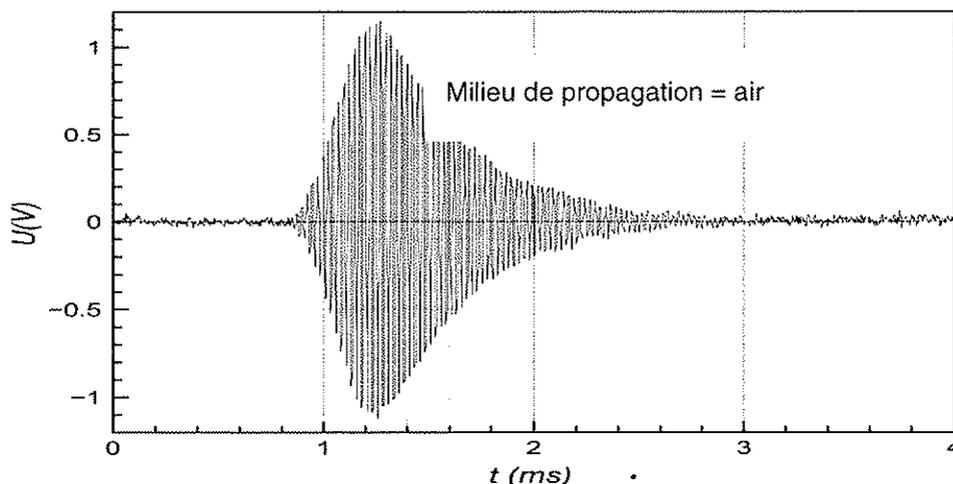


Figure 3 : Signal reçu par le récepteur (1ère expérience)

4.3. Déterminer la valeur du retard entre l'émission et la réception.

4.4. Sachant que la distance d entre l'émetteur et le récepteur vaut 30,0 cm, en déduire la valeur de la célérité des ondes ultrasonores dans ce milieu.

4.5. Commenter le résultat en regard de la nature du milieu de propagation.

5. Principe de l'échographie.

Afin de procéder à la télédétection, on place maintenant l'émetteur et le récepteur côte à côte, face à un écran réfléchissant.

L'origine des dates $t = 0$ s est encore l'instant de l'émission. Pour le signal reçu par le récepteur, on obtient le résultat visible sur la **figure 4**.

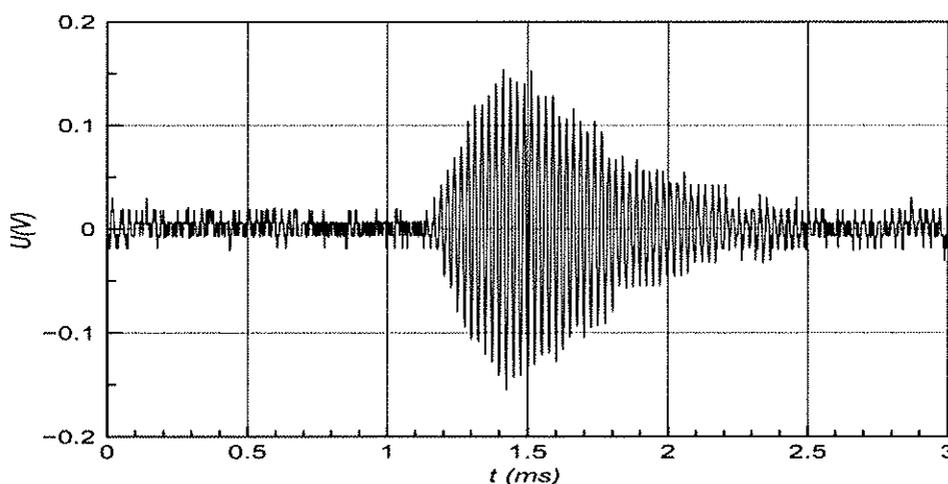


Figure 4 : Signal reçu par le récepteur (2ème expérience)

Déterminer la valeur de la distance émetteur-écran.

6. Application de l'échographie

L'échographie est fondée sur cette méthode de télédétection. La sonde envoie des ultrasons dans le corps du patient qui sont réfléchis à chaque fois qu'ils rencontrent un changement de milieu. Ces échos peuvent alors être reçus par la même sonde.

À l'aide d'une échographie, on peut déterminer la taille d'un organe à l'intérieur d'un corps humain. La **figure 5** présente le principe de l'échographie.

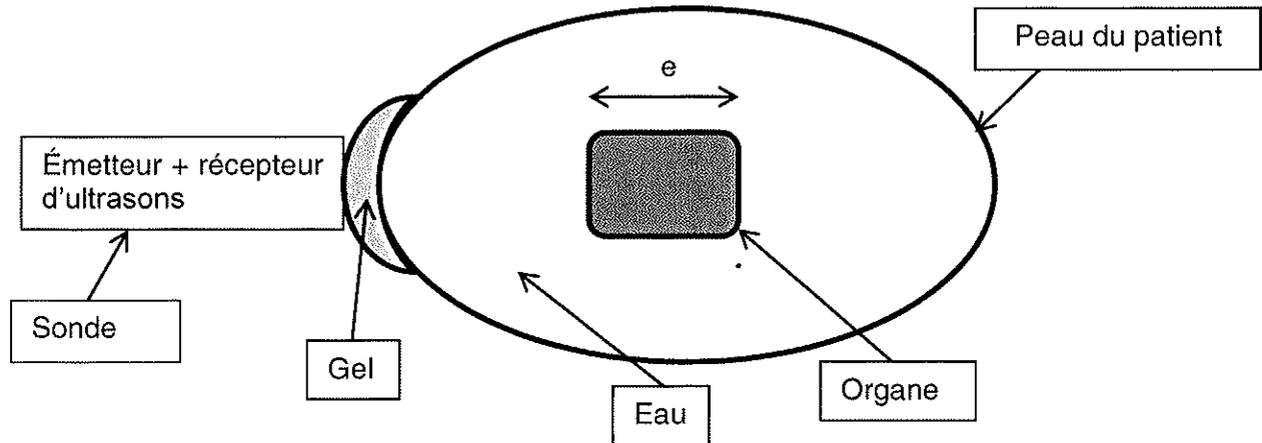


Figure 5 : Principe de l'échographie

L'épaisseur de gel est négligeable.

À l'instant $t = 0$ s, la sonde émet des ultrasons. On visualise deux échos aux instants $t_1 = 100 \mu\text{s}$ et $t_2 = 150 \mu\text{s}$

- 6.1. À quoi correspondent les deux échos reçus par la sonde à deux instants différents t_1 et t_2 ?
- 6.2. Sachant que la célérité des ondes ultrasonores dans l'organe est égale à $1,54 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$, déterminer la valeur de la taille e de l'organe étudié. Commenter le résultat obtenu.

Le candidat est invité à consigner ses pistes de recherche même si celles-ci n'ont pas abouti.

- 1.1. Donner la formule semi-développée des deux composés A formés avec le cyanure d'hydrogène (HCN) après la dégradation enzymatique de chacun des deux hétérosides représentés sur la **figure 1**.
- 1.2. Le spectre RMN du composé A, obtenu très majoritairement à la fin de la dégradation enzymatique, présente un seul signal sous forme d'un singulet. Parmi les deux composés formés, identifier le composé A majoritaire. Argumenter votre réponse.
- 1.3. En déduire quel hétéroside est principalement présent dans la racine de manioc.

2. Titrage iodométrique des ions thiosulfate

Plusieurs kits antidotes existent pour les traitements d'urgence des intoxications par les cyanures. Un de ces kits comporte, entre autres, des fioles de solution aqueuse de thiosulfate de sodium pour injection contenant 12,5 g de thiosulfate de sodium dans 50 mL d'eau stérile (le pH est ajusté lors de la fabrication par addition d'acide borique et/ou d'hydroxyde de sodium).

L'objectif de cette partie est de proposer un protocole expérimental afin de doser les ions thiosulfate contenus dans les fioles du kit antidote.

Données :

- formule brute du thiosulfate de sodium : $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;
- masse molaire atomique ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : $M(\text{I}) = 126,8$; $M(\text{Na}) = 23,0$; $M(\text{S}) = 32,1$; $M(\text{O}) = 16,0$;
- en présence d'empois d'amidon, seul le diiode donne une solution de couleur bleue en solution aqueuse ;
- matériel et produits disponibles : une solution aqueuse de diiode de concentration molaire $C_1 = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; eau distillée ; fioles jaugées de 50,0 mL et de 100,0 mL ; pipettes jaugées de 10,0 mL et de 20,0 mL ; burette graduée de 25,0 mL ; bécher ; agitateur magnétique muni de son barreau aimanté.

En solution aqueuse, le diiode I_2 réagit avec les ions thiosulfate incolores selon la réaction d'oxydoréduction suivante :



- 2.1. Sachant que l'ion thiosulfate est un réducteur, écrire les deux couples oxydant / réducteur mis en jeu lors de cette réaction chimique.
- 2.2. Écrire les demi-équations associées à ces couples qui permettent de retrouver l'équation de la réaction.
- 2.3. Calculer la quantité de matière de thiosulfate de sodium présent dans une fiole de solution du kit antidote.
- 2.4. À l'aide du matériel disponible, proposer un protocole de titrage de la solution aqueuse de thiosulfate de sodium présente dans la fiole du kit antidote.

Ce protocole devra faire apparaître l'observation du repérage de l'équivalence ainsi qu'un calcul du volume de diiode versé à l'équivalence, ce dernier devant être pertinent.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter correctement la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti

EXERCICE III : CHOIX D'UN ADOUCISSEUR D'EAU (5 points)

Une eau dite « dure » présente de nombreux inconvénients pour un usage domestique en favorisant la formation de dépôts de tartre qui endommagent les appareils électroménagers et diminuent leurs performances.

Il est possible de réduire la dureté de l'eau en installant un adoucisseur d'eau sur la canalisation d'alimentation en eau froide. Ces appareils diminuent la concentration en ions calcium et magnésium responsables de l'entartrage. Dans l'adoucisseur l'eau du réseau (non adoucie) circule à travers des résines échangeuses d'ions qui captent les ions calcium et magnésium et les échangent contre des ions sodium.

À la sortie de l'appareil, l'eau n'est plus « dure », elle est devenue "douce".

Au fur et à mesure du passage de l'eau du réseau, les résines se saturent en ions calcium et magnésium ; il est alors nécessaire de procéder à une régénération. La régénération est déclenchée par un automatisme inclus dans la tête hydraulique de l'adoucisseur.

D'après : <http://www.comapwt.com>

L'objectif de cet exercice est de choisir un adoucisseur d'eau adapté à une consommation et une dureté de l'eau données.

Document n°1 : Dureté d'une eau

La dureté d'une eau – ou titre hydrotimétrique (TH) – correspond à la concentration molaire totale en ions calcium et magnésium. Elle s'exprime en degré hydrotimétrique français (*symbole* : °f) :

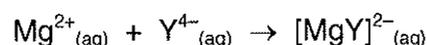
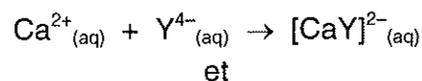
$$\text{TH (°f)} = 10 \times ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) \text{ avec les concentrations molaires exprimées en mmol.L}^{-1}$$

Les eaux peuvent être classées selon leur degré hydrotimétrique. Celui-ci n'est pas un critère de potabilité d'une eau.

Document n°2 : Titrage des ions calcium et magnésium

Le titre hydrotimétrique (TH) d'une eau peut être déterminé à partir du titrage simultané des ions magnésium et calcium par une solution d'EDTA, noté par la suite $\text{Y}^{4-}_{(\text{aq})}$.

Les réactions, supports du titrage des ions calcium et magnésium, peuvent être modélisées à l'aide des équations suivantes :



Le repérage de l'équivalence nécessite l'utilisation d'un indicateur coloré, le noir ériochrome T (NET), et le contrôle du pH à l'aide d'une solution tampon pH = 10.

Document n°3 : Protocole pour déterminer la dureté de l'eau arrivant au foyer

Un technicien réalise le titrage de 20,0 mL de l'eau du réseau d'alimentation par une solution d'EDTA de concentration molaire $c = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ après avoir ajouté 50 mL d'une solution tampon pH 10 et quelques gouttes de solution de noir ériochrome T dans le milieu réactionnel. Il obtient un volume équivalent $V_E = 12,1 \text{ mL}$.

Document n°4 : Dimensionnement des adoucisseurs

Volume de la résine, exprimé en litre, en fonction du type d'eau et du nombre de personnes dans le foyer.

| Type d'eau \ Nombre de personnes dans le foyer | Nombre de personnes dans le foyer | | | | |
|--|-----------------------------------|------|------|------|-------|
| | 1 à 2 | 3 | 4 | 5 | 6 à 8 |
| Eau faiblement dure < 18 °f | 8 L | 8 L | 8 L | 18 L | 18 L |
| Eau moyennement dure 18 à 27 °f | 8 L | 8 L | 18 L | 18 L | 26 L |
| Eau dure 27 à 36 °f | 8 L | 18 L | 18 L | 26 L | |
| Eau très dure 36 à 45 °f | 18 L | 18 L | 26 L | | |
| Eau extrêmement dure 45 à 50 °f | 18 L | 26 L | | | |

Source : <http://www.comapwt.com>

Document n°5 : Adoucisseurs commerciaux

| Modèle d'adoucisseur | Volume de résine (L) | Pouvoir d'échange ($\text{m}^3 \cdot \text{°f}$) |
|----------------------|----------------------|--|
| 01 | 8 | 44 |
| 02 | 18 | 99 |
| 03 | 26 | 138 |

Le « cycle » d'un adoucisseur est le volume d'eau adoucie qu'il est possible d'obtenir entre deux régénérations. Ce cycle, exprimé en m^3 , se calcule par la formule simple suivante :

$$\text{Cycle} = \text{Pouvoir d'échange de l'appareil} / \text{Dureté de l'eau}$$

Une famille de quatre personnes qui consomme en moyenne 500 L d'eau par jour fait appel à un technicien pour l'aider à choisir l'adoucisseur le plus adapté à sa situation.

Question préliminaire

Effectuer un schéma légendé du montage utilisé lors du titrage effectué par le technicien en précisant les solutions présentes.

Problème

Rédiger un rapport détaillé concernant l'installation d'un adoucisseur dans ce foyer de quatre personnes en :

- déterminant la dureté de l'eau analysée ;
- justifiant le choix de l'adoucisseur le plus adapté au foyer ;
- indiquant le nombre moyen de jours entre deux cycles de régénérations pour l'adoucisseur choisi.

La démarche suivie et les calculs nécessaires nécessitent d'être correctement présentés. Les calculs numériques seront menés avec rigueur.

Toutes prises d'initiative et toutes tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.