

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2021**

## **SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE**

### **Sciences physiques et chimiques en laboratoire**

**Mardi 8 juin 2021**

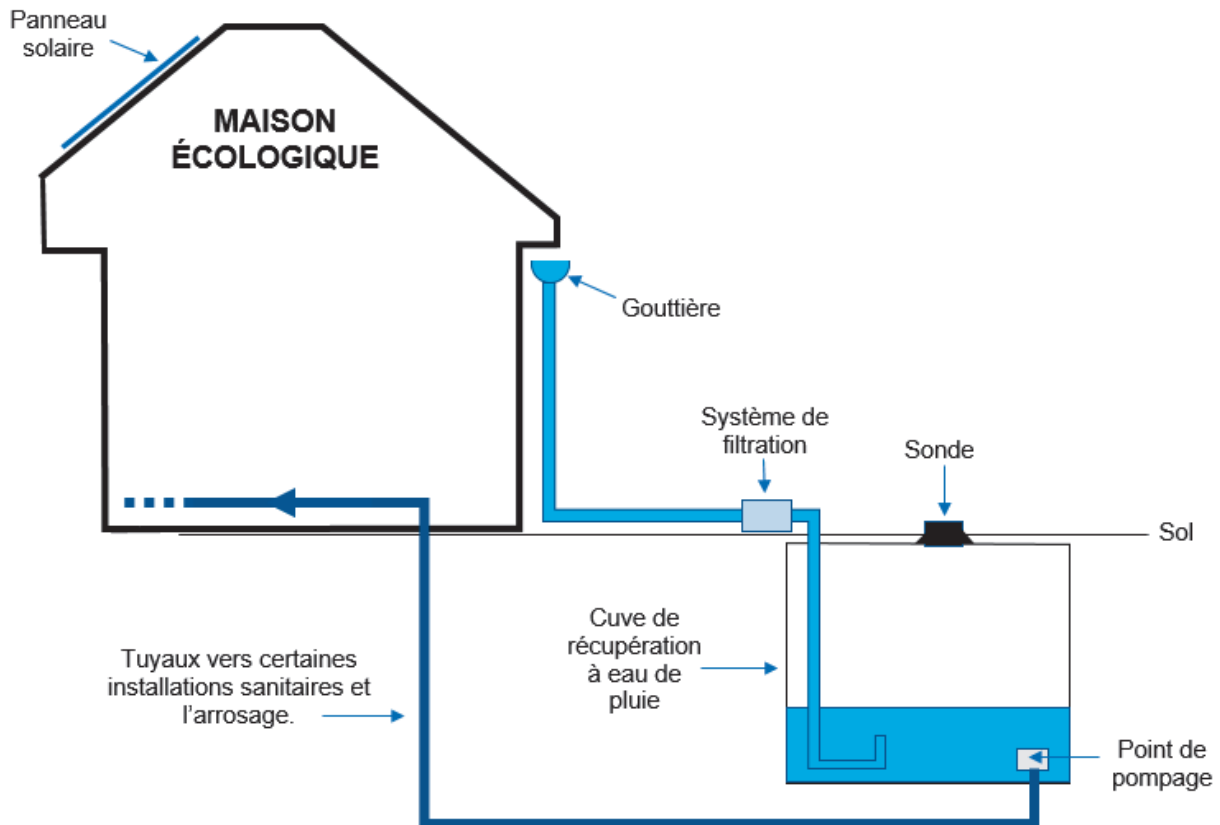
Durée de l'épreuve : **3 heures**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.*

Dès que ce document vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce document comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.  
La page 13/13 est à rendre avec la copie.

**Le candidat traite 3 parties : la partie 1 puis il choisit 2 parties parmi les 3 proposées.**

# La maison écologique



La récupération de l'eau de pluie, l'analyse de l'eau du robinet et l'installation d'un chauffe-eau solaire sont liées aux problématiques écologiques et seront donc étudiées dans ce sujet.

Le candidat devra traiter obligatoirement la **PARTIE 1** et choisira de composer deux parties parmi les **PARTIES A, B et C**.

Les quatre parties sont indépendantes.

| PARTIE  | Titre   | Partie du programme abordée   | Barème          |
|---|---|---|-----------------|
| <b>Partie 1</b><br>commune à tous les candidats | Étude du volume d'eau de pluie dans la cuve                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ondes mécaniques</li> <li>Mesures et incertitudes</li> </ul> | <b>8 points</b> |
| <b>Partie A</b>                                 | Étude de l'acidité de l'eau de pluie récupérée dans la cuve | <ul style="list-style-type: none"> <li>Acides et bases</li> </ul>                                   | <b>6 points</b> |
| <b>Partie B</b>                                 | Analyse des ions chlorure dans l'eau du robinet             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Titrage avec un indicateur coloré</li> </ul>                 | <b>6 points</b> |
| <b>Partie C</b>                                 | Étude du fluide caloporteur dans le chauffe-eau solaire     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Puissances thermiques</li> <li>Synthèse chimique</li> </ul>  | <b>6 points</b> |

**PARTIE 1 commune à tous les candidats (8 points)**  
**Étude du volume d'eau de pluie dans la cuve.**

Le **document 1** est une carte des précipitations annuelles de 2019 et le **document 2** présente la relation permettant de calculer le volume maximal d'eau de pluie récupérable  $V_{\max}$  d'une toiture suivant la région. La maison écologique étudiée se situe à Auxerre.

**Document 1 : précipitations annuelles 2019.**



Les valeurs indiquées correspondent aux précipitations annuelles  $p$  en millimètres.

*Source : d'après météoFrance.fr*

**Document 2 : détermination du volume maximal d'eau de pluie.**

$$V_{\max} = p \times S_{\text{toit}} \times K_T \times K_F$$

- $V_{\max}$  : volume maximal récupérable d'eau de pluie par an en mètre cube ( $\text{m}^3$ )
- $p$  : précipitation annuelle en mètre (m)
- $S_{\text{toit}}$  : surface du toit en mètre carré ( $\text{m}^2$ )
- $K_T$  : coefficient de restitution (sans unité)
  - toit en tuiles ou ardoises en pente :  $K_T = 0,90$
  - toit ondulé en pente :  $K_T = 0,80$
  - toit plat ou toit terrasse :  $K_T = 0,60$
- $K_F$  : coefficient de rendement hydraulique du système de filtration (sans unité)  
 $K_F = 0,90$  pour un système bien entretenu

*Source : d'après ecologie.gouv.fr*

**1.1.** Calculer le volume maximal  $V_{\max}$  d'eau de pluie récupérable par an pour un toit ondulé en pente bien entretenu de surface  $S_{\text{toit}} = 50 \text{ m}^2$  à Auxerre.

**1.2.** Calculer combien de fois la cuve pourra être remplie par an.

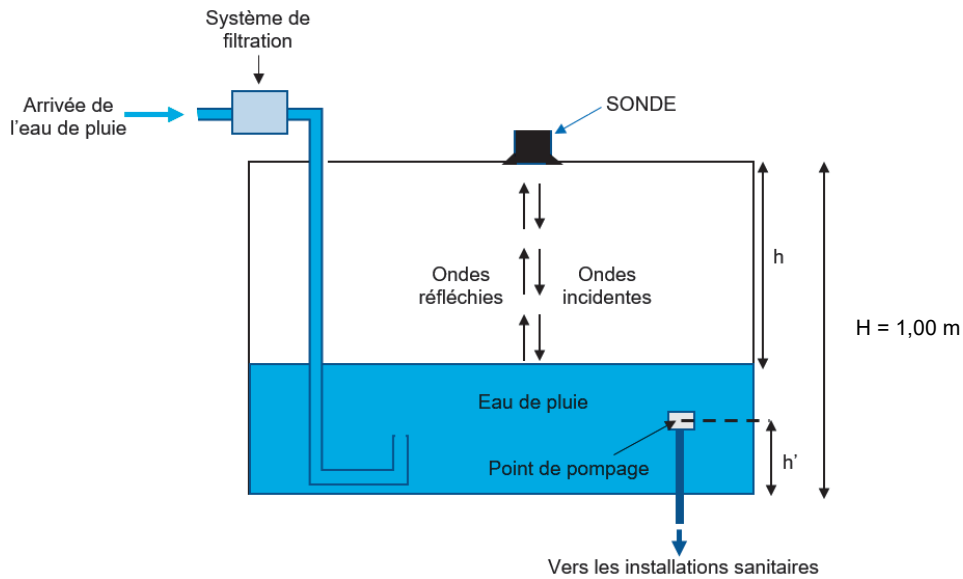
Données

Hauteur de la cuve :  $H = 1,00 \text{ m}$

Surface de la base de la cuve :  $S_{\text{cuve}} = 5,00 \text{ m}^2$

Pour vérifier le volume d'eau contenu dans la cuve de récupération, celle-ci est équipée d'un capteur présenté dans les **documents 3 et 4**.

**Document 3 : schéma de la cuve à récupération d'eau de pluie.**



**Document 4 : présentation d'une sonde commerciale.**

La sonde commerciale étudiée utilise des ondes sonores pour déterminer le niveau de liquide dans une cuve ou un bassin.

Cette sonde est un transducteur piézoélectrique fonctionnant successivement en émetteur et en récepteur.

La sonde émet vers le liquide de courtes salves de durée  $\tau = 0,50$  ms.

Les salves sont constituées d'impulsions de fréquence 40 kHz. Elles sont réfléchies par la surface du liquide et reçues par la sonde.



Prix : environ 1 000 euros

**Caractéristiques techniques**

- Plage de mesures dans les liquides jusqu'à 15 m
- Incertitude-type du constructeur sur la mesure de la hauteur  $h$  :  $u(h) = 10$  mm
- Grande robustesse, bonne étanchéité
- Grande résistance aux vibrations
- Connectivité Bluetooth avec application

Source : d'après le site du constructeur

1.3. D'après le **document 4**, indiquer si les ondes utilisées par le capteur sont des ondes électromagnétiques ou des ondes mécaniques. Justifier la réponse.

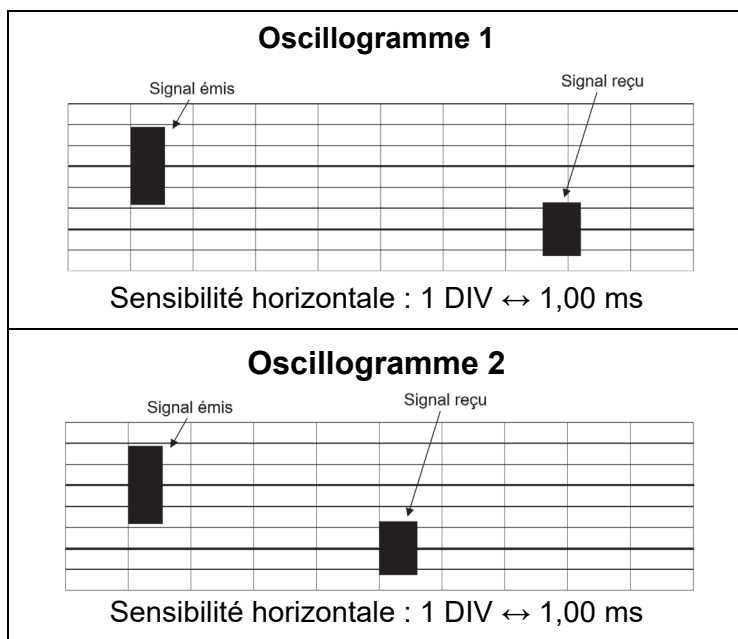
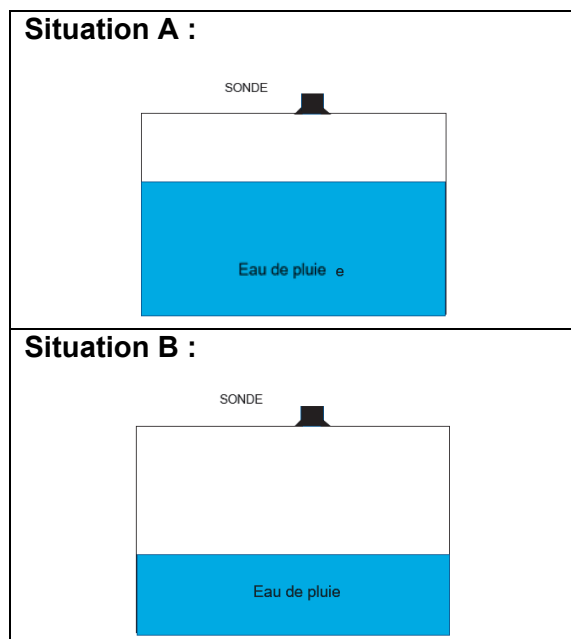
1.4. À l'aide du **document 5**, indiquer à quel domaine ces ondes appartiennent.

**Document 5 : domaines associés aux fréquences des ondes sonores.**

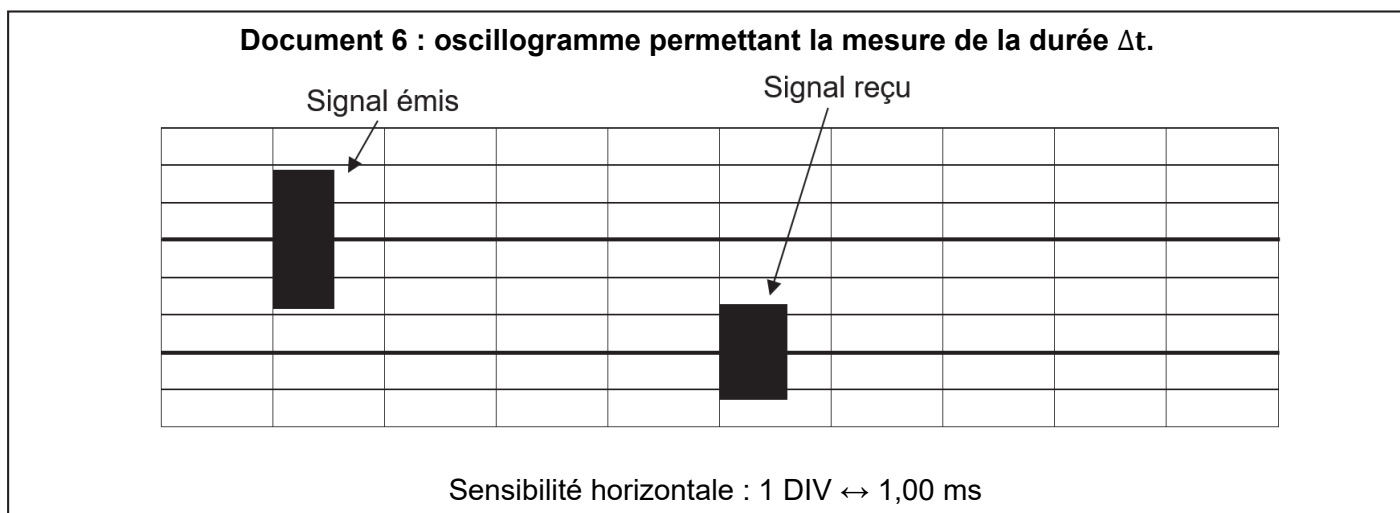


La sonde permet d'obtenir des mesures de hauteur. Les oscillogrammes présentés ci-dessous en sont une illustration.

1.5. Associer à chaque **situation A et B** présentée ci-dessous l'**oscillogramme 1 ou 2** qui lui correspond. Expliquer votre démarche.



1.6. À l'aide du **document 6**, déterminer la durée  $\Delta t$  entre l'émission et la réception du signal pour la cuve étudiée.



1.7. À l'aide du **document 3**, vérifier alors que la hauteur  $h$  mesurée entre le capteur et la surface de l'eau vaut 68,0 cm.

Donnée

Célérité du son dans l'air à 25 °C :  $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

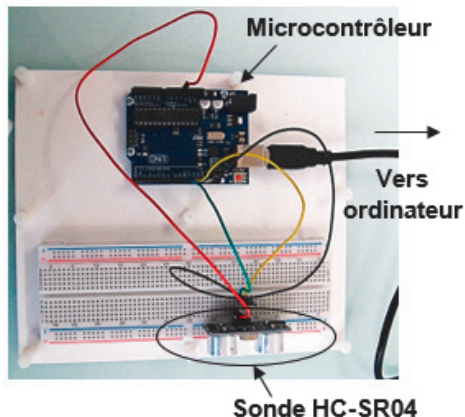
Un point de pompage, dans la cuve, permet d'envoyer l'eau de pluie récupérée dans les installations sanitaires. Ce point de pompage est situé à une hauteur  $h' = 25,0 \text{ cm}$  du fond de la cuve (**document 3**).

1.8. Vérifier alors si le niveau de l'eau de pluie récupérée est suffisant pour le système de pompage.

Une autre sonde est testée en laboratoire dans des conditions expérimentales similaires à l'utilisation de la sonde commerciale dans la cuve. La sonde testée est une sonde HC-SR04 pilotée par un microcontrôleur relié à un ordinateur.

L'expérimentation réalisée permet de déterminer la précision de cette nouvelle sonde.

**Document 7 : présentation du dispositif sonde HC-SR04 piloté par un microcontrôleur relié à un ordinateur.**



Prix du dispositif (sans ordinateur) : environ 50 euros

**Programme du microcontrôleur :**

```

1  int trig = 11;           // émetteur sur la PIN 11
2  int echo = 12;          // récepteur sur la PIN 12
3  float h;                // placer l'objet à la distance h, en cm
4  float v =340;           // vitesse du son dans l'air, en m/s
5  float t;                // durée entre l'émission et la réception, en microsecondes
6  void setup() {
7      pinMode(emetteur,OUTPUT);
8      pinMode(recepteur,INPUT);
9      Serial.begin(9600);
10     digitalWrite(emetteur,LOW);
11 }
12 void loop() {
13     digitalWrite(emetteur,HIGH); // émettre des ultrasons
14     delayMicroseconds(2);        // émission d'un pulse ultrason pendant 2 microsecondes
15     digitalWrite(emetteur,LOW); // arrêter d'émettre
16     t=pulseIn(recepteur,HIGH);
17     h=v*t/2/10000 ;              // calcul de h avec prise en compte des conversions
18     Serial.println(h,1);         // afficher h sur le moniteur série avec un chiffre après la virgule
19     Serial.print("h (en cm)= "); // écrire h (en cm) sur l'ordinateur
20     delay(1000);
21 }

```

1.9. Justifier la relation de la ligne 17 du programme du microcontrôleur présenté dans le document 7.

Les résultats des mesures de la hauteur h par la sonde HC-SR04 sont présentées dans le tableau ci-dessous :

|                 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n° de la mesure | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| h (cm)          | 68,0 | 65,5 | 68,0 | 68,0 | 67,9 | 67,9 | 68,0 | 68,0 |

|                 |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| n° de la mesure | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| h (cm)          | 68,0 | 67,9 | 67,8 | 68,0 | 67,9 | 67,9 | 68,0 |

**Document 8 : détermination de l'incertitude-type sur la mesure de la hauteur h.**

$$u(h) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

$u(h)$  : incertitude-type sur la mesure de la hauteur h

$\sigma_{n-1}$  : écart type expérimental

n : nombre de mesures effectuées

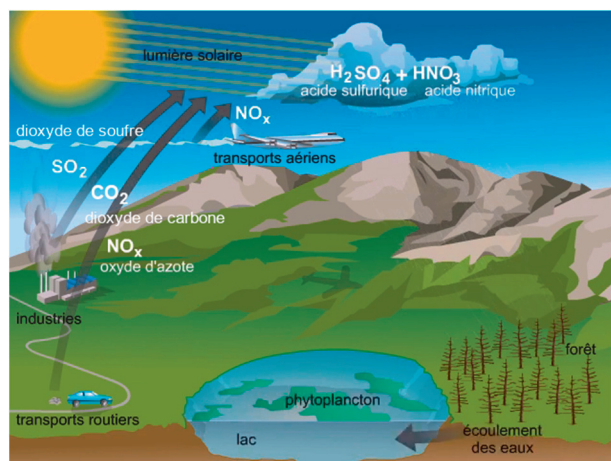
- 1.10.** Calculer l'incertitude-type  $u(h)$  sur la mesure de la hauteur h avec un écart type expérimental  $\sigma_{n-1}$  de 0,64 cm.
- 1.11.** Proposer au minimum 2 avantages et 2 inconvénients de chaque sonde dans le cadre d'une utilisation dans une cuve de récupération.

## PARTIES au choix du candidat (12 points)

Vous indiquerez sur votre copie les 2 parties choisies : A ou B ou C

### PARTIE A : étude de l'acidité de l'eau de pluie récupérée dans la cuve. (6 points)

D'après le site Larousse.fr, l'eau de pluie est naturellement acide car le dioxyde de carbone présent dans l'air réagit avec les gouttes d'eau des nuages pour former de l'acide carbonique. Cette légère acidité permet de dissoudre certains sels minéraux présents dans le sol et nécessaires à la croissance des végétaux. La production de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote par l'Homme est responsable d'une augmentation de l'acidité des eaux de pluie qui peut être néfaste pour la faune, la flore et les bâtiments.



Parmi les différentes espèces chimiques intervenant dans l'acidité de l'eau de pluie, on ne s'intéresse dans la suite qu'au dioxyde de carbone.

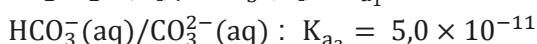
Deux couples acides/bases sont alors mis en jeu :  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$  et  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})/\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ .

**A.1.** Citer un moyen d'estimer le pH d'une solution.

**A.2.** Justifier que le dioxyde de carbone dissout  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$  est un acide au sens de Brønsted.

**A.3.** Établir le diagramme de prédominance mettant en jeu les deux couples acide/base :  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$  et  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})/\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ .

Données : les deux constantes d'acidité des couples acide/base à 25 °C.



**A.4.** La valeur du pH de l'eau de pluie récupérée dans la cuve est de 4,8 à 25° C. Déterminer alors l'espèce chimique prédominante dans cette eau de pluie.

**A.5.** Établir l'équation de la réaction du dioxyde de carbone dissout  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$  avec l'eau.

**A.6.** En déduire l'expression littérale de la constante d'acidité  $K_{a_1}$  liée à la réaction du dioxyde de carbone dissout  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$  avec l'eau.

D'après un rapport d'office parlementaire du sénat sur la qualité de l'eau, une eau de pluie est considérée comme très acide dans le cas où  $\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{eq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]_{\text{eq}}} < 0,040$ .

**A.7.** Calculer le quotient  $\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{eq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]_{\text{eq}}}$  pour l'eau de pluie récupérée et conclure sur son caractère très acide.



## **PARTIE B : analyse des ions chlorure dans l'eau du robinet. (6 points)**

Dans une maison, les canalisations peuvent subir une corrosion en présence d'une forte concentration d'ions chlorure. Cette partie traite du dosage par titrage colorimétrique effectué en laboratoire afin de déterminer la concentration en ions chlorure dans l'eau de robinet.

### **Document 9 : présentation du dosage par titrage des ions chlorure**

#### **Mode opératoire utilisé au laboratoire pour l'analyse des ions chlorure dans un échantillon d'eau du robinet**

- Introduire dans un bécher un volume  $V = 50,00$  mL d'eau du robinet (ramené à  $\text{pH} = 7$ ).
- Ajouter 3 gouttes d'une solution jaune de chromate de potassium à 10 %.
- Ajouter petit à petit une solution de nitrate d'argent au moyen d'une burette graduée.
- Stopper l'ajout de la solution de nitrate d'argent dès l'apparition d'un précipité de teinte orangée.

#### **Données**

|   |  |
|---|--|
| Équation de la réaction support du titrage  | $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$                    |
| Couleur du précipité de chlorure d'argent $\text{AgCl}(\text{s})$                         | Blanc  |
| Équation de précipitation du chromate d'argent $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$        | $2\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$ |
| Couleur du précipité de chromate d'argent   | Rouge  |
| Concentration en quantité de matière de l'ion argent dans la solution de nitrate d'argent | $[\text{Ag}^+] = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$                                   |
| Masse molaire du chlore   | $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$   |
| Volume versé à l'équivalence  | $V_e = 4,6 \text{ mL}$   |

Les ions argent précipitent préférentiellement avec les ions chlorure plutôt qu'avec les ions chromate.

#### **Pictogrammes de danger du chromate de potassium**



**B.1.** Dans le cadre du mode opératoire présenté dans le **document 9**, donner le nom de la verrerie à utiliser pour prélever les 50,00 mL d'eau de pluie à tester.

**B.2.** Schématiser le dispositif expérimental de ce dosage par titrage. Légender le matériel et les espèces chimiques engagées.

**B.3.** Expliquer le rôle de la solution de chromate de potassium.

D'après l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) la norme concernant la concentration en masse des ions chlorure dans l'eau du robinet provenant du réseau d'eau de la ville ne doit pas excéder en moyenne  $250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**B.4.** Vérifier que la concentration en quantité de matière des ions chlorure  $[\text{Cl}^-]$  dans l'eau du robinet respecte cette norme.

**B.5.** À l'aide du **document 9**, exposer deux risques liés à la mise en œuvre de ce mode opératoire et proposer deux moyens de manipuler en sécurité.

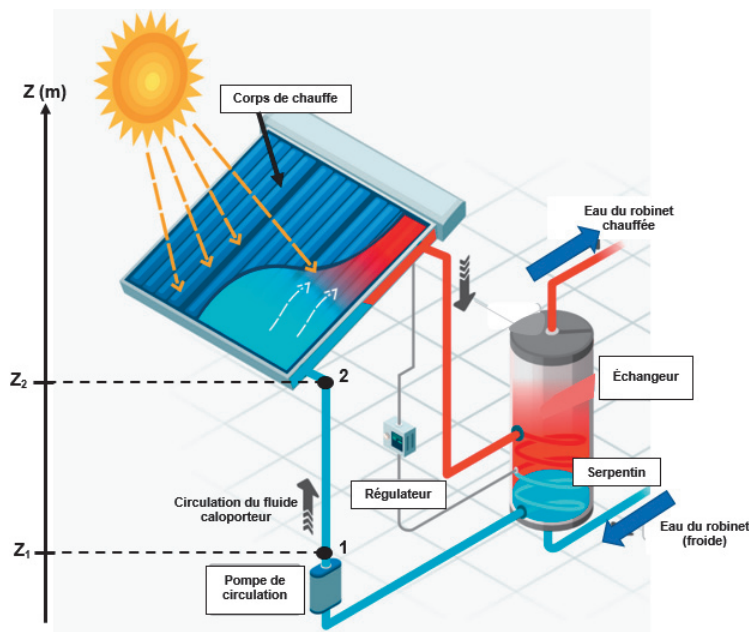
## **PARTIE C : étude du fluide caloporteur dans le chauffe-eau solaire. (6 points)**

Un chauffe-eau solaire est installé pour permettre de chauffer l'eau du robinet dans la cuve afin de couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire dans la maison.

### **Document 10 : principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire.**

Le chauffe-eau solaire est constitué d'un échangeur dans lequel l'eau du robinet est chauffée au contact de serpentins remplis d'un fluide caloporteur chaud.

Le fluide caloporteur est mis en mouvement grâce à une pompe de circulation, de l'échangeur jusqu'au corps de chauffe situé sur le toit de la maison, pour y être chauffé. De l'énergie provenant du Soleil est absorbée par ce corps de chauffe qui la transfère au fluide caloporteur.

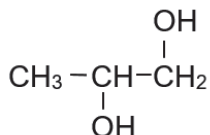


Source : d'après [panneausolaire.com](http://panneausolaire.com)

### **C.1. Étude du propylène glycol.**

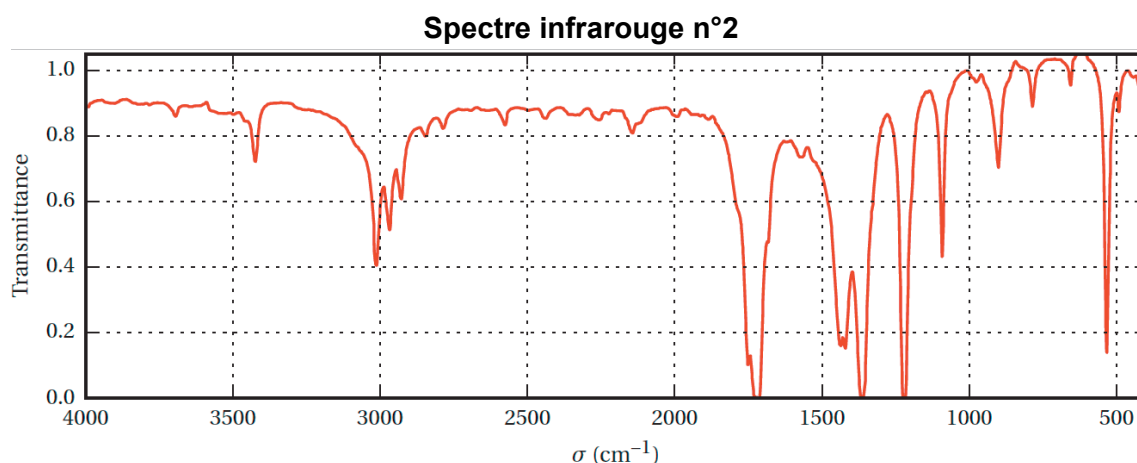
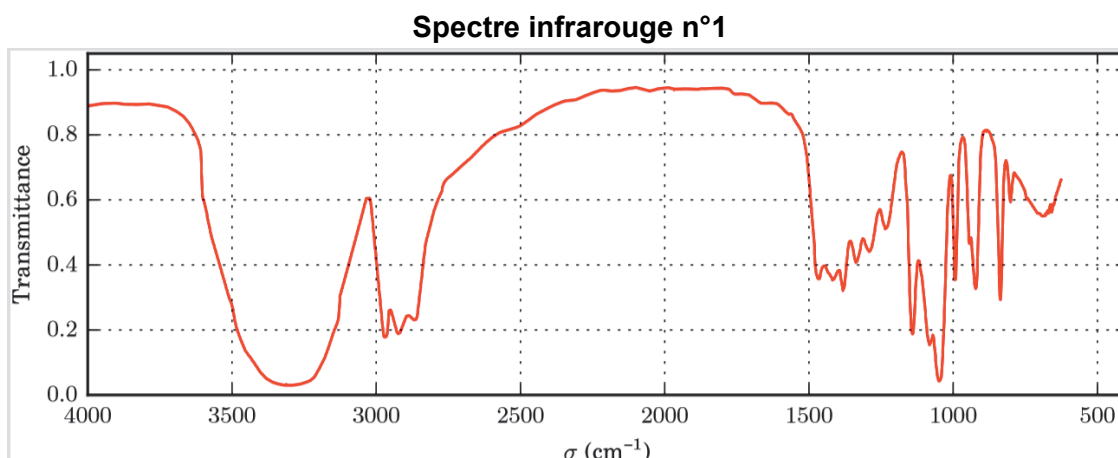
L'un des constituants du fluide caloporteur utilisé dans le chauffe-eau solaire est le propylène glycol.

#### **Document 11 : formule semi-développée du propylène glycol.**



C.1.1. À l'aide du **document 11**, nommer la fonction doublement présente dans la molécule de propylène glycol.

C.1.2. Choisir parmi les **spectres infrarouges n°1 et n°2** ci-dessous celui qui correspond à la molécule de propylène glycol. Justifier le choix effectué en utilisant les tables de données spectroscopiques présentées dans le **document 12**.



**Document 12 : tables de données spectroscopiques.**

| Type de liaison                                      | Nombre d'ondes $\sigma$ ( $cm^{-1}$ ) |
|--|---------------------------------------|
| O–H alcool lié (liaisons H)                          | 3200 – 3600 (large)                   |
| C <sub>tri</sub> –H (carbone trigonal : alcènes ...) | 3000 – 3100                           |
| C <sub>tét</sub> –H (carbone tétraédriques)          | 2800 – 3000                           |
| O–H acide carboxylique (liaisons H)                  | 2500 – 3200 (large)                   |
| C=O ester  | 1735 – 1750                           |
| C=O aldéhyde-cétone                                  | 1700 – 1740                           |
| C=O acide carboxylique                               | 1700 – 1725                           |

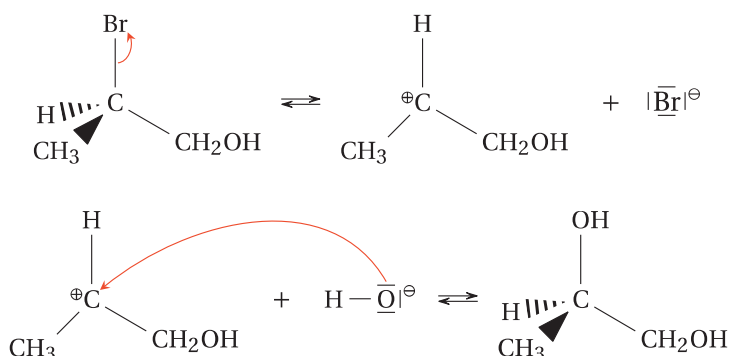
Le propylène glycol peut être obtenu par substitution nucléophile à partir du 2-bromopropan-1-ol dont voici l'équation bilan de la réaction :



Deux mécanismes réactionnels ( $S_N1$  et  $S_N2$ ) de cette réaction chimique sont étudiés.

Le premier mécanisme est présenté dans le **document 13**.

**Document 13 : étapes du mécanisme réactionnel de la substitution nucléophile  $S_N1$ .**



C.1.3. Déterminer à l'aide de la théorie VSEPR la géométrie du carbocation formé lors du mécanisme réactionnel de la substitution nucléophile  $S_N1$  présentée dans le **document 13**.

Le deuxième mécanisme est étudié dans la question suivante.

C.1.4. Sur le **document-réponse** fourni en annexe à **rendre avec la copie**, représenter les flèches courbes du mécanisme réactionnel de la substitution nucléophile  $S_N2$ .

Données

Électronégativités : brome :  $\chi(\text{Br}) = 2,96$  carbone :  $\chi(\text{C}) = 2,55$  hydrogène :  $\chi(\text{H}) = 2,20$

**C.2. Étude du chauffage du fluide caloporteur.**

C.2.1. Citer la source primaire d'énergie apportée au chauffe-eau.

C.2.2. Nommer le mode de transfert d'énergie mis en jeu entre le corps de chauffe et le fluide caloporteur.

Le fluide caloporteur circule avec un débit volume  $D_V$  constant de  $20,0 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ . Une sonde mesure une température  $\theta_e$  du fluide à l'entrée du corps de chauffe de  $14,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , et une température  $\theta_s$  du fluide à la sortie du corps de chauffe de  $35,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . On appelle  $m$  la masse de fluide caloporteur circulant dans le corps de chauffe pendant une durée de une heure.

C.2.3. Calculer la valeur de la masse  $m$ .

Données

Capacité thermique massique du fluide caloporteur :  $c = 3900 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Masse volumique du fluide caloporteur :  $\rho_{\text{fluide}} = 1,02 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

C.2.4. À l'aide de la relation  $Q = m \times c \times (\theta_s - \theta_e)$ , calculer l'énergie  $Q$  circulant dans le corps de chauffe pendant une durée de une heure.

C.2.5. En déduire la puissance thermique reçue  $P_{\text{reçue}}$  par le fluide caloporteur dans le corps de chauffe.

La puissance  $P$  absorbée par le corps de chauffe est de  $830 \text{ W}$ .

C.2.6. Vérifier que le rendement du corps de chauffe a une valeur voisine de  $55 \%$ .

C.2.7. Interpréter la valeur du rendement obtenu.

**Document-réponse**  
**(à rendre avec la copie)**

Question **C.1.4.**

Mécanisme réactionnel de la substitution nucléophile S<sub>N</sub>2 à compléter avec les flèches courbes :

