

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement de Spécialité

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

**L'usage des calculatrices est autorisé,
conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999.**

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

EXERCICE I : L'ALANINE EN INFRAROUGE (7 points)
--

L'alanine, acide aminé créé dans les cellules musculaires, a été isolée dès 1879. Actuellement, elle peut être synthétisée et utilisée dans la fabrication de produits pharmaceutiques. Les spectroscopies IR et RMN s'avèrent alors des techniques privilégiées pour analyser les produits obtenus.

Données :

Masses molaires atomiques : $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$;
 $M(\text{Br}) = 80 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

Bandes d'absorption IR de quelques liaisons :

Liaison	Nombres d'onde (cm^{-1})
C-H	2850 - 3020
C=O (aldéhyde)	1720 - 1740
C=O (acide carboxylique)	1700 - 1720
C=O (ester)	1735 - 1750
C=O (acide aminé)	1590 - 1600
O-H (acide carboxylique)	2500 – 3300 (bande large)
O-H (alcool)	3200 - 3550
N-H (amine)	3250 - 3400
N-H (acide aminé)	2600 - 3100

1. L'alanine

La formule semi-développée de l'alanine est :

$$\text{NH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} - \underset{\text{O}}{\text{C}} - \text{OH}$$

1.1. Molécule d'alanine.

1.1.1. Justifier que le nom donné à l'alanine en nomenclature officielle est l'acide 2-aminopropanoïque.

1.1.2. Pourquoi l'alanine présente-t-elle des stéréoisomères ?

Donner leur représentation de Cram et préciser le type de relation de stéréoisomérisation qui les lie.

1.2. Synthèse de l'alanine.

L'une des voies de synthèse de l'alanine consiste à faire réagir l'ammoniac avec l'acide 2-bromopropanoïque. Le bilan de la synthèse peut être modélisé par la réaction chimique d'équation :



1.2.1. Déterminer la catégorie de cette réaction.

1.2.2. Dans les conditions opératoires choisies pour la synthèse, le rendement est de 80 %, l'ammoniac, réactif le moins onéreux, étant mis en excès.

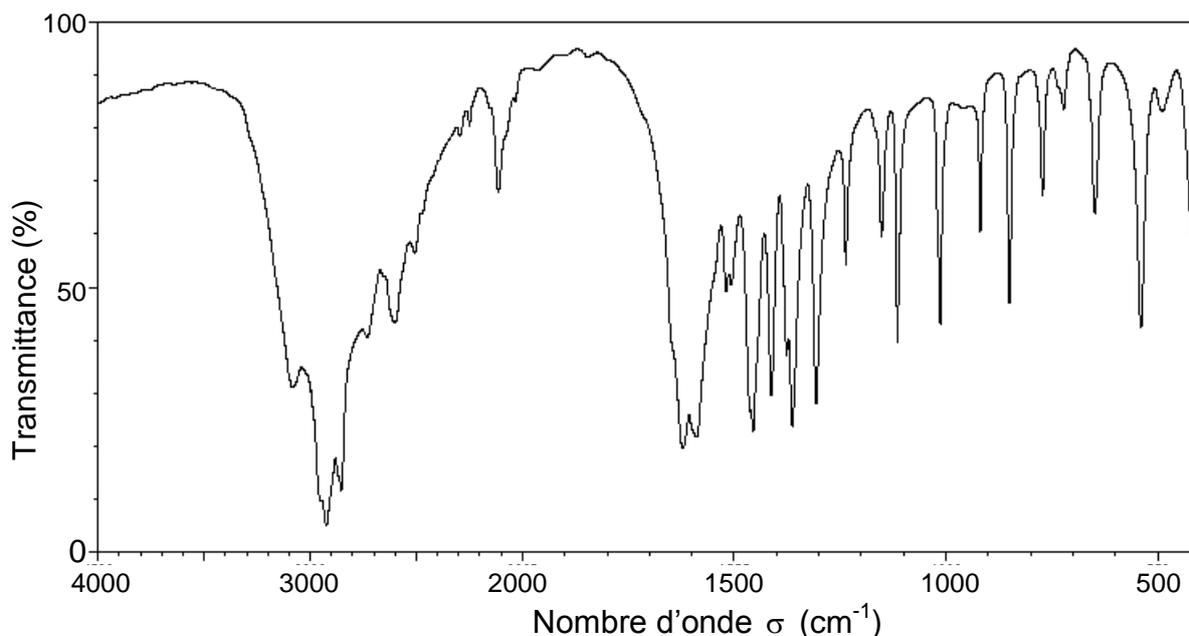
Quelle masse d'acide 2-bromopropanoïque faut-il utiliser pour synthétiser 1,0 kg d'alanine ?

1.3. Spectres IR et RMN du proton de l'alanine.

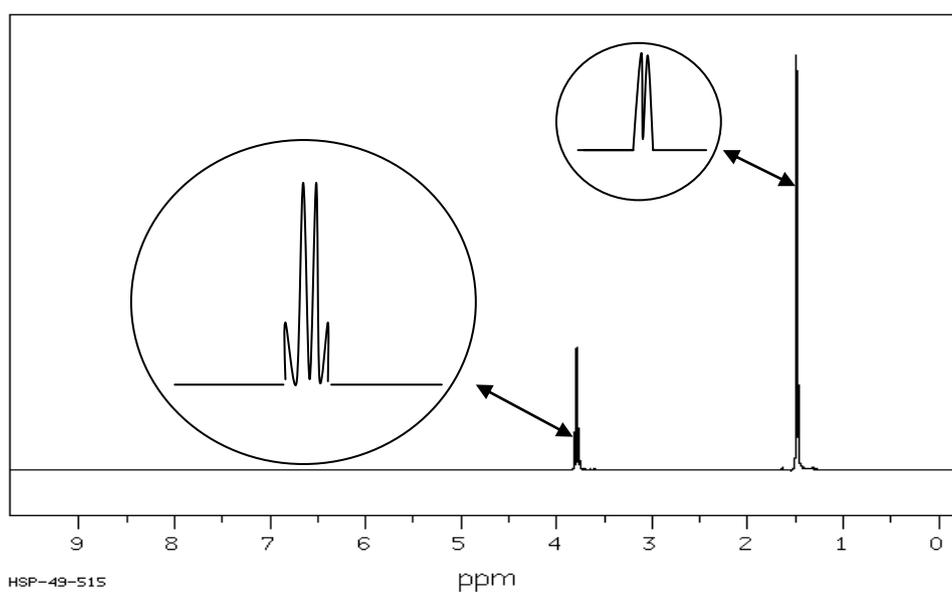
On dispose des spectres IR et RMN du proton de deux composés dont l'un des deux est l'alanine. Identifier les spectres correspondant à l'alanine. Justifier.

Composé A

Spectre IR

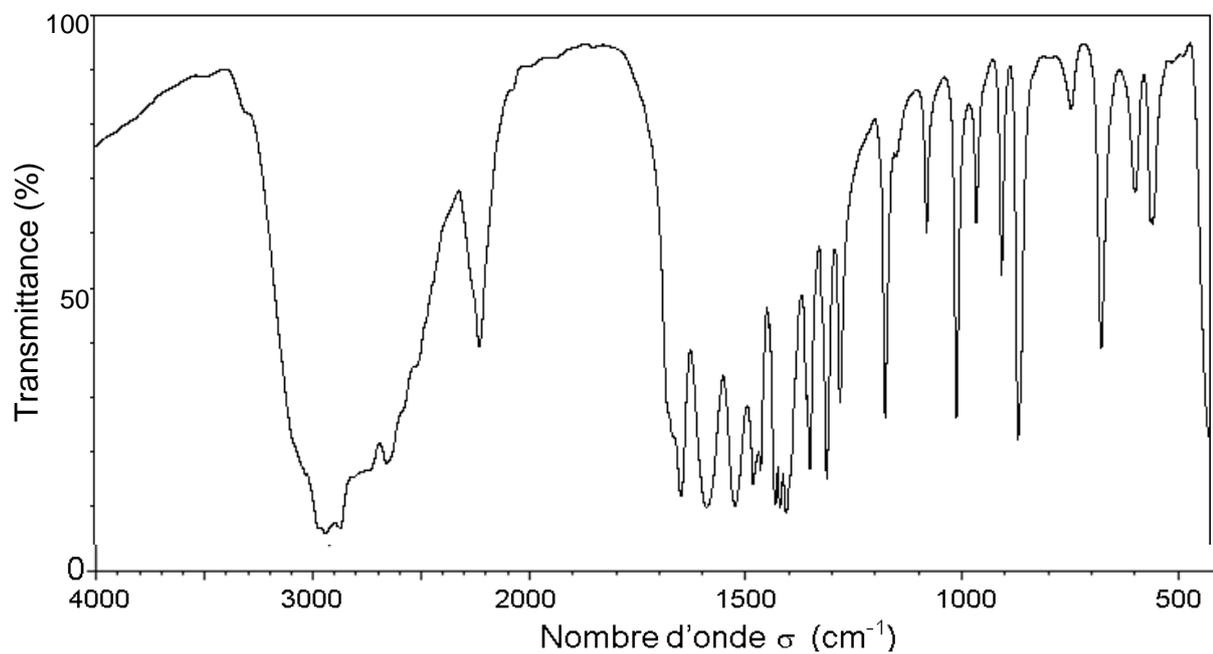


Spectre RMN (obtenu dans des conditions permettant d'éliminer les signaux relatifs à N-H et à O-H).

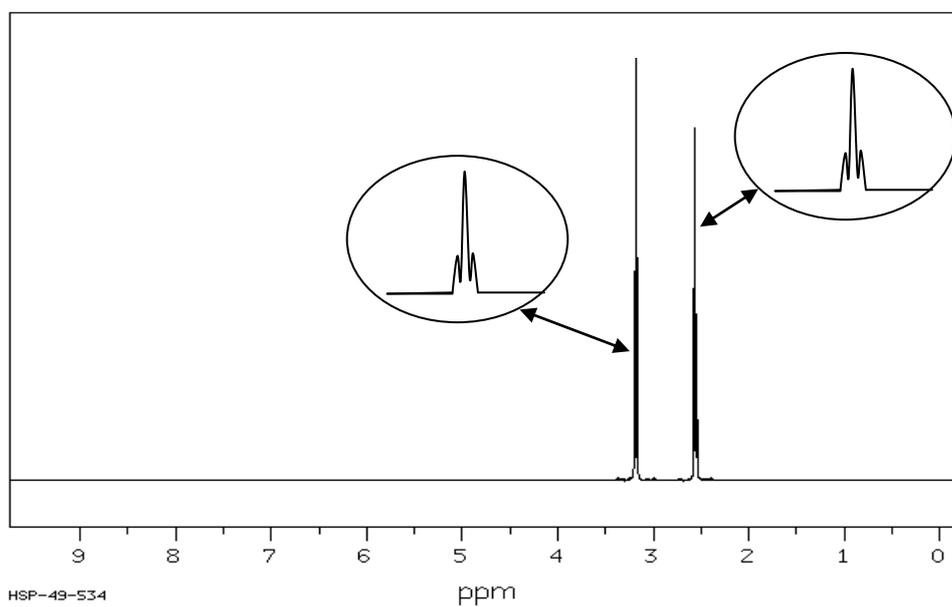


Composé B

Spectre IR



Spectre RMN (obtenu dans des conditions permettant d'éliminer les signaux relatifs à N-H et à O-H)



2. Spectroscopie infrarouge

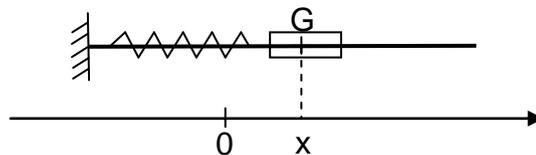
Les techniques de spectroscopie reposent sur l'interaction entre un rayonnement électromagnétique et la matière. L'absorption de certaines radiations infrarouges par une molécule organique provoque des vibrations moléculaires.

On s'intéresse aux vibrations d'élongation qui correspondent à une modification périodique de la distance entre deux atomes liés. Elles peuvent être étudiées en modélisant une liaison covalente par un oscillateur mécanique.

2.1 Exemple d'oscillateur mécanique.

Un solide de masse m pouvant glisser sans frottement sur une tige horizontale et accroché à un ressort de raideur k comme l'indique la figure ci-dessous, constitue un exemple d'oscillateur mécanique.

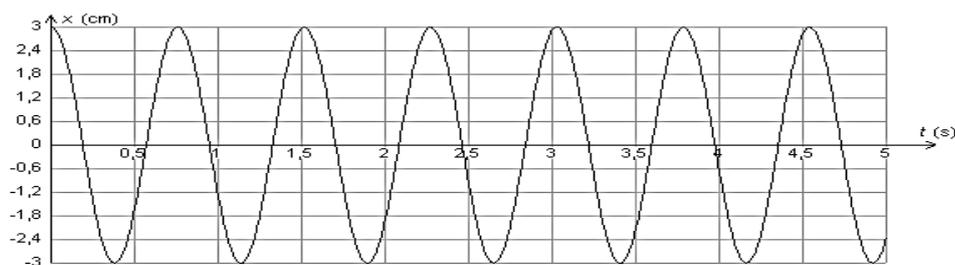
La position du solide est repérée sur l'axe Ox par l'abscisse de son centre d'inertie G .



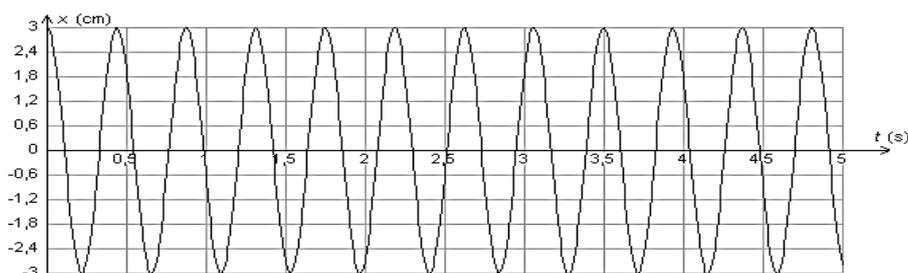
On réalise trois expériences pour étudier l'influence de différents paramètres sur les oscillations. Le solide est écarté de sa position d'équilibre, repérée par l'abscisse $x = 0$, de façon à étirer le ressort, puis est lâché sans vitesse initiale.

L'évolution de la position x en fonction du temps est représentée ci-après pour chaque expérience.

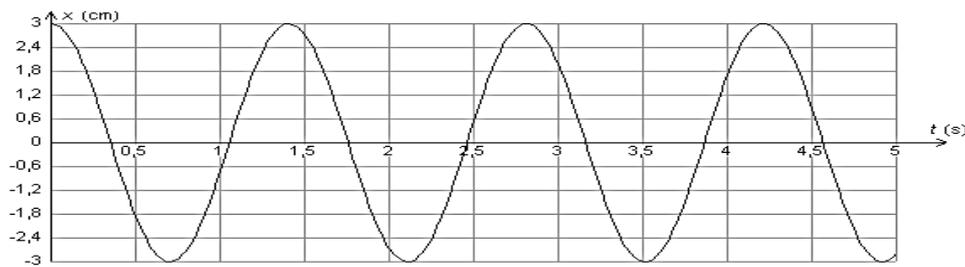
Courbe 1 : $m = 145 \text{ g}$; $k = 10 \text{ N.m}^{-1}$



Courbe 2 : $m = 145 \text{ g}$; $k = 30 \text{ N.m}^{-1}$



Courbe 3 : $m = 500 \text{ g}$; $k = 10 \text{ N.m}^{-1}$



Discuter, d'après les courbes 1 à 3, de l'influence de la masse m du solide et de la constante de raideur k du ressort sur les oscillations.

2.2 Vibration d'une liaison covalente.

La vibration de la liaison de covalence liant deux atomes A et B de masses respectives m_A et m_B est due à l'absorption d'une radiation électromagnétique dont le nombre d'onde σ s'exprime par la relation :

$$\sigma = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{\alpha}{\mu}} \quad (\text{loi de Hooke})$$

avec

- $\mu = \frac{m_A m_B}{m_A + m_B}$, masse réduite du système des deux atomes A et B calculée à partir des masses atomiques respectives m_A et m_B des atomes A et B et exprimée en g ;
- α : constante de force de la liaison exprimée en g.s^{-2} ;
- c : célérité de la lumière dans le vide en cm.s^{-1} , égale à $3,00 \times 10^{10} \text{ cm.s}^{-1}$;
- σ : nombre d'onde de la radiation absorbée exprimée en cm^{-1} .

Données :

- Masses atomiques :

$$m_{\text{H}} = 1,67 \times 10^{-24} \text{ g} ; m_{\text{C}} = 1,99 \times 10^{-23} \text{ g} ; m_{\text{O}} = 2,66 \times 10^{-23} \text{ g} ;$$

- Constante de force de la liaison C – H : $\alpha = 5,0 \times 10^5 \text{ g.s}^{-2}$;

- Relation liant longueur d'onde et nombre d'onde : $\sigma = \frac{1}{\lambda}$.

2.2.1 Retrouver l'unité du nombre d'onde σ par une analyse dimensionnelle.

2.2.2 Calculer le nombre d'onde correspondant à la vibration d'élongation d'une liaison C – H.

Comparer le résultat aux données.

2.2.3 Dans les acides carboxyliques, l'absorption du rayonnement IR par la liaison simple C – O du groupe d'atomes C – OH est observée vers 1300 cm^{-1} alors que celle de la liaison double C = O est observée aux alentours de 1700 cm^{-1} .

Sachant que les masses réduites des groupes d'atomes C – OH et C = O, peuvent être considérées comme étant égales, proposer une explication.

EXERCICE II : SE CHAUFFER AVEC LE NUMÉRIQUE (8 points)



Un centre de données (datacenter en anglais) est un lieu où se trouvent regroupés les équipements constituant le système d'information de l'entreprise (ordinateurs centraux, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et de télécommunications, etc.). Les plus connus sont ceux de Google, Facebook, Apple, ...

Centre de données de google – source www.google.com

Au Val d'Europe, en Seine-et-Marne, le centre de données de Natixis permet de chauffer le nouveau centre aquatique et une pépinière d'entreprises.

Piscine et pépinière d'entreprises (près de 6000 m² au total) sont pourtant loin d'utiliser toute l'énergie disponible. Selon Dalkia, la filiale commune de Veolia et d'EDF qui exploite le réseau de chauffage, le centre de données peut chauffer jusqu'à 600 000 m².

Un centre de données de cette importance, avec de telles batteries de serveurs à alimenter et à refroidir en permanence, consomme une énergie électrique considérable : autant qu'une ville moyenne de 50 000 habitants. 30 % de cette énergie est utilisée pour le refroidissement des serveurs. Plutôt que de gaspiller en pure perte cette énergie, autant récupérer la chaleur que dégage la climatisation.

D'après le site www.alliancy.fr

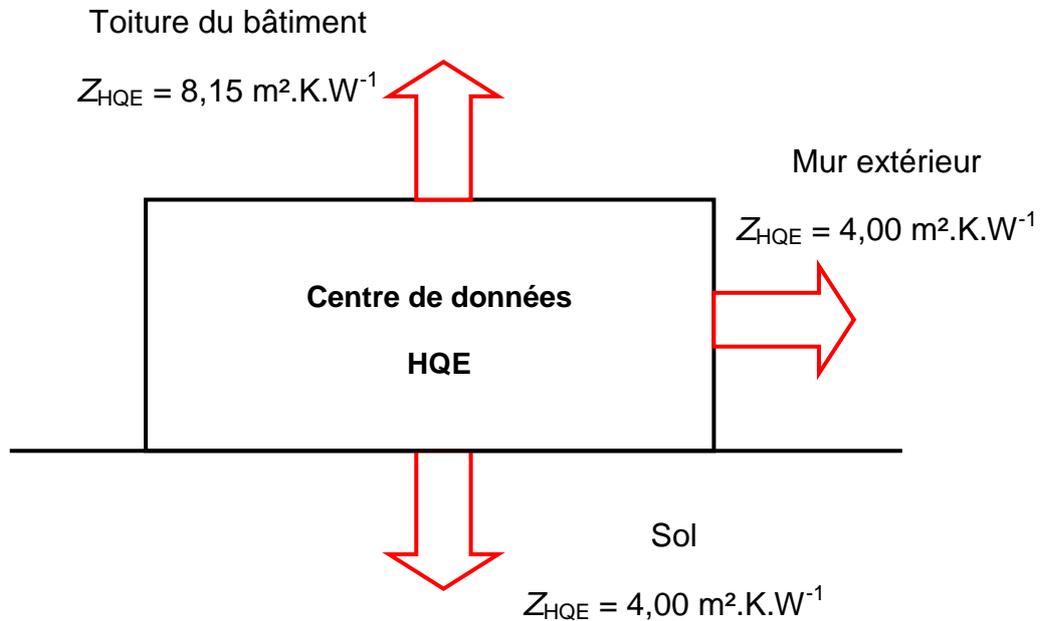
Données numériques :

Matériau	Laine de verre	Polystyrène	Laine de roche	Béton armé	Polymère
Conductivité thermique λ (W.K ⁻¹ m ⁻¹)	0,032	0,038	0,034	2,2	0,18

- 1kWh = 3,6 × 10⁶ J

Données :

- Conditions d'obtention du label HQE (Haute Qualité Environnementale) :
On note Z la résistance thermique d'une paroi ayant une surface de 1 m^2 . Pour obtenir le label HQE, la valeur de Z doit avoir une valeur minimale notée Z_{HQE} . Cette valeur minimale dépend de la paroi étudiée. Les valeurs minimales sont données sur le schéma ci-dessous.



- L'énergie thermique transférée à un système par un flux thermique φ pendant la durée Δt est :

$$Q = \varphi \Delta t$$

avec Q : énergie thermique transférée (J)
 φ : flux thermique (W)
 Δt : durée du transfert (s)

- Lorsque les températures extérieure T_{ext} et intérieure T_{int} sont constantes au cours du temps, avec $T_{\text{int}} > T_{\text{ext}}$, le flux thermique φ à travers une paroi s'exprime par :

$$\varphi = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}}$$

avec φ : flux thermique (W)
 R_{th} : résistance thermique de la paroi considérée ($\text{K}.\text{W}^{-1}$)

- La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane est définie par la relation :

$$R_{\text{th}} = \frac{Z}{S} \quad \text{avec} \quad Z = \frac{e}{\lambda}$$

avec e : épaisseur de la paroi (m)
 λ : conductivité thermique (en unité du système international USI)
 S : surface de la paroi (m^2)
 Z : résistance thermique d'une paroi ayant une surface égale à 1 m^2 .

- Les résistances thermiques de plusieurs matériaux superposés s'ajoutent.

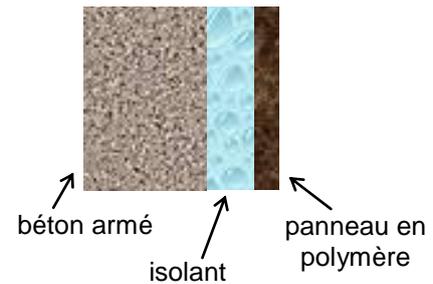
1. Isolation thermique des murs du centre de données

Lors de l'élaboration des plans du centre de données, l'objectif était d'obtenir le label HQE pour le bâtiment. Dans toute cette partie, on raisonnera sur un mur extérieur dont la surface est de $1,0 \text{ m}^2$.

1.1. Quelle devrait être l'épaisseur du mur extérieur si celui-ci n'était constitué que de béton armé ?

L'épaisseur des murs en béton armé est en réalité de 20 cm.

Pour améliorer la résistance thermique des murs, on se propose d'ajouter une couche d'isolant et de la recouvrir de panneaux en polymère de 5,0 cm d'épaisseur afin de réaliser une étanchéité à l'eau et à l'air (schéma ci-contre).



1.2. L'isolant choisi est la laine de verre. Justifier ce choix.

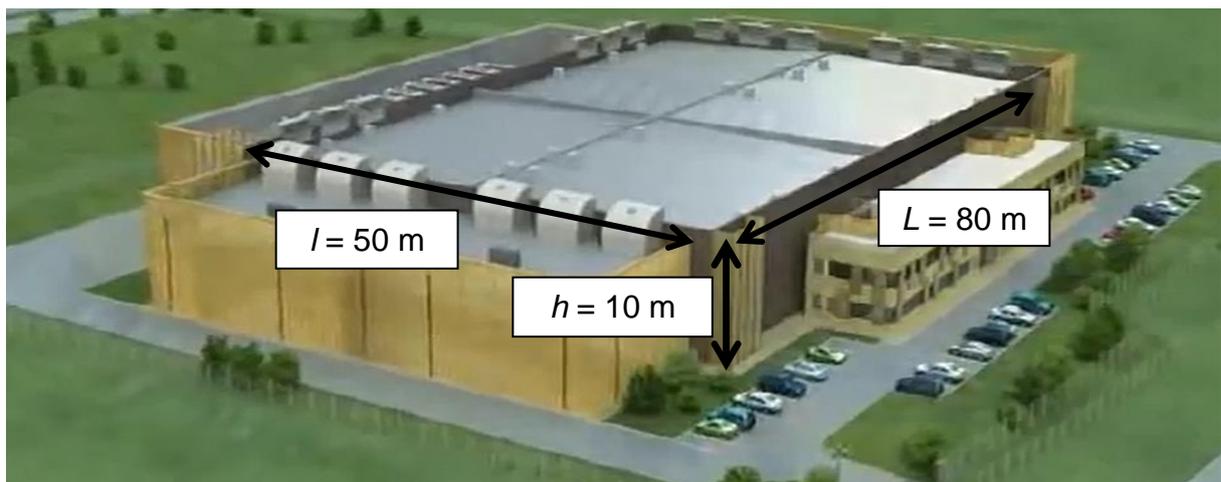
1.3. Déterminer l'épaisseur minimale de laine de verre nécessaire pour que la condition d'obtention du label HQE soit vérifiée.

2. Bilan thermique du centre de données

Un bâtiment contenant 20 000 serveurs a une longueur de 80 m, une largeur de 50 m et une hauteur de 10 m. Le reste du bâtiment contient des bureaux et des locaux techniques qui ne seront pas pris en compte.

Le bâtiment respecte les normes HQE.

La puissance électrique consommée par un serveur est de 480 W.



D'après le site www.econovista.blogspot.fr

On admettra que toute l'énergie électrique consommée par les 20 000 serveurs est transformée en énergie thermique.

On se placera dans la situation où la valeur de la résistance thermique de chaque paroi de surface de $1,0 \text{ m}^2$ est égale à la valeur minimale Z_{HQE} .

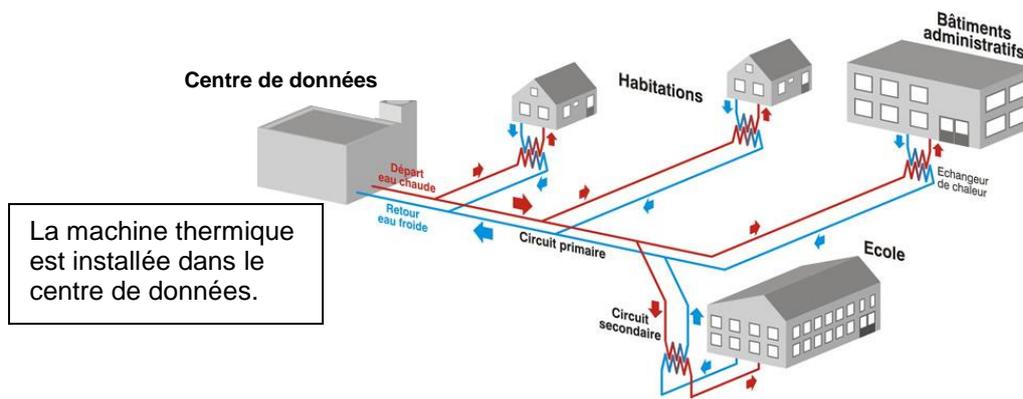
- 2.1. Citer les trois modes de transfert qui permettent aux ordinateurs de céder de l'énergie thermique à la pièce où ils sont stockés.
- 2.2. Montrer, dans le cadre des hypothèses faites, que l'énergie thermique Q_{serveurs} libérée en une journée par les serveurs est égale à $8,3 \times 10^{11} \text{ J}$.
- 2.3. Les températures moyennes au Val d'Europe au cours d'une journée d'hiver sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

	Air extérieur	Sol	Intérieur
Température (°C)	7,0	11	23

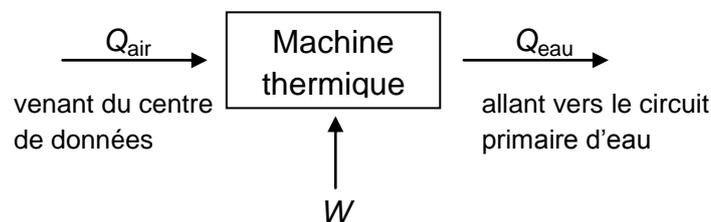
- 2.3.1. Calculer le transfert thermique Q_{sol} à travers le sol pour une journée d'hiver.
- 2.3.2. Sachant que les transferts thermiques à travers les murs et la toiture, pour une journée d'hiver, sont respectivement $Q_{\text{murs}} = 9,0 \times 10^8 \text{ J}$ et $Q_{\text{toiture}} = 6,8 \times 10^8 \text{ J}$, déterminer l'énergie thermique totale perdue par l'ensemble des parois du centre de données au cours d'une journée d'hiver.
- 2.4. Que risque-t-il de se passer au niveau du bâtiment du centre de données si rien n'est fait ?

3. Valorisation de l'énergie produite par les serveurs

- 3.1. L'énergie thermique libérée en six mois par les serveurs est égale à $1,5 \times 10^{14} \text{ J}$.
On estime qu'il faut 50 kWh pour chauffer 1 m^2 de logement récent durant les six mois de l'année où le chauffage est en fonctionnement.
Quelle surface de logement ce système permet-il de chauffer, durant ces six mois, grâce au centre de données ?
La valeur annoncée dans le texte introductif est-elle réaliste ?
- 3.2. Plutôt que de rejeter de l'air chaud à l'extérieur, il est possible d'utiliser l'énergie thermique libérée pour chauffer des bureaux ou des logements voisins. Une machine thermique, aussi appelée climatiseur, refroidit l'air du centre de données et chauffe l'eau d'un circuit d'eau chaude primaire. Le circuit d'eau chaude primaire permet ensuite de chauffer l'eau des différents bâtiments par l'intermédiaire d'un échangeur.



Dans le cadre d'un modèle simplifié, les échanges énergétiques au niveau de la machine thermique peuvent être représentés sur le schéma ci-dessous :



avec : Q_{air} , énergie thermique fournie par l'air en une journée

$$Q_{\text{air}} = 5,2 \times 10^{11} \text{ J}$$

Q_{eau} , énergie thermique reçue par l'eau en une journée

W , énergie électrique reçue par la machine thermique en une journée

$$W = 1,0 \times 10^5 \text{ kWh}$$

Sachant que la machine thermique ne fait que convertir sans perte l'énergie qu'elle reçoit, donner la relation entre Q_{eau} , Q_{air} et W .

- 3.3. Sachant que dans le circuit primaire l'eau entre dans la machine thermique à la température moyenne de 10°C pendant les 6 mois de fonctionnement du chauffage des logements et bureaux, avec un débit de $2 \times 10^2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, quel mode de chauffage peut-on envisager pour chauffer les logements voisins ?

Toute démarche de résolution, même partielle, sera valorisée.

Données :

Mode de chauffage	Radiateur	Plancher chauffant
Température de l'eau	50°C à 65°C	25°C à 30°C

	eau
Capacité calorifique ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	4185
Masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	$1,0 \times 10^3$

EXERCICE III : DESSALEMENT DE L'EAU DE MER (5 points)
--

En Europe, des usines de dessalement sont présentes sur les côtes de la mer Méditerranée où l'eau douce est rare, par exemple à Barcelone en Espagne.

On s'intéresse, dans cet exercice, à l'impact environnemental des saumures rejetées dans la mer par ces usines.



On appelle saumure la solution concentrée en composés ioniques obtenue à la fin du processus de dessalement, majoritairement du chlorure de sodium. Les courants marins de la mer Méditerranée sont en général faibles et ne permettent pas une dilution immédiate des saumures rejetées, ce qui peut perturber les écosystèmes marins.



La Posidonie de Méditerranée (*Posidonia Oceanica*) est une plante aquatique qui forme de vastes herbiers entre la surface de l'eau et une profondeur de l'ordre de 40 m. Ces herbiers constituent l'écosystème majeur de Méditerranée et jouent un rôle important dans la protection des côtes contre l'érosion. De nombreux organismes, animaux et végétaux, trouvent protection et alimentation dans ces herbiers.

En Espagne, des études ont montré que la plante à fleurs aquatique *Posidonia Oceanica* est très sensible aux variations du taux de salinité de ses habitats naturels. Des effets notables sur sa vitalité ont été observés dès que la salinité atteint 37,4 g de sel par kilogramme d'eau de mer.

D'après les sites <http://fr.wikipedia.org> et <http://www.larecherche.fr>

Données :

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

- Valeur moyenne de la masse volumique de l'eau de la mer Méditerranée :

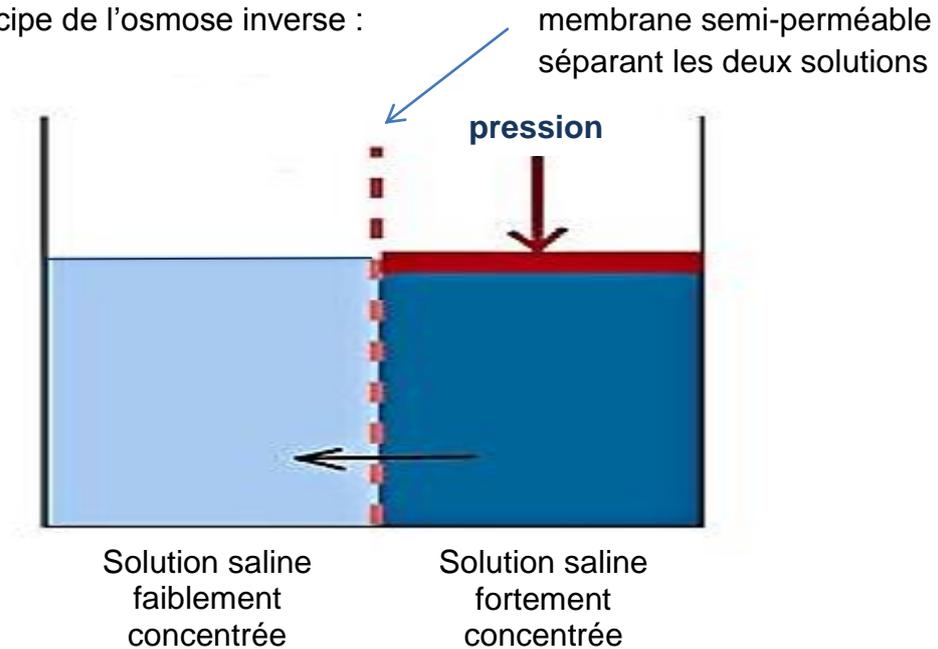
$$\rho = 1027 \text{ kg.m}^{-3}$$

- Osmose inverse :

Dans la nature, l'osmose est un phénomène naturel, essentiel aux équilibres biologiques, qui consiste en la migration de l'eau vers les solutions les plus concentrées. Cet écoulement s'arrête naturellement lorsque le système a atteint l'équilibre.

L'osmose inverse est une technologie de séparation utilisée dans le procédé industriel de dessalement de l'eau de mer. Lorsque l'on applique une pression suffisante sur la solution la plus concentrée, le flux d'eau est alors dirigé en sens inverse, c'est à dire de la solution la plus concentrée vers la solution la moins concentrée.

Schéma de principe de l'osmose inverse :



D'après le site www.polymem.fr

- On appelle salinité la masse totale de sels dissous dans un kilogramme d'eau de mer. Pour simplifier, on considèrera qu'il s'agit uniquement de chlorure de sodium.
L'eau de mer de la Méditerranée a une salinité naturelle moyenne de $35,6 \text{ g.kg}^{-1}$. Déterminer, parmi les valeurs suivantes, celle qui est égale à la concentration molaire moyenne en ions chlorure dans l'eau de mer.
 $0,609 \text{ mol.L}^{-1}$ $0,687 \text{ mol.L}^{-1}$ $0,625 \text{ mol.L}^{-1}$ $0,592 \text{ mol.L}^{-1}$
- Expliquer en quoi la technique de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est génératrice de saumures.
- On envisage de mélanger $1,0 \text{ L}$ d'une saumure obtenue en fin de processus de dessalement avec 200 L d'eau de mer avant de rejeter le mélange obtenu en Méditerranée. Cette saumure est analysée par conductimétrie, comme explicité à la page suivante.

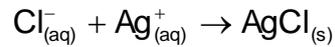
Ce rejet présente-t-il un danger pour les écosystèmes marins ?

Remarque :

Le candidat est évalué sur sa capacité à analyser les documents, à mettre en œuvre une démarche de résolution et à présenter ses résultats de manière adaptée. Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.

Dosage des ions chlorure présents dans la saumure en fin du processus de dessalement

Équation de la réaction support du dosage :



Protocole opératoire :

- Diluer 500 fois la saumure pour obtenir une solution S.
- Introduire un volume $V_1 = 10,00 \text{ mL}$ de la solution S dans un bécher.
- Mettre en place une sonde de conductimétrie dans le bécher en ajoutant de l'eau distillée de manière à immerger la sonde.
- Remplir une burette graduée avec une solution de nitrate d'argent de concentration molaire C_2 en ions Ag^+ égale à $2,00 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.
- Verser progressivement la solution de nitrate d'argent dans le bécher et relever les valeurs de la conductivité du milieu réactionnel après chaque ajout.

Évolution de la conductivité σ du milieu réactionnel en fonction du volume V_2 de la solution de nitrate d'argent ajoutée, dans le cas de la saumure obtenue en fin du processus de dessalement :

