

SESSION 2013

**CAPLP
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

**Section : MATHÉMATIQUES – SCIENCES-PHYSIQUES
ET CHIMIQUES**

COMPOSITION DE PHYSIQUE-CHIMIE

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Informations destinées aux candidats

Le sujet traite de plusieurs notions relatives à l'aménagement et au confort domestiques. Les études proposées portent sur :

- les lampes à basse consommation,
- l'éclairage par DEL,
- la production d'eau chaude sanitaire,
- la dureté de l'eau,
- la pompe à chaleur,
- l'isolation thermique d'une paroi verticale.

Chacun de ces thèmes peut être abordé, en lycée professionnel, au travers du programme de baccalauréat professionnel (BO spécial n° 2 du 19 février 2009), dans divers contextes :

- tronc commun du programme de sciences physiques et chimiques
CME : « confort dans la maison et l'entreprise »
- enseignements généraux liés à la spécialité, notamment pour les métiers du bâtiment
- activités de projet ou articulation mathématiques-sciences, en lien, notamment, avec la thématique « Construire et aménager sa maison ».

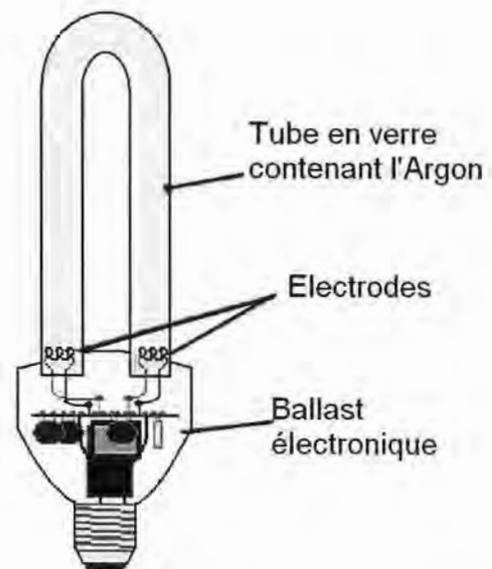
Chaque partie peut être traitée indépendamment, et faire simultanément appel à des notions de physique et de chimie.

Tous les résultats numériques seront exprimés avec un nombre de chiffres significatifs compatibles avec les données de l'énoncé.

PARTIE 1 : Lampes à basse consommation

La Lampe Fluorescente Compacte ou LFC est une lampe à économie d'énergie fonctionnant selon le même principe qu'un « tube fluo » linéaire.

Cette lampe contient un mélange d'argon, de vapeur de mercure et une poudre fluorescente à base de sel de phosphore sur la surface interne de ses tubes.



1. L'argon

- 1.1. Dans la classification périodique des éléments, l'argon appartient à la dernière colonne. Indiquer le nom donné aux éléments de cette colonne.
- 1.2. Donner la composition du noyau de l'argon ${}^{40}_{18}\text{Ar}$.
- 1.3. Représenter, selon le modèle de Bohr, l'atome d'argon.

2. Le mercure

- 2.1. Indiquer l'état du mercure dans les conditions normales de température et de pression.
- 2.2. Lorsqu'il est à l'état liquide, le mercure est dit « non mouillant ». Expliquer et illustrer cette propriété par un schéma.

3. Le mélange gazeux argon-mercure

Le mélange chimique, argon - mercure, contenu dans une ampoule est à la pression de 100 Pa et à la température de 40 ° C. Il contient 3 mg de mercure, ce qui représente 0,005 % du poids du mélange. On fait l'hypothèse que l'ensemble du mercure est sous forme gazeuse. On donne $M_{\text{Hg}} = 200,6 \text{ g/mol}$; $M_{\text{Ar}} = 39,9 \text{ g/mol}$.

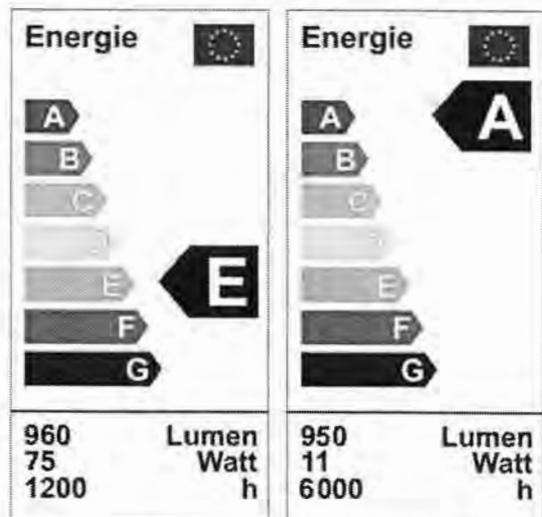
- 3.1. Calculer le nombre de moles de mercure contenu dans l'ampoule.
- 3.2. Calculer le nombre de moles d'argon contenu dans l'ampoule.
- 3.3. Dans l'ampoule, le mélange argon - mercure est considéré comme un mélange idéal de gaz parfaits. Proposer une définition d'un « mélange idéal ».
- 3.4. Calculer la pression partielle du mercure dans l'ampoule.
- 3.5. La pression de vapeur saturante du mercure à 40°C est de 1 Pa. Indiquer si l'hypothèse « l'ensemble du mercure est sous forme gazeuse » est juste.

4. Puissance des lampes

On souhaite comparer deux lampes de types différents :

- une lampe à incandescence
- une lampe dite « basse consommation ».

Les caractéristiques de ces lampes, figurant sur leur emballage respectif, sont reportées ci-contre.



Étiquette 1

Étiquette 2

- 4.1. Associer chaque étiquette au type de lampe correspondant. Justifier la réponse.
- 4.2. On désire mesurer l'intensité du courant traversant une lampe et la tension à ses bornes lorsqu'elle est soumise à la tension du secteur. Proposer le schéma d'un circuit électrique permettant d'effectuer ces mesures.

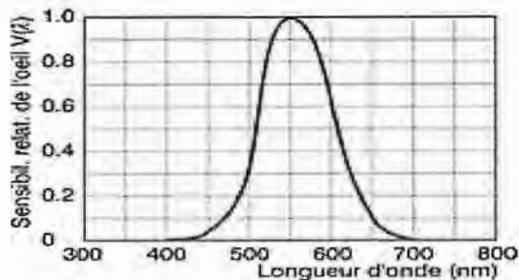
- 4.3. Réaliser le schéma d'un circuit électrique permettant de mesurer à l'aide d'un wattmètre la puissance électrique absorbée par une lampe soumise à la tension du secteur.
- 4.4. La lampe à incandescence est soumise à une tension du secteur dont la valeur efficace mesurée est de 226 V.
- 4.4.1. Indiquer la puissance absorbée par cette lampe.
- 4.4.2. Déterminer la valeur efficace de l'intensité du courant traversant cette lampe.
- 4.5. Dans les mêmes conditions d'alimentation, la lampe « basse consommation » est traversée par un courant dont l'intensité a une valeur efficace de 80 mA.
- 4.5.1. Préciser la nature exacte de la grandeur correspondant à l'indication « 11 watts » sur l'étiquette.
- 4.5.2. Calculer la puissance apparente de cette lampe.
- 4.5.3. La lampe basse consommation est-elle un dipôle purement résistif ? Justifier la réponse.
- 4.6. Pour mesurer l'intensité parcourant le circuit, on peut utiliser une pince ampèremétrique à effet Hall.
- 4.6.1. Indiquer le principe de fonctionnement de cette pince.
- 4.6.2. Citer un avantage à son utilisation.
- 4.7. Le texte figurant en annexe 4 est extrait de la brochure intitulée « le système international d'unités ».
- 4.7.1. Citer les unités de base du système international de :
- la masse,
 - la longueur,
 - le temps.
- 4.7.2. Exprimer l'unité de puissance, le watt, à l'aide de ces unités de base.
- 4.7.3. Sur les emballages des lampes, est indiquée la valeur du flux lumineux en lumen. En supposant que les lampes étudiées émettent un rayonnement sphérique, calculer, en candela, l'intensité lumineuse produite par chacune des 2 lampes.
- 4.7.4. Calculer pour chacune des lampes les pertes de puissance en watt, et le rendement énergétique.
- 4.8. Dans le cadre de son cours de sciences physiques, le professeur veut aborder avec ses élèves la propriété de photométrie suivante : « L'éclairement est inversement proportionnel au carré de la distance entre la source et le point de mesure ». Indiquer le matériel utilisé ainsi que le protocole expérimental permettant de réaliser la séquence.
- 4.9. Déterminer l'éclairement de l'ampoule basse consommation sur une portion de sphère à 1,5 m de la lampe.
- 4.10. Comparer l'éclairement obtenu avec le niveau minimum donné par le code du travail (R.232-7) de 200 lux pour un bureau. Quels sont les moyens techniques qui permettent sans changer d'ampoule d'augmenter l'éclairement en direction d'un bureau ?
- 4.11. Le rendement, en lm.W^{-1} est le rapport entre le flux lumineux et la puissance nominale. Déterminer pour chacune des lampes ce rendement. Commenter ces résultats.

5. L'œil humain n'est pas un capteur parfait : pour un flux lumineux reçu Φ_r (lié à la source lumineuse), la sensation de l'œil correspond à un flux « perçu » Φ_p qui dépend de la longueur d'onde de la lumière émise.

On appelle « sensibilité de l'œil », le rapport $V(\lambda) = \frac{\Phi_p}{\Phi_r}$. Φ_r et Φ_p sont exprimés en lumen.

Ci-dessous est représentée la sensibilité de l'œil humain moyen $V(\lambda)$ en fonction de la longueur d'onde de la lumière émise (onde monochromatique).

Courbe de sensibilité $V(\lambda)$ de l'œil dans le cas de la vision diurne



- 5.1.1. Indiquer la longueur d'onde pour laquelle $\Phi_p = \Phi_r$.

- 5.1.2. Déterminer le flux lumineux « perçu » Φ_p pour un rayonnement monochromatique reçu de longueur d'onde 500 nm et de flux 683 lm.

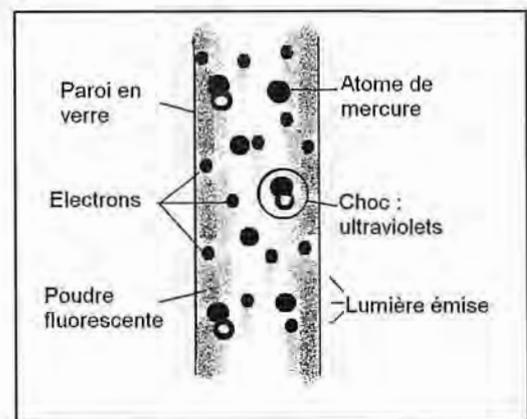
- 5.1.3. Le flux lumineux « perçu » Φ_p pour une onde monochromatique reçue de longueur d'onde de 300 nm est de 0 lm. Interpréter.

6. Étude de la lumière émise.

Les tubes en verre des lampes fluorescentes contiennent un mélange gazeux : argon - vapeur de mercure sous faible pression.

Des électrodes disposées à la base des tubes permettent, sous l'effet du passage du courant, l'ionisation du mélange. Dans ces conditions, les atomes de mercure émettent deux radiations de longueurs d'onde 185 nm et 254 nm.

La surface du verre est recouverte d'un dépôt de poudre blanche : ce dépôt absorbe la lumière émise par la vapeur de mercure et émet dans le domaine visible. Les tubes utilisent trois poudres émettant dans le rouge, le vert et le bleu.



- 6.1. Indiquer, pour chacun des rayons émis par la vapeur de mercure, le domaine du spectre auquel ils appartiennent.
- 6.2. Préciser les dangers liés aux rayonnements de type :
 6.2.1. - ultraviolet,
 6.2.2. - infrarouge.
- 6.3. Le spectre de la lumière éclairant le dépôt de poudre blanche est-il continu ou constitué de raies ?
- 6.4. La lumière émise par cette lampe est blanche. Justifier cette affirmation.

PARTIE 2 : Éclairage par DEL

Dans cette partie, on s'intéresse au module SL-5 du programme de Baccalauréat Professionnel :
« Pourquoi les objets sont-ils colorés ? »

Le document reproduit ci-dessous est un extrait du programme de Baccalauréat professionnel (BO spécial n° 2 du 19 février 2009).

SL 5	POURQUOI LES OBJETS SONT-ILS COLORÉS ?		Cycle terminal Spécialité
1. Comment obtenir les couleurs de l'arc en ciel ?			
<i>Capacités</i>	<i>Connaissances</i>	<i>Exemples d'activités</i>	
Réaliser la décomposition de la lumière blanche par un prisme et sa recombinaison. Utiliser un spectroscopie à réseau. Positionner un rayonnement monochromatique sur une échelle de longueurs d'onde fournie.	Savoir que la lumière blanche est composée de rayonnements de différentes longueurs d'onde. Savoir qu'un rayonnement monochromatique est caractérisé par sa longueur d'onde.	Recherche documentaire sur l'histoire de l'optique (Isaac Newton), la formation de l'arc en ciel... Comparaison expérimentale du spectre lumineux de différentes sources lumineuses.	
2. Comment produit-on des images colorées sur un écran ?			
<i>Capacités</i>	<i>Connaissances</i>	<i>Exemples d'activités</i>	
Réaliser une synthèse additive des couleurs.	Savoir que 3 lumières monochromatiques suffisent pour créer toutes les couleurs.	Utiliser un logiciel dédié à la synthèse des couleurs.	
3. Comment produit-on des images colorées sur une affiche ?			
<i>Capacités</i>	<i>Connaissances</i>	<i>Exemples d'activités</i>	
Réaliser une synthèse soustractive des couleurs. Réaliser une expérience mettant en évidence l'effet d'un filtre monochrome.	Savoir que la couleur d'une affiche dépend de la composition spectrale de l'éclairage. Savoir expliquer, à l'aide de l'absorption et de la diffusion de certaines radiations lumineuses, la couleur d'un pigment éclairé en lumière blanche.	Exemples d'applications de la synthèse soustractive (imprimante, photographie, ...)	

1. Décrire une (ou plusieurs) expérience(s) permettant de mettre en évidence la décomposition et la recombinaison de la lumière blanche.
2. Proposer une définition de la longueur d'onde.

3. Expliquer les notions suivantes :

- 3.1. - synthèse additive des couleurs,
- 3.2. - synthèse soustractive des couleurs.

4. Compléter chaque schéma de l'annexe 4 par les couleurs manquantes.

5. L'exercice suivant est proposé à la classe :

Un architecte souhaite aménager une pièce éclairée par une lumière dont la couleur peut changer. Il dispose de DEL de couleurs bleue, verte et rouge.

Question 1 : Indiquer la couleur de la lumière obtenue par superposition des faisceaux des trois DEL.

Question 2 : Lorsqu'elle est éclairée à la lumière blanche, la pièce possède un mur peint de couleur rouge. Indiquer sa couleur si ce mur est éclairé par :

- un faisceau de couleur bleue
- un faisceau de couleur rouge
- un faisceau de couleur jaune
- un faisceau de couleur cyan

5.1. Répondre aux questions de l'exercice.

5.2. L'exercice proposé permet-il d'évaluer une (ou plusieurs) capacité(s) du programme ? Justifier la réponse en faisant référence au texte officiel (extrait du BO spécial n° 2 du 19 février 2009).

5.3. L'exercice proposé permet-il d'évaluer une (ou plusieurs) connaissance(s) du programme ? Justifier la réponse en faisant référence au texte officiel (extrait du BO spécial n° 2 du 19 février 2009).

5.4. On souhaite exploiter cet exercice dans le cadre d'une évaluation certificative selon les modalités du Contrôle en Cours de Formation (CCF). Pour cela, on complète l'exercice par une activité expérimentale permettant à l'élève de vérifier les réponses à la question 2.

5.4.1. Lister le matériel à prévoir.

5.4.2. **Pour chacune des compétences** à évaluer listées ci-dessous, rédiger une question (ou consigne) de la partie expérimentale :

- **S'approprier** la situation,
- **Analyser** la problématique,
- **Réaliser** une expérience.
- **Valider** un résultat.

PARTIE 3 : Production d'eau chaude sanitaire

Données :

Énergies de liaison données à 25°C pour des composés à l'état gazeux :

Liaison	C-H	C-C	C=C	O-H	O=O (dans O ₂)	C=O (dans CO ₂)
D_{A-B} (kJ.mol ⁻¹)	410	348	612	460	494	795

Masse molaire atomique en g.mol⁻¹ :

C : 12,0 H : 1,0 O : 16,0

Fournir de l'eau chaude sanitaire en permanence, en quantité suffisante et à la température adéquate est un élément de confort essentiel dans l'habitat.

Pour produire de l'eau chaude sanitaire, on peut utiliser une chaudière à gaz qui peut être alimentée soit par le gaz naturel soit par le butane.

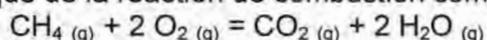
On souhaite à travers cette étude déterminer lequel de ces deux gaz est le meilleur combustible d'un point de vue écologique et économique.

1. Le gaz naturel est composé essentiellement de méthane CH₄.

1.1. Indiquer pourquoi ce gaz est dit « naturel ».

1.2. Préciser le nom de la famille d'hydrocarbure à laquelle appartient le méthane.

2. L'équation chimique de la réaction de combustion complète du méthane est :



On considère que les réactifs et les produits sont à l'état gazeux et que l'état initial et l'état final sont à la même température (25 °C) et à la même pression (1 bar).

2.1. Donner la représentation de Lewis des molécules de méthane, dioxygène, dioxyde de carbone et eau.

2.2. Définir les mots suivants : « combustion », « combustible », « comburant ».

2.3. Décrire un protocole permettant de mettre en évidence les espèces chimiques produites lors d'une combustion.

2.4. Calculer l'énergie libérée lors de la combustion complète dans le dioxygène de l'air d'une mole de méthane.

2.5. Lorsque la combustion se fait avec un défaut d'air, donc avec un défaut de dioxygène, il apparaît dans les produits de la réaction un nouveau composé gazeux.

2.5.1. Donner son nom, sa formule chimique. Indiquer 3 adjectifs permettant de caractériser (qualifier) ce gaz.

2.5.2. Lorsque le défaut d'air est important, il apparaît des suies. Indiquer l'élément chimique correspondant à ces suies. Donner son symbole chimique.

3. Étude de la combustion complète du butane.

3.1. Écrire l'équation chimique de la réaction de combustion complète du butane.

3.2. L'énergie de la combustion d'une mole de butane vaut $-2,61 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Cette valeur est négative, expliquer ce que cela signifie.

4. Une famille consomme chaque jour en moyenne 300 L d'eau chaude sanitaire. Pour augmenter de 1°C la température de 1 kg d'eau, il faut fournir, quelle que soit sa température initiale, 4,18 kJ.

4.1. Déterminer l'énergie nécessaire pour chauffer 300 L d'eau chaude sanitaire de 15°C à 60°C .

4.2. Déterminer la quantité de dioxyde de carbone produite chaque jour si la chaudière fonctionne au méthane si on suppose les combustions complètes.

4.3. Calculer la quantité de matière de butane qu'il faut brûler, chaque jour, pour fournir l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude.

4.4. Déterminer alors la quantité de dioxyde de carbone produite chaque jour si la chaudière fonctionne au butane.

4.5. Indiquer quelles sont les conséquences d'une augmentation de la teneur en CO_2 dans l'atmosphère.

5. Calcul du coût.

GDF facture le gaz naturel au prix de 0,040 € par kilowattheure (kWh) consommé. Le coût moyen de l'énergie dépensée, chaque jour, pour la production d'eau chaude sanitaire lorsque la chaudière fonctionne au méthane est de 0,620 €.

Le butane est commercialisé en bouteilles au prix de 26,00 € l'unité. Chaque bouteille délivre 13 kg de gaz butane.

Calculer le coût de l'énergie dépensée, chaque jour, pour la production d'eau chaude sanitaire lorsque la chaudière fonctionne au butane.

6. À partir de cette étude, indiquer lequel de ces 2 combustibles, gaz naturel ou butane, apparaît comme le meilleur d'un point de vue écologique et économique.

PARTIE 4 : Dureté d'une eau

L'eau chaude sanitaire doit être maintenue à température suffisamment élevée (60°C) pendant tout son trajet dans les tuyaux de distribution afin de limiter la prolifération des bactéries. L'élévation de température favorise le dépôt de tartre dans l'installation. L'entartrage des appareils et des canalisations étant néfaste, il est nécessaire d'éliminer les dépôts de tartre ou de traiter préventivement l'eau chaude sanitaire pour éviter l'entartrage si l'eau distribuée est dure.

1. Donner une définition d'une « eau dure ».
2. La dureté d'une eau se détermine par un dosage complexométrique par l'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique).

Le mode opératoire est le suivant :

« On place 10 mL d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 150 mL.

On y ajoute 10 mL d'une solution tampon de pH = 10, et 12 gouttes d'une solution d'indicateur coloré. La solution, incolore avant l'ajout de l'indicateur coloré, prend alors une coloration rose « lie de vin ».

On place dans la burette une solution de sel disodique d'acide éthylène-diaminetétraacétique dihydraté ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) de concentration $c = 0,005 \text{ mol.L}^{-1}$.

On appelle v le volume de titrant versé.

On observe le virage de la solution du rose au bleu pour un volume versé $v = v_e$ ».

2.1. Faire un schéma du montage correspondant au dosage décrit ci-dessus.

2.2. L'EDTA (noté H_4Y) est un tétraacide dont les pK_a successifs valent respectivement :
2,0 ; 2,7 ; 6,4 ; 10,2.

2.2.1. Donner les domaines de prédominance des différentes formes de l'EDTA en fonction du pH.

2.2.2. Indiquer l'espèce prédominante à pH = 10.

2.3. Le volume d'EDTA nécessaire pour observer le virage de la solution est $v_e = 3,0 \text{ mL}$. En déduire la valeur de $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ dans l'échantillon d'eau à analyser.

On appelle dureté d'une eau (degré hydrotimétrique français) la grandeur telle qu'un degré français (1°f) corresponde à une concentration totale en ions calcium et magnésium de 10^{-4} mol/L .

On considère qu'une eau est dure si la dureté est supérieure à 25.
Calculer la dureté de l'eau analysée.

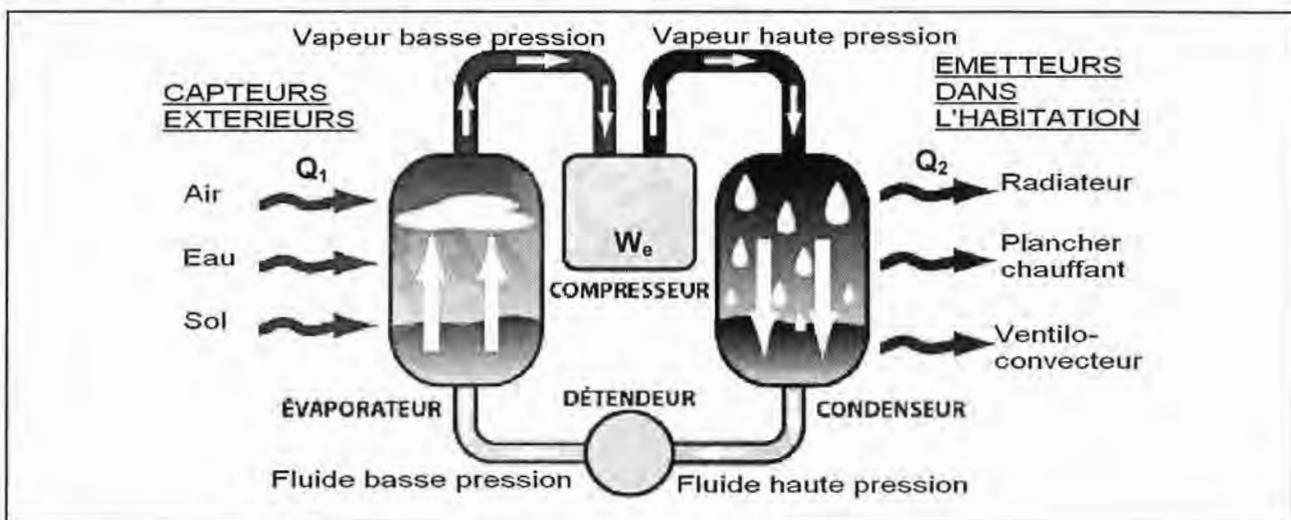
PARTIE 5 : Étude de la pompe à chaleur

On se propose d'étudier le principe de fonctionnement, ainsi que les performances d'une pompe à chaleur. Il s'agit d'une *machine thermique* qui fait subir un certain nombre de transformations à un fluide. Une pompe à chaleur permet, grâce à un apport d'énergie sous forme de travail W_e , d'extraire une énergie sous forme de chaleur Q_1 à une source froide de température T_1 et de restituer une énergie sous forme de chaleur Q_2 à la source chaude de température T_2 , un local à chauffer par exemple.

Le fluide subit deux transformations isobares au cours desquelles les échanges thermiques avec les sources froides et chaudes se produisent.

On se place pour cette étude dans le cas de transformations réversibles.

Le schéma suivant est utilisé par plusieurs sites internet pour illustrer le principe d'une pompe à chaleur (ex : <http://media.comprendrechoisir.com>) :



1. Énoncer le premier principe de la thermodynamique.
L'appliquer sur le cycle pour déterminer la relation reliant W_e , Q_1 et Q_2 .
2. Le fluide qui circule à l'intérieur du circuit est du 1,1,1,2-tétrafluoroéthane nommé R134a.
 - 2.1. Donner la formule développée du R134a.
 - 2.2. Le R134a, comme le chlorodifluorométhane, nommé R 22 ou fréon 22, utilisé autrefois, sont aujourd'hui interdits.
Indiquer l'effet produit sur l'environnement par les chlorofluorocarbures.
 - 2.3. Des produits de remplacement, plus écologiques, sont désormais utilisés comme fluides frigorigènes. Le R410a est un mélange à 50% de difluorométhane et 50 % de 1,1,1,2,2-pentafluoroéthane.
Indiquer ce que signifie le pictogramme inscrit sur une bonbonne de difluorométhane :
3. On utilise 200 g de 1,1,1,2-tétrafluoroéthane. Le diagramme pression – enthalpie du R134a est donné en annexe 1 (à rendre avec la copie). La courbe de saturation limitant le domaine de coexistence de deux phases est tracée. Le point ① sur le diagramme caractérise le fluide à l'entrée du compresseur. On mesure une pression $P_1 = 3,00$ bar et une température $\theta_1 = 5^\circ \text{C}$. Indiquer la valeur correspondante de l'enthalpie massique.



4. Dans cette question, on tracera, sur l'annexe 1 à rendre avec la copie, le cycle sur le diagramme pression – enthalpie en suivant les étapes ci-dessous.

4.1. Passage dans le compresseur. La transformation est adiabatique et réversible.

La pression passe de 3,00 bar à 10,00 bar, le travail fourni est de 25 kJ.kg^{-1} .

4.1.1. Le point ② caractérise le fluide à la sortie du compresseur. Placer le point ②.

4.1.2. Indiquer alors la phase dans laquelle se trouve le fluide.

4.1.3. Donner la température θ_2 du fluide.

4.1.4. Indiquer le rôle de cette compression.

4.1.5. Calculer, l'énergie fournie sous forme de travail par le compresseur pour les 200 g de fluide.

4.2. Passage dans le condenseur. La transformation est isobare.

L'énergie perdue sous forme de chaleur est de 210 kJ.kg^{-1} et la température du fluide à la sortie du condenseur est de $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.2.1. Le point ③ caractérise le fluide à la sortie du condenseur. Placer le point ③.

4.2.2. Expliquer les échanges d'énergie sous forme de chaleur entre le fluide et l'air ambiant.

4.2.3. Indiquer comment évolue le fluide pendant cette transformation.

4.2.4. Déterminer l'énergie sous forme de chaleur cédée par le condenseur.

4.2.5. Déterminer l'énergie perdue sous forme de chaleur pendant le changement d'état.

4.3. Passage dans le détendeur. La transformation est isenthalpique.

4.3.1. Indiquer le rôle du détendeur.

4.3.2. Comment varie la section de la conduite ?

4.3.3. Comment évolue la température ?

4.3.4. Le point ④ caractérise le fluide à la sortie du détendeur. Placer le point ④.

4.3.5. Ce point est situé sur une ligne indiquant $x=0,10$.
A quoi correspond cette valeur ?

4.3.6. Donner la température θ_4 du fluide en $^\circ\text{C}$.

4.4. Passage dans l'évaporateur.

4.4.1. Expliquer les échanges d'énergie mis en jeu.

4.4.2. Indiquer la transformation subie par le fluide.

4.4.3. Indiquer comment varie la température.

4.4.4. Déterminer l'énergie échangée sous forme de chaleur dans l'évaporateur.

5. Vérifier le premier principe de la thermodynamique pour ce cycle
6. Le coefficient d'efficacité de la pompe, noté e , est la valeur absolue du rapport de l'énergie cédée sous forme de chaleur à la source chaude sur le travail absorbé.
- 6.1. Exprimer e .
- 6.2. Calculer e .
- 6.3. Interpréter le résultat précédent.
7. À l'aide du 2nd principe de la thermodynamique, pour un cycle réversible, montrer que le coefficient d'efficacité s'exprime par : $e = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$, expression dans laquelle T_1 est la température de la source froide en kelvin et T_2 celle de la source chaude en kelvin.
8. À partir de l'expression précédente, indiquer dans quelle condition une pompe à chaleur est la plus « efficace ».
9. À l'aide du diagramme pression-enthalpie, il est possible de déterminer les valeurs des pressions de vapeur saturante pour différentes températures.
Indiquer la valeur de la pression de vapeur saturante pour -10°C
10. Le rapport γ des chaleurs massiques à pression constante C_p et à volume constant C_v est $\gamma = 1,22$.
- 10.1. En utilisant l'équation des gaz parfaits : $P \times V = m \times R_s \times \theta$, avec :
- m : masse du gaz (kg),
 R_s : constante thermodynamique du gaz R134a $R_s = 81,485 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$,
 θ : la température en K,
 P est la pression du gaz (en Pa),
 V est le volume occupé par le gaz (en m^3).
- Calculer le volume V_1 du fluide au point ①.
- 10.2. Lors de la transformation du point ① au point ②, le fluide suit la loi :
 $P \times V^\gamma = \text{constante}$.
 Calculer le volume V_2 au point ②.
- 10.3. Calculer la température θ_2 au point ②.
- 10.4. Dans cette étude, on s'est placé dans l'hypothèse d'un gaz parfait.
- 10.4.1. Le résultat obtenu à la question précédente valide-t-il cette hypothèse ?
- 10.4.2. Justifier la réponse en proposant une définition d'un gaz parfait.

PARTIE 6 : Isolation thermique d'une paroi verticale

1. Étude d'un matériau isolant : le polystyrène.

Le mode opératoire de la fabrication du polystyrène est décrit ci-dessous.

Dans un ballon de 100 mL, placer 3 mL de styrène, 1 mL de solution de peroxyde de benzoyle et environ 10 mL de toluène anhydre. Ajouter quelques grains de pierre ponce.

Réaliser un montage à reflux : adapter le support élévateur, le chauffe-ballon, le réfrigérant à boule.

Chauffer le mélange à reflux pendant une heure environ.

Après le temps de chauffage, abaisser le chauffe-ballon et laisser le mélange refroidir pendant 10 min.

Refroidir le ballon sous l'eau froide du robinet.

Placer, dans un bécher, 80 mL de méthanol puis verser le contenu du ballon, en agitant avec la tige de verre.

Filtrer sous vide le polystyrène sur le verre fritté, puis rincer le produit avec environ 20 mL de méthanol.

Laisser sécher le polystyrène 10 min sur le verre fritté.

Verser le filtrat dans le bidon de récupération des déchets.

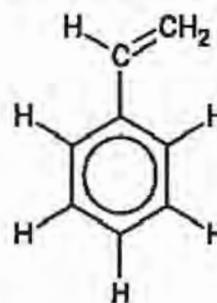
On donne:

	pictogrammes	densité	masse molaire (g.mol ⁻¹)	aspect	température d'ébullition (°C)
Styrène		0,9	104	Liquide jaune	145
Toluène		0,87	92	Liquide incolore	110
Méthanol		0,78	32	Liquide incolore	65
Peroxyde de benzoyle				Solide blanc	

Masses molaires atomiques :
C : 12 g.mol⁻¹
H : 1 g.mol⁻¹
O : 16 g.mol⁻¹

1.1. Quelles précautions faut-il prendre pour réaliser cette manipulation ?

1.2. La molécule de styrène est représentée ci-contre :



1.2.1. Donner la formule brute du styrène.

1.2.2. Calculer sa masse molaire

1.3. Calculer la masse de styrène introduit dans le ballon.

1.4. Calculer la quantité de matière correspondante.

1.5. Schématiser et annoter le montage à reflux.

1.6. Préciser le rôle :

1.6.1. des grains de pierre ponce ;

1.6.2. du réfrigérant à boule ;

1.6.3. du peroxyde de benzoyle.

1.7. Donner la température approximative d'ébullition du mélange.

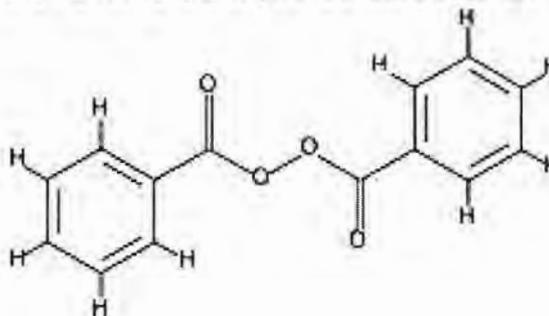
Justifier la réponse.

1.8. La réaction de polymérisation radicalaire se déroule en 3 étapes.

1.8.1. Nommer ces trois étapes dans l'ordre où elles se produisent.

1.8.2. Pour chacune d'elles, écrire l'équation de la réaction.

Remarque : Pour alléger l'écriture, on notera R-O-O-R le peroxyde de benzoyle de formule développée :



1.9. Donner l'équation-bilan de la synthèse du polystyrène.

1.10. À la fin de la réaction, la masse de polystyrène obtenue est de 2,43 g.
Calculer le rendement de la réaction.

1.11. Dans le bâtiment, on utilise le polystyrène expansé pour ses propriétés isolantes.
Comment obtient-on le polystyrène expansé à partir du polystyrène ?

2. Comparaison de deux types de parois verticales.

Deux types de parois extérieures contiennent la même épaisseur de polystyrène expansé. L'une est composée de matériaux dits « traditionnels », l'autre de matériaux dits « écologiques ».

La composition des deux parois est décrite dans le tableau suivant :

Paroi « traditionnelle ». Épaisseur des matériaux utilisés, de l'extérieur vers l'intérieur :		Paroi « écologique ». Épaisseur des matériaux utilisés, de l'extérieur vers l'intérieur :	
Enduit mortier	2 cm	Pin	10 cm
Blocs creux*	20 cm	Polystyrène référence DC	5 cm
Polystyrène référence DC	5 cm	Panneaux en contreplaqué et latté pin	4 cm
Plâtre	4 cm		

*les blocs creux utilisés sont des blocs à parois épaisses en béton de gravillon.

On donne :

Résistance thermique d'échange superficielle intérieure : $r_{si} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

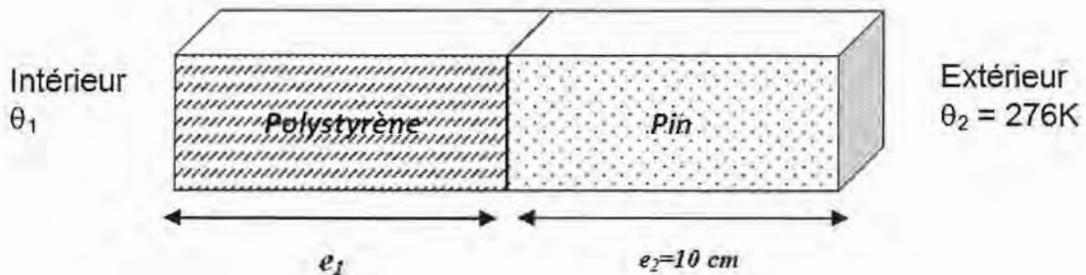
Résistance thermique d'échange superficielle extérieure : $r_{se} = 0,060 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Les autres données utiles figurent dans les annexes 2 et 3 « Extrait du guide du constructeur en bâtiment ».

- 2.1. Comparer les coefficients de conductivité thermique du plâtre pour enduit et du panneau en contreplaqué.
Lequel de ces matériaux est le plus isolant ?
- 2.2. Justifier la réponse de la question précédente en proposant une définition de la conductivité thermique.
- 2.3. Montrer que le coefficient de conductivité thermique λ , en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, du bloc creux utilisé dans la paroi « traditionnelle » est 1,25.
- 2.4. Montrer, en détaillant les calculs, que la résistance thermique R_1 de la paroi « traditionnelle » est $1,68 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.
- 2.5. Calculer la résistance thermique R_2 de la paroi « écologique ».
- 2.6. Comparer les résistances thermiques des deux parois.
Citer des avantages de la paroi « écologique ».

2.7. On s'intéresse uniquement à la paroi « écologique ».

Sans modifier la qualité de l'isolation, on souhaite augmenter l'épaisseur de polystyrène et supprimer les panneaux en contreplaqué.



2.7.1. Déterminer l'épaisseur e_1 du polystyrène nécessaire.

Arrondir au cm.

2.7.2. Exprimer le flux thermique surfacique φ , en W.m^{-2} , à travers cette paroi en fonction de la température intérieure θ_1 .

2.7.3. Proposer une définition du flux thermique surfacique.

2.7.4. La température au contact extérieur de la paroi est $\theta_2 = 276\text{K}$.

Déterminer la température intérieure θ_1 correspondant à un flux thermique surfacique de 7 W.m^{-2} .

Exprimer θ_1 en $^{\circ}\text{C}$.

3. Isolation thermique d'un double-vitrage.

On considère deux modèles de fenêtre en double vitrage de type 4-12-4.

Chaque double vitrage est formé de 2 vitres de verre identiques d'épaisseur e et de surface S_f séparées par une lame de gaz (air ou argon) d'épaisseur e' .

La surface vitrée de chaque fenêtre est un carré de 1,2 m de côté.

On donne :

- $e = 4 \text{ mm}$
- $e' = 12 \text{ mm}$
- $\lambda_{\text{air}} = 0,024 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- $\lambda_{\text{argon}} = 0,017 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



3.1. Étude du double vitrage à lame d'air.

3.1.1. Montrer, en détaillant les calculs, que le coefficient de transmission thermique surfacique de la fenêtre est $U = 1,97 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

3.1.2. Les températures superficielles interne et externe de la fenêtre sont respectivement $\theta_1 = 20^{\circ}\text{C}$ et $\theta_2 = 3^{\circ}\text{C}$.

Calculer, en W, le flux thermique à travers une fenêtre.

3.2. Étude du double-vitrage à lame d'argon.

Dans cette étude, on remplace la lame d'air du modèle de fenêtre précédent par une lame d'argon.

3.2.1. Calculer la résistance thermique de cette fenêtre.

3.2.2. Calculer le coefficient de transmission thermique surfacique de cette fenêtre.

3.2.3. Calculer, dans les conditions de températures intérieure et extérieure de la question 3.1.2., le flux thermique à travers cette fenêtre.

3.3. Comparaison des 2 modèles de fenêtre.

On considère que la température superficielle extérieure θ_2 de la fenêtre est constante : $\theta_2 = 3^\circ\text{C}$.

Le système de chauffage utilisé permet de maintenir une température superficielle intérieure $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$.

On remplace une fenêtre double-vitrage à lame d'air par une fenêtre double-vitrage à lame d'argon.

Calculer l'énergie ainsi économisée en 24 heures.

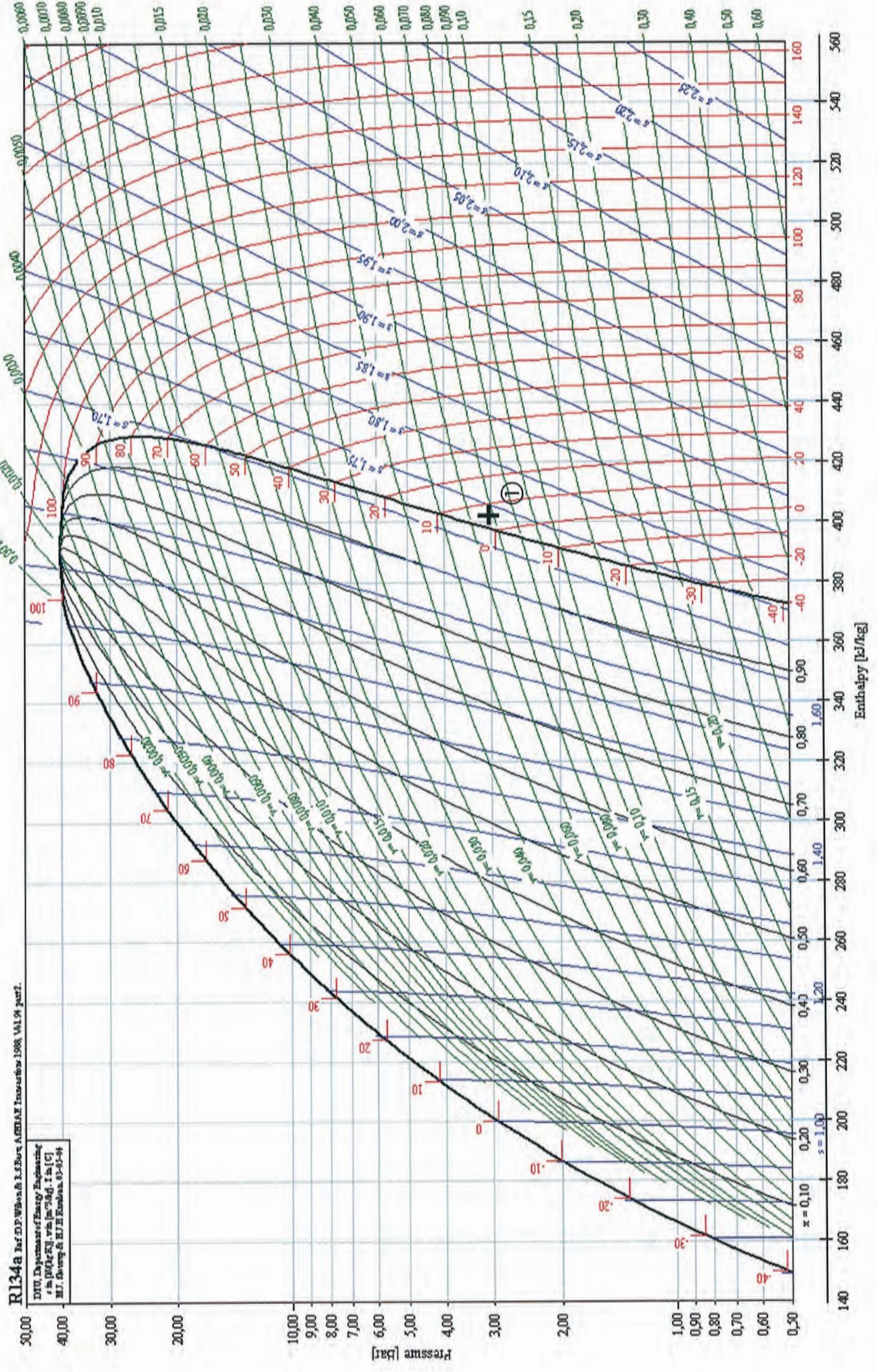
Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE MSP 2

DR 1 (annexe 1)

ANNEXE N°1 (A rendre avec la copie)



R134a Prof. Dr. P. Wöhrle & Dr. S. Beyer, AEMBAZ Innovations 1998, 141.19 part2.

DTU, Department of Energy Engineering
 Prof. Dr. P. Wöhrle, Dr. S. Beyer, Dr. M. J. Schimpf & Dr. H. H. Knauber, 03-05-04

ANNEXE N°2 « Extrait du guide du constructeur en bâtiment »**CARACTÉRISTIQUES DES BLOCS POUR MURS**

Nature	Dimension cm			Épaisseur de fabrication	Masse kg.m ⁻²	Catégorie de résistance	Charge admissible kN.m ⁻¹	« Ru » sans enduits m ² .K.W ⁻¹
	E	H	L					
Blocs pleins en béton de gravillon	7,5	20	40	5 à 5,2	173	40	57,1	0,045
	10	20	40	7,5 à 7,7	230	40	85,7	0,06
	15	20	40	12,5 à 12,7	345	40	142,8	0,09
	20	20	40	17,5 à 17,7	460	40	200,0	0,12
	25	20	50	22,5 à 22,7	575	40	257,0	0,15
	30	20	50	27,5 à 27,7	690	40	314,0	0,18
Blocs pleins en béton de mâchefer	7,5	20	40	5 à 5,2	97,5	20	25,0	0,067
	10	20	40	7,5 à 7,7	130	20	37,5	0,101
	15	20	40	12,5 à 12,7	195	20	62,5	0,169
	20	20	40	17,5 à 17,7	260	20	87,5	0,237
	25	20	40	22,5 à 22,7	325	20	112,5	0,306
	30	20	50	27,5 à 27,7	390	20	137,5	0,374
Blocs pleins en béton de pouzzolane ou de laitier expansé	7,5	20	40	5 à 5,2	75	25	32,1	0,087
	10	20	40	7,5 à 7,7	100	25	48,2	0,131
	15	20	40	12,5 à 12,7	150	25	80,3	0,218
	20	20	40	17,5 à 17,7	200	25	112,5	0,306
	25	20	50	22,5 à 22,7	250	25	144,6	0,396
	30	20	50	27,5 à 27,7	300	25	176,7	0,484
Blocs creux à parois épaisses en béton de gravillon	10	20	40	7,5 à 7,7	166	40	65,4	0,09
	15	20	40	12,5 à 12,7	208	40	74,4	0,13
	20	20	40	17,5 à 17,7	278	40	106,9	0,16
	25	20	40	22,5 à 22,7	341	40	135,3	0,23
	30	20	40	27,5 à 27,7	387	40	157,0	0,30
Blocs creux à parois minces en béton de gravillon	7,5	20	50	5 à 5,2	106	40	-	0,10
	10	20	50	7,5 à 7,7	146	40	45,1	0,12
	15	20	50	12,5 à 12,7	179	40	71,4	0,14
	20	20	50	17,5 à 17,7	245	40	99,9	0,23
	25	20	50	22,5 à 22,7	273	40	128,5	0,32
	30	20	50	27,5 à 27,7	344	40	157,0	0,34
Blocs creux en béton de pouzzolane ou de laitier expansé	10	20	50	7,5 à 7,7	140	25	36,5	0,21
	15	20	50	12,5 à 12,7	160	25	46,8	0,32
	20	20	50	17,5 à 17,7	220	25	68,6	0,38
	25	20	50	22,5 à 22,7	250	25	80,3	0,40
	30	20	40	27,5 à 27,7	320	25	99,2	0,53
Blocs pleins en béton cellulaire (masse volumique 400 kg/m ³) assemblés par collage	10	30	50	10	45	-	-	0,50
	15	30	50	15	65	-	-	0,75
	20	20	50	20	85	-	-	1,01
	25	20	50	25	107	-	-	1,26
	30	20	50	30	130	-	-	1,51

NOTA:
 ■ L'épaisseur E est celle du mur enduit sur deux faces.
 ■ « Ru » : résistance thermique utile du mur d'après les règles « RT 2000 ».

ANNEXE N°3 « Extrait du guide du constructeur en bâtiment »

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DES MATÉRIAUX

	Matériaux	Masse volumique kN.m ⁻³	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹		Matériaux	Masse volumique kN.m ⁻³	λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	
Bétons	Béton de granulats lourds	24,00	1,75	Pierres	Calcaire tendre	18,40	0,95	
	Bétons caverneux de granulats lourds	20,00	1,40		Calcaire ferme	23,40	1,70	
	Béton caverneux lourd de laitier	18,00	0,70		Marbre	26,00	2,90	
	Béton de pouzzolane ou laitier	16,00	0,52		Grès, meulière	23,40	1,70	
	Béton de ponce naturelle	11,50	0,46		Terre comprimée	19,00	1,05	
	Béton d'argile expansée	18,00	1,05		Granit, basalte, gneiss	30,00	3,50	
	Béton de perlite ou de vermiculite	8,00	0,31		Bois	Feuillus mi-lourds (chêne, fruitiers, hêtre)	7,50	0,18
	Béton de perlite ou de vermiculite	6,00	0,24			Résineux mi-lourds (pin)	6,00	0,15
	Béton cellulaire autoclavé	8,00	0,33			Feuillus légers (peuplier)	4,50	0,18
	Béton cellulaire autoclavé	6,00	0,22			Résineux légers (sapin)	4,50	0,13
	Béton de fibres de bois	6,50	0,16	Panneaux	Panneaux de fibres de bois	10,00	0,20	
	Mortier pour enduits et joints	21,00	1,15		Panneaux isolants (isorel mou)	2,50	0,058	
Plâtres	Plâtre sans granulats serrés	13,00	0,50		Panneaux asphaltés dans la masse	3,00	0,065	
	Plâtre courant pour enduit et plaques	10,00	0,35		Panneaux de particules pressés à plat	7,50	0,17	
	Fibres-ciment en plaques	20,00	0,95		Panneaux de fibres de lin	6,00	0,12	
Étanchéité	Asphalte pur	21,00	0,70		Contre-plaqué et latté pin	5,50	0,15	
	Asphalte sablé	21,00	0,70		Contre-plaqué et latté en okoumé ou peuplier	4,50	0,12	
	Feutres et cartons bitumés	11,00	0,23		Panneau de paille comprimée	3,50	0,12	
Isolants	Laine de roche				Isolants	Mousse rigide de PVC	0,25 à 0,3	0,031
	RA1	0,18 à 0,2	0,047				0,35 à 0,4	0,034
	RA2	0,25 à 0,3	0,041	Mousse de polyuréthane		0,15 à 0,3	0,040	
	RA3	0,35 à 0,8	0,038	référence AD et BD		0,30 à 0,4	0,030	
	RB3	0,60 à 1,0	0,039	référence CD et DD		0,40 à 0,6	0,035	
	RB4	1,00 à 1,8	0,041	référence ED		0,60 à 0,7	0,040	
	Polystyrène expansé			Laine de verre				
	Découpé dans des blocs moulés en discontinu			Classe VA		VA1	0,07 à 0,0	0,047
	référence BM	0,10	0,047			VA3	0,12 à 0,1	0,039
	référence DM	0,15	0,041			VA5	0,25 à 0,6	0,034
	référence FM	0,24	0,037	Classe VB		VB1	0,07 à 0,0	0,051
	Plaques moulées en continu					VB3	0,12 à 0,1	0,041
	référence BC	0,10	0,047			VB5	0,25 à 0,6	0,035
	référence CC	0,13	0,043	Classe VC		VC1	0,07 à 0,0	0,056
	référence DC	0,15	0,041			VC3	0,12 à 0,1	0,044
	référence EC	0,20	0,039			VC5	0,25 à 1,3	0,036
référence FC	0,25	0,037	Classe VD	VD1	0,07 à 0,0	0,054		
Polystyrène moulé extrudé	0,28 à 0,4	0,042		VD2	0,09 à 0,1	0,048		
Liège comprimé	5,00	0,10		VD3	0,12 à 0,2	0,043		
Liège expansé aggloméré	1,50	0,043		Classe VE	VE1	0,55 à 0,8	0,037	
Caoutchouc synthétique	15,00	0,40	Matériaux	Acier	78,00	50,00		
Nylon, rilsan, polyester	14,00	0,20		Aluminium	27,00	230,00		
Altuglass et plexiglass	14,00	0,20		Cuivre	89,00	380,00		
Verre	25,00	1,00		Laiton	84,00	120,00		
				Zinc	72,00	110,00		
				Plomb	11,30	35,00		

Nom : <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																								
Prénom :	<input type="text"/>																								
N° d'inscription :	<input type="text"/>								Né(e) le :	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>									
<i>(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)</i>																									

Concours	<input type="text"/>			Section/Option	<input type="text"/>				Epreuve	<input type="text"/>				Matière	<input type="text"/>		
-----------------	----------------------	--	--	-----------------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--	--	----------------	----------------------	--	--

EFE MSP 2

DR 2 (annexe 4)

ANNEXE 4 (A rendre avec la copie)

Unité d'intensité lumineuse (candela)

...
 En 1979, en raison des difficultés expérimentales liées à la réalisation du radiateur de Planck aux températures élevées et des possibilités nouvelles offertes par la radiométrie, c'est-à-dire la mesure de la puissance des rayonnements optiques, la 16^e CGPM (1979, Résolution 3 ; CR, 100 et *Metrologia*, 1980, 16, 56) adopta une nouvelle définition de la candela :

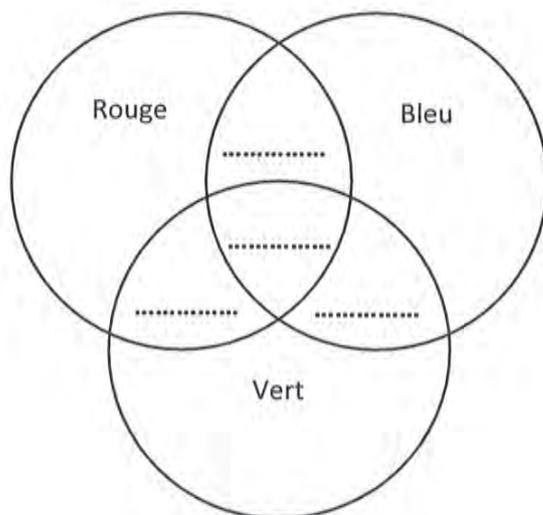
La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.

Il en résulte que l'efficacité lumineuse spectrale d'un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz est égale à 683 lumens par watt exactement, $K = 683 \text{ lm/W} = 683 \text{ cd sr/W}$.

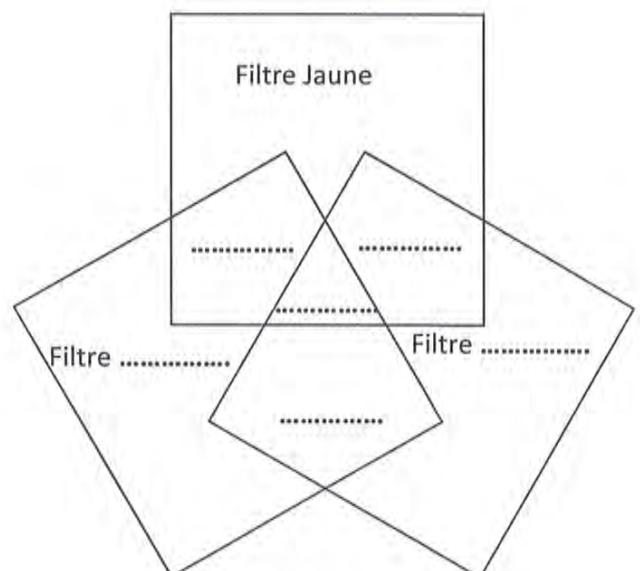
Tableau 3. Unités SI dérivées cohérentes ayant des noms spéciaux et des symboles particuliers

Grandeur dérivée	Nom	Symbole	Unité SI dérivée cohérente ^(a)	
			Expression utilisant d'autres unités SI	Expression en unités SI de base
angle plan	radian ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
angle solide	stéradian ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
flux lumineux	lumen	lm	cd sr ^(c)	cd
éclairement lumineux	lux	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
activité d'un radionucléide ^(d)	becquerel ^(d)	Bq		s ⁻¹

- (a) Les préfixes SI peuvent être utilisés avec n'importe quel nom spécial et symbole particulier, mais dans ce cas l'unité qui en résulte n'est plus une unité cohérente.
 (b) Le radian et le stéradian sont des noms spéciaux pour le nombre un, qui peuvent être utilisés pour donner des informations sur la grandeur concernée. En pratique, les symboles rad et sr sont utilisés lorsque c'est utile, et le symbole pour l'unité dérivée « un » n'est généralement pas mentionné lorsque l'on donne les valeurs des grandeurs sans dimension.
 (c) En photométrie, on maintient généralement le nom et le symbole du stéradian, sr, dans l'expression des unités.



Synthèse additive



Synthèse soustractive