

# 2013

## AF

### Le Polyméthacrylate de méthyle

Le PMMA ou polyméthacrylate de méthyle est un polymère connu depuis 1932 sous le nom de plexiglass.

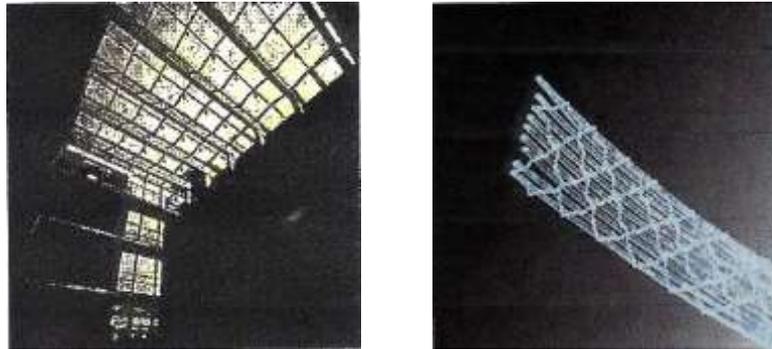
Ce polymère possède des propriétés physiques remarquables :

- une transparence à la lumière supérieure à celle du verre
- une excellente tenue aux agents atmosphériques, ainsi qu'aux UV
- une légèreté due à sa faible masse volumique
- une solidité qui le protège des rayures
- une grande flexibilité
- ...

Dans le secteur du bâtiment, parmi de nombreuses applications, on peut citer l'emploi du PMMA dans les panneaux photovoltaïques en remplacement du verre.

Le PMMA est aussi utilisé dans l'ameublement, l'agencement et la décoration de magasins.

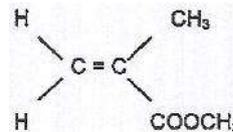
Ce sujet aborde l'utilisation du PMMA dans les vitrages et les fibres optiques.



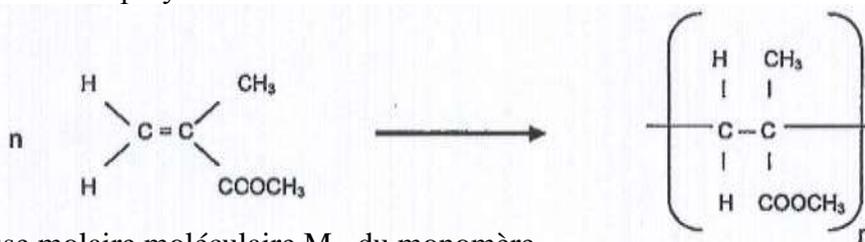
(Photos extraites du site internet « archiexpo »)

### Chimie organique

Le vitrage étudié est en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) dont le monomère est :



L'équation de la réaction de polymérisation s'écrit :



1) Calculer la masse molaire moléculaire  $M_m$  du monomère.

La masse molaire du PMMA utilisé ici est  $M_p = 3,00 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

2) Calculer l'indice de polymérisation  $n$  de ce polymère.

Sous l'action de la chaleur, le PMMA peut être fondu, puis remoulé.

3) Préciser si ce polymère est thermodurcissable ou thermoplastique.

On souhaite fabriquer une vitre aux dimensions suivantes : 300 cm x 200 cm x 1,0 cm.

4) Calculer le volume  $V$ , en  $\text{m}^3$ , de PMMA nécessaire.

5) En déduire la masse  $m$  de cette vitre en PMMA sachant que la masse volumique du PMMA utilisé est  $\rho = 1190 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Si le matériau choisi avait été du verre, la masse du même vitrage aurait été de 150 kg environ.

6) Conclure sur l'un des avantages à utiliser le PMMA.

## Oxydoréduction

Le cadre de la fenêtre est conçu en aluminium (Al).

Comme nombre de métaux, l'aluminium peut être corrodé par des agents oxydants présents dans l'atmosphère.

*Données :*

$$E^0 (Al^{3+}/Al) = -1,66 \text{ V}$$

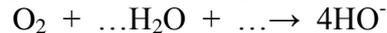
$$E^0 (O_2/HO^-) = -0,09 \text{ V (à } pH = 8)$$

1) Ecrire la demi-équation électronique qui traduit la corrosion de l'aluminium.

Préciser si c'est une oxydation ou une réduction, en justifiant brièvement.

On considère que l'attaque de l'aluminium se produit par le dioxygène de l'air en milieu légèrement basique (présence d'ions  $HO^-$ ).

2) Recopier sur votre copie, en la complétant, la demi-équation électronique du couple  $O_2/HO^-$  :



3) A partir des données, justifier le fait que le dioxygène peut réagir avec l'aluminium.

4) Proposer un moyen de protéger les métaux de l'oxydation.

## Thermique

*Données :*

• Simple vitrage : PPMA d'épaisseur  $e_1 = 10 \text{ mm}$  ou verre d'épaisseur  $e_2 = 10 \text{ mm}$

• Températures de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la maison, respectivement  $\theta_i = 18^\circ C$  et  $\theta_e = 4^\circ C$

• Conductivité thermique du PPMA :  $\lambda_1 = 0,170 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$

• Conductivité thermique du verre :  $\lambda_2 = 1,15 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$

• résistances thermiques surfaciques superficielles interne et externe, respectivement  $r_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K}^{-1}.W^{-1}$  et  $r_{se} = 0,040 \text{ m}^2 \text{ K}^{-1}.W^{-1}$

(on considérera ces valeurs identiques pour le PPMA et le verre)

• Coût du kilowattheure : 0,080 €

• Dimensions du vitrage : 300 cm x 200 cm x 1,0 cm.

1) Vérifier que les résistances thermiques surfaciques  $r_1$  du PPMA et  $r_2$  du verre valent respectivement :  $0,23 \text{ m}^2.K.W^{-1}$  et  $0,18 \text{ m}^2.K.W^{-1}$ .

2) Calculer les flux thermiques surfaciques  $\phi_1$  dans le cas du PPMA et  $\phi_2$  dans le cas du verre.

3) Montrer que le flux thermique traversant la surface vitrée en PPMA vaut  $\phi_1 = 3,7.10^2 \text{ W}$  et que celui traversant la même surface en verre est égal à  $\phi_2 = 4,7.10^2 \text{ W}$ .

4) Calculer, en kWh, l'énergie  $E_1$  perdue à travers le vitrage en PPMA, puis l'énergie  $E_2$  perdue à travers le vitrage en verre, pendant 24 heures, en considérant l'écart de température constant pendant toute cette durée.

Sur une durée de 24 heures, le vitrage en PPMA permet ainsi de réaliser une économie d'énergie d'environ 2 kWh par rapport à une surface vitrée en verre classique.

5) Calculer l'économie financière réalisée sur une année comportant 180 jours de chauffage.

## Photométrie

Etude d'un système d'éclairage naturel à fibres optiques en PPMA.

Pour différentes raisons, la lumière naturelle constitue le meilleur des éclairages.

Plus belle, plus agréable, elle est aussi la meilleure pour notre santé et notre bien-être.

De plus elle est gratuite.

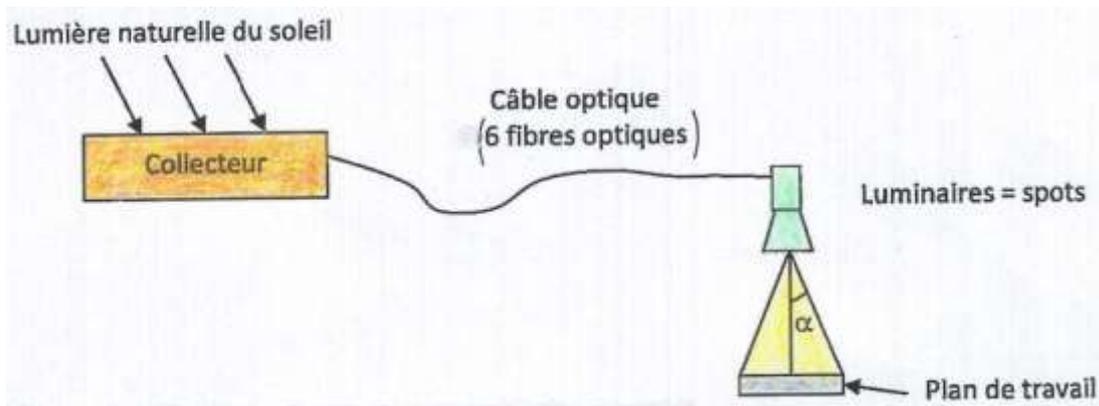
Mais comment en bénéficier dans les pièces ne comportant pas d'ouvertures sur l'extérieur ?

Le système schématisé ci-dessous montre une solution innovante et intéressante d'un point de vue écologique.

Il collecte la lumière naturelle du soleil et la redirige à l'intérieur de la maison, via six fibres optiques en polyméthacrylate de méthyle (PPMA) regroupées dans un câble.

A l'extrémité du câble, un luminaire, ici un spot, dirige la lumière vers le plan de travail d'une cuisine que l'on souhaite éclairer.

Ce type de système constitue une alternative aux puits de lumière et aux grandes verrières, sources d'excès de chaleur.

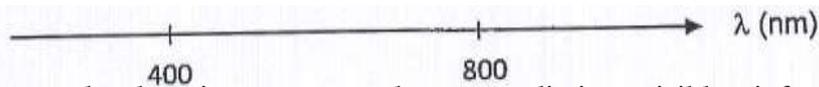


### Le collecteur de lumière solaire

La lumière naturelle est composée de radiations visibles, de radiations infrarouges et de radiations ultraviolettes.

#### 1) Rayonnement

Reproduire l'axe ci-dessous.



Situer sur cet axe les domaines correspondant aux radiations visibles, infrarouges et ultraviolettes.

Un filtre infrarouge et un filtre ultraviolet équipent le collecteur.

#### 2) Quel peut être l'intérêt d'utiliser un filtre infrarouge ?

Lors d'une journée très ensoleillée, l'éclairement énergétique  $E_e$  au niveau du toit sur lequel est placé le collecteur, est de  $1,0 \text{ kW.m}^{-2}$ .

Ce capteur de lumière a une surface utile  $S$  de  $0,25 \text{ m}^2$ .

L'efficacité lumineuse du rayonnement solaire vaut  $k = 100 \text{ lm.W}^{-1}$ .

#### 3) a- Calculer le flux énergétique $\Phi_e$ reçu par le capteur.

b- En déduire que le flux lumineux  $\Phi_l$  collecté par le capteur est égal à  $25 \cdot 10^3 \text{ lm}$ .

### Les fibres optiques

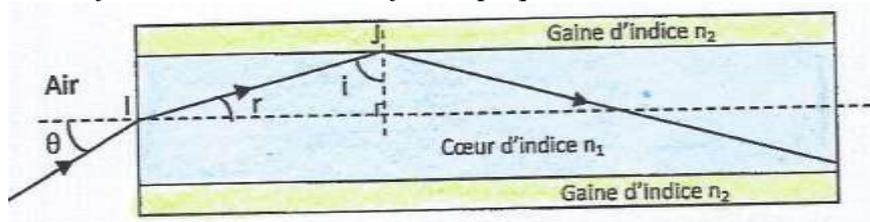
Le flux lumineux  $\Phi_0$  qui pénètre effectivement dans le câble optique vaut en fait  $5,5 \cdot 10^3 \text{ lm}$ .

Les fibres optiques sont fabriquées en polyméthacrylate de méthyle (PPMA).

#### Données :

Indice de réfraction de l'air :  $n_a = 1,00$

Indice de réfraction du cœur de la fibre optique :  $n_1 = 1,52$



(propagation de la lumière dans une fibre optique)

Au point J, si l'angle  $i$  dépasse une valeur limite  $i_{lim}$ , le rayon réfracté n'existe pas.

Il existe alors seulement le rayon réfléchi, qui reste confiné dans le cœur de la fibre ; on parle de réflexion totale.

C'est toujours de cette façon que la fibre optique est utilisée, car ainsi il n'y a pas de pertes par réfraction au niveau de la gaine et la lumière injectée dans la fibre se propage par une suite de réflexions totales.

#### 1) Si $i = i_{lim} = 78,6^\circ$ , déterminer l'angle $r$ par des considérations géométriques.

La loi de Descartes, formule qui relie l'angle d'incidence  $\theta$  et l'angle de réflexion  $r$ , s'écrit au point I :

$$n_a \cdot \sin \theta = n_1 \cdot \sin r$$

#### 2) Calculer l'angle $\theta$ qui donne la valeur de $r$ calculée à la question 1).

La lumière est injectée sous forme d'un faisceau dont tous les rayons ont un angle d'incidence inférieur à  $\theta$ .

Ainsi l'angle  $i$  reste toujours supérieur à la valeur limite  $i_{lim}$  et il n'y a pas de pertes par réfraction.

Néanmoins une altération du faisceau lumineux a lieu car le PPMA absorbe une partie de la lumière qui le traverse.

Ainsi le câble transmet 95% de la lumière par mètre.

3) Calculer le flux lumineux  $\Phi_1$  transmis à l'extrémité d'un câble qui mesure 2 m de long.

Les spots lumineux

A l'extrémité d'un câble de 5 m, le flux lumineux  $\Phi_2$  est égal à  $4,2 \cdot 10^3$  lm.

Ce flux est réparti dans les six fibres optiques regroupées dans le câble ; cela permet d'éclairer une ou plusieurs pièces, avec un total de six spots.

Un de ces spots est placé à une distance  $d = 1,8$  m au-dessus du plan de travail dans une cuisine.

Le spot est muni d'un dispositif optique qui permet de répartir uniformément le flux lumineux dans un cône de demi-angle  $\alpha = 30^\circ$ .

Donnée :

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos \alpha)$$

1) Calculer l'angle solide (en stéradian, sr) du faisceau lumineux émis par chaque spot.

2) a- Quel est le flux lumineux  $\Phi_3$  émis par un seul spot, sachant que le flux lumineux  $\Phi_2$  est réparti équitablement entre les fibres optiques.

b- Calculer l'intensité lumineuse  $I$  (en candéla, cd), émise par un spot.

3) Vérifier que l'éclairement  $E$  au point du plan de travail situé à la verticale du spot vaut  $2,6 \cdot 10^2$  lx.

**B****Etude d'une maison labellisée BBC**

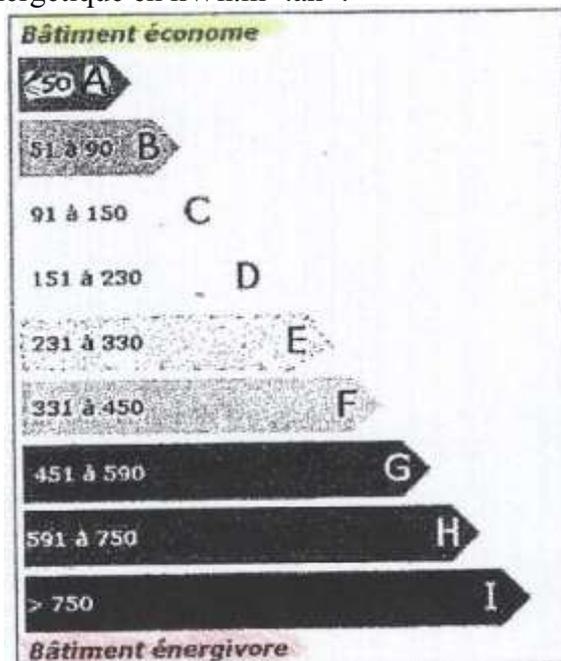
(BBC : bâtiment basse consommation énergétique)

Le diagnostic de performance énergétique est un document obligatoire qui informe l'acheteur d'un bien immobilier.

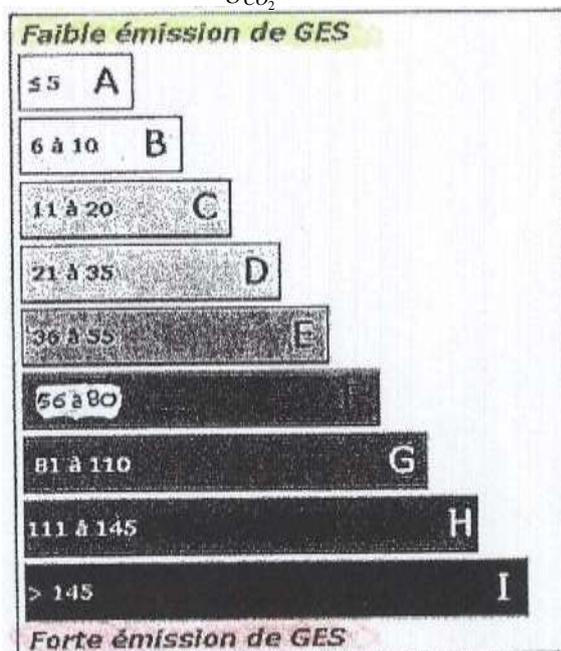
Les habitations sont réparties en différentes catégories, de A à G pour la consommation énergétique et pour l'émission de GES (gaz à effet de serre).

Une maison labellisée BBC garantie une consommation énergétique faible.

- Classement en fonction de la consommation énergétique en  $\text{kWh.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ .



- Classement en fonction de l'émission de gaz à effet de serre en  $\text{kg}_{\text{CO}_2}.\text{m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ .



Les parties A, B et C de ce sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

A- Etude thermique de la maison

B- Etude du chauffage de la maison

C- Eclairage d'une pièce de la maison

## Thermique

Pour satisfaire le critère BBC, il est conseillé d'avoir, pour les murs, une conductance thermique surfacique  $U_{\text{mur}}$  telle que  $U_{\text{mur}} < 0,2 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$ .

Données :

Matériaux	Épaisseur (cm)	Conductivité thermique ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
Enduit	$e_e = 1$	$\lambda_e = 1,15$
Brique	$e_b = 20$	$\lambda_b = 0,11$
Carreau de plâtre	$e_p = 7$	$\lambda_p = 0,48$

Lame d'air : épaisseur  $e_a = 1,5 \text{ cm}$ , conductivité thermique  $\lambda_a = 0,024 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Film mince multicouches : résistance thermique surfacique  $r_{mc} = 2,5 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ .

résistances thermiques surfaciques superficielles interne et externe respectivement :

$$r_{si} = 0,11 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1} \text{ et } r_{se} = 0,06 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

### Etude de la résistance thermique surfacique des murs.

Les murs d'une habitation ont, de l'extérieur vers l'intérieur, la constitution suivante :

- une couche d'enduit
- de la brique
- une lame d'air
- un film isolant multicouches
- des carreaux de plâtre.

- 1) a- Donner l'expression de la résistance thermique surfacique d'un mur.
  - b- Vérifier que la résistance thermique surfacique d'un mur est égale à  $5,27 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ .
  - c- En déduire la valeur de la conductance thermique surfacique d'un mur.
- Cette valeur est-elle compatible avec celle proposée pour le label BBC ?

Justifier la réponse.

### Evaluation des pertes thermiques en hiver (environ 60 jours par an).

La température intérieure est de  $21^\circ\text{C}$  et la température extérieure de référence est de  $-5^\circ\text{C}$ .

- 2) a- Calculer la densité du flux thermique.

La surface totale des murs est de  $325 \text{ m}^2$ .

- b- Calculer la puissance thermique perdue à travers ces murs.
- c- Calculer en kWh, l'énergie consommée pendant la saison hiver.

### Evaluation pour les saisons intermédiaires, printemps et automne (environ 245 jours)

La température intérieure est de  $21^\circ\text{C}$  et la température extérieure de référence est de  $14^\circ\text{C}$ .

- 3) a- Calculer la densité de flux thermique et en déduire la puissance thermique perdue à travers les murs.
- b- Calculer en kWh, l'énergie consommée pendant les saisons intermédiaires.

L'ensemble des autres pertes thermiques (fenêtres, baies vitrées, sol, toit,...) est égal à  $4150 \text{ kWh}$  par an.

La surface habitable est de  $425 \text{ m}^2$ .

- c- Calculer la consommation en kilowattheures de cette maison, par mètre carré et par an.
- d- Cette valeur est-elle compatible avec le label BBC ?

Justifier la réponse.

## Chimie organique

Le chauffage de la maison est réalisé par une chaudière au fioul, à condensation, dont le rendement est élevé.

Données :

Pouvoir calorifique supérieur du fioul :  $12,8 \text{ kWh.kg}^{-1}$

Matériaux	Masse volumique ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
Fioul	840
Eau	1000

Volume molaire :  $24 \text{ L.mol}^{-1}$

L'énergie apportée par le fioul domestique utilisé est de  $8000 \text{ kWh.an}^{-1}$ .

Le rendement de la chaudière est de 95%.

- 1) Calculer l'énergie utile pour le chauffage.

2) a- Montrer que la masse de fioul  $m$ , consommé par an, est égale à 625 kg

b- En déduire le volume de fioul consommé par an.

On peut assimiler les molécules de fioul à des molécules de formule brute  $C_{20}H_{42}$ .

3) a- A quelle famille appartient cet hydrocarbure ?

b- Donner la formule brute générale des composés de cette famille.

4) Ecrire l'équation de la combustion complète de ce fioul dans le dioxygène.

5) Calculer la quantité de matière, exprimée en moles, de fioul consommé en une année.

6) Vérifier que la masse de dioxyde de carbone libéré par cette chaudière pendant une année est égale à  $2,0 \cdot 10^3$  kg.

La surface habitable est de  $425 \text{ m}^2$ .

7) a- En déduire la masse de dioxyde de carbone libéré par cette chaudière par mètre carré et par an.

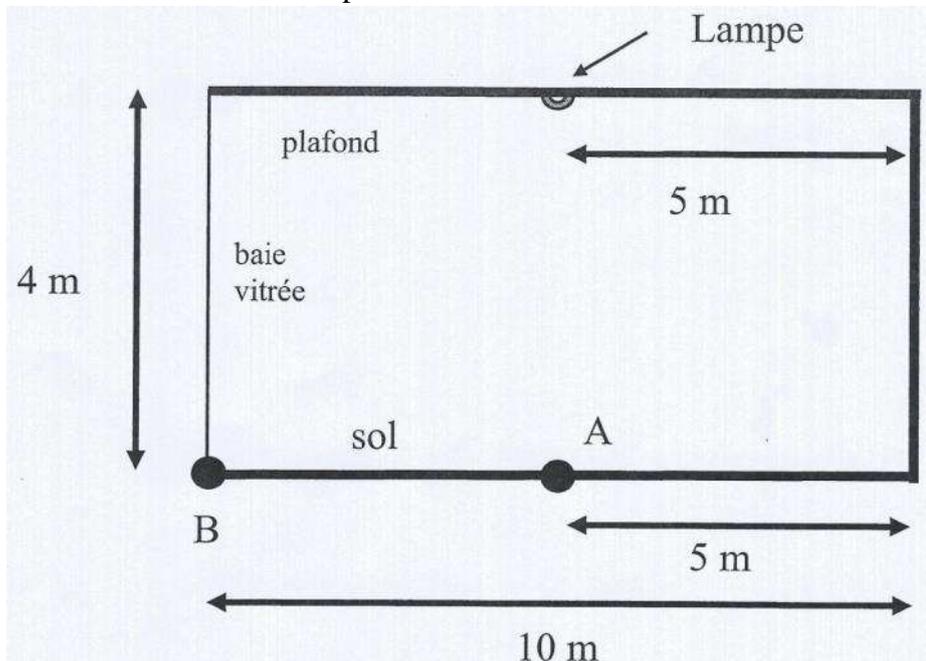
b- Indiquer le classement de cette maison pour ce qui est de l'émission de gaz à effet de serre (GES).

### Photométrie

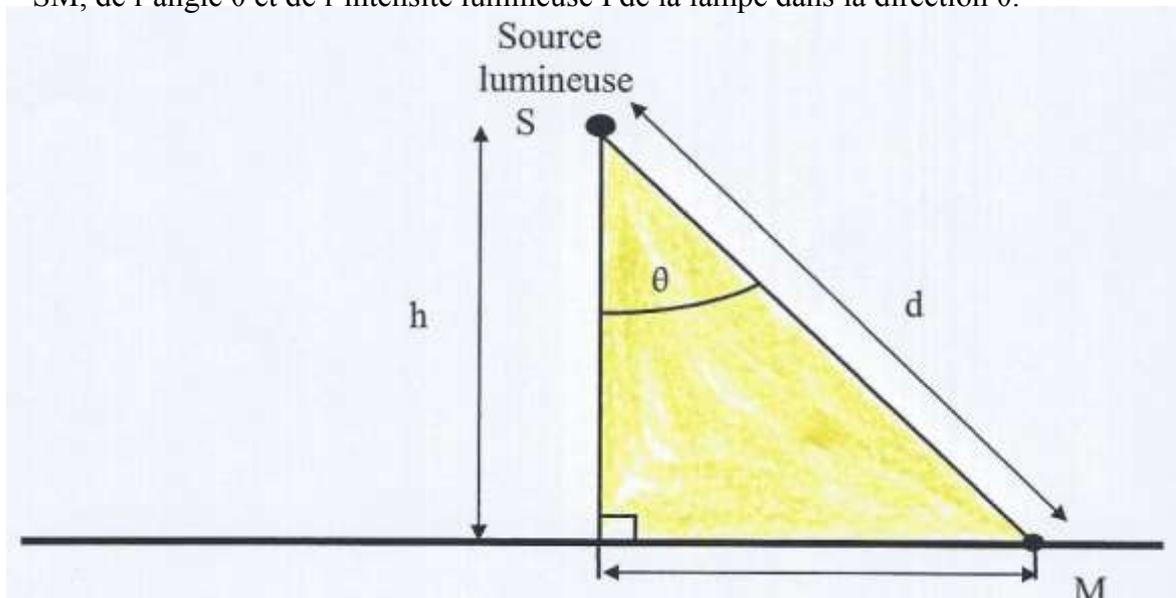
L'éclairage à l'intérieur de la maison a été optimisé afin qu'un nombre minimum de lampes assure un éclairage satisfaisant.

On se propose d'étudier l'éclairage dans une pièce de l'habitation.

Pour cela il sera utilisé le schéma en coupe ci-dessous :



1) Donner l'expression de l'éclairement  $E$  au point  $M$  sur une surface horizontale en fonction de la distance  $d = SM$ , de l'angle  $\theta$  et de l'intensité lumineuse  $I$  de la lampe dans la direction  $\theta$ .



La lampe utilisée est une lampe halogène de puissance  $P$  égale à 1000 W et de flux lumineux  $\Phi$  égal à 34000 lumens.

2) Calculer son efficacité lumineuse  $k$ .

L'intensité lumineuse  $I_0$  pour une source de Lambert est donnée par la relation  $I_0 = \frac{\Phi}{\pi}$ .

3) Calculer la valeur de cette intensité  $I_0$ .

L'éclairement au point M peut également s'écrire sous la forme :  $E = \frac{I_0 \cdot h^2}{(h^2 + x^2)^2}$ .

4) a- Calculer l'éclairement au point A du sol.

b- Calculer l'éclairement au point B du sol.

L'éclairement est considéré comme adapté lorsqu'il est supérieur ou égal à 100 lux.

5) Cette condition est-elle satisfaisante ?

Justifier la réponse.

**EB****Autour d'un revêtement de polyfluorure de vinylidène (PVFD)**

On se propose d'étudier sommairement le revêtement extérieur en polyfluorure de vinylidène (PVFD) d'une paroi du hall d'accueil d'un gymnase.

Le sujet est constitué de trois parties indépendantes qui peuvent être traitées dans n'importe quel ordre :

Partie 1 : Etude physicochimique des parois

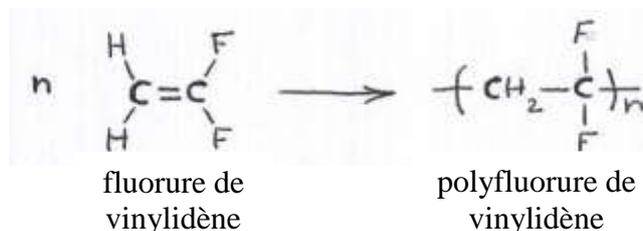
Partie 2 : Etude de l'éclairage du parvis d'entrée

Partie 3 : Etude acoustique

**Chimie organique**Etude physicochimique des parois

Le polymère utilisé, le polyfluorure de vinylidène (PVFD) est issu de la polymérisation du fluorure de vinylidène.

La réaction de polymérisation est représentée ci-dessous :



- 1) a- Définir les termes de polymère et de degré de polymérisation.
- b- Déterminer la masse molaire moléculaire du monomère.
- c- Le degré de polymérisation moyen étant de 100, déterminer la masse molaire moléculaire moyenne du polymère.

Donnée :

*Masse volumique du PFVD :  $\rho_{pfvd} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$*

Les jonctions des différentes plaques sont assurées par des soudures à chaud ne devant pas excéder 300°C dans le dioxygène.

En effet, au delà de cette température, le polymère se dégrade, en libérant de l'acide fluorhydrique gazeux (HF) et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

<u>FLUORURE d'HYDROGENE</u>	
<b>DANGER</b>	
<i>H 330 – Mortel par inhalation</i>	
<i>H 310 – Mortel par contact cutané</i>	
<i>H 300 – Mortel en cas d'ingestion</i>	
<i>H 314 – Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves</i>	
<u>Nota</u> : les conseils de prudence sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement 1272/2008.	
231-634-8	 

Consigne de risque du fluorure de vinylidène

- 2) Ecrire en ajustant les coefficients stœchiométriques, l'équation de réaction associée à la transformation chimique de la dégradation du PFVD, noté [CH<sub>2</sub>—CF<sub>2</sub>]<sub>100</sub>, dans le dioxygène. Une soudure entre les deux plaques de PFVD se caractérise par une surface de 0,5 m<sup>2</sup> et une épaisseur de 500 µm. Lorsque la soudure a été mal réalisée, on considère qu'1% de la masse de polymère constituant la soudure a été dégradé.
- 3) a- Montrer que la quantité de matière de polymère dégradé est de 7,0 · 10<sup>-4</sup> mol, pour une soudure mal réalisée.
- b- Montrer que la quantité de matière en acide fluorhydrique gazeux formée, après dégradation, est de

$1,4 \cdot 10^{-1}$  mol.

c- En déduire la masse d'acide fluorhydrique gazeux produit.

d- On admet que l'acide fluorhydrique gazeux peut être assimilé à un gaz parfait. En déduire le volume d'acide fluorhydrique gazeux produit à  $25^\circ\text{C}$  et sous une pression de 1 bar.

e- Quels peuvent être selon vous, les risques encourus par l'opérateur lors de la mauvaise réalisation d'une soudure ?

Donnée :

*Volume molaire d'un gaz parfait sous une pression de 1 bar et à une température de  $25^\circ\text{C}$  :*

$$V_{mol} = 23 \text{ L.mol}^{-1}$$

## Photométrie

### Etude de l'éclairage du parvis d'entrée

La partie inférieure des parois du hall est recouverte de polymère, et est éclairée à l'aide d'un projecteur halogène.

Celui-ci sera supposé ponctuel dans toute la suite du problème.

On suppose que la lumière servant à l'éclairage du parvis provient intégralement de la lumière réfléchiée par une paroi réfléchissante.

Le cahier des charges prévoit un éclairage visuel minimal moyen du parvis d'entrée, noté  $E_p$ , de 50 lux.

On considère dans la suite du problème que le flux lumineux visuel émis par le projecteur halogène et noté  $\Phi_s$ , est perpendiculaire à la paroi réfléchissante.

1) Quelles peuvent être, selon vous, les facteurs extérieurs relatifs à la paroi qui pourraient nuire à cet éclairage à moyen et long terme ?

2) Nommer l'appareil qui permet de mesurer un éclairage visuel.

3) Connaissant la valeur de l'éclairage visuel du parvis, calculer le flux lumineux visuel noté  $\Phi_p$ , reçu par ce parvis.

4) En déduire que le flux lumineux visuel émis par la paroi réfléchissante est de 2000 lm.

On considère que l'intensité lumineuse émise par un projecteur halogène supposé ponctuel et notée  $I_{\text{émis}}$ , est constante et égale à 650 cd dans un cône d'angle solide  $\Omega = 4,13$  sr.

5) Exprimer, en fonction de  $I_{\text{émis}}$  et  $\Omega$ , le flux lumineux visuel moyen,  $\Phi_s$ , émis par ce projecteur halogène.

6) Montrer que  $\Phi_s$  vaut  $2,7 \cdot 10^3$  lm.

7) En déduire la puissance électrique de cette lampe halogène.

8) En supposant que le flux  $\Phi_s$  est totalement reçu par la paroi, conclure sur l'adaptation de ce projecteur halogène par rapport au flux lumineux visuel attendu par le cahier des charges de 2000 lm.

Données :

*Surface du parvis :  $40 \text{ m}^2$*

*Eclairage du parvis :  $E_p = 50 \text{ lux}$*

*Surface éclairée de la paroi :  $5 \text{ m}^2$*

*Coefficient de réflexion en flux lumineux de la paroi propre :  $\rho = 0,8 = \frac{\Phi_{\text{réémis}}}{\Phi_{\text{reçu}}}$*

*Efficacité de la lampe halogène :  $e = 10 \text{ lm.W}^{-1}$*

## Acoustique

Ce hall d'accueil étant un lieu de stationnement de foule, on cherche à évaluer dans cette partie, l'intérêt de traiter acoustiquement les parois d'entrée.

L'option envisagée est d'utiliser des plaques percées de PFVD associées à un matériau absorbant les ondes acoustiques.

On admet que deux sons sont distinctement perceptibles à l'oreille s'ils sont séparés d'une durée de 30 ms.

1) Montrer qu'une distance minimale, notée  $d_{\text{min}}$ , de 5,10 mètres entre la source d'un signal sonore et une paroi réfléchissante, permet de distinguer le signal sonore émis du signal sonore réfléchi.

Donnée :

*Célérité d'une onde sonore dans l'air à  $20^\circ\text{C}$  :  $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$*

On considère un ensemble de personnes discutant à 5,00 mètres de la paroi.

Ce groupe est assimilé à une source de niveau d'intensité sonore  $L_{\text{émis}} = 70 \text{ dB}$  à la fréquence de 1 kHz.

2) Nommer l'appareil permettant de mesurer un niveau d'intensité sonore.

3) Donner la valeur du niveau d'intensité sonore correspondant au seuil de douleur.

Donnée :

Niveau de puissance sonore d'une onde acoustique la quantité :  $L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0}$

On souhaite que l'intensité acoustique réfléchiée par le mur ait pour valeur  $I_{\text{murtraité}} = 3,16 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .  
On admet que l'intensité acoustique reçue par la paroi est de  $3,95 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

4) a- Déduire la valeur du coefficient de réflexion en intensité sonore, noté  $\alpha$ , de l'ensemble paroi-matériau absorbant.

b- Parmi les matériaux, choisir celui qui permettrait d'assurer le meilleur confort acoustique.

Donnée :

*Variations du coefficient  $\alpha$  en fonction de la fréquence de l'onde*

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Fibre de bois compressé	0,15	0,44	0,45	0,44	0,53	0,59
Laine de chanvre ( $250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	0,25	0,28	0,51	0,80	0,93	0,99
Panneau aggloméré lin	0,75	0,80	0,50	0,40	0,38	0,33

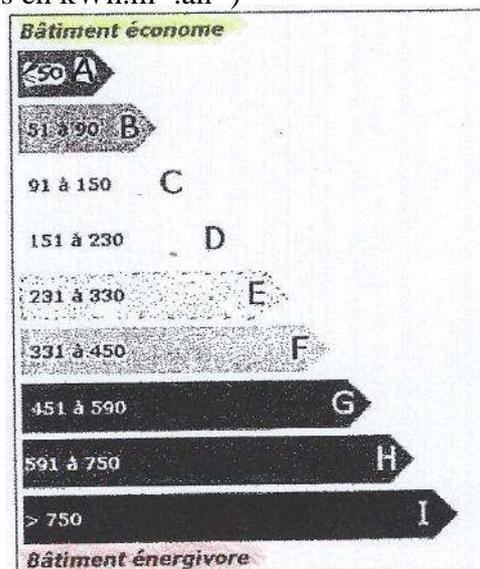
## EEC

### Le diagnostic de performance énergétique

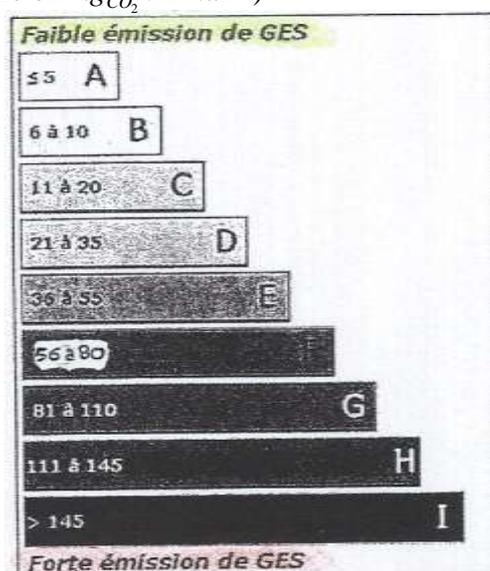
Obligatoire depuis 2006 lors de la vente d'un logement, le **diagnostic de performance énergétique (DPE)** renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en termes d'émission de gaz de serre.

La lecture du DPE est facilitée par deux étiquettes à **7 classes** de **A à I** (A correspondant à la meilleure performance, I à la plus mauvaise) :

- l'**étiquette énergie** pour connaître la consommation d'énergie primaire du bâtiment (consommations énergétiques en  $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ )



- l'**étiquette climat** pour connaître la quantité de gaz à effet de serre émise. (émissions de gaz à effet de serre en  $\text{kg}_{\text{CO}_2}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ )



Dans ce sujet, on évaluera de manière simplifiée, l'énergie consommée par un logement et on estimera également son impact sur l'environnement.

Partie A : Energie consommée pour le chauffage

Partie B : Energie consommée pour la production d'eau chaude

Partie C : Emission de gaz à effet de serre

Le nombre de chiffres significatifs d'un résultat devra être cohérent avec les données de l'énoncé. Une attention particulière sera apportée aux unités utilisées.

## Thermique

Le logement est assimilable à un parallélépipède rectangle dont les dimensions sont les suivantes :

$$\text{Longueur } L = 12,5 \text{ m}$$

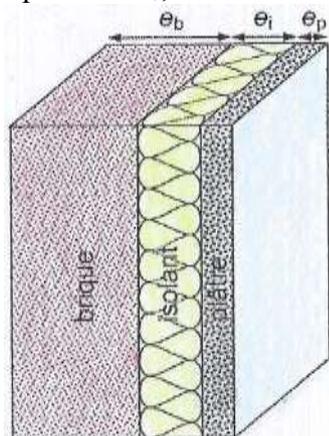
$$\text{largeur } \ell = 10,0 \text{ m}$$

$$\text{hauteur } h = 2,50 \text{ m}$$

Le logement comporte une surface vitrée  $S_v = 10,0 \text{ m}^2$  et une surface de porte  $S_p = 6,00 \text{ m}^2$ .

On ne prend pas en compte les échanges thermiques liés à la ventilation, au sol,...

Les murs sont constitués de briques d'épaisseur  $e_b$ , d'un isolant d'épaisseur  $e_i$  et de plâtre d'épaisseur  $e_p$ .



Données :

Caractéristiques des matériaux :

Matériau	Epaisseur (mm)	Conductivité thermique ( $W.K^{-1}.m^{-1}$ )
Brique	$e_b = 220$	$\lambda_b = 0,500$
Isolant	$e_i = 80$	$\lambda_i = 0,047$
Plâtre	$e_p = 13$	$\lambda_p = 0,250$

résistances thermiques surfaciques superficielles :

- pour la paroi en contact avec l'extérieur  $r_{se} = 0,060 \text{ m}^2.K.W^{-1}$

- pour la paroi en contact avec l'intérieur  $r_{si} = 0,11 \text{ m}^2.K.W^{-1}$

Résistance thermique surfacique des murs.

1) a- Donner la relation permettant le calcul de la résistance thermique surfacique  $r_m$  des murs.

b- Calculer  $r_m$ .

Flux thermique surfacique et flux thermique à travers les parois.

On considère que le chauffage du bâtiment fonctionne 150 jours par an, au cours desquels la température extérieure  $\theta_e$  est en moyenne égale à  $10,0^\circ\text{C}$ .

On considère que la température intérieure  $\theta_i$  du bâtiment est constamment égale à  $19,0^\circ\text{C}$ .

2) a- Donner la relation permettant de calculer le flux thermique surfacique  $\phi_m$  à travers les murs.

b- Calculer  $\phi_m$ .

c- Calculer la surface des murs  $S_m$ .

d- Donner la relation permettant de calculer le flux thermique  $\Phi_m$  à travers les murs.

e- Calculer  $\Phi_m$ .

Energie fournie par le système de chauffage.

Données :

- résistances thermiques surfaciques ( $r$ ) de chaque paroi

- flux thermiques surfaciques ( $\phi$ ) à travers les différentes parois

- flux thermiques ( $\phi$ ) à travers les différentes parois

Paroi	Toiture	Vitrage	Porte	Murs
$r \text{ (m}^2.K.W^{-1}\text{)}$	0,41	0,36	0,42	$r_m$
$\phi \text{ (W.m}^{-2}\text{)}$	21,9	25,0	21,5	$\phi_m$
$\phi \text{ (W)}$	2740	250	129	$\Phi_m$

3) a- Calculer la puissance  $P$  que doit fournir en moyenne le système de chauffage pour assurer une température  $\theta_i$  de  $19^\circ\text{C}$  dans le local si la température extérieure  $\theta_e$  est en moyenne égale à  $10,0^\circ\text{C}$ .

b- En déduire l'énergie  $E$  fournie par le système de chauffage pendant une saison hivernale de durée  $\Delta t = 150$  jours.

Exprimer le résultat en kilowattheures.

On estime que le rendement énergétique de la chaudière est  $\eta = 75\%$ .

c- Calculer l'énergie  $E_{an}$  consommée par la chaudière.

#### Consommation énergétique annuelle pour un mètre carré d'habitation.

4) Calculer la consommation énergétique annuelle pour un mètre carré d'habitation  $E_{ch}$  en  $\text{kWh.m}^{-2} \text{an}^{-1}$  pour le chauffage de l'habitation.

### Calorimétrie

*Données :*

*Masse volumique de l'eau :  $\rho = 997 \text{ kg.m}^{-3}$*

*capacité thermique massique de l'eau :  $c = 4,18.10^3 \text{ J.kg}^{-1} \text{.K}^{-1}$*

*Relation entre les unités d'énergie :  $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$*

*Dimensions du logement :*

*Longueur  $L = 12,5 \text{ m}$*

*largeur  $\ell = 10,0 \text{ m}$*

*hauteur  $h = 2,50 \text{ m}$*

*Le logement est occupé par quatre personnes.*

*Le volume  $V$  d'eau utilisé par l'ensemble des occupants pour la toilette (douche, bain, lavabo) est estimé à 100 litres par jour.*

#### Consommation d'eau chaude et d'eau froide.

1) a- Calculer la masse  $m$  d'eau consommée quotidiennement par l'ensemble des occupants pour la toilette.

Lors de l'utilisation de l'eau chaude pour la toilette, un tiers de la masse d'eau provient du ballon d'eau chaude à la température  $\theta_c = 60,0^\circ\text{C}$  ; le reste provient du réseau d'alimentation d'eau froide à la température  $\theta_f = 12,0^\circ\text{C}$ .

b- Calculer la masse  $m_c$  d'eau chaude consommée quotidiennement.

#### Energie consommée par le chauffe-eau.

2) a- Calculer l'énergie  $Q_c$  nécessaire chaque jour pour chauffer la masse d'eau  $m_c$  d'eau.

On estime que le rendement énergétique du chauffe-eau est  $\eta' = 85\%$ .

b- Calculer l'énergie  $E_j$  consommée quotidiennement par le chauffe-eau.

c- En déduire l'énergie  $E_{an}$  consommée par le chauffe-eau sur une année si celui-ci fonctionne 330 jours par an.

Exprimer cette énergie en kWh.

#### Consommation énergétique annuelle pour un mètre carré d'habitation.

3) Calculer la consommation énergétique annuelle  $E_{eau}$  pour un mètre carré d'habitation en  $\text{kWh.m}^{-2} \text{.an}^{-1}$  pour la production d'eau chaude sanitaire.

#### Etiquette énergie du logement.

4) A l'aide des consommations énergétiques  $E_{ch}$  et  $E_{eau}$  pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, déterminer la lettre (A, B, C...) qui figurera sur l'étiquette énergie du logement.

Justifier votre réponse.

### Chimie organique

*Données :*

*Masse volumique du butane (dans les conditions de l'exercice) :  $\rho = 2,50 \text{ kg.m}^{-3}$*

*Pouvoir calorifique du butane :  $PC = 30,5 \text{ kWh.m}^{-3}$*

Les systèmes de chauffage et de production d'eau chaude du logement fonctionnent tous deux en brûlant du butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

#### Le butane.

1) a- A quelle famille d'hydrocarbures le butane appartient-il ?

b- Ecrire la formule semi-développée du butane.

#### Masse de butane consommée.

Chaque année, l'énergie  $E_t$  consommée pour le chauffage et la production d'eau chaude du logement est estimée à 17500 kWh.

2) a- Calculer le volume  $V$  de butane consommée annuellement.

b- En déduire la masse  $m$  de butane consommée annuellement.

Combustion du butane.

- 3) a- Ecrire l'équation de la réaction de combustion du butane dans le dioxygène de l'air.  
b- Calculer la quantité de matière  $n_{C_4H_{10}}$  (en moles) de butane consommée annuellement.  
c- Déterminer la quantité de matière  $n_{CO_2}$  (en moles) de dioxyde de carbone formée.  
d- En déduire la masse de dioxyde de carbone  $m_{CO_2}$  rejetée annuellement dans l'atmosphère par ce logement.

Etiquette climat du logement.

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre.

- 4) a- Donner la définition d'un gaz à effet de serre.  
La surface habitable du logement vaut  $1235 \text{ m}^2$ .  
b- Déterminer les émissions de gaz à effet de serre en  $kg_{CO_2}.m^{-2}.an^{-1}$ .  
c- Déterminer la lettre (A, B, C...) qui figurera sur l'étiquette climat du logement.  
Justifier votre réponse.

## SCBH

### Acoustique

Participant au projet de rénovation d'un immeuble à ossature bois, vous êtes chargé d'un pré-projet pour améliorer l'isolation phonique des appartements.

Chaque appartement possède en effet une pièce donnant sur une rue particulièrement bruyante.

La paroi donnant sur cette rue a une largeur  $\ell$  de 4,0 m et une hauteur  $h$  de 2,8 m.

Une baie en verre de 2,0 m<sup>2</sup> laisse pénétrer la lumière extérieure dans la pièce.

#### Intensité acoustique du bruit de la rue

Le sonomètre utilisé fournit les données suivantes :

Bande d'octaves (Hz)	Niveau d'intensité sonore par bande d'octave (dB)
125	77
250	73
500	71
1000	66
2000	60

Niveau d'intensité sonore global : 79,4 dB

#### Caractéristiques techniques du sonomètre

- résolution : 0,1 dB
- précision :  $\pm 1$  dB
- fréquence : plage de 31,5 Hz...8kHz

Etonné par le niveau d'intensité sonore global, vous souhaitez vérifier la cohérence des données fournies par le sonomètre.

1) a- Compléter le tableau ci-dessous, puis vérifier cette valeur.

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000
Niveau d'intensité (dB)	77	73	71	66	60
Intensité sonore ( $W.m^{-2}$ )					

Intensité sonore globale ( $W.m^{-2}$ )	
Niveau sonore global (dB)	

b- Que signifie la caractéristique du sonomètre : « Précision :  $\pm 1$  dB » ?

c- Quel doit-être le niveau d'affaiblissement (en dB), de la paroi, pour que les conditions de bruit au sein de l'appartement soient acceptables ?

#### Isolation acoustique de la paroi.

On rappelle que la paroi en bois de largeur  $\ell$  est percée d'une fenêtre.

Dans ce pré-projet, on ne tient pas compte de l'indice de réverbération de la pièce.

L'architecte prévoit :

- Pour la partie non vitrée de la paroi : un bardage, un pare pluie, des panneaux structurels à base de fibre de bois, un isolant, un pare vapeur et un parement intérieur.

L'indice d'affaiblissement est estimé à  $R_m = 44$  dB.

- Pour la surface vitrée : un double vitrage d'indice d'affaiblissement  $R_v = 37$  dB.

2) a- Calculer les facteurs de transmission des parois non vitrée  $\tau_m$  et vitrée  $\tau_v$  de la paroi.

b- En déduire le facteur de transmission global  $\tau_g$  de la paroi, puis l'indice d'isolement global  $D_g$ .

#### Synthèse.

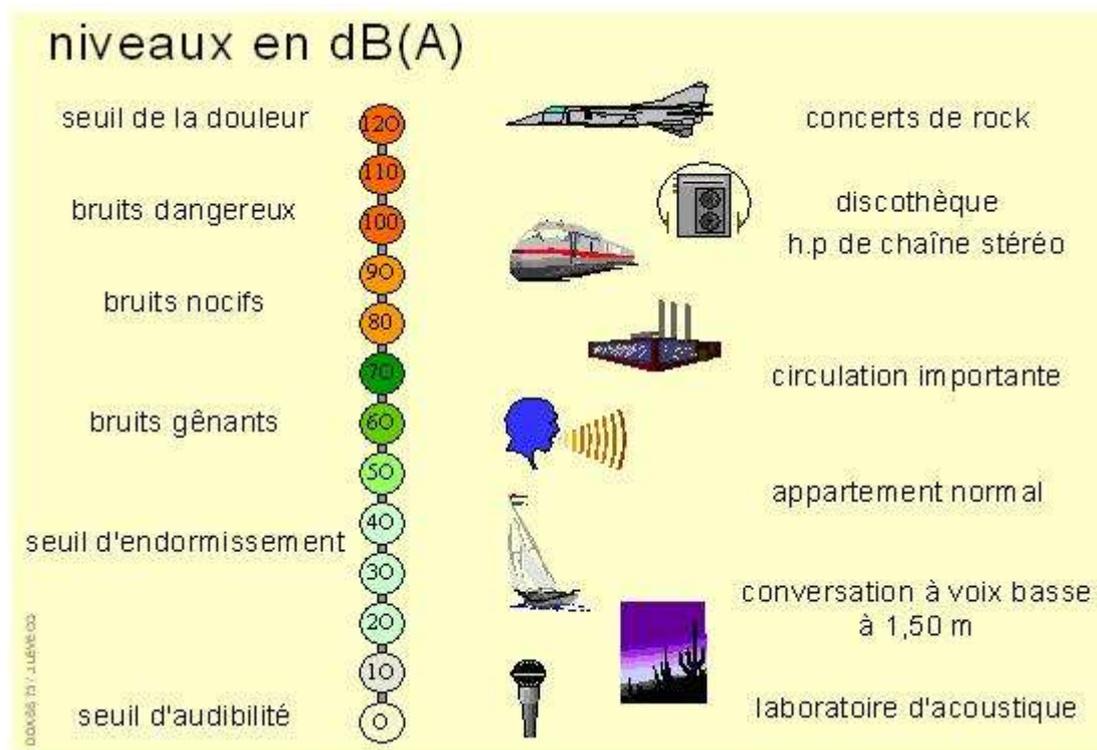
Rédiger un bref rapport dans lequel vous préciserez les différentes valeurs des mesures effectuées, les résultats de vos calculs et une conclusion sur l'impact pour le confort acoustique de l'isolation phonique.

Donnée : Echelle des bruits

Les sons audibles se situent entre 0 dB (seuil d'audition) et 140 dB.

Le seuil de la douleur se situe aux alentours de 120 dB.

La gêne, notion subjective, est ressentie de manière très variable d'un individu à l'autre.



(D'après <http://www.spectra.fr/notions-norme-acoustique-r9.html>)

## Chimie organique

### Les polymères dans le bâtiment

(Les deux parties sont indépendantes).

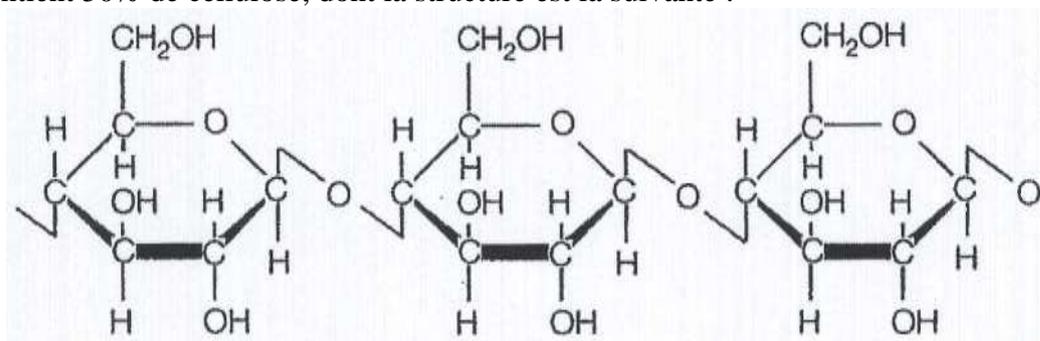
De nombreux polymères sont utilisés dans l'habitat :

- le polyéthylène PE
- le polychlorure de vinyle PVC
- le polystyrène PS
- le polyméthacrylate de méthyle PMMA
- les polyuréthanes PU
- ...

Nous allons nous intéresser à quelques-uns d'entre eux.

#### Le bois.

Le bois contient 50% de cellulose, dont la structure est la suivante :



- 1) a- Identifier le motif et donner sa formule brute.
- b- Comment, en chimie, appelle-t-on ce type de macromolécule ?
- c- Le nombre de motifs est noté n.  
Comment nomme-t-on n ?

La masse molaire moyenne de cette macromolécule est égale à  $810 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

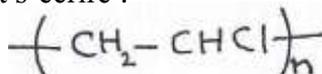
- d- En déduire la valeur de n en justifiant votre réponse.

#### Le polychlorure de vinyle (PVC)

Le polychlorure de vinyle est synthétisé par réaction entre l'éthylène obtenue à partir du pétrole par

craquage et le dichlore  $\text{Cl}_2$  en présence d'acide chlorhydrique.

La formule semi-développée du PVC peut s'écrire :



1) Quelles sont les principales utilisations du PVC dans l'habitat ?

Donner deux exemples significatifs.

PVC et incendie.

*Les matériaux de construction en plastique réagissant tous différemment en cas d'incendie.*

*Le comportement d'un matériau lors d'un incendie est essentiel pour donner plus de temps à l'évacuation et limiter les dégâts.*

Comportement du PVC au feu :

*La teneur en chlore du PVC en fait un matériau difficilement inflammable.*

*Une fois enflammées, la plupart des applications en PVC dans des bâtiments sont auto-extinguibles et ne brûlent pas entièrement.*

*Les principaux produits dégagés par la combustion du PVC sont le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le chlorure d'hydrogène (HCl) et l'eau.*

*La combustion du PVC ne génère pas de gaz chloré ou de chlorure de vinyle monomère.*

*(D'après : <http://www.pvcinfo.be/home.asp?page=146>)*

2) En supposant que, sous certaines conditions, la combustion du PVC ne produise pas de monoxyde de carbone, écrire l'équation de la réaction de combustion complète pour  $n = 10 \cdot 10^3$ .

3) Calculer dans ces conditions le volume de chlorure d'hydrogène rejeté dans l'atmosphère lors de la combustion complète de 2,0 kg de PVC.

Donnée :

Volume molaire pour les gaz :  $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

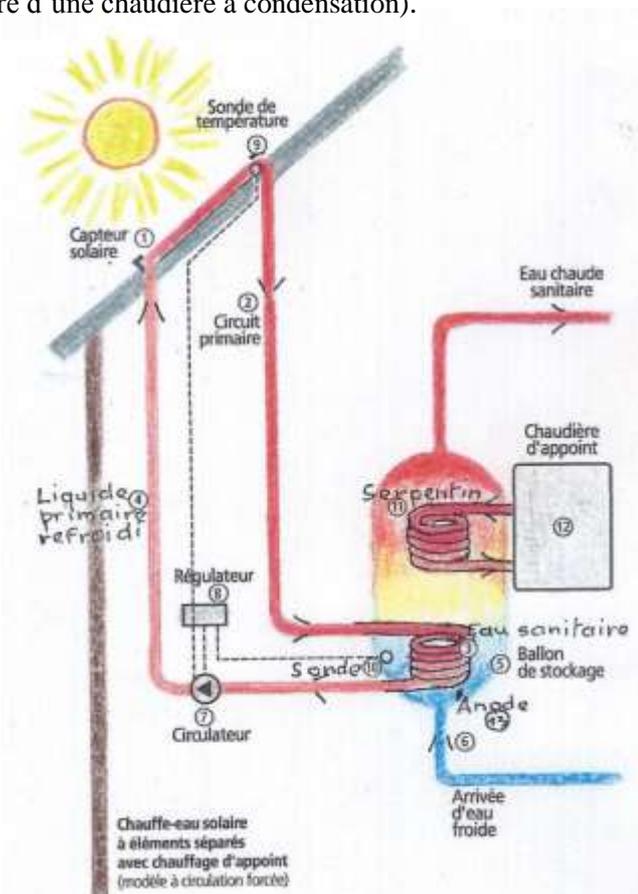
## TP

### Installation d'un chauffe eau solaire

En vue d'économiser l'énergie utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire, de nombreuses constructions optent pour l'installation d'un chauffe eau solaire.

Un tel chauffe eau est composé :

- De capteurs solaires qui transmettent le rayonnement solaire direct et diffus sous forme de chaleur.
- D'un ballon de stockage de l'eau chaude sanitaire.
- D'une pompe qui assure la circulation du fluide caloporteur jusqu'à la cuve de stockage de l'eau.
- D'un régulateur qui gère l'appoint nécessaire pour les périodes de faible ensoleillement (par l'intermédiaire d'une chaudière à condensation).



(D'après Brochure ADEME « Le chauffe eau solaire individuel »)

Le problème est composé de trois parties indépendantes :

- Partie A : Etude des déperditions thermiques dans le ballon.

Ce réservoir contient deux échangeurs de chaleur :

- l'un pour l'apport solaire
- l'autre pour l'appoint.

Il a une capacité de 300 litres, ce qui permet d'assurer 70% des besoins annuels d'eau chaude sanitaire pour une famille de cinq personnes.

L'isolation thermique est garantie par une mousse isolante de 100 mm d'épaisseur.

- Partie B : Etude de la station solaire.

Elle est constituée d'une pompe électrique, des thermomètres pour observer les températures dans les conduites aller et retour, d'un manomètre et des soupapes de sécurité.

Nous étudierons la circulation du fluide caloporteur.

- Partie C : Protection du ballon contre la corrosion.

La protection anticorrosion du ballon est assurée par un double émaillage et la présence d'une anode en magnésium.

Elle garantit une meilleure qualité de l'eau chaude sanitaire et une durée de vie optimale de l'installation.

## Partie A

Le ballon a une capacité de remplissage en eau de 300 litres, une Hauteur  $H = 1,65$  m et un Diamètre  $D = 0,70$  m.  
 Par une journée ensoleillée (même en septembre), les capteurs solaires élèvent la température de l'eau du ballon.  
 Le ballon est posé sur le sol car sa masse totale est de 460 kg, sa base ne participe pas aux échanges de chaleur.  
 La ventilation du local dans lequel le ballon est placé assure une température extérieure uniforme.



### Données :

Masse volumique de l'eau  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

capacité thermique massique de l'eau  $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Conversion  $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

### Thermique

Etude des pertes thermiques par conduction dans le ballon au cours d'une nuit.

L'isolation thermique du ballon est due à une enveloppe amovible en mousse d'épaisseur  $e = 100$  mm et de conductivité thermique  $\lambda = 8,0 \cdot 10^2 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

On suppose que la température de l'eau dans le ballon vaut  $75^\circ\text{C}$  et que la température extérieure est de  $18^\circ\text{C}$ .

On dispose au laboratoire du matériel suivant :

- thermomètres avec sonde
- chronomètre
- source lumineuse blanche
- vase en aluminium de 500 mL et couvercle
- plaque de polystyrène expansé de 1,0 cm d'épaisseur
- cristalliseur de verre
- thermoplongeur
- alimentation stabilisée de 6 V
- rouleaux de mousse de différentes épaisseurs (0,5 cm, 1,0 cm et 1,5 cm)

En choisissant le matériel adapté, proposer une expérience permettant de mettre en évidence l'influence d'une augmentation d'épaisseur de la mousse sur la diminution des pertes thermiques par conduction au sein du ballon d'eau chaude.

- 1) a- Rappeler l'expression de la loi reliant la densité de flux thermique surfacique  $\phi$  ; la différence de température  $\Delta\theta$  et la résistance thermique surfacique  $r$ .
- b- Montrer que le flux thermique surfacique a pour valeur  $4,6 \text{ W m}^{-2}$ .
- c- Vérifier que la valeur de la surface de contact entre le chauffe eau et l'air est  $S = 4,0 \text{ m}^2$ .
- d- Calculer le flux thermique  $\phi$ .

### Calorimétrie

Détermination de la chute de température de l'eau dans le ballon, la nuit.

On suppose que la diminution de la température de l'eau dans le ballon est due uniquement aux pertes par conduction.

On considère qu'une nuit dure 12 heures et que la température extérieure au ballon reste égale à  $18^\circ\text{C}$ .

On suppose que le flux thermique reste égal à  $\phi$ , valeur calculée au 1) d.

- 2) a- Montrer que la quantité de chaleur  $Q$ , perdue par l'eau chaude en une nuit vaut  $7,8 \cdot 10^6 \text{ J}$ .
- b- En déduire la chute de température  $\Delta T$  de l'eau dans le ballon.

## Partie B

### Mécanique des fluides

#### Données :

Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Accélération de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$

Conversion : 1 bar =  $1,0 \cdot 10^5$  Pa

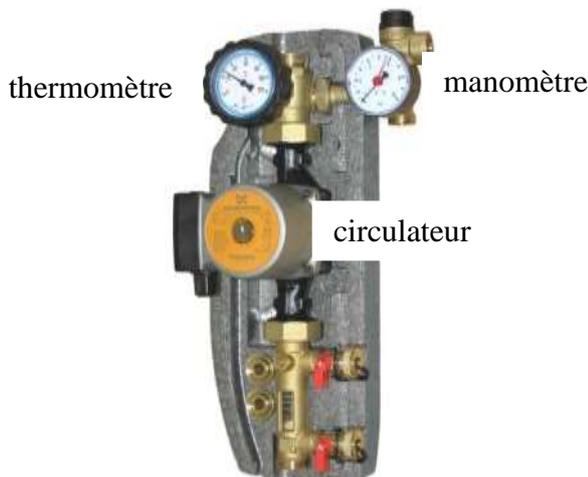
Pour un fluide en écoulement permanent entre deux points 1 et 2, échangeant avec une machine une puissance  $P$ , l'équation de conservation de l'énergie dans une installation hydraulique est donnée par la relation :

$$\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + (p_2 - p_1) + \rho \cdot g (z_2 - z_1) = \frac{P_u}{Q_v}$$

La station contient la pompe (appelée circulateur) chargée de faire circuler le fluide caloporteur entre les panneaux solaires et le ballon d'eau chaude.

Son débit volumique optimal est  $Q_v = 20 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Le diamètre des canalisations est 15 mm.



### Etude du débit du fluide caloporteur.

- 1) a- Calculer le débit massique.
- b- Calculer la vitesse moyenne du fluide caloporteur en régime permanent.
  - « La pompe ne fonctionne pas »
- c- Quelle est la différence de pression du fluide entre la pompe et les panneaux sachant qu'on peut estimer la hauteur moyenne entre les deux à 7,0 m.

### Détermination de la puissance utile du circulateur.

« La pompe fonctionne »

Le manomètre indique un écart de pression entre la pompe et les panneaux solaires égal à 2,0 bars.

- 2) Calculer la puissance utile de la pompe.

## Partie C

### Oxydoréduction

Cette protection est assurée par un double émaillage du fer constituant la carcasse du ballon et par le contact de cette carcasse avec une anode en magnésium.

On plonge un clou en fer décapé dans un bécher contenant une solution de chlorure de sodium à 3% à laquelle on ajoute une petite quantité de solution de ferricyanure de potassium.

Au bout de quelques heures, on observe une coloration bleue dans la solution.

Si on réalise la même expérience en ajoutant dans le bécher une plaque de zinc que l'on relie par un fil métallique au clou, cette coloration ne se constate plus.

En revanche on mesure un courant électrique dans le fil métallique dans le sens fer-zinc.

- 1) Sachant que les ions ferricyanure réagissent avec les ions  $\text{Fe}^{2+}$  pour former un précipité bleu, expliquer en quoi ces deux expériences mettent en évidence le principe de la protection par anode sacrificielle.
- 2) Quel autre métal parmi le plomb, l'aluminium ou le cuivre pourrait remplacer le magnésium pour protéger le ballon en supposant que celui-ci est intégralement en fer ?

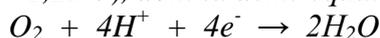
Justifier la réponse.

Données : Potentiel standard de couple

Couple	$\text{Al}^{3+}/\text{Al}$	$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}$	$\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$	$\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$
Potentiel $E^0$ (V)	- 1,66	+ 0,34	- 0,44	- 2,37	- 0,13	- 0,76

- 3) Ecrire la demi-équation d'oxydation du magnésium.

L'espèce responsable de cette oxydation est le dioxygène, dissout dans l'eau du robinet, appartenant au couple d'oxydoréduction  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$  ( $E^0 = 1,23 \text{ V}$ ), dont la demi-équation est :



- 4) Ecrire l'équation-bilan modélisant l'oxydation du magnésium par le dioxygène.

L'intensité du courant de corrosion est estimée à 25 mA.

- 5) Calculer la durée d'utilisation de l'électrode de magnésium, si sa masse est de 800 g.  
Exprimer le résultat en secondes puis en années.

Donnée :

Charge de  $n$  moles d'électrons en valeur absolue :  $Q = n.F$  ( $1F = 96500 C$ )

En réalité, l'agent de maintenance change l'électrode de magnésium au bout de cinq ans.

Il constate, en observant l'électrode usagée, qu'elle est recouverte d'une pellicule solide blanche de carbonate de calcium, appelée calcaire.

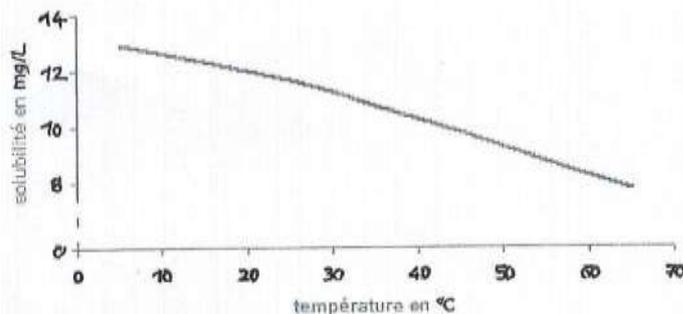
- 6) Proposer une explication pour justifier la présence de ce dépôt solide.

Données :

- Equation de précipitation de carbonate de calcium :



- Solubilité du carbonate de calcium :



- Composition d'une eau du robinet :

Ions	Concentration massique volumique (mg.L <sup>-1</sup> )
Ca <sup>2+</sup>	38
Mg <sup>2+</sup>	3,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	163
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	21
K <sup>+</sup>	3,5
Cl <sup>-</sup>	11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6

# 2014

## AF

### Installation d'un spa à l'intérieur d'une maison

Une famille souhaite installer un spa dans une pièce de sa maison.

Vous allez participer au projet d'étude de l'aménagement de cette pièce.

- Dans une première partie, nous étudierons l'acoustique de la pièce pour déterminer le revêtement mural à installer.
- Dans une seconde partie, nous nous intéressons au dimensionnement du système de ventilation et de chauffage de la pièce où sera installé le spa.
- Ensuite nous étudierons le polymère constituant la coque du spa.
- Enfin, nous analyserons l'eau du spa.

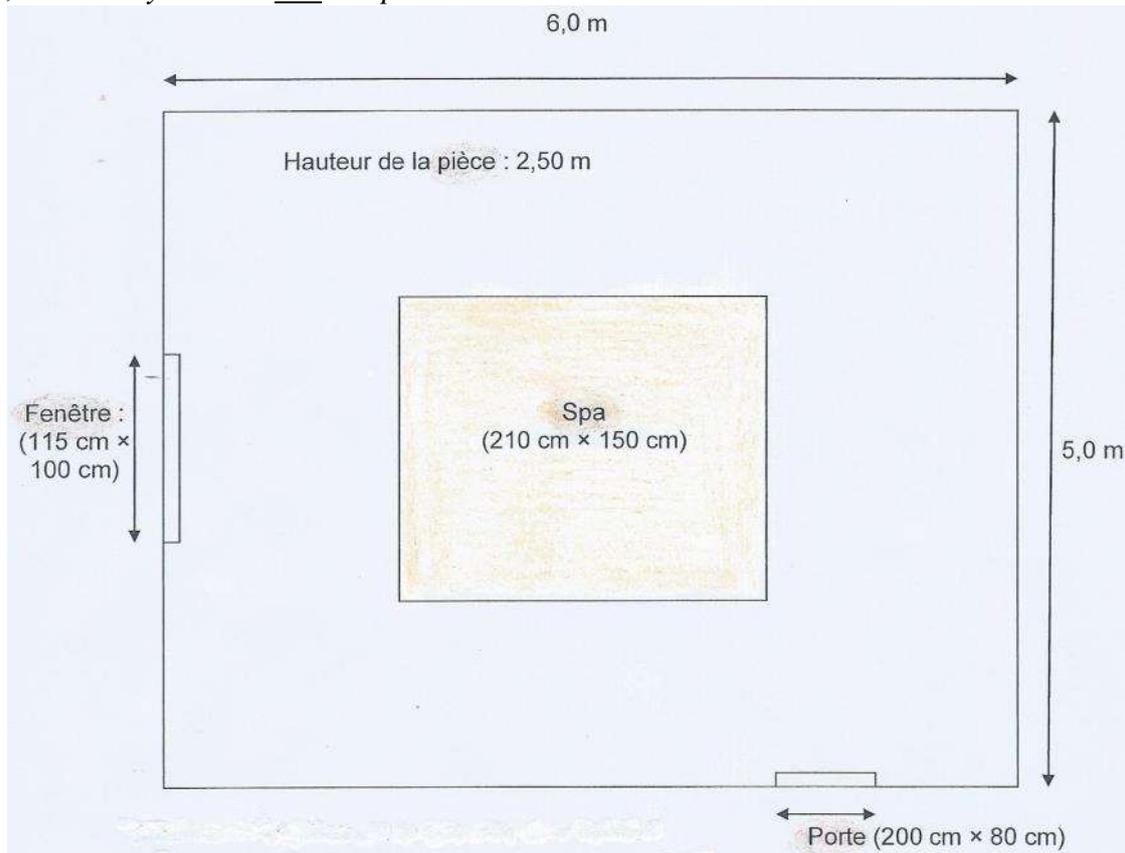


Schéma de la pièce où le spa doit être installé



Modèle de spa choisi

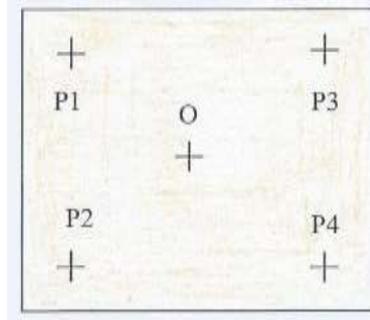
### Acoustique

Quatre personnes ( $P_1, P_2, P_3, P_4$ ) sont installées dans le spa et discutent.

Chacune est assimilée à une source ponctuelle omnidirectionnelle.

Le niveau sonore  $L$  au point  $O$  (équidistant des points  $P_1, P_2, P_3, P_4$ ) a une valeur de 60 dB lorsqu'une seule personne parle.

La fréquence de référence choisie pour l'étude vaut :  $f = 1000 \text{ Hz}$ .



*Schéma du spa occupé*

- 1) Calculer l'intensité acoustique  $I$  au point  $O$  lorsqu'une seule personne parle.
- 2) Calculer l'intensité acoustique résultante  $I_{\text{totale}}$  au point  $O$  lorsque les quatre personnes parlent simultanément.
- 3) En déduire le niveau sonore résultant  $L_{\text{total}}$  au point  $O$ .

Afin de choisir le revêtement à installer sur les murs de la pièce, nous allons étudier le phénomène de réverbération.

- 4) Calculer l'aire d'absorption équivalente  $A$  de la pièce en complétant les tableaux suivants :

Matériau	Coefficient d'absorption $\alpha_j$	Surface $S_j$ ( $\text{m}^2$ )	$S_j \times \alpha_j$ ( $\text{m}^2$ )
Plafond			
Sol			
Porte			
Fenêtre			
Murs			
Spa + 4 personnes			

Aire d'absorption équivalente totale ( $\text{m}^2$ ) :

$$A = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot S_j + \sum_{k=1}^n A_k$$

Données :

Matériau	Coefficient d'absorption
Plafond (plâtre)	0,040
Sol (linoléum)	0,070
Porte (bois traditionnel)	0,090
Fenêtre (vitrages)	0,12
Murs actuels (plâtre)	0,040

Le spa et les quatre personnes qui s'y trouvent ont une aire d'absorption équivalente de  $0,25 \text{ m}^2$ .

- 5) En déduire le temps de réverbération  $T_R$  de la pièce.

Pour une conversation agréable il faut que le temps de réverbération soit inférieur ou égal à 0,50 secondes.

- 6) Quel(s) matériau(x) pouvez-vous conseiller à la famille pour le revêtement des murs ?

Données :

Revêtement proposé pour les murs	Coefficient d'absorption
Carrelage	0,040
Lambris bois verni	0,12
Tissu tendu sur molleton	0,28
PVC tendu sur molleton	0,80

## Calorimétrie

### Ventilation et Chauffage de la pièce

Lorsqu'on installe un spa en intérieur, il faut que l'aération de la pièce soit efficace car de la vapeur d'eau est dégagée de manière importante tout au long de la baignade.

Si l'aération n'est pas bonne, de la moisissure se forme et les murs se dégradent.

Si la pièce du spa comporte peu d'ouvertures, il est indispensable de l'équiper d'un déshumidificateur ou,

si la maison est équipée d'un système de VMC, il est possible d'y raccorder la pièce où se trouve le spa. L'aération de la pièce est assurée par un système de ventilation VMC.

Les températures extérieure et intérieure sont respectivement  $\theta_e = 4,0^\circ\text{C}$  et  $\theta_i = 20,0^\circ\text{C}$ .

L'air de la pièce doit être renouvelé entièrement en deux heures maximum pour éviter les problèmes de moisissures.

- 1) Calculer le temps mis par la VMC pour renouveler entièrement l'air de la pièce.
- 2) Déterminer l'énergie  $Q$  fournie par le système de chauffage pour chauffer cet air.

La durée de renouvellement de l'air est de 1,5 heures.

- 3) Quelle doit être la puissance minimale  $P$  du système de chauffage.

Données :

Débit de la VMC :  $D_v = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Masse volumique de l'air :  $\rho = 1,30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

capacité thermique massique de l'air :  $c_{\text{air}} = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

## Chimie organique

### Coque du spa

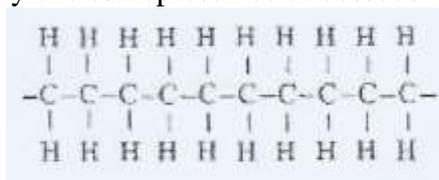
La famille a choisi d'installer un spa en polyéthylène.

Il s'agit d'une résine thermoplastique, résistante aux agents chimiques et aux chocs.

Le polyéthylène permet d'avoir une structure de spa monolithique, c'est-à-dire en un seul bloc.

Le polyéthylène est assez résistant et économique : le spa ne risque pas de rouiller, de moisir ou de s'écailler.

Une partie de la molécule de polyéthylène est représentée ci-dessous :



- 1) Indiquer le motif du polymère.
- 2) Donner la formule développée de son monomère.
- 3) Calculer la masse molaire moléculaire  $M_{\text{monomère}}$  de ce monomère.

L'indice de polymérisation est égal à 1000.

- 4) En déduire la masse molaire moléculaire  $M_{\text{polymère}}$  du polymère.
- 5) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de polymérisation correspondante.

Le rendement de la la réaction de polymérisation est de 90%.

- 6) Quelle masse de monomère a-t-on besoin pour fabriquer la masse de polyéthylène  $m = 135 \text{ kg}$  nécessaire pour la coque du spa.

## Solution aqueuse

Le pH de l'eau du spa doit idéalement être compris entre 7,2 et 7,6.

Pour cela, il faut le mesurer et l'ajuster si nécessaire.

- 1) Indiquer un moyen de mesurer le pH d'une solution.

Le pH de l'eau est de 7,8.

- 2) Est-elle acide, neutre ou basique ?

- 3) Calculer la concentration molaire volumique en ions oxonium de l'eau contenue dans le spa.

Pour diminuer le pH de l'eau du spa, on ajoute un produit appelé « pH moins », composé d'hydrogénate de sodium.

- 4) Ecrire l'équation de la réaction de dissolution de l'hydrogénosulfate de sodium dans l'eau, sachant que l'ion hydrogénosulfate est produit.

L'ion hydrogénosulfate fait partie du couple acide/base suivant : ion hydrogénosulfate / ion sulfate.

- 5) Ecrire l'équation-bilan de la réaction entre les ions hydrogénosulfate et l'eau.

- 6) Expliquer pourquoi l'ajout du produit « pH moins » permet de diminuer le pH de l'eau du spa.

Sur l'étiquette du produit « pH moins » on peut lire : « pour diminuer le pH de 0,1, ajoutez 100 g de 'pH moins' par tranche de  $10 \text{ m}^3$  ».

- 7) Quelle masse de produit doit-on verser dans le volume d'eau du spa  $V = 900 \text{ L}$  pour que le pH

devienne égal à 7,4 ?

Données :

<i>Noms</i>	<i>Formules</i>
<i>Ion oxonium</i>	$H_3O^+_{(aq)}$
<i>Hydrogénosulfate de sodium</i>	$NaHSO_{4(s)}$
<i>Ion hydrogénosulfate</i>	$HSO^-_{4(aq)}$
<i>Ion sulfate</i>	$SO^{2-}_{4(aq)}$

**B****Une maison flottante**

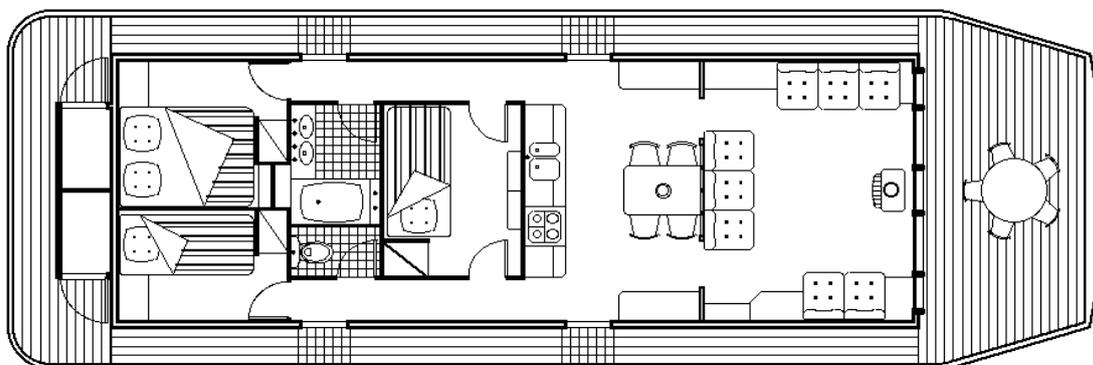
*Afin de palier à la crise du logement et à la montée des eaux, les Pays-Bas se sont lancés dans la construction de maisons flottantes, et ce, dès 1993.*

*Constituées essentiellement de matériaux recyclables, ces maisons s'inscrivent très bien dans une démarche de développement durable.*



[http://www.maison-solaire.com/10\\_2\\_MAISON\\_FLOT.html](http://www.maison-solaire.com/10_2_MAISON_FLOT.html)

*Offrant tout le confort d'une maison traditionnelle, la maison flottante étudiée est constituée d'une partie habitable, d'une plateforme en bois et de 24 flotteurs en polyéthylène.*

**Plan de la maison**

[http://www.maison-solaire.com/10\\_2\\_MAISON\\_FLOT.html](http://www.maison-solaire.com/10_2_MAISON_FLOT.html)

**Données :**

*Masse meublée :  $m = 15,3$  t (partie habitable)*

Vue de face de la plateforme en bois



<http://www.flofiz.com/platesformes.html>

Données : (plateforme)

$$L_1 = 15,0 \text{ m}$$

$$\ell_1 = 5,00 \text{ m}$$

$$h_1 = 20,0 \text{ cm}$$

$$\text{Masse : } m_1 = 1715,0 \text{ kg}$$

Flotteur



<http://www.flofiz.com/flotteurs.html>

Données :

$$L_2 = 1,60 \text{ m}$$

$$\ell_2 = 0,600 \text{ m}$$

$$\text{Masse : } m_2 = 1715,0 \text{ kg}$$

$$\text{Volume : } V_2 = 280 \text{ L}$$

Les parties A, B et C de ce sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément. Chaque valeur numérique sera donnée avec un nombre de chiffres significatifs cohérent.

Partie A

Détermination du nombre de personnes autorisées dans la maison

**Mécanique des fluides**

Données :

$$\text{Accélération de la pesanteur : } g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\text{Masse moyenne d'une personne : } m_p = 80,0 \text{ kg}$$

Phénomène physique assurant la flottaison

1) Nommer la force responsable de la flottabilité des objets.

Rappeler brièvement les caractéristiques de cette force (direction, sens, intensité).

2) Indiquer la grandeur caractéristique du fluide qui influe sur l'intensité de cette force.

3) Proposer le protocole simple permettant de déterminer la masse volumique de l'eau de mer.

Préciser le matériel utilisé.

Après avoir réalisé la manipulation, on trouve  $\rho_{\text{eau de mer}} = 1040 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Charge maximale autorisée dans la maison flottante

On définit charge maximale autorisée comme le nombre maximum de personnes que peut accueillir la maison flottante.

Pour déterminer cette charge maximale, on se place dans la situation limite pour laquelle les flotteurs et la plateforme en bois sont totalement immergés.

Masse totale en limite de flottaison

4) Faire un schéma afin de représenter les forces s'exerçant sur la maison flottante dans le cas de la situation limite.

On se place à présent dans le cas de cette situation limite.

5) Déterminer le volume immergé  $V_{\text{immergé}}$ .

(Pour simplifier le calcul, on assimile la plateforme à un volume plein)

6) Montrer que l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par l'eau de mer sur la maison flottante est égale à  $\Pi_a = 2,22 \cdot 10^5 \text{ N}$ .

7) Rappeler la relation simple entre le poids  $P$  de la maison flottante et l'intensité de la poussée d'Archimède  $\Pi_a$  à l'équilibre.

8) En déduire la masse totale  $m_{\text{totale}}$  de la maison en limite de flottaison.

Nombre maximal de personnes dans la maison flottante

9) Déduire de la question précédente le nombre maximum  $N_{\text{maximum}}$  de personnes que peut accueillir la maison flottante.

10) Ce nombre vous paraît-il contraignant ?

11) Si on stocke d'autres objets dans la maison (meubles, nourriture, livres, etc...) comment va évoluer ce nombre maximum de personnes ?

Lorsque le nombre maximum de personnes est atteint, la plateforme en bois est totalement immergée.

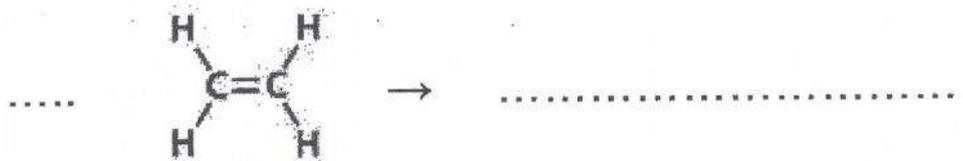
12) Quelle solution technique le fabricant peut-il proposer pour être sûr de conserver la terrasse au sec ?

Partie BImpact environnemental de la fabrication des flotteursChimie organique

Les flotteurs permettant la flottabilité de la maison sont constitués à 96% de polyéthylène (PE).

Polymérisation

1) Compléter l'équation de réaction de polymérisation du polyéthylène :



Indiquer le monomère, le polymère, le motif ainsi que l'indice de polymérisation.

2) Donner le nom et la formule brute du monomère.

3) Déterminer la valeur de l'indice de polymérisation du polyéthylène, sachant que la masse molaire moléculaire moyenne du polyéthylène est égale à  $M(\text{PE}) = 14,0 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

4) Connaissant la masse  $m_2$  d'un flotteur, déterminer la masse de polyéthylène  $m(\text{PE})$  nécessaire à la fabrication des 24 flotteurs de la maison flottante.

5) En déduire la masse de monomère  $m(\text{monomère})$  nécessaire si le rendement de la réaction de polymérisation est de 70%.

Rejet de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ 

La fabrication de 1 g de polyéthylène rejette 5,7 g de dioxyde de carbone.

6) Calculer la masse  $m(\text{CO}_2)$  rejetée lors de la fabrication des 24 flotteurs de la maison flottante.

La fabrication des fondations d'une maison traditionnelle de même superficie entraîne le rejet de 2 t de dioxyde de carbone.

7) Comparer cette valeur à celle obtenue à la question précédente.

Le concept de maison flottante s'inscrit-il dans une démarche de développement durable ?

Partie CDurée d'amortissement du coût d'une douche solaire

Afin d'économiser de l'énergie, le propriétaire désire installer une douche solaire dans sa maison flottante.

Son principe est simple : l'eau est stockée dans un réservoir exposé aux rayons du soleil, ce qui permet de la chauffer.

### **Rayonnement**

Placer sur un axe, orienté en longueur d'ondes, les domaines du visible, de l'ultra-violet et de l'infrarouge.

### **Calorimétrie**

*Données :*

*Volume du réservoir  $V = 60,0 \text{ L}$*

*Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$*

*capacité thermique massique de l'eau :  $c = 4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$*

*Prix du kWh : 0,139 €*

Chaque jour le réservoir de la douche solaire est vidé entièrement une fois par ses utilisateurs.

Il est ensuite rempli avec de l'eau de température initiale  $\theta_1 = 18,0^\circ\text{C}$  qui est alors chauffée à la température  $\theta_2 = 55,0^\circ\text{C}$  par le soleil.

1) Déterminer la quantité d'énergie quotidienne  $Q$  (en Joules) nécessaire pour chauffer l'eau de la douche solaire.

Convertir cette valeur en kWh.

2) Evaluer l'économie réalisée quotidiennement par l'utilisation de cette douche solaire.

Dans le commerce, ce type de douche coûte environ 22€.

3) Déterminer la durée nécessaire pour amortir la douche solaire.

Exprimer cette durée en mois et jours.



### Etude d'un mur rideau

On étudie l'isolation thermique d'un mur rideau, le fonctionnement d'un palonnier à ventouses pour la pose de vitrage et enfin le procédé d'anodisation de l'aluminium de la menuiserie.

Le sujet est constitué de trois parties indépendantes qui peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

- 1 -

#### Thermique

On négligera les pertes par pont thermique.

Le mur rideau considéré, est constitué d'une surface de clair (vitrage)  $S_v$  et d'une surface de menuiserie  $S_m$ .

Données :

Le rapport  $S_v/S_m$  est de 83,3%.

Les dimensions du mur rideau à savoir, sa longueur totale  $L$  et sa hauteur totale  $H$ , sont respectivement  $L = 20$  m et  $H = 3,0$  m.

Température extérieure :  $\theta_e = -4^\circ\text{C}$  (température minimale annuelle sur le site).

Température intérieure :  $\theta_i = 21^\circ\text{C}$ .

Matériaux	Coefficient de transmission thermique surfacique $U = 1/r$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ )
Vitrage	$U_v = 1/r_v = 1,1$
Menuiserie	$U_m = 1/r_m = 2,4$

( $r$  : résistance thermique surfacique du matériau)

- 1) Déterminer la valeur de la surface totale  $S_{\text{totale}}$  du mur rideau.
  - 2) En déduire la valeur de la surface de clair  $S_v$  ainsi que celle de menuiserie  $S_m$ .
  - 3) Donner l'expression littérale du flux thermique de déperdition  $\Phi_v$  à travers le vitrage en fonction de la surface  $S_v$ , du coefficient de transmission  $U_v$  et de la différence de température, de part et d'autre du vitrage,  $\Delta\theta$ .  
Calculer  $\Phi_v$ .
  - 4) Donner l'expression littérale du flux thermique de déperdition  $\Phi_m$  à travers la menuiserie.  
Calculer  $\Phi_m$ .
  - 5) Exprimer le flux thermique de déperdition totale  $\Phi_{\text{total}}$  à travers le mur rideau en fonction de  $\Phi_v$  et  $\Phi_m$ .  
Trouver la valeur de  $\Phi_{\text{total}}$ .
  - 6) Déterminer sans calcul, mais en justifiant votre réponse, la puissance de chauffage nécessaire afin de maintenir la température de la pièce constante sachant qu'on considère que cette dernière n'est en contact avec l'extérieur que par l'intermédiaire du mur rideau étudié.
- On appelle  $U_{\text{total}}$  le coefficient de transmission thermique surfacique du mur rideau.
- 7) Montrer que  $U_{\text{total}} = U_v \cdot S_v / S_{\text{totale}} + U_m \cdot S_m / S_{\text{totale}}$ .  
Calculer  $U_{\text{total}}$ .
  - 8) Comment modifier le rapport des surfaces du vitrage et de la menuiserie, à surface totale constante, pour diminuer le coefficient  $U_{\text{total}}$ .

- 2 -

#### Mécanique des fluides

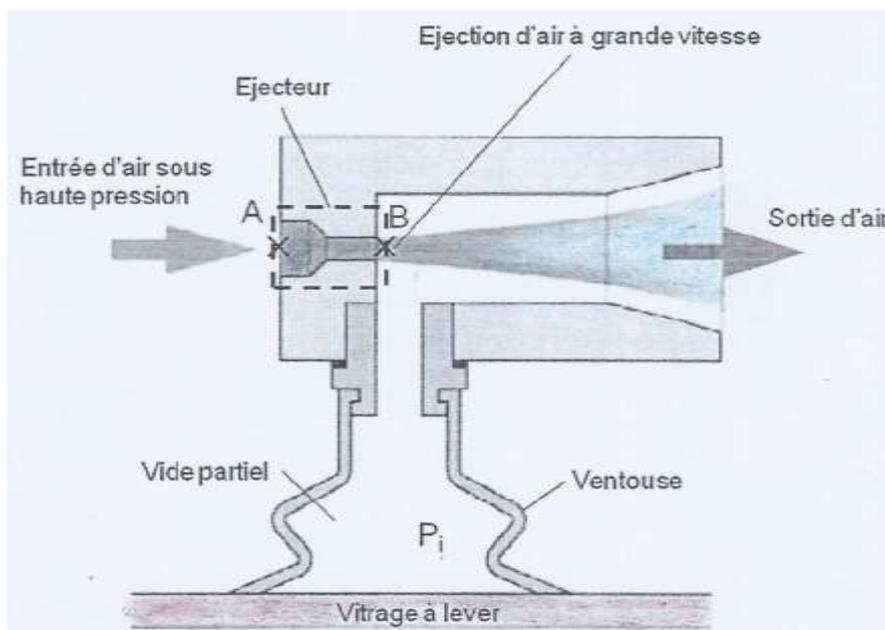
Une des techniques couramment utilisées pour positionner un élément de mur rideau est la manutention par palonnier à ventouses.

Nous nous proposons d'étudier son principe de fonctionnement.

Le palonnier retenu est composé de quatre ventouses, chacune surmontée d'un éjecteur « Venturi ».

Ce dernier permet d'obtenir un vide partiel dans la ventouse.

Un compresseur apporte de l'air sous haute pression à l'entrée A de l'éjecteur et cet air passe à grande vitesse en B, créant une dépression dans la ventouse.



Système d'aspiration par éjecteur Venturi

(Source : Doc. Télématique)

On appelle  $S$  la surface de contact de chaque ventouse avec le vitrage et  $m_{\text{élément}}$  la masse de l'élément de mur rideau considéré.

La pression à l'intérieur de la ventouse sera notée  $P_i$  et la pression extérieure  $P_0$ .

Le dimensionnement d'un palonnier est calculé de façon à ce que celui-ci exerce sur l'élément à soulever une force d'aspiration, par ses quatre ventouses, supérieure ou égale à deux fois le poids de cet élément.

Données :

Intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$

Pression atmosphérique :  $P_0 = 1,00 \text{ bar}$

$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

$S = 3,2 \cdot 10^2 \text{ m}^2$

$m_{\text{élément}} = 60 \text{ kg}$

Théorème de Bernoulli :  $\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 + \rho \cdot g \cdot Z + P = \text{constante}$

1) Calculer le poids  $P_{\text{élément}}$  de l'élément de mur rideau à soulever.

2) Justifier que dans le cas d'un vitrage horizontal, la force d'aspiration  $F$  exercée au niveau de chaque ventouse sur le vitrage est :

$$F = (P_0 - P_i) \cdot S.$$

3) Montrer que la relation entre la pression  $P_i$  à l'intérieure de chaque ventouse et le poids de l'élément  $P_{\text{élément}}$  est :

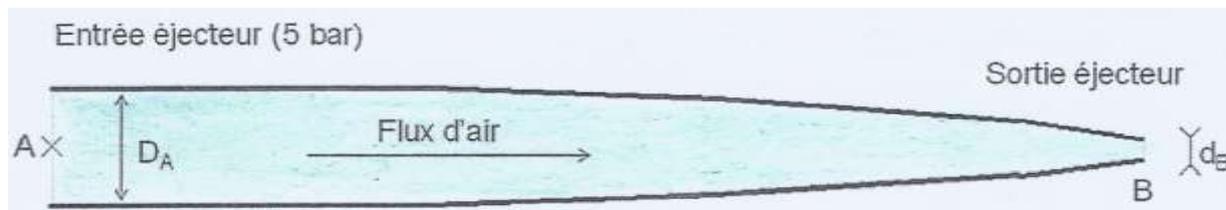
$$P_{\text{élément}} = 2 (P_0 - P_i) \cdot S.$$

4) Montrer que  $P_i = 0,91 \text{ bar}$ .

La dépression  $\Delta P = P_0 - P_i$  produite au niveau de la ventouse, dépend de la vitesse d'éjection de l'air comprimé en sortie d'éjecteur, selon le tableau suivant (données constructeur) :

Vitesse de l'air $V_B$ en sortie d'éjecteur ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Dépression $\Delta P$ en A (mbar)
50	25
70	50
80	90
90	195

5) Trouver la valeur de la vitesse minimale de l'air  $V_B$  en sortie d'éjecteur afin d'obtenir un vide suffisant dans les ventouses.



*Ejecteur (schéma simplifié)*

A et B sont respectivement les points d'entrée et de sortie de l'éjecteur.

*Données :*

*Masse volumique de l'air :  $\rho = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$*

Point	Diamètre (mm)	Pression P (bar)	Vitesse V ( $\text{m.s}^{-1}$ )
A	$D_A = 15$	$P_A = 5,00$	$V_A$
B	$d_B$	$P_B = 4,96$	$V_B = 80$

6) Déterminer la vitesse  $V_A$  de l'air à l'entrée de l'éjecteur.

(On considère l'éjecteur horizontal pour ce calcul)

Les vitesses d'écoulement nous permettent de considérer que le débit volumique de l'air dans l'éjecteur est constant.

7) En déduire le diamètre maximal  $d_B$  de sortie de l'éjecteur, afin de soulever l'élément de mur rideau étudié.

- 3 -

### Oxydo-réduction

La menuiserie du mur rideau est composée en grande partie d'aluminium anodisé.

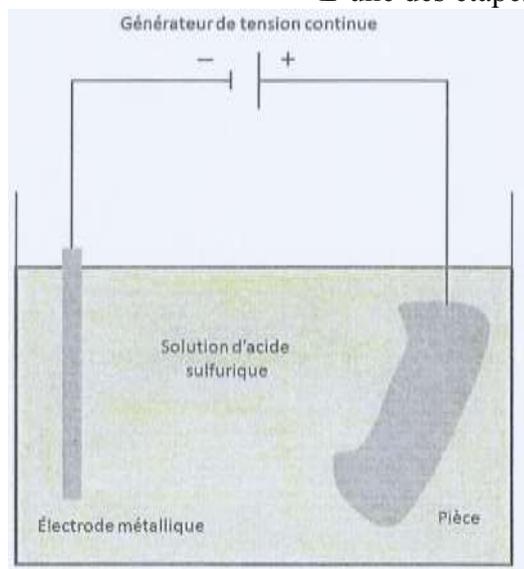
Dans cette partie, nous allons étudier le procédé d'anodisation de l'aluminium.

L'anodisation est un traitement de surface qui permet à l'aide d'une réaction d'oxydation du métal (ici l'aluminium), de créer une couche protectrice de quelques micromètres d'épaisseur.

L'oxyde d'aluminium (ou alumine) a des propriétés de dureté et d'imperméabilité qui améliorent la résistance à l'usure et à la corrosion.

Le procédé consiste en une succession de différents bains chimiques et électrochimiques.

L'une des étapes est l'oxydation proprement dite :



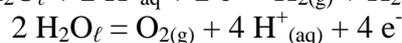
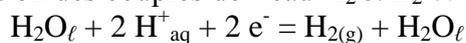
« On plonge la pièce en aluminium à traiter dans un bain d'acide sulfurique et on relie à la borne plus d'un générateur de tension continue.

A l'autre borne, on place une tige métallique (en aluminium par exemple) que l'on plonge dans la solution ».

1) En s'aidant du schéma, expliquer dans quel sens circulent les électrons dans les fils électriques.

2) En déduire, en justifiant, où se produit l'oxydation et la réduction.

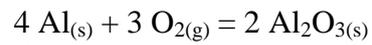
Les demi-équations d'oxydo-réduction des couples de l'eau  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$  et  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$  sont :



3) Quel gaz se dégage à l'électrode métallique ?

Justifier la réponse.

La réaction chimique de formation de l'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  est modélisée par l'équation :



- 4) Calculer la masse d'alumine formée lors de la réaction.
- 5) Calculer la quantité de matière (en mole) d'alumine créée.
- 6) Trouver la masse d'aluminium consommée lors de la réaction.

Données :

*Masse volumique de l'aluminium :  $\rho = 4000 \text{ kg.m}^{-3}$*

*Surface de la pièce à traiter :  $S = 1,2 \text{ m}^2$*

*Epaisseur de la couche d'alumine désirée :  $e = 10 \text{ }\mu\text{m}$  ( $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ )*

## EEC

### Création d'un bloc de douches dans un camping

Le propriétaire d'un camping souhaite installer un ensemble de douches à la fois économe en eau, économe en énergie et qui minimise les rejets de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Dans ce sujet, est constitué de trois parties :

- D'abord on étudie l'alimentation en eau du bloc de douches.
- Puis, on analyse un dispositif permettant de « récupérer de la chaleur » des eaux usées évacuées par les douches.
- Enfin, on s'intéresse aux performances et à la longévité du chauffe-eau chargé de fournir l'eau chaude des douches.

(Le nombre de chiffres significatifs d'un résultat devra être cohérent avec les données de l'énoncé. Une attention particulière sera apportée aux unités utilisées).

- 1 -

### Mécanique des fluides

Données :

$$\text{Relation de Bernoulli : } \frac{1}{2} \rho \cdot (v_B^2 - v_A^2) + \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A) + (P_B - P_A) = 0$$

Pression atmosphérique normale :  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Accélération de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

Le camping est alimenté en eau par un puits de forage.

Une pompe immergée au fond du puits devra délivrer un débit d'eau minimal afin d'alimenter simultanément six douches sur les dix que comporte le bloc.

Caractéristiques de l'installation :

La pompe sera immergée à une profondeur  $h = 30 \text{ m}$  par rapport aux douchettes

Débit volumique minimal de l'eau à la sortie de la pompe :  $D_{VA} = 1,2 \text{ L.s}^{-1}$

Débit volumique de l'eau qui alimentera une douchette :  $D_{VB} = 0,2 \text{ L.s}^{-1}$

Diamètre de la canalisation à la sortie de la pompe :  $d_A = 32 \text{ mm}$

Diamètre du tuyau qui alimentera une douchette :  $d_B = 16 \text{ mm}$

### Vitesse d'écoulement de l'eau

1) Exprimer les débits volumiques  $D_{VA}$  et  $D_{VB}$  en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

2) Calculer la vitesse  $v_A$  de l'eau à la sortie de la pompe et la vitesse  $v_B$  de l'eau à la sortie d'une douchette.

### Pression en sortie de pompe

Pour pouvoir choisir un modèle de pompe, le propriétaire désire connaître la pression en sortie de pompe lorsque six douches fonctionnent en même temps.

3) Combien vaut la pression  $P_B$  de l'eau qui s'écoule d'une douchette ?

Justifier.

4) Calculer à l'aide de la relation de Bernoulli, la pression  $P_A$  de l'eau à la sortie de la pompe.

Donner le résultat en pascal et en bar.

- 2 -

### Calorimétrie

Données :

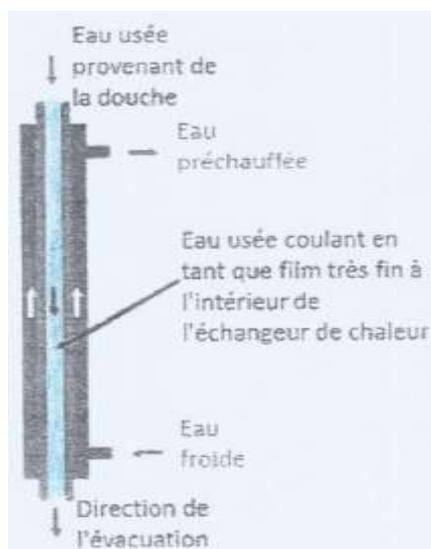
Débit volumique moyen d'une douche :  $D_V = 0 ; 20 \text{ L.s}^{-1}$

Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

capacité thermique massique de l'eau :  $c = 4180 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Le propriétaire du camping désire installer un dispositif permettant de « récupérer de la chaleur » des eaux usées de douche.



### Récupérateur de chaleur

(d'après <http://www.gaiagreen.net>)

#### Descriptif du dispositif

Les eaux usées chaudes circulent le long de la paroi intérieure en cuivre du récupérateur de chaleur. Dans le même temps, de l'eau froide circule en contre-sens dans la partie extérieure du récupérateur de chaleur.

L'eau froide est ainsi préchauffée.

Elle est ensuite envoyée aux robinets thermostatiques des douches.

1) Expliquer le choix du cuivre comme matériau constituant le tube interne du « récupérateur de chaleur ».

#### Energie nécessaire en l'absence du « récupérateur de chaleur »

En moyenne, le propriétaire estime que les douches seront utilisées par 150 campeurs, à raison d'une douche par jour d'une durée  $\Delta t = 8,0$  minutes.

2) Calculer en mètre cube, le volume d'eau  $V$  qui sera consommé en une journée pour les douches.

3) Calculer l'énergie thermique  $Q_1$  nécessaire pour élever la température de ce volume d'eau de  $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$  à  $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$ .

Exprimer ce résultat en joules et en kilowattheures.

#### Intérêt du « récupérateur de chaleur »

En utilisant un récupérateur de chaleur, l'eau froide sera au départ à la température  $\theta'_1 = 25^\circ\text{C}$  au lieu de  $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$ .

4) Calculer l'énergie thermique  $Q_2$  que permet d'économiser ce système pour une journée de fonctionnement.

Exprimer ce résultat en kilowattheures.

Le camping fonctionne 90 jours par an.

Il est équipé d'un chauffe-eau au gaz naturel dont le rendement est  $\eta = 0,85$ .

5) Sachant que le coût du kilowattheure de gaz naturel est estimé à 0,59 €, quelle est l'économie financière que peut réaliser le propriétaire du camping en un an ?

- 3 -

L'eau chaude qui alimentera les douches sera produite par un chauffe-eau fonctionnant au méthane.

#### Données :

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Volume molaire des gaz : } V_m = 25 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Méthane  $\text{CH}_4$

$$\text{Pouvoir calorifique du méthane : } PC = 50,1 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\text{Couples oxydant / réducteur : } \text{Fe}^{2+} / \text{Fe} ; \text{Mg}^{2+} / \text{Mg} ; \text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$$

$$\text{Potentiels électrochimiques } E^0 \text{ (V) : } E^0_1 = -2,37 ; E^0_2 = -0,44 ; E^0_3 = 0,34$$

## Chimie organique

### Combustion du méthane

1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de combustion complète du méthane avec le dioxygène de l'air. Dans le cas le plus favorable, le récupérateur de chaleur pour douches permettra une économie journalière d'énergie primaire  $E = 300 \text{ kWh}$ .

2) Donner le pouvoir calorifique PC du méthane en  $\text{kWh.kg}^{-1}$ .

3) Calculer la masse  $m_{\text{méthane}}$  de méthane économisée par jour.

4) Calculer le volume  $V_{\text{dioxyde de carbone}}$  de dioxyde de carbone qui ne sera pas rejeté dans l'atmosphère, grâce à l'utilisation du récupérateur de chaleur pour douches.

## Oxydo-réduction

### Protection de la cuve métallique contre la corrosion

Pour prolonger la durée de vie du chauffe-eau, il est recommandé de vérifier régulièrement l'état du bloc de magnésium interchangeable, qui protège la cuve en fer du chauffe-eau contre la corrosion.

La notice du chauffe-eau indique que le magnésium joue le rôle d'anode sacrificielle.

1) Pourquoi qualifie-t-on l'anode en magnésium d'anode sacrificielle ?

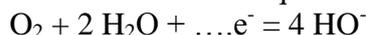
### Etude de la corrosion du fer

En l'absence de protection, le fer est oxydé car il réagit avec le dioxygène  $\text{O}_2$  de l'air en présence d'humidité.

2) Ecrire la demi-équation électronique qui représente l'oxydation du fer.

Préciser quel est l'oxydant et quel est le réducteur de ce couple.

La réduction du dioxygène peut se modéliser avec la demi-équation :



3) Compléter cette demi-équation électronique.

4) A l'aide des deux demi-équations électroniques précédentes, écrire l'équation-bilan de la corrosion du fer.

### Rôle de l'anode en magnésium

5) La transformation chimique modélisée par l'équation-bilan de la réaction écrite à la question 7) a-t-elle toujours lieu lorsque la cuve en fer est protégée par une anode en magnésium ?

Sinon, écrire la nouvelle équation-bilan mise en jeu.

### Le cuivre, le fer et le magnésium

Si on remplaçait le magnésium par du cuivre, le fer subirait une corrosion alors que le cuivre ne serait pas altéré.

6) Attribuer à chacun des trois couples  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$ ,  $\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}$  et  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$  le potentiel électrochimique  $E^{\circ}_1$ ,  $E^{\circ}_2$  ou  $E^{\circ}_3$  qui lui correspond.

Argumenter clairement votre réponse.

## SCBH

- 1 -

### Eclairage d'une table de bureau

#### Photométrie

Une table de bureau rectangulaire de longueur  $L = 1,73$  m et de largeur  $\ell = 0,80$  m nécessite, pour un confort d'utilisation, un éclairage de 300 lux.

Le centre de la table est juste à la verticale d'une dalle lumineuse à LED, C, incrustée dans le plafond et dont les caractéristiques et la courbe indicatrice photométrique sont données ci-dessous.

La hauteur plafond-bureau, notée H, vaut 1,65 m.

L'annexe contient également des informations relatives aux unités photométriques.

On s'y reportera utilement.

La source est supposée ponctuelle.

Caractéristiques de la dalle lumineuse à LED

Rendement lumineux du luminaire :  $K = 81 \text{ lm.W}^{-1}$

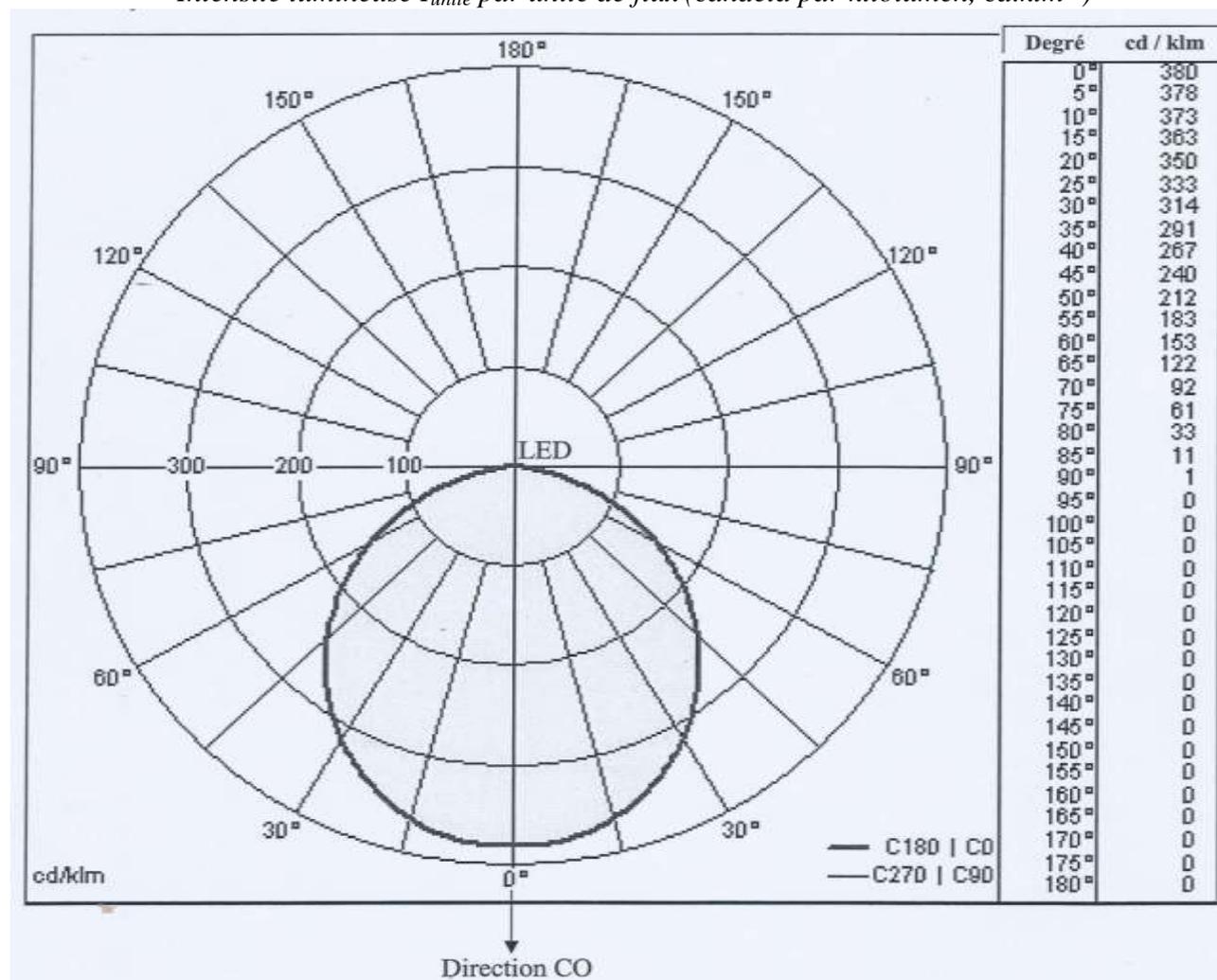
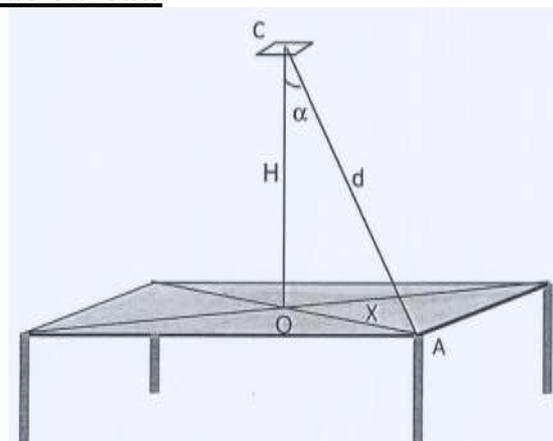
Puissance électrique consommée :  $P = 40 \text{ W}$

Température de couleur : 3000 K

Dimensions du luminaire :  $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$

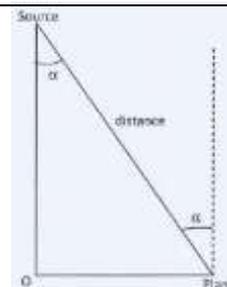
Courbe indicatrice photométrique :

Intensité lumineuse  $I_{\text{unité}}$  par unité de flux (candéla par kilolumen,  $\text{cd.klm}^{-1}$ )



Formulaire :

Grandeurs	Unités	Définition	Constante
Flux lumineux $\Phi$	lm	Puissance lumineuse rayonnée	
Intensité lumineuse $I$	cd (ou) lm.sr <sup>-1</sup>	Flux lumineux par unité d'angle solide	$I = \frac{\Phi}{\Omega}$
Luminance $L$ d'une source dans une direction donnée	cd.m <sup>-2</sup>	Intensité rayonnée par m <sup>2</sup> de surface de la source	$L = \frac{I}{S_{source}}$
Eclairement $E$ en un point éclairé par un rayonnement d'intensité $I$ arrivant sous un angle $\alpha$	lx	Flux lumineux reçu par unité de surface	$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{dis \tan ce^2}$



1) Calculer le flux lumineux  $\Phi$  en lumen de ce luminaire.

2) D'après la courbe photométrique, quelle est l'intensité lumineuse  $I_{unité}$  par unité de flux (cd.klm<sup>-1</sup>) en direction du centre de la table de bureau ?

Vérifier alors que l'intensité lumineuse  $I_0$  en direction du centre de la table est de  $1,2 \cdot 10^3$  cd.

3) Calculer l'éclairement  $E_0$  au centre O du bureau et vérifier qu'il est bien supérieur à 300 lx.

Pour un bon confort d'utilisation de la table de bureau, l'éclairement doit également être supérieur à 300 lx aux extrémités de la table.

On se propose dans la question suivante, de calculer sa valeur en un point A situé à l'extrémité.

Il faut connaître l'intensité lumineuse selon la direction (CA), l'angle  $\alpha$  et la distance d.

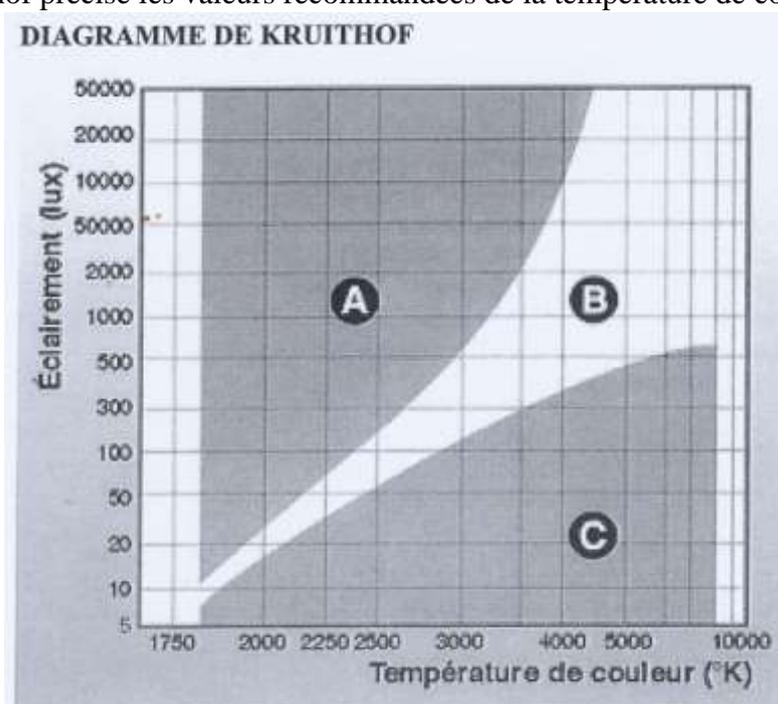
4) a- Par des considérations géométriques, déterminer l'angle  $\alpha$  et la distance d.

b- Vérifier que l'éclairement,  $E_A$ , en A est inférieur à 300 lx.

Comment pourrait-il être amélioré ?

Le confort d'utilisation d'une table de travail dépend aussi de la température de couleur d'une lumière qui doit être adaptée au niveau d'éclairement.

Quand le niveau d'éclairement augmente, la température de couleur de la lumière doit également s'élever. Le diagramme de Kruthof précise les valeurs recommandées de la température de couleur en fonction de l'éclairement.





(en watts) divisée par 100.

Cela veut dire que le volume ne peut pas faire moins de  $100 \text{ m}^3$  pour le HK10, moins de  $150 \text{ m}^3$  pour le HK15, moins de  $300 \text{ m}^3$  pour le HK30 et moins de  $400 \text{ m}^3$  pour le HK40.

L'appareil utilisé sur le chantier est le HK10.

Il est alimenté par une bouteille de butane.

Le ventilateur aspire l'air froid dans la pièce, le brûleur le réchauffe avant rejet dans la pièce.

Données :

Température initiale du lieu à chauffer :  $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$

Pression atmosphérique normale :  $P_{\text{atm}} = 1,01.10^3 \text{ hPa}$

Formule brute des alcanes :  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

Masse volumique de l'air à  $0^\circ\text{C}$  :  $\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg.m}^{-3}$

capacité thermique massique de l'air :  $c = 1004 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Composition volumique de l'air :

- diazote : 78%

- dioxygène : 21%

- autres gaz : 1%

Volume molaire des gaz sous pression normale 1013 hPa :

- à  $0^\circ\text{C}$  :  $V_m = 22,4 \text{ L.mol}^{-1}$

- à  $20^\circ\text{C}$  :  $V_m = 24,0 \text{ L.mol}^{-1}$

Pouvoir calorifique inférieur du butane :  $\text{PCI} = 45,6.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

## Chimie organique

Le propane et le butane sont des hydrocarbures saturés de la famille des alcanes possédant respectivement 3 et 4 atomes de carbone.

1) Ecrire les formules brutes et développées de ces deux molécules.

La documentation technique indique que le fonctionnement du chauffage consomme du dioxygène et plus encore pour le butane que pour le propane.

2) Justifier cette affirmation en écrivant les équations des réactions de combustion complète de ces deux alcanes sachant que les produits de combustion sont l'eau et le dioxyde de carbone.

On considère l'appareil HK10 alimenté au butane pour une heure de fonctionnement.

3) a- Calculer la quantité de matière de butane,  $n_{\text{butane}}$  exprimée en moles, consommée en une durée  $t_1$  égale à 1 heure.

b- En déduire la quantité de matière,  $n_{\text{O}_2}$  et le volume  $V_{\text{O}_2}$ , de dioxygène (pris à la pression  $P_{\text{atm}}$  et à la température  $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ ) nécessaire à la combustion lors du fonctionnement de l'appareil en une heure.

c- Calculer le volume de l'air,  $V_{\text{air}}$ , supposé dans les mêmes conditions de température et de pression, nécessaire à la combustion complète lors du fonctionnement de l'appareil en une heure.

Justifier les recommandations concernant la ventilation.

## Calorimétrie

1) Déterminer, en partant de la consommation indiquée dans la notice technique, l'énergie transférée thermiquement (appelée aussi chaleur) lors d'une durée d'une heure de fonctionnement de l'appareil HK10.

2) Vérifier que la puissance du chauffage considéré est bien voisine des 10 kW, valeur indiquée sur la notice.

## TP

### Bâtiment basse consommation

Suite aux engagements pris lors du Grenelle de l'environnement, les collectivités territoriales se doivent d'être exemplaires dans le fonctionnement de leur service.

C'est le cas notamment pour les politiques d'achat valorisant les éco-produits, l'amélioration des déplacements, la réduction des consommations en eau, en papier, en énergie, ainsi que la gestion du patrimoine bâti et non bâti.

Ce problème concerne l'étude de quelques éléments liés à la construction de l'annexe de mairie. Beaucoup de constructions récentes sont bâties dans un souci écologique et d'économie d'énergie. Le choix des matériaux (*partie A*), les techniques d'isolation thermique (*partie B*) et les modes de chauffage utilisés (*partie C*) permettent de réduire considérablement la consommation tout en gardant un bon confort d'utilisation.

#### Le problème se compose de trois parties indépendantes

##### Partie A : Etude des matériaux de construction

On étudie la fabrication et quelques caractéristiques du béton cellulaire, matériau choisi pour la construction de l'annexe envisagée.

##### Partie B : Performance d'isolation thermique

On étudie l'isolation du bâtiment au regard de la réglementation thermique 2012.

##### Partie C : Etude du dispositif solaire de production d'eau chaude

On évalue les économies financières liées à l'installation des panneaux solaires sur le toit du bâtiment.



(Image libre de droit)

#### Partie A

### Oxydoréduction

Les murs du bâtiment comporteront notamment du béton cellulaire associé à du polystyrène expansé thermique.

#### Etude du béton cellulaire

*Un béton ordinaire est constitué d'eau, de ciment et de granulats.*

*La fabrication de béton cellulaire nécessite en plus l'incorporation de pâte ou poudre d'aluminium qui, induit une augmentation du volume du béton.*

*La disparition de ce gaz au cours de la suite du processus de fabrication confère au béton cellulaire une structure alvéolaire constituée de microparticules d'air représentant plus de 60% du volume final.*

*On se propose de modéliser la réaction qui conduira la formation du gaz à l'origine de l'augmentation du volume du béton.*

*Dans un tube à essai, on verse 2 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+$  et  $\text{HO}^-$ ) de concentration molaire volumique  $c_b = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .*

*On ajoute une pointe de spatule d'aluminium en poudre.*

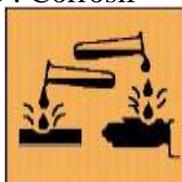
*Une effervescence se constate instantanément.*

1) Au vu de l'extrait de la fiche FDS de l'hydroxyde de sodium ci-dessous, quelles précautions doit-on prendre pour manipuler la solution correspondante ?

## IDENTIFICATIONS DES DANGERS

- Principaux dangers (directive 1999/45/CE)

C : Corrosif



- Selon les nouveaux pictogrammes de danger (SGH)

Données

Couples d'oxydo-réduction mis en jeu dans les conditions de l'expérience :

Couples	Potentiel standard (V)	Demi-équation associée
$O_{2_g} / HO_{aq}^-$	1,60	$O_{2_g} + 2H_2O + 4e^- = 4HO_{aq}^-$
$H_2O / H_{2_g}$	- 0,83	$2H_2O + 2e^- = H_{2_g} + 2HO_{aq}^-$
$Al(OH)_{4_{aq}}^- / Al_s$	- 2,30	$Al(OH)_{4_{aq}}^- + 3e^- = Al_s + 4HO_{aq}^-$

- 2) Parmi les espèces chimiques de ces trois couples, quelles sont celles présentes initialement dans le tube à essai avec l'aluminium, juste avant que la transformation chimique ne commence ?
- 3) Parmi ces espèces chimiques présentes initialement dans le tube à essai, quel est l'oxydant le plus fort et quel est le réducteur le plus fort ?
- 4) Justifier, sans équation bilan que le gaz formé au cours de la transformation chimique dans le tube à essai est bien du dihydrogène.
- 5) Ecrire l'équation bilan équilibrée de la réaction modélisant la transformation chimique conduisant à la formation de dihydrogène dans le tube à essai.

*Le ciment contient de la chaux. Cette dernière assure au milieu un pH de 12,4.*

- 6) Montrer que le choix de la concentration molaire volumique de la solution d'hydroxyde de sodium,  $c_b = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , utilisée dans l'expérience précédente pour modéliser la formation de gaz lors de la fabrication du béton cellulaire, permet d'assurer des conditions de pH proches de celles du ciment.

*On compare, dans le tableau suivant, deux caractéristiques du béton ordinaire et du béton cellulaire.*

	Masse volumique ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Conductivité thermique ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
Air	1,2	0,0262
Béton ordinaire	1600 - 2450	1,75
Béton cellulaire	550 - 950	0,16 - 0,33

- 7) A l'aide du tableau précédent, justifier les différences observées entre les deux propriétés des deux types de béton.

- 8) Dégager des avantages du béton cellulaire en tant que matériau de construction.

Estimation du pourcentage d'air dans le volume final du béton cellulaire

*On peut estimer le pourcentage en volume d'air contenu du béton cellulaire en procédant à des mesures de masses volumiques.*

*On dispose pour cela d'un morceau de parpaing utilisé comme béton « témoin » et d'un morceau de béton cellulaire, chacun de petite dimension, proche de la largeur et longueur d'un pouce de la main.*

*En appelant  $\rho_1$  et  $\rho_2$  les masses volumiques respectives des deux échantillons et  $\rho_{\text{air}}$  celle de l'air, on montre que le pourcentage d'air en volume dans le béton cellulaire est donné par la relation :*

$$\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 - \rho_{\text{air}}} \cdot 100$$

Les mesures effectuées permettent d'obtenir les résultats suivants :  $\rho_1 = 1864 \text{ kg.m}^{-3}$  et  $\rho_2 = 603 \text{ kg.m}^{-3}$ .

9) Etablir un protocole expérimental, en précisant le matériel à utiliser et en détaillant les opérations à effectuer, pour déterminer la masse volumique  $\rho_1$  du béton « témoin » constituant le parpaing.

10) Au vu des résultats expérimentaux, le pourcentage d'air en volume dans le béton cellulaire étudié ici correspond-t-il à celui attendu.

## Thermique

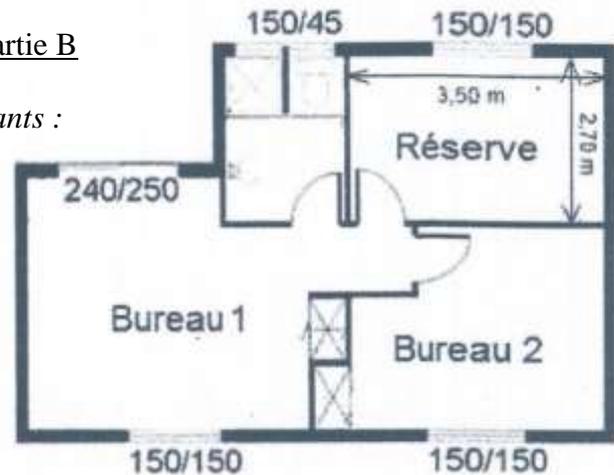
Les murs du bâtiment comportent les éléments suivants :

- bardage de bois
- lame d'air ventilé
- protection anti-pluie
- paroi de béton cellulaire
- plaques de polystyrène
- enduit

On souhaite étudier l'isolation d'une pièce de l'annexe, appelée réserve sur le plan ci-contre.

Les températures de consigne sont de  $19^\circ\text{C}$  dans les bureaux et de  $14^\circ\text{C}$  dans la réserve.

### Partie B



### Détermination du flux thermique à travers les murs de la réserve

#### Données :

On ne tiendra compte pour les fuites thermiques que des murs donnant sur l'extérieur.

hauteur des pièces :  $h = 2,50 \text{ m}$ .

Surface totale des murs de la réserve donnant sur l'extérieur, si on déduit la surface de la fenêtre :

$$S = 13,3 \text{ m}^2$$

résistance thermique surfacique des murs :  $r = 5,3 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$

Températures extérieure et intérieure :  $\theta_e = 10^\circ\text{C}$  et  $\theta_i = 14^\circ\text{C}$

1) Montrer que le flux thermique  $\Phi_1$  à travers les murs extérieurs de la réserve, sans tenir compte de la surface de la fenêtre, vaut  $\Phi_1 = 10 \text{ W}$ .

#### Performances thermiques globales

Pour que le bâtiment soit labellisé BBC (bâtiment basse consommation) selon la norme du RT2012 (réglementation thermique 2012), il faut que les pertes thermiques ne dépassent pas  $5,7 \text{ W.m}^{-2}$  au sol. Les fenêtres utilisées sont de type Th10 dans le label acotherm.

Cette indication permet de calculer que compte tenu de sa dimension, le flux thermique à travers la fenêtre de la réserve vaut  $\Phi_2 = 13 \text{ W}$ .

Les pertes thermiques par mètre carré au sol correspondent à la puissance totale perdue par unité de surface du sol.

2) Calculer leur valeur pour la réserve.

Le résultat est-t-il conforme aux exigences souhaitées ?

3) Expliquer en quoi le raisonnement précédent pourrait être plus rigoureux.

### Partie C

## Calorimétrie

On a disposé sur le toit du bâtiment six panneaux solaires.

Ces derniers sont destinés à récupérer de l'énergie solaire afin de produire de l'eau chaude à l'aide d'un système comportant un fluide caloporteur.

Pour avoir un confort d'utilisation satisfaisant, la température de sortie du fluide caloporteur dans le système de production d'eau chaude doit être supérieure à  $50^\circ\text{C}$ .

On considère une journée d'ensoleillement d'une durée  $\Delta t = 8 \text{ h}$ , avec un flux solaire moyen égal à  $\varphi_{\text{solaire}} = 800 \text{ W.m}^{-2}$ .

#### Données :

Surface des six panneaux :  $S_p = 11,5 \text{ m}^2$

Débit du fluide dans l'installation :  $Q_v = 2,5 \text{ L.min}^{-1}$

Masse volumique du fluide caloporteur (eau glycolée) :  $\rho = 1040 \text{ kg.m}^{-3}$

capacité thermique massique du fluide caloporteur :  $c = 3708 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$

On assimile le soleil à une source de longueur d'onde unique  $\lambda = 555 \text{ nm}$

$1 \text{ lx} = 1,5.10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$  pour une longueur d'onde de  $555 \text{ nm}$

### Energie transmise au fluide caloporteur

1) Calculer la puissance solaire moyenne reçue,  $P_r$ , par l'installation.

2) Vérifier que la puissance moyenne transmise,  $P_{tr}$ , au fluide caloporteur est d'environ  $7,4 \text{ kW}$ , valeur que l'on utilisera dans la suite de cette partie.

L'installateur possède différents instruments de mesure dont un luxmètre.

Il envisage d'utiliser ce dernier pour vérifier l'ordre de grandeur de la puissance solaire moyenne reçue par l'installation.

Données : caractéristiques techniques du luxmètre

Plages	0,00...40000 lx
Résolution	0,1 lx
Précision	$\approx 5\%$ (<10000 lx) et $\approx 10\%$ (>10000 lx)
Conditions environnementales	0...40°C / 0...80% Hr
Ecran	LCD à 3,5 digits
Alimentation	Batterie de 9 V
Dimensions	157 × 54 × 34 mm
Masse	170 g

3) Expliquer si l'appareil est adapté pour la manipulation envisagée.

### Température de sortie du fluide caloporteur

La température d'entrée du fluide caloporteur dans le système de production d'eau chaude est  $\theta_e = 13^\circ\text{C}$ .

4) En utilisant la puissance  $P_{tr}$  donnée à la question 2), montrer que l'énergie  $Q$  transmise au fluide caloporteur par jour, en joules, a pour valeur  $Q = 2,1.10^8 \text{ J}$ .

5) Calculer la masse de liquide,  $m$ , qui a circulé dans les panneaux pendant les 480 minutes d'ensoleillement.

6) En déduire l'élévation de température subie par le liquide, puis calculer la température de sortie  $\theta_s$  du fluide caloporteur.

### Intérêt du dispositif

7) A l'aide des questions précédentes, argumenter en faveur de ce mode de production d'eau chaude.

On s'intéressera au confort d'utilisation et on calculera les économies financières par an (200 jours d'utilisation) par rapport à un chauffe-eau électrique, sachant que le kilowattheure est facturé 12 cents par EDF.





<b>Acoustique...</b> $P_0=10^{-12}W, I_0=10^{-12}W.m^{-2}, p_0=2.10^{-5}Pa$	eb 2013	scbh 2013	af 2014
<b>...physique</b>			
$\omega = 2\pi.f ; T = 1/f ; \lambda = C.T ; i = f_2/f_1$			
octave (centre $f_0$ ) ; 1/2 octaves : $f_0/\sqrt{2}-f_0-f_0.\sqrt{2}$			
$p = p_{maximum}.\cos \omega(t-x/C) ; p_m = p_{efficace}/\sqrt{2}$			
onde mécanique élastique			
$\eta = P_a/P$			
$N_w = 10 \log (P_a/P_0)$			
$P_a = P_0.10^{0,1.N}$			
$S = \Omega.R^2$ ; source isotrope : $\Omega = 4\pi$			
$I = P_a/S$			
$I/I_0 = (p/p_0)^2$			
$I = p_e^2/(\rho.C)$			
$I_1/I_2 = (R_2/R_1)^2$			
$N_i = 10 \log (I/I_0) = N_p$			
$I = I_0.10^{0,1.N}$			
$N_p = 20 \log (p/p_0) = N_i$			
$p = p_0.10^{0,05.N}$			
$I_{\Delta f} = I_{spectral}.\Delta f ; N = N_{spectral} + 10 \log \Delta f$			
$dB(A) = dB + \text{gain}$			
$I_{total} = \Sigma I ; N_{totale} = 10 \log \Sigma 10^{0,1.N}$			
<b>...bâtiment</b>			
$A = \Sigma \alpha_i.S_i$			
<i>Sabine</i> : $T_R = 0,16V/A$			
$N_D = N_w + 10 \log (Q/4\pi R^2) ; \Omega = 4\pi/Q$			
$N_R = N_w + 10 \log (4/A)$			
$N = N_w + 10 \log (Q/4\pi R^2 + 4/A)$ ( $Q = 1,2,4,8$ )			
refraction ; diffraction			
$\tau = I_{transmise}/I_{incidente} ; r = I_{réfléchie}/I_{incidente}$ $\tau = P_t/P_i \quad r = P_r/P_i$			
$R = -10 \log \tau = 10 \log (1/\tau)$			
$\tau = 10^{-0,1.R}$			
$D_b = N_1 - N_2 ; D_b = R + 10 \log (A/S) = 10 \log (A/\tau.S)$			
$\Delta N = 10 \log (A_1/A_2) = 10 \log (T_2/T_1)$			
$D_n = D_b + 10 \log (T/0,5)$			
$\sigma = \rho.e$			
$R = a + b \log (c.\sigma) ; a, b, c : \text{constantes}$			
loi de masse			
loi de fréquence			
fréquence critique, résonnance, $\Delta R$			
paroi discontinue : $\tau = \Sigma \tau_i.S_i/\Sigma S_i$ $D_b = 10 \log (A/\Sigma \tau_i.S_i) = R + 10 \log (A/\Sigma S_i)$			

<b>MECANIQUE des FLUIDES</b>	tp 2013	b 2014	eb 2014	eec 2014
<b>hydrostatique</b>				
$d_{\text{fluide}} = \rho_{\text{fluide}} / \rho_{\text{fluide référent}}$				
$\rho_{\text{gaz}} = \rho_0 \cdot (P / P_0) \cdot (T_0 / T)$				
$\rho_{\text{mélange}} = \sum \rho_i \cdot V_i / \sum V_i$ $d_{\text{mélange}} = \sum d_i \cdot V_i / \sum V_i$				
$P \cdot V_{\text{gaz}} = n \cdot R \cdot T$				
<b>Principe</b> : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$ ( $P_2 - P_1$ )				
Pression absolue : $P_2 = P_1 + \rho \cdot g \cdot h$				
Pression relative : $P_2 = \rho \cdot g \cdot h$ ( $P_1 = P_{\text{atm}}$ )				
$F = P \cdot S$ ( <i>surface horizontale</i> )				
$F = \int p \cdot dS$ ( <i>surface verticale</i> )				
Caractéristiques de $\vec{F}$				
Vases communicants				
Poids : $P = m \cdot g$ ( $m = \rho \cdot V$ )				
Théorème d'Archimède $\Pi = \rho \cdot V_{\text{immergé}} \cdot g$				
Théorème de Pascal : <i>les liquides transmettent les pressions</i>				
Tension superficielle, capillarité				
<b>hydrodynamique</b>				
$Q_v = S \cdot v$ ; $Q_m = \rho \cdot Q_v$				
$S_{\text{circulaire}} = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot (D^2 / 4)$				
$V_2 = V_1 \cdot (D_1 / D_2)^2 = V_1 \cdot (S_1 / S_2)$				
$t = \text{Volume} / Q_v = m / Q_m$				
$(m / \rho) \cdot (P_2 - P_1) + \frac{1}{2} m \cdot (v_2^2 - v_1^2) + m g (z_2 - z_1) = E$ ( <i>Bernoulli</i> )				
<b>Écoulement « libre »</b> : $E = 0$ $P + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constante}$ $v = \sqrt{2g \cdot h}$ (à l'air libre)				
<b>Écoulement forcé</b> : $E \neq 0$ Si $m = Q_m$ : $E = P$ $E = P \cdot t$				
Approximations : $v \approx 0$ (grande surface) $P = P_{\text{atmosphérique}}$ (à l'air libre)				
Tube de Pitot				
Travail ; $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ ; $E_p = m \cdot g \cdot h$				
$G = L^a \cdot M^b$ ..., unités				
Pourcentage				

<b>PHOTOMETRIE</b>	af 2013	b 2013	eb 2013	scbh 2014
Définitions – Spectre lumineux				
Rayonnement				
$\Phi_{\text{énergétique}} = \eta \cdot P_{\text{électrique}}$ (et $E = P \cdot t$ )				
$\Phi_{\text{lumineux}} = k \cdot P$				
$G_1 = e_{\lambda} \cdot G_e$ ( $G : M, L, I, E, \Phi$ ) $e_{\lambda} = 683 \cdot V$				
Surface indicatrice d'émission				
<u>Source primaire ponctuelle</u> <u>isotrope</u> : $\Phi = I \cdot \Omega$				
$\Omega = 4\pi$ (espace)				
$\Omega = 2\pi$ (demi-espace)				
$\Omega = 2\pi \cdot (1 - \cos \theta)$				
$d\Omega = dS \cdot \cos \theta / x^2$				
$d\Omega = 2\pi \cdot \sin \theta \cdot d\theta$				
<u>Source primaire ponctuelle</u> <u>orthotrope</u> : $d\Phi = I \cdot d\Omega$ $\Phi = \pi \cdot I_N \cdot (1 - \cos^2 \theta_{\text{maximum}}) = \int d\Phi$ $\Phi = \pi \cdot I_N$ ( $\theta_{\text{maximum}} = \pi / 2$ )				
$I_{\theta} = I_N \cdot \cos \theta$				
<u>Source étendue</u> loi de Lambert $M = \pi \cdot L$ $L = I / S_{\text{apparente source}}$ $\Phi = M \cdot S_{\text{réelle source}}$				
$E = I \cdot \cos \theta / d^2$ (source ponctuelle)				
$E_N = I_N / h^2$ (source ponctuelle)				
$E = \Phi / S_{\text{éclairée}}$				
$E = \Sigma E_i$				
Luxmètre				
Source secondaire réfléchissante : $M = r \cdot E$ ( $r = \Phi_{\text{réfléchi}} / \Phi_{\text{incident}}$ )				
Source secondaire transmittante : $M = t \cdot E$ ( $t = \Phi_{\text{transmis}} / \Phi_{\text{incident}}$ )				
Eclairage				
Descartes...				
Pourcentage				

<b><u>RAYONNEMENT</u></b>	af 2013	b 2014
$\Phi = M.S \quad (P)$		
$M = \sigma.T^4$		
$3.10^{-3} \approx \lambda_{\text{maximum}} \cdot T$		
$T = \theta + 273,15$		
Corps noir, $\sigma^0$		
Corps non noir, $\sigma = \eta.\sigma^0$		
$E = P.t$		
Spectre lumineux		
Capteur solaire		
Effet de serre		
$Q = m.c.\Delta\theta$		
$Q = m.L$		
Pourcentage		

<b>THERMIQUE</b>	af 2013	b 2013	eec 2013	tp 2013	eb 2014	tp 2014
Transferts de chaleur, définitions						
Loi de Fourier $\varphi = -\lambda \cdot d\theta / dx$ $\varphi = \lambda \cdot (\theta_1 - \theta_2) / e$						
$\Phi = \lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2) / e = \varphi \cdot S$						
Convection, rayonnement $r_s = 1 / h$						
Paroi simple $r = e / \lambda + \Sigma r_s$						
Paroi composite $r = \Sigma e_i / \lambda_i + \Sigma r_s + \Sigma r_i$						
$U = 1 / r$						
$R = r / S$						
Ponts thermiques: $\Sigma \Psi_j \cdot \ell_j + \Sigma \chi$						
Paroi discontinue $U_{bat} = (\Sigma U_i \cdot S_i + \Sigma \Psi_j \cdot \ell_j + \Sigma \chi) / \Sigma S_i$						
$\varphi = U \cdot \Delta\theta = \Delta\theta / r$						
(P) $\Phi = \varphi \cdot S = U \cdot S \cdot \Delta\theta = \Delta\theta / R$						
$G = [U_{bat} \cdot S + (\eta \cdot \rho \cdot c \cdot V) / 3600] / V$ $G = G_{paroi} + G_{air}$						
(P) $\Phi = G \cdot V \cdot \Delta\theta$						
$E = \Phi \cdot t$						
Coût, économie						
Label BBC						
$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (m = \rho \cdot V)$						
$Q = m \cdot L$						
$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = \varphi \cdot r_{\Delta\theta}$						
$\theta_{si}, \theta_{se}$						
Diagramme des températures						
$\theta_{si}$ et point de rosée						
$\theta_{si}$ et confort						
Diagramme de l'air humide						
$H_R (p/p_s ; w/w_s)$						
Isolation thermique						
Rayonnement						
$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$						
$p = \rho \cdot g \cdot h$						
Pourcentage						
$G = M^\alpha \cdot L^\beta \cdot T^\gamma \dots$						



<b><u>OXYDOREDUCTION</u></b>	af 2013	tp 2013	eb 2014	eec 2014	tp 2014
Définitions. Nomenclature					
$n = m / M$ ; $n = V_{\text{gaz}} / V_{\text{molaire}}$					
Oxydoréduction en <u>phase sèche</u>					
$n = C(X) \cdot V_{\text{solution aqueuse}}$ $n = [X^{x+}_{\text{aq}}] \cdot V_{\text{aq}} ; n = [Y^{y-}_{\text{aq}}] \cdot V_{\text{aq}}$					
Oxydoréduction en <u>phase aqueuse</u> Potentiel d'oxydoréduction : $E^0$ Couple « redox » oxydant / réducteur					
<b>Couple <math>M^{x+}</math> ion métallique / Métal</b>					
Classification des métaux réducteurs					
Couple $H^+$ aqueux / $H_2$					
Règle du gamma					
Réduction <b>Oxydant 1</b> + $x e^- \rightarrow$ Réducteur 1					
Oxydation $Oxydant 2 + y e^- \leftarrow$ Réducteur 2					
<u>Oxydoréduction</u> <b>...Oxydant 1 + ...Réducteur 2</b> $\rightarrow$ ...Réducteur 1 + Oxydant 2					
Dosage					
Pile : <i>description</i>					
Pile : <i>polarité (anode- ; cathode+)</i>					
Pile : <i>force électromotrice (f.e.m)</i>					
Pile : <i>électrode de référence (Pt)</i>					
Pile : <i>notation (<math>M_1/M_1^{x+} // M_2^{y+}/M_2</math>)</i>					
Faraday : $96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ (F)					
$Q = I \cdot t$ ; $n_{e^-} = Q / F$					
$n_{\text{métal}} = (1 / y) \cdot n_{e^-}$					
$m_{\text{métal anode}} = (1 / y) \cdot (I \cdot t / F) \cdot M_{\text{métal}}$					
Corrosion par <i>agent oxydant</i>					
Corrosion <i>électrochimique</i> (pile)					
Protection par <i>revêtement</i>					
Protection par <i>générateur électrique</i>					
<u>Protection électrochimique</u> (pile) (anode sacrificielle)					
Manipulation - Protocole					
Electrolyse					

Solution <b>acide</b> . Solution <b>basique</b> Solution aqueuse... <i>autre</i>	af 2014
Définitions. Nomenclature	
Solution aqueuse	
Solution acide	
Solution basique	
$n = m / M$ ; $n = V_{\text{gaz}} / V_{\text{molaire}}$	
$n = C(X) \cdot V_{\text{solution aqueuse}}$ $n = [C^{x+}_{\text{aq}}] \cdot V_{\text{aq}} ; n = [A^{y-}_{\text{aq}}] \cdot V_{\text{aq}}$	
$d = \rho / \rho_{\text{eau}}$ ; $\rho = m / V_{\text{aq}}$ ; $\chi = m_{\text{soluté}} / V_{\text{aq}}$ $t = 100 \cdot (m_{\text{soluté}} / m)$	
Autoionisation de l'eau $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}} + \text{OH}^-_{\text{aq}}$	
$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}}] = 14 + \log[\text{OH}^-_{\text{aq}}]$ $[\text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}}] = 10^{-\text{pH}}$	
$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}}] \cdot [\text{OH}^-_{\text{aq}}]$	
Solution électriquement neutre $\sum x \cdot [C^{x+}] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + \sum y \cdot [A^{y-}]$	
Dissolution	
mono <b>Acide fort</b> <b>AH</b> $\text{AH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}} + \text{OH}^-_{\text{aq}}$ Réaction totale	
mono <b>Base forte</b> <b>COH</b> $\text{COH} \rightarrow \text{C}^+_{\text{aq}} + \text{OH}^-_{\text{aq}}$ Dissolution totale	
<u>Dosage</u> $A_{\text{fort}}$ par $B_{\text{forte}}$ ; $B_{\text{forte}}$ par $A_{\text{fort}}$	
Mode opératoire. Courbe	
Equation de neutralisation $\text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}} + \text{OH}^-_{\text{aq}} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	
Equivalence (pH = 7) $C_{\text{acide}} \cdot V_{\text{acide}} = C_{\text{base}} \cdot V_{\text{base}}$	
Résidu : n, m, C	
mono <b>acide faible</b> <b>AH</b> $\text{AH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}} + \text{A}^-_{\text{aq}}$ Réaction partielle	
mono <b>base faible</b> : <b>B</b> $\text{B} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^-_{\text{aq}} + \text{BH}^+_{\text{aq}}$ Réaction partielle	
Conservation de la matière Acide faible $[\text{AH}_{\text{solution}}] = [\text{AH}_{\text{initiale}}] - [\text{A}^-_{\text{aq}}]$	
Conservation de la matière Acide faible $[\text{B}_{\text{solution}}] = [\text{B}_{\text{initiale}}] - [\text{BH}^+_{\text{aq}}]$	
Constante d'acidité $\text{pK}_A = -\log K_A$ $K_A = [\text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}}] \cdot [\text{A}^-_{\text{aq}}] / [\text{AH}_{\text{solution}}]$	
Dosage $A_{\text{faible}}$ par <b>B</b> <sub>forte</sub> ( $C_A \cdot V_A = C_B \cdot V_B$ ) $\text{AH}_{\text{solution}} + \text{OH}^-_{\text{aq}} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{A}^-_{\text{aq}}$	
Dosage $B_{\text{faible}}$ par <b>A</b> <sub>fort</sub> ( $C_A \cdot V_A = C_B \cdot V_B$ ) $\text{B}_{\text{solution}} + \text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{BH}^+_{\text{aq}}$	
Dilution $C = C_1 V_1 / (V_1 + V_2)$	
Mélange $C = (C_1 V_1 + C_2 V_2) / (V_1 + V_2)$	