Des bulles sur l'eau

Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Citer les modes de transferts thermiques qui peuvent expliquer la diminution de température de l'eau en l'absence de couverture à bulles.

La nuit, l'eau est plus chaude que l'air : elle cède de l'énergie à l'extérieur, par sa surface, selon trois modes.

- **Conduction** : de proche en proche, au contact entre l'eau et l'air, sans déplacement de matière.
- **Convection** : l'air réchauffé au contact de l'eau s'élève et il est remplacé par de l'air plus froid ; l'énergie est emportée par ce mouvement de matière.
- **Rayonnement** : l'eau émet des ondes électromagnétiques, ici dans l'infrarouge.

Trois modes : conduction, convection et rayonnement.

COMPRENDRE
Un transfert thermique se fait spontanément du corps chaud vers le corps froid. L'évaporation, étudiée aux questions 1.3 et 1.4, refroidit aussi l'eau, mais c'est un changement d'état, pas un quatrième mode de transfert.

1.2 Citer deux arguments expliquant qualitativement l'efficacité de la couverture à bulles translucide pour l'isolation thermique de l'eau de baignade.

Données utiles $\lambda_a = 0{,}03\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\lambda_p = 0{,}4\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; lame d'air de 0,5 cm ; couverture opaque aux infrarouges ; à 25 °C, maximum d'émission à 10^4 nm

Les pertes se font surtout par la surface de l'eau, là où la couverture est posée.

Premier argument (conduction, convection). La couverture supprime le contact direct entre l'eau et l'air extérieur. Elle interpose une lame d'air immobile, emprisonnée dans les bulles. Or l'air a une conductivité thermique très faible ($\lambda_a = 0{,}03\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, environ 13 fois plus faible que celle du plastique) : c'est un très bon isolant.

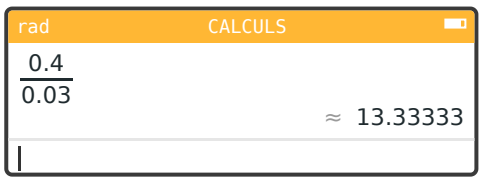
Second argument (rayonnement). Une eau à environ 25 °C rayonne surtout autour de 10^4 nm, soit 10 µm : c'est de l'infrarouge (longueur d'onde supérieure à 800 nm). La couverture est opaque aux infrarouges : ce rayonnement ne la traverse pas.

La lame d'air isolante limite conduction et convection ; l'opacité aux infrarouges limite les pertes par rayonnement.

COMPRENDRE
Le lien entre la température d'un corps et la longueur d'onde de son maximum d'émission (corps noir, loi de Wien) n'est plus au programme actuel de spécialité ; ici la valeur est fournie.

MÉTHODE
Pour une question qualitative, appuyer chaque argument sur une donnée précise du sujet : ici la conductivité de l'air, puis l'opacité aux infrarouges reliée à la longueur d'onde 10^4 nm.

À LA CALCULATRICE



1.3 Montrer que l'énergie nécessaire à l'évaporation d'eau pour la nuit est de l'ordre de 4×10^8 J.

Données utiles $S = 32\ \text{m}^2$; baisse de niveau $e = 5$ mm ; $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; énergie massique d'évaporation $L = 2{,}4 \times 10^6\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Volume d'eau évaporée : c'est une couche d'épaisseur e sur toute la surface S, donc $V_{\text{év}} = S\,e$.

Masse d'eau évaporée : $m_{\text{év}} = \rho_{eau}\,S\,e$

$$m_{\text{év}} = 1{,}00 \times 10^3 \times 32 \times 5 \times 10^{-3} = 1{,}6 \times 10^2\ \text{kg}$$

Énergie nécessaire, à raison de $L = 2{,}4 \times 10^6$ J par kilogramme évaporé : $Q = m_{\text{év}}\,L$

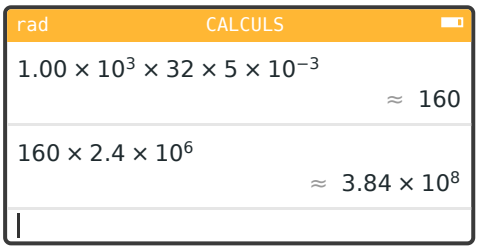
$$Q = 1{,}6 \times 10^2 \times 2{,}4 \times 10^6 = 3{,}84 \times 10^8\ \text{J}$$

$Q \approx 3{,}8 \times 10^8$ J, bien de l'ordre de 4×10^8 J.

PIÈGE
Laisser l'épaisseur en millimètres : $e = 5 \times 10^{-3}$ m. Ne pas utiliser non plus le volume total de 48 m³, seule la couche de 5 mm s'évapore.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : les données en ont deux au mieux (un seul pour 5 mm), d'où $3{,}8 \times 10^8$ J, que le sujet arrondit à 4×10^8 J. On garde la valeur non arrondie pour la suite.

À LA CALCULATRICE



1.4 En supposant que toute l'énergie nécessaire à l'évaporation est apportée par les 48 m³ d'eau de la piscine, calculer la baisse de température de l'eau due à la seule évaporation.

Données utiles $Q = 3{,}84 \times 10^8$ J (1.3) ; $V = 48\ \text{m}^3$; $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $c_{eau} = 4{,}18 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Système : les 48 m³ d'eau liquide, de masse $m = \rho_{eau}\,V$.

L'eau cède l'énergie Q : sa variation d'énergie interne est $\Delta U = -Q$.

Pour un liquide incompressible : $\Delta U = m\,c_{eau}\,\Delta\theta = \rho_{eau}\,V\,c_{eau}\,\Delta\theta$, donc

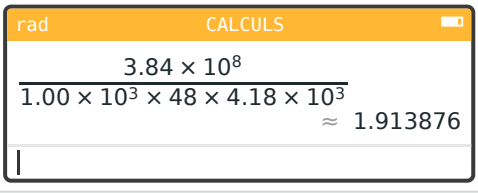
$$\Delta\theta = \frac{-Q}{\rho_{eau}\,V\,c_{eau}} = \frac{-3{,}84 \times 10^8}{1{,}00 \times 10^3 \times 48 \times 4{,}18 \times 10^3} = -1{,}9\ ^\circ\text{C}$$

L'évaporation seule fait baisser la température de l'eau d'environ $1{,}9\ ^\circ\text{C}$, soit près de 2 °C.

PIÈGE
Oublier le signe : l'eau perd de l'énergie, ΔU et $\Delta\theta$ sont négatifs. La « baisse » demandée est la valeur absolue, 1,9 °C.

COMPRENDRE
C'est environ la moitié des 4 °C perdus pendant la nuit. Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile de convertir.

À LA CALCULATRICE



1.5 À l'aide des réponses précédentes, présenter les avantages de l'utilisation d'une couverture à bulles.

La couverture posée sur l'eau la nuit apporte trois avantages.

- Elle réduit les pertes par conduction, convection et rayonnement à la surface (1.1 et 1.2).
- Elle empêche l'évaporation, qui explique à elle seule près de la moitié de la baisse nocturne : environ 2 °C sur 4 °C (1.4).
- Elle économise l'eau : sans elle, 160 kg d'eau, soit 160 L, s'évaporent chaque nuit (1.3) et doivent être remplacés.

L'eau reste plus chaude d'un jour à l'autre et l'on ajoute moins d'eau : moins de chauffage, moins de remplissage.

2.1 Les deux couvertures à bulles testées présentent-elles un intérêt pour élever la température de l'eau de baignade ? Justifier.

Données utiles élévations de température en 2 h, lues dans le tableau

On calcule l'élévation de température $\Delta\theta = \theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{initiale}}$ de chaque bassin.

- Expérience 1 : bassin A sans couverture, $28{,}0 - 24{,}1 = +3{,}9$ °C ; bassin B translucide, $28{,}8 - 24{,}1 = +4{,}7$ °C.
- Expérience 2 : bassin A noire opaque, $27{,}5 - 24{,}0 = +3{,}5$ °C ; bassin B translucide, $28{,}8 - 24{,}0 = +4{,}8$ °C.
- Expérience 3 : bassin A noire opaque, $23{,}7 - 23{,}8 = -0{,}1$ °C ; bassin B translucide, $24{,}4 - 23{,}8 = +0{,}6$ °C.

Couverture translucide. Dans l'expérience 1, le même jour, l'eau couverte gagne 4,7 °C contre 3,9 °C sans couverture. Sous ciel nuageux (expérience 3), elle gagne encore 0,6 °C. Elle présente un intérêt.

Couverture noire opaque. Elle chauffe toujours moins que la translucide (3,5 °C contre 4,8 °C dans l'expérience 2). Sous ciel nuageux, la température ne monte pas : elle baisse même de 0,1 °C. Son gain en plein soleil (3,5 °C) ne dépasse pas celui du bassin sans couverture (3,9 °C dans l'expérience 1).

Seule la couverture translucide présente un intérêt net pour élever la température ; la noire opaque n'en présente pas.

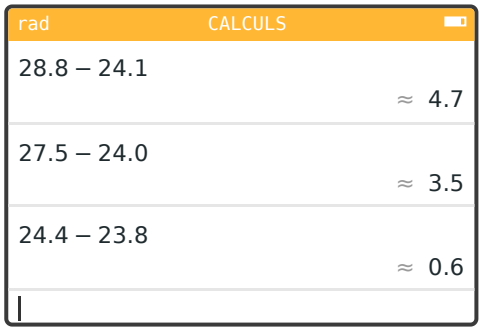
COMPRENDRE

La couverture translucide transmet le visible, absorbé ensuite dans l'eau. La noire absorbe le rayonnement en surface et ne transmet l'énergie à l'eau que par conduction, à travers sa lame d'air isolante.

MÉTHODE

Ne comparer directement que deux bassins d'une même expérience : même soleil, même air. Les expériences 1 et 2 ont lieu deux jours différents (air à 29 °C puis 34 °C), leur rapprochement reste indicatif.

À LA CALCULATRICE



2.2 En supposant que le transfert thermique vers le bassin se fait intégralement par rayonnement, calculer le rendement de la couverture translucide dans l'expérience 1.

Données utiles $\eta = \dfrac{\Delta U_{eau}}{E_{solaire}} \times 100$; $P_s = 8{,}5 \times 10^{2}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; $S = 7{,}6 \times 10^{-2}\ \text{m}^2$; $V = 1{,}3 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$; $\Delta t = 2$ h ; bassin B : 24,1 °C puis 28,8 °C

Énergie reçue par l'eau : $\Delta U_{eau} = \rho_{eau}\, V\, c_{eau}\, \Delta\theta$ avec $\Delta\theta = 28{,}8 - 24{,}1 = 4{,}7$ °C.

$$\Delta U_{eau} = 1{,}00 \times 10^{3} \times 1{,}3 \times 10^{-2} \times 4{,}18 \times 10^{3} \times 4{,}7 = 2{,}55 \times 10^{5}\ \text{J}$$

Énergie solaire reçue par la surface S pendant $\Delta t = 2 \times 3600 = 7200$ s : $E_{solaire} = P_s\, S\, \Delta t$

$$E_{solaire} = 8{,}5 \times 10^{2} \times 7{,}6 \times 10^{-2} \times 7200 = 4{,}65 \times 10^{5}\ \text{J}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{\rho_{eau}\, V\, c_{eau}\, \Delta\theta}{P_s\, S\, \Delta t} \times 100 = \frac{2{,}55 \times 10^{5}}{4{,}65 \times 10^{5}} \times 100$$

$\eta \approx 55\ \%$

PIÈGE
La puissance est donnée par mètre carré : il faut la multiplier par la surface S, puis par la durée en secondes (7200 s, pas 2).

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme P_s, S, V et $\Delta\theta$. Si l'on tient la durée « 2 h » pour une valeur à un seul chiffre, on annonce 50 % environ.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.00 \times 10^{3} \times 1.3 \times 10^{-2} \times 4.18 \times 10^{3} \times 4.7 \approx 255398$

$8.5 \times 10^{2} \times 7.6 \times 10^{-2} \times 7200 \approx 465120$

$\dfrac{255\,398}{465\,120} \times 100 \approx 54.91013$

2.3 Montrer que, dans les conditions de l'expérience 3 et pour la même durée, une couverture translucide sur une piscine de 32 m² et 48 m³ ne provoque pas d'augmentation significative de la température.

Données utiles $\eta = 12\ \%$; $P_s = 5{,}1 \times 10^{2}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; $S' = 32\ \text{m}^2$; $V' = 48\ \text{m}^3$; $\Delta t = 7200$ s

D'après la définition du rendement : $\Delta U_{eau} = \dfrac{\eta}{100}\, E_{solaire}$, soit

$$\rho_{eau}\, V'\, c_{eau}\, \Delta\theta = \frac{\eta}{100}\, P_s\, S'\, \Delta t$$

$$\Delta\theta = \frac{\eta\, P_s\, S'\, \Delta t}{100\, \rho_{eau}\, V'\, c_{eau}} = \frac{0{,}12 \times 5{,}1 \times 10^{2} \times 32 \times 7200}{1{,}00 \times 10^{3} \times 48 \times 4{,}18 \times 10^{3}} = 0{,}070\ ^{\circ}\text{C}$$

Cette élévation est inférieure à 0,1 °C, précision des températures relevées dans le tableau : elle n'est pas mesurable.

$\Delta\theta \approx 0{,}07\ ^{\circ}\text{C}$ en deux heures : l'augmentation de température n'est pas significative.

COMPRENDRE
Avec le même rendement, le petit bassin gagne 0,6 °C. La piscine reçoit moins d'énergie par litre d'eau : sa profondeur moyenne V'/S' vaut 1,5 m, contre 0,17 m pour le bassin d'essai.

MÉTHODE
Pour conclure « non significatif », comparer le résultat à une référence chiffrée : ici la précision du thermomètre, 0,1 °C.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{0.12 \times 5.1 \times 10^{2} \times 32 \times 7200}{1.00 \times 10^{3} \times 48 \times 4.18 \times 10^{3}} \approx 0.07027751$

3.1 Montrer que la longueur d'onde du photon absorbé lors de la photolyse de HClO en phase gazeuse est égale à 480 nm.

Données utiles $D = 251 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (valeur à connaître)

D est l'énergie nécessaire pour rompre une mole de liaisons O–Cl, soit N_A liaisons. Un photon rompt une seule liaison : son énergie est

$$E = \frac{D}{N_A}$$

Or l'énergie d'un photon de longueur d'onde λ est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc

$$\lambda = \frac{h\,c}{E} = \frac{h\,c\,N_A}{D}$$

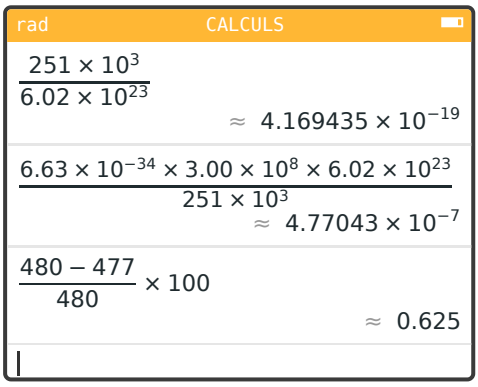
$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^8 \times 6{,}02 \times 10^{23}}{251 \times 10^3} = 4{,}77 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$\lambda = 477$ nm, soit environ 480 nm comme annoncé (écart de 0,6 %).

PIÈGE
Utiliser D directement dans $E = hc/\lambda$: D est une énergie par mole, il faut la diviser par N_A pour obtenir l'énergie d'un seul photon.

COMPRENDRE
Avec trois chiffres significatifs on trouve 477 nm ; le sujet a arrondi à deux chiffres. La célérité c ne figure pas dans les données : elle est à connaître.

À LA CALCULATRICE



3.2 Quelle est l'influence du solvant sur l'énergie nécessaire à la photolyse de l'acide hypochloreux ?

Données utiles phase gazeuse : $\lambda_g = 480$ nm ; solution aqueuse : $\lambda_{aq} = 240$ nm

L'énergie du photon est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$: elle est inversement proportionnelle à la longueur d'onde.

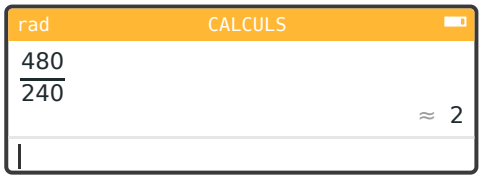
En solution aqueuse, la longueur d'onde efficace est deux fois plus petite qu'en phase gazeuse :

$$\frac{E_{aq}}{E_g} = \frac{\lambda_g}{\lambda_{aq}} = \frac{480}{240} = 2$$

En présence du solvant (l'eau), la photolyse demande un photon deux fois plus énergétique : le solvant augmente l'énergie nécessaire.

MÉTHODE
Pour comparer deux énergies de photon, former le rapport : h et c se simplifient, il reste le rapport inverse des longueurs d'onde.

À LA CALCULATRICE



3.3 Donner la caractéristique de la couverture translucide qui permet de diminuer la quantité d'acide hypochloreux utilisée pour le traitement de l'eau de piscine.

Dans la piscine, l'acide hypochloreux est en solution aqueuse : il est détruit par des photons de longueur d'onde voisine de 240 nm. Cette valeur est inférieure à 400 nm : ce sont des ultraviolets.

Or la couverture translucide est opaque aux ultraviolets : elle arrête ces photons avant qu'ils n'atteignent l'eau. L'acide hypochloreux se dégrade moins vite, il faut en rajouter moins souvent.

La caractéristique utile est l'opacité de la couverture aux ultraviolets.

COMPRENDRE

Domaine visible : de 400 nm à 800 nm environ. En dessous, l'ultraviolet ; au-dessus, l'infrarouge. La couverture laisse passer le visible, qui chauffe l'eau, mais pas les UV, qui détruisent le produit.