

BCPST 1C - Devoir Surveillé n°6 - PHYSIQUE

Mercredi 11 mars 2026 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée. Tout résultat final doit être mis en valeur.

On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique, ainsi que des réponses concises mais précises.

EXERCICE I : BILAN THERMIQUE DU BASSIN D'UNE PISCINE

Ce problème présente plusieurs parties indépendantes.

Le bassin étudié est situé sur l'île de la Réunion, dans la commune de Saint-Paul.

Données générales :

- Dimensions du bassin : 12,5 m de large et 25 m de long. On retiendra une surface S d'environ 300 m^2 et un volume V d'environ 500 m^3 .
- Capacité thermique massique de l'eau liquide :
 $c_e = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau : $\Delta_{\text{vap}}h = 2,3 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



Document 1 : photographie du bassin étudié.
Source images et données : www.theses.fr/s240136

A. Courbe de refroidissement

(~ 30 MINUTES)

On note $T(t)$ la température de l'eau et T_0 la température de l'air extérieur. On note C la capacité thermique totale de l'eau du bassin.

- 1 - À l'aide des données de l'énoncé, exprimer puis donner la valeur numérique de C .

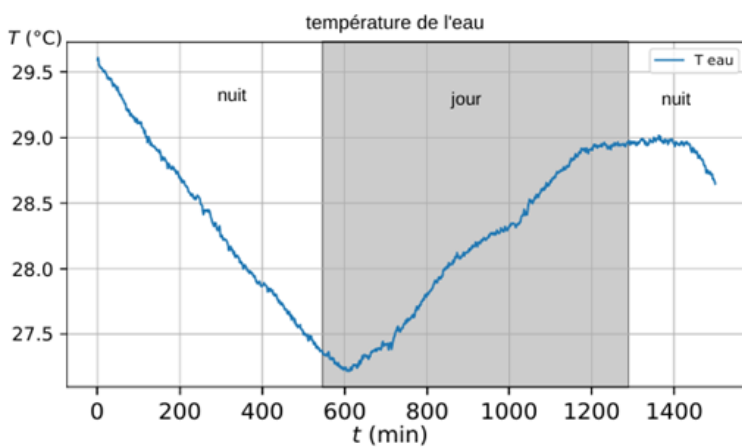
On s'intéresse à l'évolution de la température de l'eau du bassin $T(t)$ au cours de la nuit, en l'absence de chauffage. On note R la résistance thermique équivalente qui rend compte des échanges entre l'eau et le milieu extérieur (quelle que soit leur nature).

- 2 - En réalisant un bilan thermique, montrer que $T(t)$ suit l'équation différentielle ci-dessous, dans laquelle τ est une constante, à expliciter en fonction des données de l'énoncé :

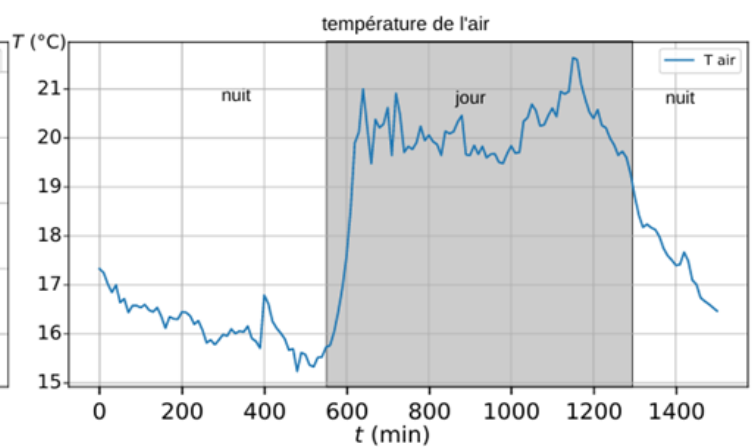
$$\frac{dT}{dt} + \frac{T(t)}{\tau} = \frac{T_0}{\tau} \quad (1)$$

On suppose T_0 constante. On note T_i la température de l'eau à $t = 0$.

- 3 - Résoudre l'équation différentielle précédente et donner l'expression de $T(t)$ en fonction de T_i, T_0, τ et t .
- 4 - Tracer l'allure du graphique qui donne T en fonction de t pour la solution $T(t)$ obtenue. On supposera $T_i > T_0$. On indiquera sur le graphique la valeur initiale de $T(t)$ et la valeur finale de $T(t)$ aux temps longs.
- 5 - On rappelle que pour $|x| \ll 1$, $e^x \approx 1 + x$. Pour $t \ll \tau$, ce qui correspond à $\frac{t}{\tau} \ll 1$ mettre $T(t)$ sous la forme $T(t) = a \cdot t + b$, et donner les expressions de a et de b en fonction de T_i, T_0 et τ .
- 6 - En exploitant les graphiques des documents 2 et 3, proposer une estimation de la valeur de τ .



Document 2 : évolution de la température de l'eau. L'eau n'est pas chauffée la nuit, alors qu'elle l'est le jour.



Document 3 : évolution de la température de l'air sur la même période que pour le document 2.

B. Causes de refroidissement

(~ 40 MINUTES)

On s'intéresse à l'évolution de la température de l'eau $T(t)$ entre les instants $t_i = 0$ et $t_f = 500$ min. Le document 2 montre que la température passe de $T_i = 29,6^\circ\text{C}$ à $T_f = 27,5^\circ\text{C}$. Cette phase a lieu de nuit, sans chauffage. L'eau de la piscine est modélisée comme un fluide incompressible et indilatable et constitue un système fermé.

- 7 - Donner l'expression de la variation d'enthalpie, ΔH_i , associée à ce changement de température de l'eau de la piscine durant cette période. Calculer sa valeur.

Plusieurs phénomènes physiques sont responsables du refroidissement de l'eau du bassin. Ils sont discutés à tour de rôle dans la suite.

B.1 Refroidissement par évaporation

L'évaporation est une des causes principales de refroidissement de l'eau d'une piscine. La piscine est instrumentée pour pouvoir suivre son niveau d'eau, qui varie sous l'effet de l'évaporation. Le débit d'évaporation D_v est le volume d'eau qui s'évapore en surface (au contact de l'air) par unité de temps. Entre les instants $t_i = 0$ et $t_f = 500$ min, il est mesuré en moyenne à $D_v \approx 2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

- 8 - Déduire du débit d'évaporation mesuré, les expressions du volume puis de la masse d'eau évaporée entre t_i et t_f .
- 9 - Donner l'expression de la variation d'enthalpie, ΔH_2 , associée à l'évaporation durant cette période.
- 10 - Faire l'application numérique. On pourra se référer aux données générales.
- 11 - Expliquer qualitativement pourquoi le processus d'évaporation entraîne une diminution de la température de l'eau.

B.2 Refroidissement par échange avec l'air

Les échanges par conduction et convection à la surface de l'eau sont une autre source de refroidissement. On estime la puissance thermique cédée par l'eau au milieu extérieur via les échanges conducto-convectifs avec l'air en utilisant la loi de Newton :

$$P_{air} = \varepsilon \cdot h \cdot S \cdot (T - T_{air})$$

avec T la température de l'eau et T_{air} celle de l'air, S la surface du bassin, $h \approx 5 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ le coefficient conducto-convectif et ε un paramètre valant plus ou moins 1.

- 12 - Indiquer en justifiant si $\varepsilon = +1$ ou si $\varepsilon = -1$.
- 13 - On note Q_{air} le transfert thermique cédé par l'eau au milieu extérieur via les échanges conducto-convectifs avec l'air. On l'évalue sur la période entre $t_i = 0$ et $t_f = 500$ min. Donner la relation qui relie Q_{air} , P_{air} , t_i et t_f .
- 14 - À l'aide des données générales et des documents 2 et 3, estimer la valeur numérique de Q_{air} . On fera pour cela des hypothèses qui permettent de simplifier les calculs.

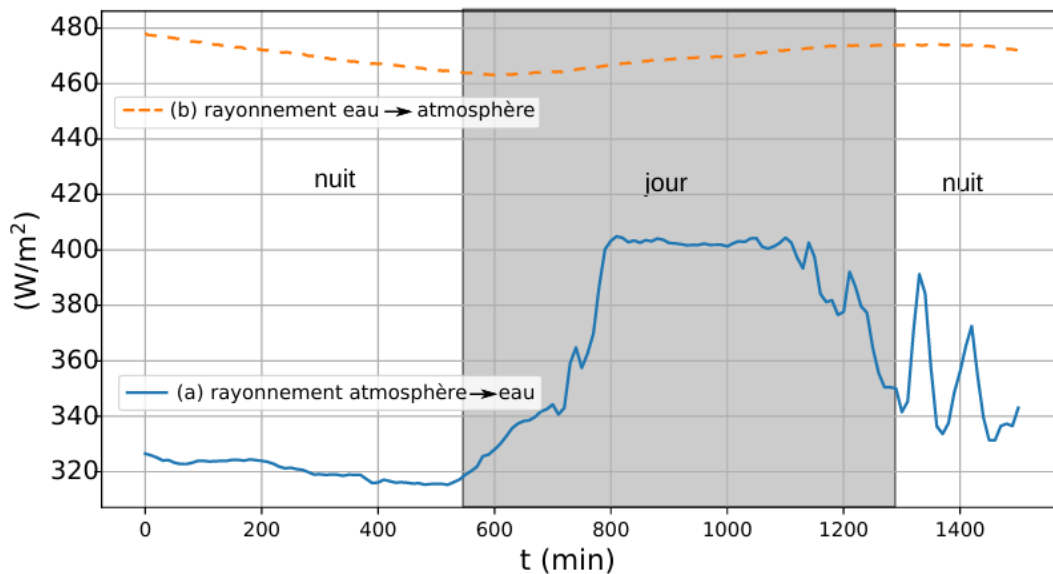
B.3 Refroidissement par rayonnement

Le dernier terme de transfert, Q_{IR} , est le transfert thermique Q_{IR} cédé par l'eau à l'atmosphère . Il possède deux contributions :

a/ D'une part, l'eau reçoit un transfert thermique Q_a de la part de l'atmosphère qui l'entoure. La puissance thermique surfacique associée est mesurée par un capteur sensible au rayonnement infrarouge (courbe du bas sur le document 4).

b/ D'autre part, l'eau cède un transfert thermique Q_b vers l'atmosphère en émettant un rayonnement dans l'infrarouge. La puissance thermique surfacique associée est calculée à partir de la connaissance de la température de l'eau (courbe du haut sur le document 4).

Q_{IR} est alors défini par : $Q_{IR} = |Q_b| - |Q_a|$.



Document 4 : puissances thermiques surfaciques liées au rayonnement infrarouge, en watt par mètre carré de surface de bassin.

- 15 - À l'aide du document 4 et des données générales, estimer la valeur du transfert thermique Q_{IR} cédé par l'eau à l'atmosphère entre $t_i = 0$ et $t_f = 500$ min. On fera pour cela des hypothèses qui permettent de simplifier les calculs.

B.4 Bilan

Cette sous-partie utilise les résultats obtenus précédemment afin de tester la cohérence des valeurs numériques calculées. On notera que la perte d'énergie par les parois et le fond de la piscine, non estimée ici, est négligeable.

- 16 - En réalisant un bilan enthalpique sur l'eau initialement présente dans la piscine, établir une relation entre ΔH_1 , ΔH_2 , Q_{air} et Q_{IR} .
- 17 - Cette relation est-elle vérifiée numériquement avec les valeurs obtenues dans les questions précédentes ?
- 18 - Quel est le terme de pertes dominant ? Qu'est-il possible de faire pour diminuer sa contribution ?

EXERCICE II : UN PETIT RAFRAICHISSEMENT ?

(~ 20 MINUTES)

Lors d'une journée de canicule, la température ambiante atteint 35°C . On verse 20 cL de jus d'orange initialement à température ambiante dans un verre juste sorti du placard, auquel on ajoute des glaçons provenant d'un seau contenant de l'eau en équilibre avec des glaçons.

- 19 - Déterminer la masse de glaçons nécessaire pour obtenir un jus de fruit à 20°C . La démarche et les approximations réalisées devront être précisées.

Donnée : Enthalpie massique de fusion de la glace : $\Delta_{fus}h(0^\circ\text{C}) = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Fin du sujet