

CONCOURS BLANC, lundi 23/06/2025

PHYSIQUE-CHIMIE.

Durée : 4 heures

RAPPEL DES CONSIGNES

▷ Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.

- ▷ Ne pas utiliser de correcteur.
- ▷ Numéroté les pages de votre copie.
- ▷ Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.

Les calculatrices sont interdites.

Lorsqu'un résultat est fourni par l'énoncé, la démarche scientifique adoptée et les calculs menant au résultat seront examinés avec une grande attention. Les points seront attribués uniquement pour des justifications et des calculs précis et détaillés. Les calculatrices étant interdites, une attention particulière sera portée à la réalisation des applications numériques.

Le sujet comporte 17 pages.

Les 6 parties sont indépendantes les unes des autres.

Des données et aides au calcul sont disponibles en fin de sujet, page 16.

Une annexe, à compléter et rendre avec la copie, est disponible page 17.

Physique et chimie au parc aquatique

- ▷ La partie I vise à appréhender les économies d'énergie en matière de chauffage de l'eau d'un bassin extérieur.
- ▷ La partie II aborde la thématique de la mesure du niveau d'eau dans un bassin.
- ▷ La partie III vise à appréhender la sécurisation de la zone d'arrivée d'un toboggan.
- ▷ La partie IV s'intéresse à l'éclairage d'un bassin.
- ▷ La partie V est consacrée à la production de vagues.
- ▷ La partie VI présente plusieurs méthodes de traitement de l'eau d'une piscine.

Partie I - Chauffage d'un bassin



FIGURE 1 – Photographie du bassin étudié

I.1. Courbe de refroidissement

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

Q1. À l'aide des données, exprimer C puis calculer sa valeur numérique.

Un bilan thermique permet de montrer que de nuit et en l'absence de chauffage $T(t)$ suit l'équation différentielle suivante (ce résultat est admis) :

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

avec $\tau = R_{th}C$ et R_{th} la résistance thermique équivalente qui rend compte des échanges entre l'eau et le milieu extérieur.

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

Q2. Résoudre l'équation différentielle (1) pour donner l'expression de $T(t)$ en fonction de T_i , T_0 , τ et t .

Q3. 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. On y fera figurer une construction qui fait apparaître la constante de temps τ .

Q4. À l'aide d'un développement limité pour $t \ll \tau$, mettre $T(t)$ sous la forme $T(t) = at + b$, et donner les expressions de a et de b en fonction de T_i , T_0 et τ . On rappelle pour cela que pour $|x| \ll 1$, $e^x \simeq 1 + x$.

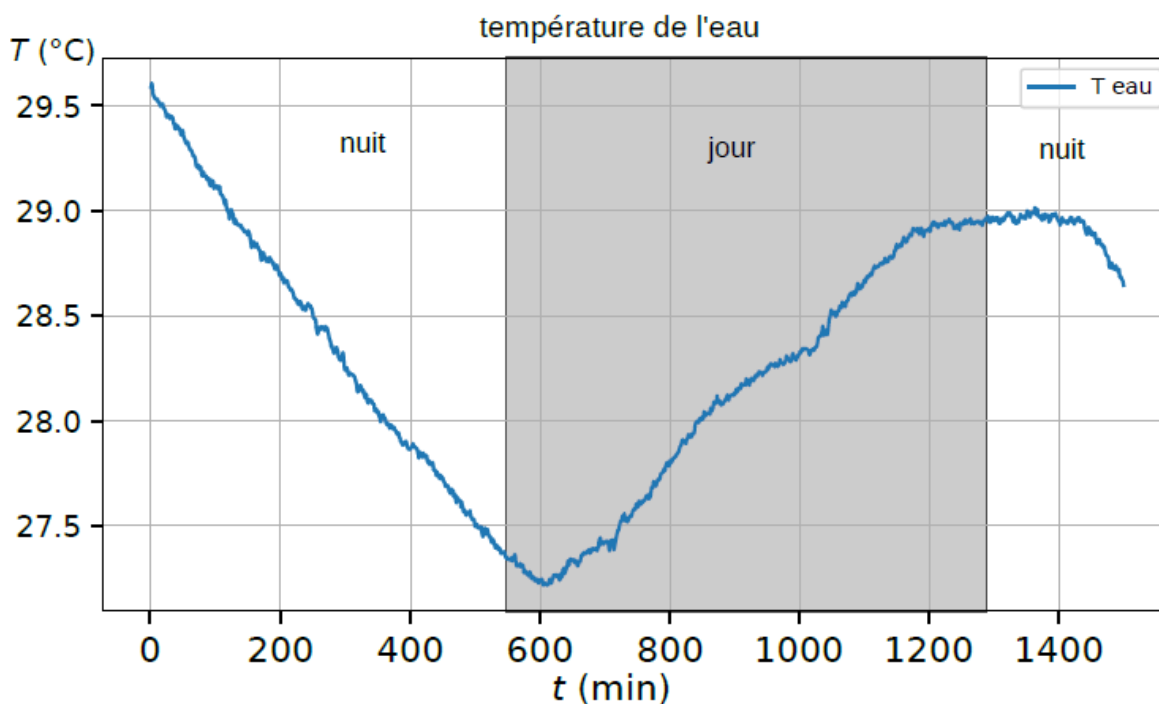


FIGURE 2 – Évolution de la température de l'eau. L'eau n'est pas chauffée la nuit, alors qu'elle l'est le jour.

Q5. En exploitant le graphique, proposer une estimation de la valeur de τ , sachant que $T_0 = 16^\circ\text{C}$. Justifier alors le développement limité effectué à la question précédente.

1.2. Causes de refroidissement

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 ci-dessus 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 par un fluide incompressible et indilatable, on supposera qu'elle constitue un système fermé.

Q6. Exprimer la variation d'enthalpie, ΔH_1 , associée à ce changement de température de l'eau de la piscine durant cette période. Vérifier numériquement que $\Delta H_1 = -4,4 \times 10^9 \text{J}$.

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

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. Pendant la durée d'étude, $V_e = 1000 \text{L}$ d'eau s'évaporent.

Q7. Donner l'expression de la variation d'enthalpie, ΔH_2 , associée à l'évaporation durant cette période. Vérifier numériquement que $\Delta H_2 = 2,3 \times 10^9 \text{J}$.

Q8. Expliquer qualitativement pourquoi le processus d'évaporation entraîne une diminution de la température de l'eau.

Les échanges par conduction et convection à la surface de l'eau sont une autre source de refroidissement.

On note Q_{air} le transfert thermique cédé par l'eau au milieu extérieur via les échanges conducto-convectifs avec l'air. On mesure $Q_{air} = 5,6 \times 10^8 \text{ J}$.

Le dernier terme de transfert, Q_{IR} , est celui par rayonnement. 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.

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.

Le transfert thermique Q_{IR} cédé par l'eau à l'atmosphère est alors défini par : $Q_{IR} = |Q_b| - |Q_a|$, avec $|Q_a| = 3,0 \times 10^9 \text{ J}$ et $|Q_b| = 4,2 \times 10^9 \text{ J}$ entre $t_i = 0$ et $t_f = 500 \text{ min}$.

On utilise à présent les résultats obtenus plus haut afin de tester la cohérence des valeurs numériques calculées. La perte d'énergie par les parois et le fond de la piscine, non estimée ici, est négligeable.

Q9. Exprimer, en justifiant, ΔH_1 en fonction de ΔH_2 , Q_{air} et Q_{IR} . Cette relation est-elle vérifiée numériquement avec les valeurs fournies et obtenues plus haut ?

Q10. Quel est le terme de pertes dominant ? Qu'est-il possible de faire pour diminuer sa contribution ?

I.3. Apports d'énergie

Le rayonnement solaire est un apport important d'énergie.

Q11. On obtient $Q_{solaire} = 2,8 \text{ GJ}$. Ceci est-il suffisant pour maintenir l'eau de la piscine à une température raisonnable ? On justifiera en comparant cette valeur à celle(s) d'une ou plusieurs grandeur(s) introduites précédemment. Commenter.

L'eau de la piscine est maintenue à une température proche de $T_c = 28^\circ \text{ C}$ grâce à une pompe à chaleur (PAC). Cette dernière fonctionne entre la source chaude (l'eau) à T_c et la source froide (l'air atmosphérique) à $T_f = 20^\circ \text{ C}$.

On considère un cycle de fonctionnement de la pompe à chaleur. On note Q_c le transfert thermique reçu par le fluide qui circule dans la PAC de la part de la source chaude, Q_f celui reçu par ce fluide de la part de la source froide, et W le travail reçu par la PAC depuis le réseau électrique, qu'on supposera intégralement transmis au fluide par les pièces mécaniques de la pompe à chaleur.

Q12. Donner sans justifier les signes de Q_c , Q_f et W .

Q13. Définir l'efficacité e de la PAC en fonction de grandeurs parmi Q_f , Q_c et W .

Q14. On suppose le fonctionnement de la pompe à chaleur réversible. À l'aide d'un bilan sur un cycle, établir l'expression de l'efficacité e_C en fonction des températures :

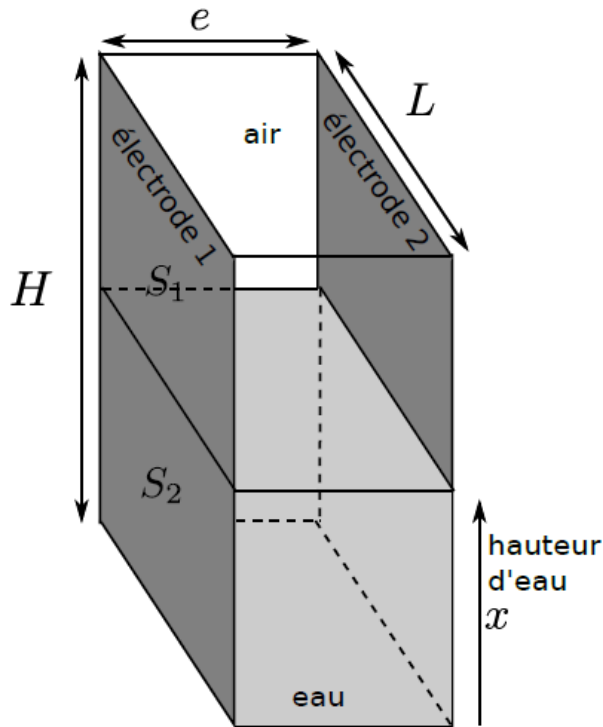
$$e_C = \frac{T_c}{T_c - T_f}.$$

Q15. Calculer la valeur numérique de e_C . On obtient expérimentalement une efficacité $e = 8$. Commenter.

Partie II - Capteur capacitif de niveau d'eau

Le suivi du niveau d'eau dans les bassins est essentiel pour commander leur remplissage, détecter des fuites ou encore étudier l'évaporation. Nous étudions ici un capteur de type capacitif.

Le principe du capteur est schématisé ci-dessous.



Dans un milieu de permittivité diélectrique relative ϵ_r , l'expression de la capacité d'un condensateur plan est :

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e} \quad (2)$$

On a $\epsilon_r = 1$ pour l'air et $\epsilon_r = 80$ pour l'eau.

Q16. Vérifier la plausibilité de la formule (2) par analyse dimensionnelle.

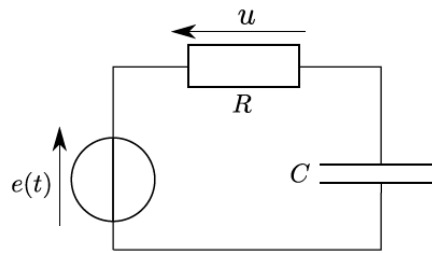
Le capteur est équivalent à deux condensateurs C_1 et C_2 placés en parallèle, l'un situé dans l'air (surface des électrodes S_1 dans l'air) et l'autre dans l'eau (surface des électrodes S_2 dans l'eau).

Q17. Montrer que les capacités de ces deux condensateurs, placés en parallèle, s'additionnent.

Q18. Établir l'expression de la capacité totale $C = C_1 + C_2$, et l'écrire sous la forme $C = ax + b$, avec a et b des constantes à exprimer en fonction des dimensions H , L et e du capteur, de ϵ_0 et de la permittivité diélectrique relative ϵ_r de l'eau.

Pour mesurer la valeur de C , on place le capteur dans un montage électrique. Le générateur de tension impose une tension $e(t) = A \cos(\omega t)$ avec $A > 0$.

On mesure alors la tension u aux bornes de la résistance.



Q19. Montrer que u vérifie l'équation différentielle suivante :

$$RC \frac{de}{dt} = RC \frac{du}{dt} + u. \quad (3)$$

On utilise le formalisme complexe : $e(t)$ est représenté par $\underline{e}(t) = Ae^{j\omega t}$ et $u(t) = U_0 \cos(\omega t + \phi)$ par $\underline{u}(t) = \underline{U}_0 e^{j\omega t}$ avec $\underline{U}_0 = U_0 e^{j\phi}$.

Q20. À partir de l'équation (3), montrer que

$$\underline{U}_0 = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega} A.$$

Q21. Établir l'expression de l'amplitude U_0 , puis de la tension $u(t)$, en fonction des mêmes grandeurs.

Q22. Donner l'expression approchée de U_0 dans la limite des basses fréquences, et expliquer comment ce montage permet une mesure du niveau d'eau.

Partie III - Sécurisation de la zone d'arrivée d'un toboggan aquatique

Un enfant modélisé par un point matériel M, de masse $m = 50 \text{ kg}$, glisse sur un toboggan dont le schéma est donné en figure 3.

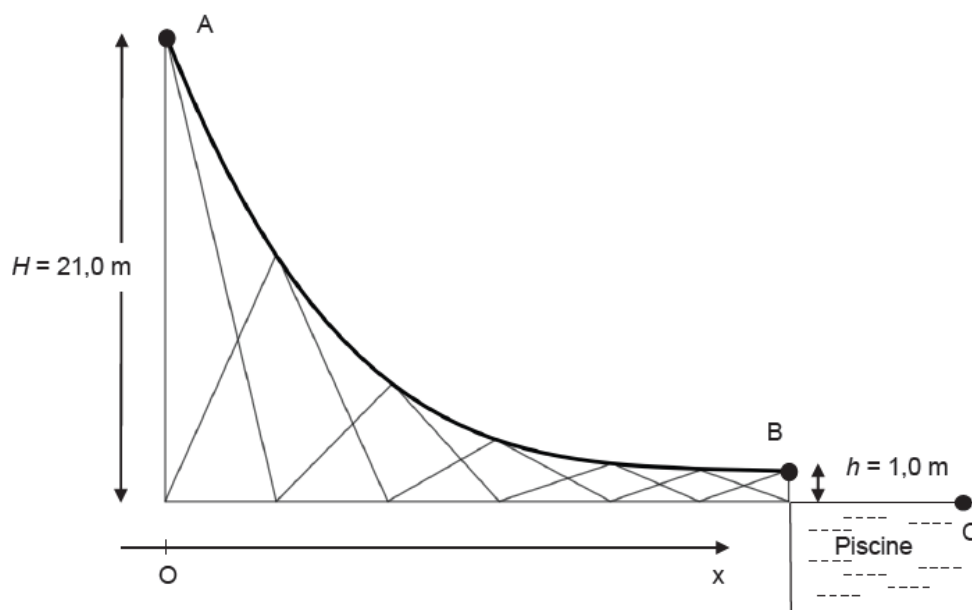


FIGURE 3 – Schéma d'implantation du toboggan par rapport à la piscine

L'enfant se laisse glisser sur le toboggan depuis le point A d'altitude $H = 21,0$ m sans vitesse initiale. Il termine sa glissade au point B d'altitude $h = 1,0$ m avec une vitesse horizontale qui lui permet d'atteindre un point C à la surface de l'eau de la piscine.

Une discussion s'engage lors de la conception du toboggan pour savoir dans quelle zone de la piscine il faudra interdire les baigneurs pour éviter toute collision avec l'enfant qui arrive dans la piscine. On suppose tout d'abord qu'un filet d'eau annule les frottements de l'enfant sur toute la longueur $L = 37,5$ m de la piste du toboggan.

Q23. Exprimer, puis calculer, le travail $W_{AB}(\vec{P})$ du poids de l'enfant lors de cette descente de A vers B.

Q24. Citer le théorème de l'énergie cinétique. L'appliquer à l'enfant qui glisse sans frottement entre les points A et B et en déduire l'expression de la vitesse $v_{B,sf}$ atteinte au point B en fonction des données. Calculer la valeur de cette vitesse $v_{B,sf}$.

Du fait des frottements, la vitesse au point B, horizontale, vaut $v_B = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q25. Faire figurer sur le schéma de l'annexe (à rendre avec la copie), sans souci d'échelle, les forces appliquées sur le point M en un endroit quelconque de la glissade.

Q26. Exprimer, puis calculer, le travail $W_{AB}(\vec{F})$ de cette force de frottement \vec{F} sur le trajet de A à B (vous vous appuyerez, pour ce faire, sur le théorème de l'énergie cinétique).

Q27. Donner l'expression du travail élémentaire de la force de frottement $\delta W(\vec{F})$ pour en déduire une expression du travail $W_{AB}(\vec{F})$ sur le trajet de A à B, en supposant la force de frottement de norme F constante sur le trajet.

Q28. Déduire ainsi la norme F de la force de frottement.

On s'intéresse maintenant à la localisation du point de chute C dans l'eau avec une vitesse horizontale en B, $v_B = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Le mouvement de l'enfant dans l'air est supposé sans frottements. On rappelle que la hauteur entre B et C vaut $h = 1,0$ m.

Q29. En détaillant votre raisonnement, exprimer, puis calculer, la distance horizontale d depuis B parcourue par l'enfant lorsqu'il arrive au contact avec l'eau au point C.

Lorsqu'il arrive dans l'eau au point C, l'enfant, toujours assimilé à un point matériel M de masse m , subit une force de frottement fluide \vec{f} telle que $\vec{f} = -k\vec{v}$. On s'intéresse uniquement à la composante horizontale $v_x(t)$ de la vitesse \vec{v} de l'enfant dans l'eau.

Q30. Montrer que cette composante horizontale de vitesse $v_x(t)$ répond à l'équation différentielle :

$$\frac{dv_x}{dt} + \frac{k}{m}v_x = 0$$

avec comme condition initiale $v_x(0) = v_B$. En déduire l'expression d'un temps caractéristique de ralentissement τ .

Une analyse vidéo a permis d'obtenir en figure 4 la courbe d'évolution de $v_x(t)$ qui confirme l'existence d'une force de frottement.

Q31. Proposer un modèle mathématique pour cette courbe dans le cadre de l'hypothèse précédente sur l'expression de la force de frottement. En déduire alors graphiquement, en estimant la valeur du temps caractéristique τ , celle de k , coefficient de

force de frottement fluide. La construction graphique sera faite sur la reproduction de la figure 4 en annexe, à rendre avec votre copie.

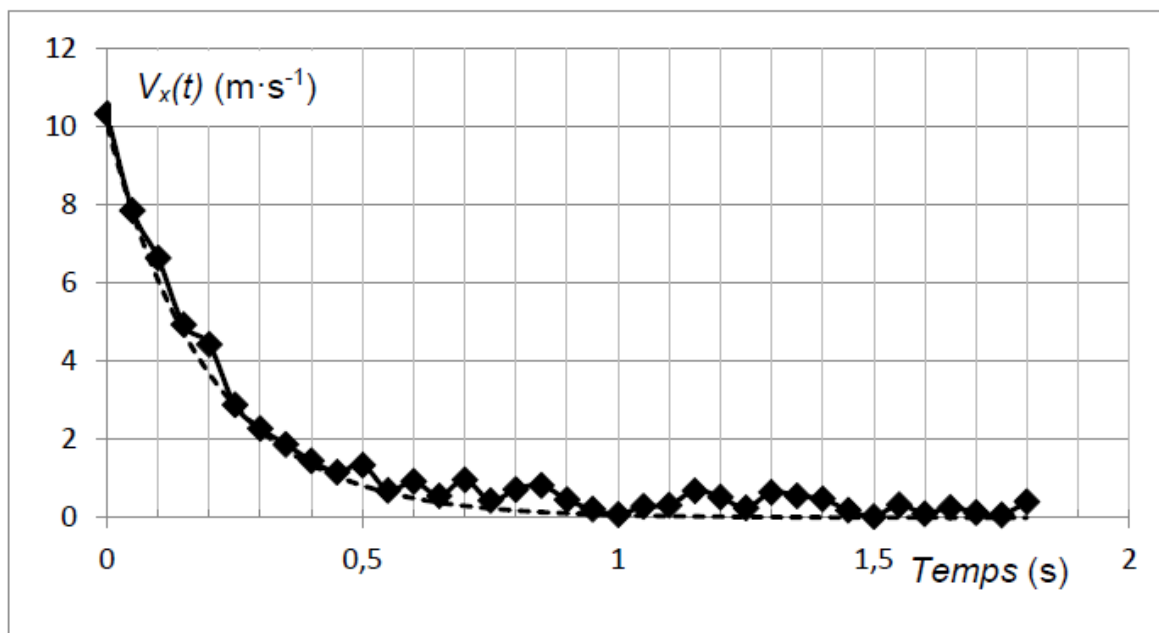


FIGURE 4 – Évolution de la composante horizontale de la vitesse en fonction du temps

Q32. Déterminer la distance horizontale, notée d' et mesurée à partir du point C, parcourue sous l'eau par le point M. Conclure vis-à-vis des consignes de sécurité de la piscine.

Partie IV : Un projecteur pour illuminer le bassin

Un bassin de profondeur $d = 1,5$ m est rempli d'eau. Un projecteur se trouve au fond du bassin. On considère que cette source de lumière est ponctuelle et émet de la lumière de façon isotrope.

Q33. Nommer le phénomène qui fait que tous les rayons émis ne sortent pas dans l'air. L'illustrer qualitativement sur un schéma.

Q34. Déterminer l'expression, puis la valeur, de l'angle d'incidence critique i_c au niveau du dioptre eau/air, à partir duquel ce phénomène a lieu (faire un schéma pour définir cet angle).

Q35. Évaluer le rayon de la tache lumineuse formée à la surface de l'eau.

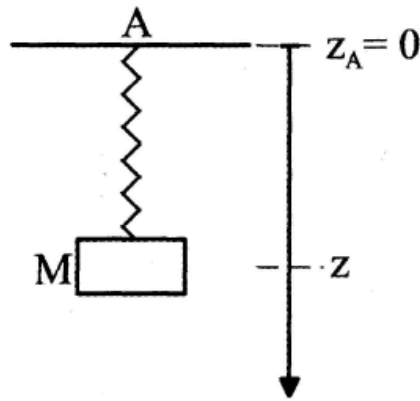
Partie V : Production de vagues

Pour créer des vagues dans un bassin, on fait effectuer des oscillations verticales à une grosse masse M immergée, située sur un côté du bassin. La perturbation engendrée se traduit par des vagues à l'intérieur de la piscine.

On considère une masse M homogène de masse volumique ρ et de volume V , plongeée dans l'eau (de masse volumique ρ_{eau}). Cette masse est suspendue à un ressort de constante de raideur k et de longueur à vide l_0 , accroché en un point A.

Soit (Oz) un axe vertical orienté vers le bas, le point A est fixe et à la cote $z_A = 0$. On s'intéresse au mouvement suivant (Oz) de la masse et on note z la cote du centre de gravité G de la masse. À l'équilibre la masse est située en $z = h$. On négligera la hauteur de la masse M devant h .

Soit R le référentiel terrestre supposé galiléen.



Q36. En vous appuyant sur une analyse dimensionnelle et des arguments physiques, proposer une expression pour h en fonction de ρ , ρ_{eau} , V , k , l_0 et g , qui traduit la condition d'équilibre de la masse M dans R.

Q37. Établir l'équation différentielle du mouvement de l'oscillation de M, en négligeant les frottements :

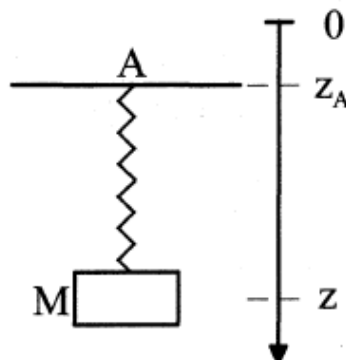
$$\ddot{z} + \frac{k}{M}z = \frac{k}{M}h.$$

Commenter le résultat.

Q38. On tient à présent compte d'une force de frottement visqueux, colinéaire à la vitesse, $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$ (identique dans tous les référentiels) de l'eau sur la masse M. Donner sans justification la nouvelle équation différentielle vérifiée par z .

Q39. En se plaçant dans le cas d'un amortissement "faible", nommer le régime d'oscillation et donner sans calcul l'allure de $z(t)$ avec les conditions initiales suivantes : à $t = 0$, $z = h_1 > h$ et la vitesse initiale est nulle.

À l'aide d'un piston, on impose à l'extrémité A du ressort un mouvement vertical sinusoïdal d'amplitude z_{Am} (voir figure ci-dessous), de sorte que $z_A(t) = z_{Am} \cos(\omega t)$.



Q40. Indiquer, en justifiant, si le référentiel R' , lié à A , est galiléen ou non.

Dans le référentiel R' , la position de la masse est notée z' .

On admet le résultat suivant : en posant $Z = z' - h$, l'équation différentielle vérifiée par la cote de G dans R' est de la forme :

$$\ddot{Z} + \frac{\alpha}{M}\dot{Z} + \omega_0^2 Z = -\dot{z}_A.$$

Q41. Calculer l'amplitude des oscillations de la masse M dans R' . On utilisera la notation complexe et on fera apparaître les constantes ω_0 , $\tau = \frac{M}{\alpha}$ ainsi que la variable $x = \frac{\omega}{\omega_0}$.

Q42. Dans ce dispositif, l'intérêt du ressort est de permettre d'obtenir des oscillations de la masse d'amplitude supérieure à celle de l'excitation. Comment s'appelle ce phénomène ? Chercher un intervalle de pulsations pour lequel cette condition est vérifiée. Vous montrerez que cet intervalle existe si la masse M est supérieure à une certaine valeur que vous préciserez.

Q43. Si la condition précédente est vérifiée, pour quelle pulsation l'amplitude d'oscillation de la masse M est-elle maximale ?

On suppose que le dispositif décrit ci-dessus génère une vague modélisée par une onde sinusoïdale progressive unidimensionnelle d'axe (Ox) , qui se propage dans le sens des x croissants.

Q44. Écrire la formule qui modélise mathématiquement cette onde $s(x, t)$, en précisant la signification physique des notations utilisées et leur unité.

Q45. Représenter schématiquement l'allure de $s(0, t)$ si à l'instant initial $s(0, t = 0) = s_{max}$. Pour simplifier, on ne représentera que l'arche de sinusoïde comprise entre les instants $-T/2$ et $T/2$.

Q46. L'onde a une période $T = 4s$ et une célérité $c = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer sa longueur d'onde λ et représenter schématiquement $s(x = 2m, t)$. Pour simplifier, on ne représentera que l'arche de sinusoïde correspondante à celle de la question précédente.

Partie VI : Traitement des eaux de piscine

Depuis plusieurs décennies, l'acide chlorhydrique et l'hypochlorite de sodium sont utilisés dans les piscines. L'acide chlorhydrique régule l'acidité, tandis que l'hypochlorite désinfecte à merveille. Tous deux constituent des garanties pour notre santé. Non seulement l'eau de la piscine est désinfectée mais, en plus, l'hygiène et la propreté des conduites et des filtres sont maintenues sur l'ensemble de son parcours.

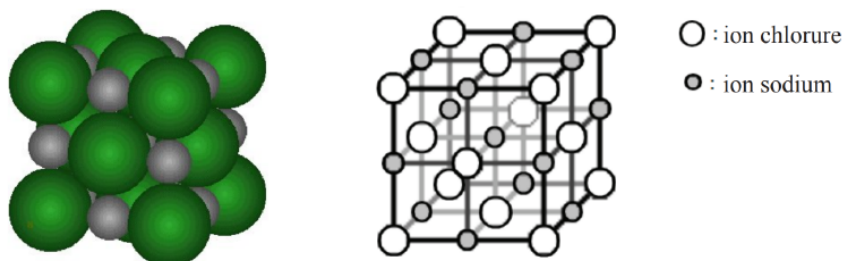
L'hypochlorite de sodium est le désinfectant le plus utilisé. Les grandes piscines le stockent en vrac dans de grandes citernes, les plus petites dans des fûts.

Exceptionnellement, on rencontre une installation qui prépare ce produit sur place. Cela s'effectue par électrolyse de la saumure (solution aqueuse de chlorure de sodium), dont résulte du chlore gazeux. Après mélange avec de l'hydroxyde de sodium en solution, on obtient de l'hypochlorite de sodium.

Q47. Rappeler la nature (acide ou base, fort(e) ou faible), ainsi que la formule de l'acide chlorhydrique et de l'hydroxyde de sodium.

Q48. Rappeler la nature (oxydant, réducteur ou espèce amphotère) de l'ion hypochlorite, et donner sa formule.

Dans la structure cristalline du chlorure de sodium solide, les ions chlorure Cl^- cristallisent dans un système cubique à faces centrées. Les ions sodium Na^+ occupent tous les sites octaédriques, et forment donc également un réseau cubique à faces centrées, décalé d'une demi-arête de celui des ions Cl^- .



Q49. Indiquer à quelle famille de cristaux le cristal de chlorure de sodium appartient.

Q50. La solubilité du chlorure de sodium dans l'eau est très élevée. Justifier qualitativement cette observation. Écrire l'équation de dissolution du chlorure de sodium dans l'eau.

Q51. Dénombrer les ions chlorure et les ions sodium dans une maille du cristal. En déduire la formule chimique du cristal.

VI.1 Confort de baignade

Les quantités de dichlore et des formes acide ou basique de l'acide hypochloreux, en solution, sont fonction du pH de la solution. Ainsi, à 25°C, les proportions de ces espèces en fonction du pH sont données par les courbes de la figure 5.

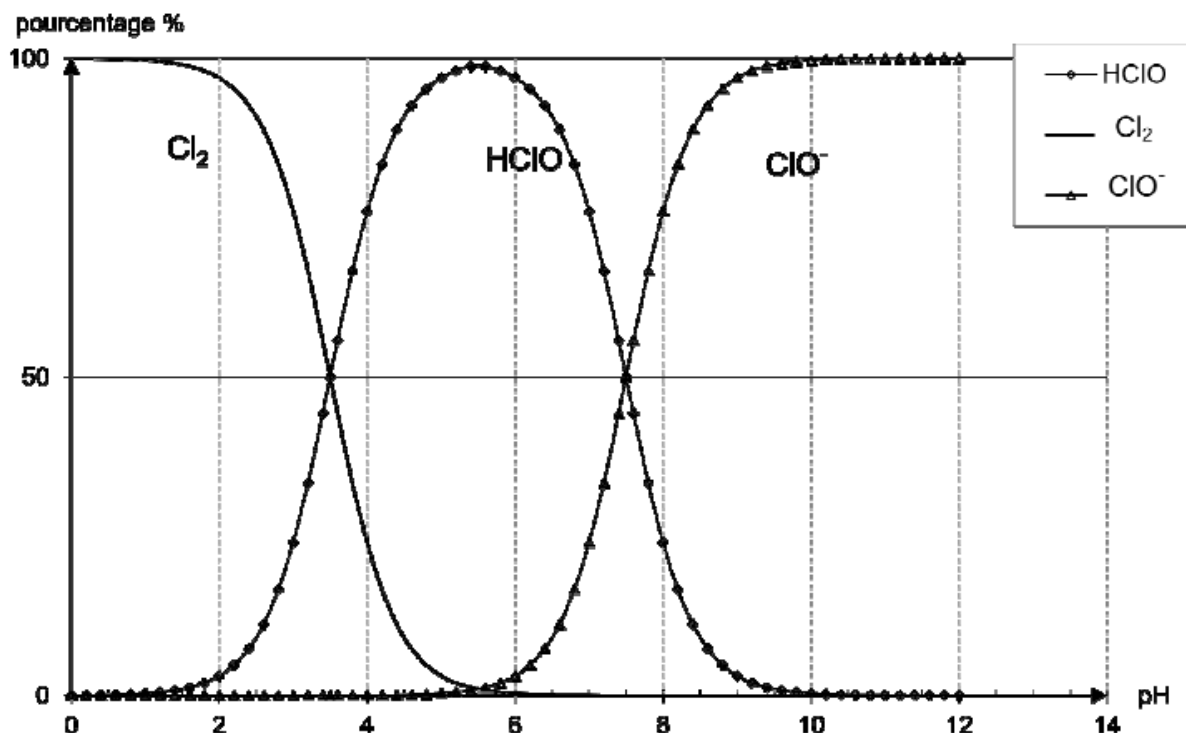


FIGURE 5 – Diagramme de prédominance

Le pH d'une eau de piscine doit être compris entre 7,2 et 7,6 pour le confort de la baignade.

Q52. Pour les deux bornes de cet intervalle de pH, estimer les proportions de chacune des espèces chimiques. Ces proportions correspondent-elles à une désinfection optimale ?

VI.2 Électrolyse de sel

Pour déterminer les produits de l'électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium, on réalise l'expérience suivante au laboratoire (voir schéma simplifié de la figure 6 ci-dessous).

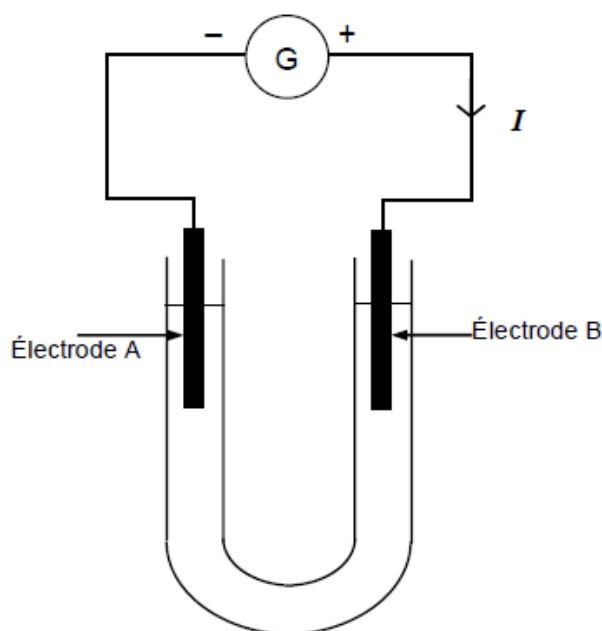


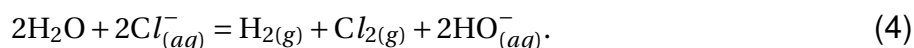
FIGURE 6 – Schéma simplifié du dispositif d'électrolyse

Un tube en U contient une solution de chlorure de sodium ($\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{Cl}_{(aq)}^-$). Deux électrodes A et B en platine sont reliées chacune à l'une des bornes d'un générateur de tension continue G.

Après plusieurs minutes de fonctionnement, on effectue des tests d'identification des produits formés.

- ▷ À une électrode, il s'est formé un dégagement de dichlore.
- ▷ À l'autre électrode, il s'est formé un dégagement de dihydrogène et il est apparu des ions hydroxyde HO^- .

L'équation de la réaction modélisant l'électrolyse est :



Q53. Identifier les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu dans l'équation (4) modélisant l'électrolyse.

Q54. En déduire l'espèce chimique oxydée.

Q55. Identifier laquelle des électrodes (A ou B) est l'anode de l'électrolyseur. Quel gaz se dégage à cette électrode ?

Dans certaines piscines, on ajoute à l'eau de la piscine du chlorure de sodium. Après pompage, l'eau est traitée par électrolyse.

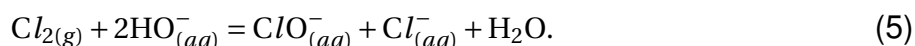
L'électrolyseur peut être représenté par une cellule comprenant deux électrodes et un coffret d'alimentation électrique délivrant une tension continue d'environ 10V. L'intensité du courant vaut $I = 20\text{A}$.

Dans ce dispositif, l'électrolyse de la solution de chlorure de sodium est modélisée par l'équation (4) précédente.

Q56. Tracer et remplir le tableau d'avancement associé à cette réaction. Vous ajouterez une colonne pour indiquer la quantité (en mol) d'électrons échangés.

Q57. En déduire la relation entre la quantité $n(e^-)$, en mole, d'électrons échangés et la quantité $n_4(\text{Cl}_2)$ de dichlore formé lors de la réaction d'équation (4).

Dans cet électrolyseur, les ions hydroxyde et le dichlore formé sont consommés lors d'une nouvelle transformation chimique supposée rapide et totale, dont l'équation est la suivante :



Q58. Donner la relation entre la quantité $n(\text{ClO}^-)$ d'ions hypochlorite formés et la quantité $n_5(\text{Cl}_2)$ de dichlore consommé dans la réaction d'équation (5).

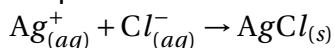
Q59. La transformation associée à l'équation (4) étant supposée totale et rapide, en déduire la relation entre $n(e^-)$ et $n(\text{ClO}^-)$.

Q60. Exprimer et calculer la quantité de matière maximale d'ions hypochlorite que peut fournir cet appareil, en une heure de fonctionnement.

VI.3 Dosage des ions chlorure

Pour que l'électrolyse soit efficace, l'eau de piscine doit contenir entre 3 et 5 grammes de sel par litre. Pour s'assurer du bon fonctionnement du système de désinfection de sa piscine, un chimiste prélève un échantillon d'eau de piscine qu'il va analyser dans son laboratoire. Il procède à un dosage conductimétrique des ions chlorure présents dans l'eau de piscine par les ions argent.

L'équation de la réaction support du titrage est la suivante :



Le protocole du titrage est donné ci-dessous :

▷ Remplir la burette graduée avec la solution aqueuse titrante de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+_{(aq)} + \text{NO}_3^-_{(aq)}$) de concentration en soluté apporté $c = 0,050 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

▷ Dans un bécher de 200 mL, introduire précisément 10,0 mL d'eau de piscine prélevée, mélangés à environ 90 mL d'eau distillée.

▷ Placer, dans le bécher, la cellule conductimétrique reliée au conductimètre.

▷ Verser des volumes successifs de 1,0 mL de solution de nitrate d'argent dans le bécher en maintenant en permanence une agitation. Relever après chaque addition la conductivité σ de la solution obtenue et rassembler les résultats dans un tableau.

Q61. Rappeler le principe de fonctionnement de la cellule de conductimétrie d'un conductimètre. Vous pourrez vous appuyer sur un schéma.

Q62. Schématiser et légénder le montage expérimental réalisé pour effectuer le titrage conductimétrique.

Q63. Nommer les pièces de verreries utilisées pour introduire dans le bécher les 10,0 mL d'eau de piscine à doser et 90 mL d'eau distillée. Préciser le protocole.

Q64. En vous appuyant sur la loi de Kohlrausch, donner l'expression de la conductivité σ du mélange avant l'équivalence, puis celle après l'équivalence.

Q65. Interpréter qualitativement les variations de la conductivité avant et après l'équivalence. Donner l'allure de la courbe de titrage $\sigma = f(V_{Ag^+})$ représentant la conductivité σ du mélange en fonction du volume de solution de nitrate d'argent versé et justifier la position du point d'équivalence sur cette courbe.

Le volume versé à l'équivalence est $V_E = 15,0$ mL.

Q66. En explicitant votre démarche, déterminer la concentration en quantité de matière des ions chlorure dans l'eau de piscine. Est-il nécessaire de rajouter du sel dans la piscine ? Justifier.

VI.4 Principe du procédé d'oxydation avancée

Cette partie s'intéresse au procédé d'oxydation avancée dont l'objectif est de produire in situ des radicaux hydroxyle $HO\cdot$ très réactifs qui dégradent efficacement tous types de composés organiques présents en solution aqueuse. Ces radicaux peuvent être générés par l'utilisation d'ozone, de peroxyde d'hydrogène ou encore par irradiation UV de l'eau. Ce procédé est donc plus écologique et moins nocif que le traitement classique au chlore.

Q67. Rappeler la formule et la nature (oxydant ou réducteur) du peroxyde d'hydrogène. Donner sans justification sa formule de Lewis.

La dégradation de composés organiques présents en solution aqueuse par différents agents oxydants a été étudiée par l'équipe de Gimenez.

L'étude porte sur la dégradation d'un substrat organique S par action de l'ozone O_3 . On notera [S] la concentration en substrat à un instant t et $[S]_0$ la concentration initiale en substrat. Les chercheurs ont effectué un suivi cinétique de la dégradation du phénol par l'ozone avec $[S]_0 = 1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ et en maintenant la concentration en ozone dissous constante.

La loi de vitesse supposée est :

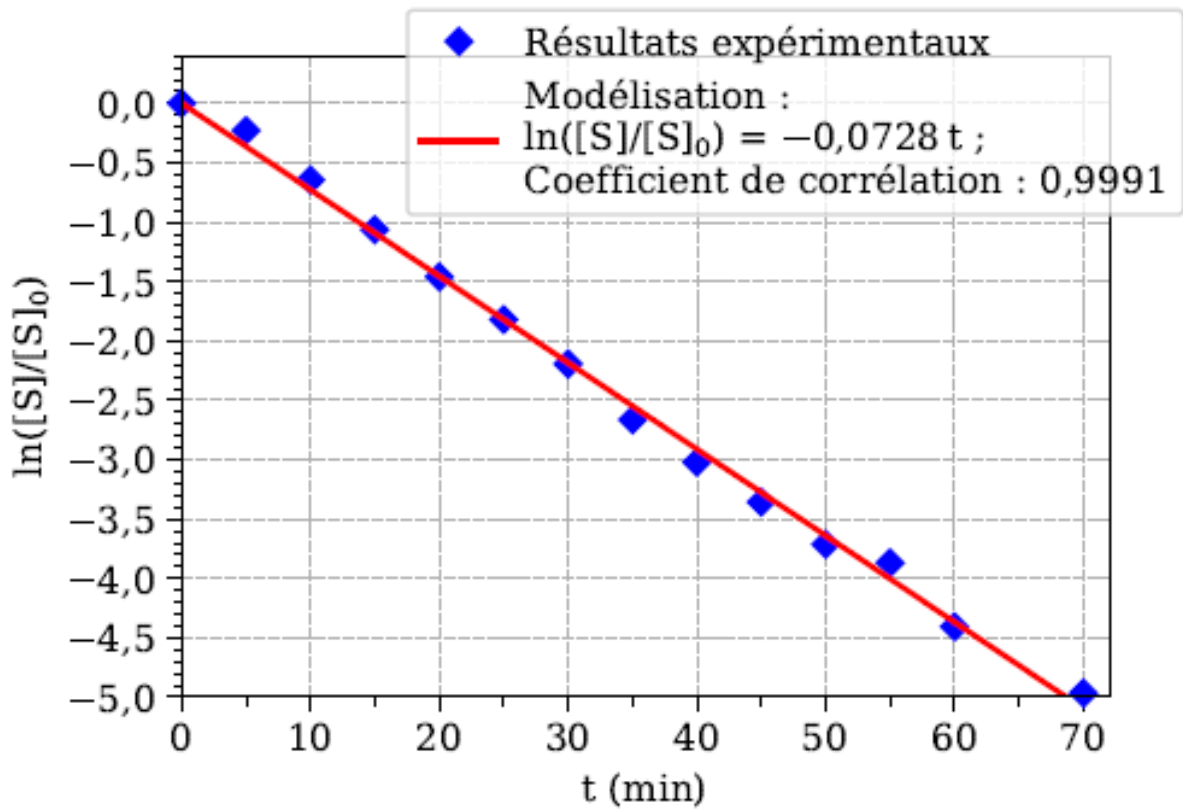
$$v = k[O_3]^\alpha[S]^\beta.$$

Q68. Au vu des conditions opératoires utilisées, montrer qu'on peut appliquer la méthode de dégénérescence de l'ordre. Simplifier alors l'expression de la loi de vitesse de la dégradation du phénol par l'ozone.

Q69. Rappeler la définition de la vitesse volumique de réaction.

Q70. Établir l'expression littérale de la concentration en substrat [S] en fonction du temps en distinguant les cas pour lesquels l'ordre partiel par rapport au substrat S vaut 0, 1 et 2.

Les auteurs ont tracé l'évolution temporelle de la grandeur $\ln([S]/[S]_0)$, qui admet une modélisation linéaire.



Q71. À partir des résultats expérimentaux, déterminer l'ordre partiel par rapport au substrat et la valeur de la constante de vitesse apparente.

Q72. Définir le temps de demi-réaction. Exprimer et calculer ce dernier à partir de la loi de vitesse.

Données générales :

Données pour la partie I :

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 : $c = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Enthalpie massique de vaporisation de l'eau : $\Delta h_{vap} = 2,3 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

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

Température de l'air extérieur pendant la nuit (supposée stationnaire) : $T_0 = 16^\circ\text{C}$.

Donnée pour la partie II :

Permittivité diélectrique du vide : $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

Donnée pour la partie III :

Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Donnée pour la partie IV :

Indice optique de l'eau : $n_{eau} = 1,33$.

Indice optique de l'air : $n = 1,00$.

Données pour la partie VI :

Couples oxydant/réducteur :

$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2(\text{g})$; $\text{Cl}_2(\text{g})/\text{Cl}^-(\text{aq})$; $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}$; $\text{ClO}^-(\text{aq})/\text{Cl}_2(\text{g})$.

Constante de Faraday : $\mathcal{F} = N_A e = 1,0 \times 10^5 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ avec N_A constante d'Avogadro et e la charge élémentaire.

Loi de Kohlrausch :

La conductivité σ d'une solution ionique dépend de la nature des ions X_i présents dans la solution et de leur concentration en quantité de matière $[X_i]$.

Ainsi, pour une solution ne contenant que des ions monochargés, notés X_1, X_2, X_3, \dots , l'expression de la conductivité s'écrit :

$\sigma = \sum_i \lambda_i [X_i]$ avec σ en $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$; λ_i (conductivité molaire de l'ion X_i) en $\text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ et $[X_i]$ en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$.

Conductivités molaires ioniques de quelques ions :

Ion	Na^+	Ag^+	Cl^-	NO_3^-
λ ($\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$)	5,01	6,19	7,63	7,14

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

Aide au calcul

$21^2 = 441$; $301/8 = 37,6$; $\sqrt{0,2} = 0,45$; $\arcsin(1/1,33) = 0,88 \text{ rad} = 50,3^\circ$; $1,5 \tan(50,3^\circ) = 1,8$; $\frac{\tan(50,3^\circ)}{1,5} = 0,8$; $7,5 \times 58,5 = 439$; $0,0728/\ln(2) = 0,1051$; $\ln(2)/0,0728 = 9,519$.

Annexe à rendre avec la copie

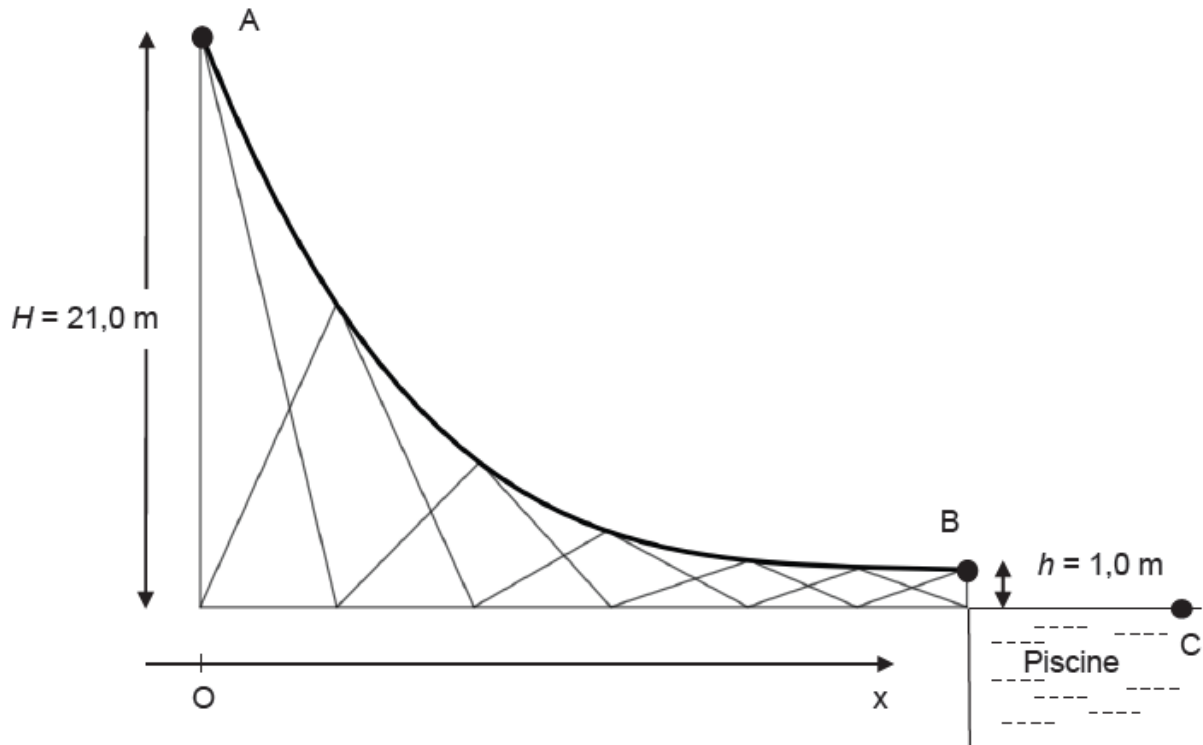


FIGURE 7 – Schéma à compléter à la question Q25.

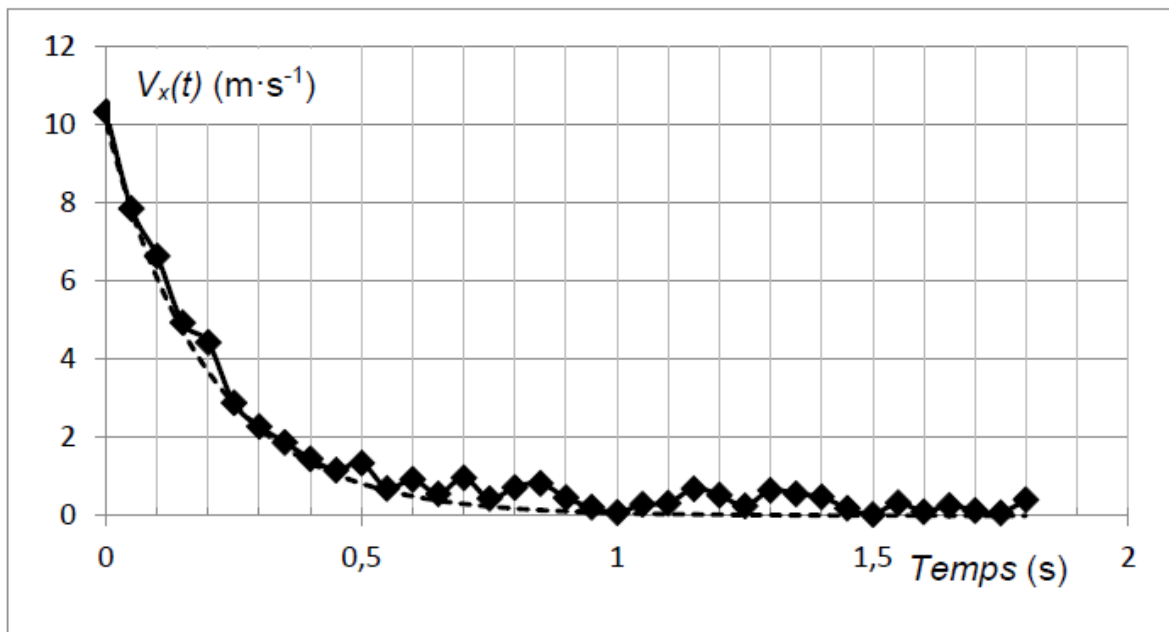


FIGURE 8 – Construction graphique à effectuer à la question Q31.

FIN