Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

PHYSIQUE-CHIMIE

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

EXERCICE 1 - COMPÉTITION DE SAUT D'OBSTACLES EN HOBBY HORSE (11 POINTS)

Le hobby horse ou hobbyhorsing est un sport apparu dans les années 2000 qui consiste à imiter les allures du cheval avec un bâton entre les jambes, au bout duquel il y a une tête de cheval en tissu. Ce sport très répandu et apprécié en Finlande fait de plus en plus d'adeptes un peu partout dans le monde, avec des compétitions qui s'inspirent des concours équestres (course, dressage, saut d'obstacles…).



D'après https://www.hobbyhorseland.com/blog/hobby-horsing-tout-savoir-sur-ce-sport-n7

Cet exercice comporte trois parties indépendantes. L'objectif de la première partie est de déterminer par effet Doppler la vitesse du véhicule annonçant la compétition grâce à l'effet Doppler.
L'objectif de la deuxième partie est de déterminer la qualité du crin synthétique du hobby horse par le phénomène de diffraction.
L'objectif de la dernière partie est de déterminer les paramètres permettant d'améliorer le saut d'obstacle par une étude dynamique et cinématique.

1. Annonce de la compétition de hobby horse diffusée par le mégaphone d'une voiture.

Pour diffuser l'information de la tenue de la compétition de saut d'obstacles en hobby horse, une voiture munie d'un mégaphone sillonne les rues de la ville dans laquelle l'évènement se déroule. En début d'annonce, une note est jouée pour capter l'attention des auditeurs.
La voiture s'approche d'un citadin qui se trouve immobile sur le bord de la route. Ce dernier perçoit la fréquence sonore f_R de la note diffusée par le mégaphone vérifiant la relation :

$$\mathrm{fR} = \frac{\mathrm{vson}}{\mathrm{vson - v}} \cdot \mathrm{fE}$$

- f_E est la fréquence de l'onde sonore émise par le mégaphone ;
- v est la valeur de la vitesse du véhicule qui se rapproche du citadin (par rapport à celui-ci) ;
- v_{son} est la célérité du son dans l'air, considérée égale à 340 $m \cdot s^{-1}$.

Q1. Décrire l'effet Doppler.

Q2. À partir de la relation donnée pour la fréquence sonore perçue f_R, justifier que le son entendu par le citadin est plus aigu que celui qu'il percevrait si le véhicule était à l'arrêt.

Q3. En déduire la valeur de la vitesse v du véhicule sachant que le citadin perçoit un son de fréquence f_R = 448 Hz et que le mégaphone du véhicule en approche émet un son de fréquence f_E = 440 Hz. Indiquer si la voiture respecte ou non la vitesse maximale autorisée dans une zone limitée à 30 $km \cdot h^{-1}$.

2. Préparation avant la compétition de hobby horse.

Certains hobby horses ont une crinière composée de crins synthétiques. Afin de comparer le diamètre des crins synthétiques utilisés à celui des crins de cheval, on réalise l'expérience de diffraction schématisée sur la figure 1.
On utilise une diode laser de longueur d'onde λ et un crin synthétique de diamètre *a*. Un écran est placé à une distance *D* du crin. La largeur *L* de la tache centrale de la figure de diffraction ainsi obtenue est mesurée directement sur l'écran.
θ est l'angle caractéristique de diffraction, de valeur très inférieure à un radian. Il a pour expression : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

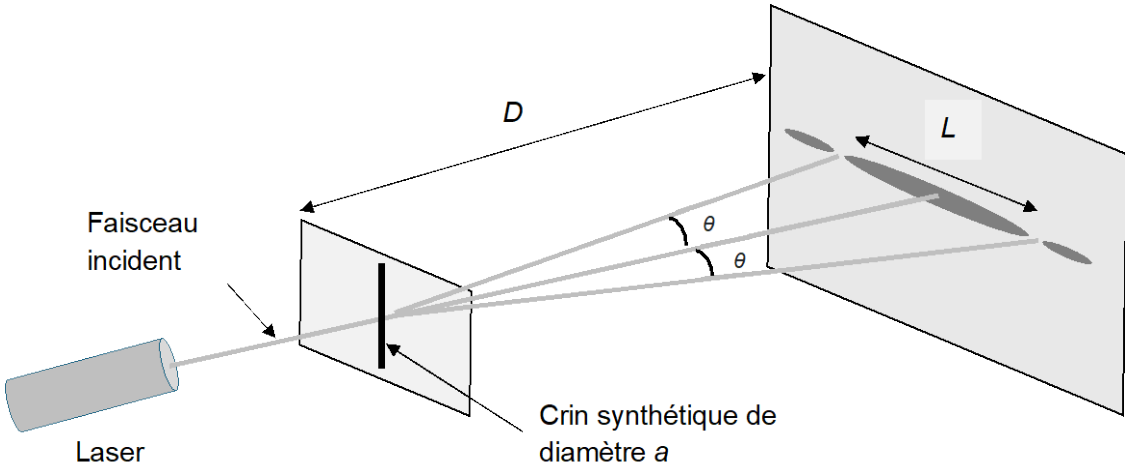


Figure 1. Schéma du montage de diffraction d'un faisceau laser par un crin synthétique.

Données :
- distance crin-écran *D* = 2,00 m et son incertitude-type *u(*D*)* = 0,01 m ;
- diode laser utilisée de longueur d'onde λ = 650 nm et son incertitude-type *u(*λ*)* = 10 nm ;
- largeur de la tache centrale mesurée *L* = 1,80 cm et son incertitude-type *u(*L*)* = 0,05 cm ;
- on se place dans l'approximation des petits angles telle que tan $\theta \approx \theta$.
- pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on utilise le quotient $\frac{|\ \ |}{\ \ \ \ }$ avec *x*, la valeur mesurée, $x_{réf}$ la valeur de référence et *u*(*x*), l'incertitude-type associée à la valeur mesurée *x*.

Q4. À l'aide de la figure 1, établir l'expression du diamètre *a* du crin synthétique en fonction de λ, *D* et *L*.

Q5. À l'aide des données, montrer que la valeur du diamètre *a* du crin synthétique utilisé pour fabriquer la crinière du hobby horse est voisine de 144 µm.

Q6. À l'aide des données, calculer la valeur de l'incertitude-type $u(a)$ du diamètre du crin synthétique utilisé, donnée par la relation : $u(a) = a \times \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$.
Préciser si le diamètre du crin synthétique choisi convient pour simuler le crin réel d'un cheval dont le diamètre de référence est égal à 140 µm.

3. Étude cinématique du saut d'obstacles en hobby horse.

Le saut d'obstacles en hobby horse est une discipline qui se rapproche du saut de haies en athlétisme, mais avec une difficulté supplémentaire puisqu'il faut tenir d'une main le bâton et de l'autre les rênes, ce qui ne permet donc pas d'équilibrer le corps en utilisant les bras comme balancier.
On appellera hobbyhorseur le système {hobby horse + cavalier}. Ce système de masse *m* est modélisé par un point matériel assimilé à son centre de masse M. L'étude se fait dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

À l'instant $t = 0$, le hobbyhorseur ne touche plus le sol, il est à la verticale du point O, engagé dans son saut par-dessus l'obstacle constitué par la barre horizontale, placée à une hauteur *H*. Le centre de masse $M_{(t=0)}$ du hobbyhorseur a alors pour coordonnées $x_0 = 0$ et $y_0 = h$ et sa vitesse initiale est représentée par le vecteur vitesse $\overrightarrow{v_0}$ incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. L'obstacle est à une distance $x = D$ du point O. On suppose que la trajectoire du système s'effectue dans le plan xOy.
Durant le saut, l'action exercée par l'air sur le système est considérée comme négligeable. On modélise la situation du saut d'obstacle sur la figure 2.

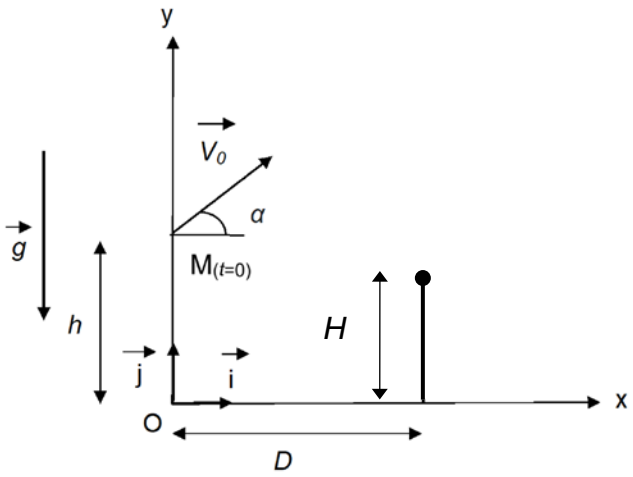


Figure 2. Représentation de la situation du saut d'obstacle, vu de profil et sans souci d'échelle.

Donnée :
- intensité du champ de pesanteur considéré uniforme : $g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$.

Q7. En appliquant la deuxième loi de Newton dans le référentiel terrestre, déterminer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ du vecteur accélération du centre de masse M du hobbyhorseur.

Q8. Établir les équations horaires *x(t)* et *y(t)* décrivant le mouvement du centre de masse M du hobbyhorseur lors du saut.

Q9. Montrer que l'équation de la trajectoire du centre de masse M du hobbyhorseur s'écrit sous la forme : $y(x) = -\frac{g}{2v_0^2 \cdot \cos^2(\alpha)} \cdot x^2 + \tan(\alpha) \cdot x + h$.

Données :

- à l'instant initial, le hobbyhorseur se trouve au point $M_{(t=0)}$ tel que $OM_{(t=0)} = h = 1{,}19$ m ;
- la distance *D* entre le point O et la base du support de la barre d'obstacle horizontale à franchir est *D* = 50,0 cm ;
- les jambes du hobbyhorseur sont repliées au maximum lors du saut et occupent un espace de 30 cm en-dessous de son centre de masse M ;

La trajectoire du centre de masse M du hobbyhorseur est modélisée par l'équation suivante, avec les coordonnées *x* et *y* exprimées en m :

$$y(x) = -0{,}590\, x^2 + 0{,}566\, x + 1{,}19.$$

Q10. Déterminer si le hobbyhorseur franchira ou non la barre d'obstacle horizontale, placée à une hauteur *H* = 1,00 m du sol.

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée

Q11. À l'aide des données, calculer la valeur de l'angle α puis celle de la valeur de la vitesse initiale v_0 avec lesquelles le hobbyhorseur aborde l'obstacle. Indiquer comment le hobbyhorseur peut faire évoluer ces paramètres pour modifier sa trajectoire afin de sauter une barre d'obstacle de hauteur plus élevée.

Le hobbyhorseur réalise un deuxième saut. La figure 3 représente l'évolution de la vitesse initiale v_0 en fonction de la hauteur maximale y_{max} du centre de masse M du même hobbyhorseur avec un angle α' par rapport au sol de 55°, une distance *D* de valeur égale à 50,0 cm ainsi qu'une hauteur initiale telle que $OM_{(t=0)} = h = 1{,}19$ m.

Le record du monde de saut d'obstacles en hobby horse a été établi à une hauteur d'obstacle de 1,40 m en 2019 par Marie Karkkainen lors du championnat du monde de la discipline en Finlande.

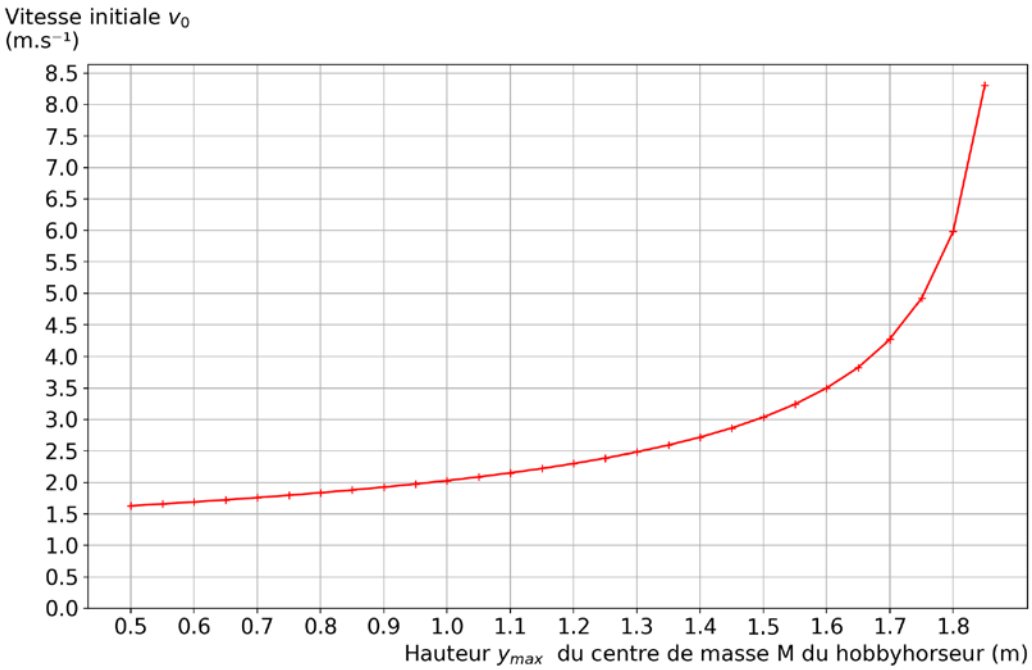


Figure 3. Représentation graphique de l'évolution de la vitesse initiale v_0 en fonction de la hauteur maximale y_{max} du centre de masse M du hobbyhorseur pour un angle α' de valeur égale à 55°.

Q12. À partir de la figure 3, déterminer la valeur de la vitesse initiale v_0 avec laquelle le hobbyhorseur doit arriver sur l'obstacle pour espérer égaler le record mondial. Indiquer si cela est réalisable par ce hobbyhorseur sachant qu'habituellement lors des entraînements, sa vitesse initiale v_0 est comprise entre 11,5 et 13,5 km·h^{-1}.

EXERCICE 2 - POLLUTION DES SOLS PAR LE CÉSIUM À FUKUSHIMA (5 POINTS)

Le 11 mars 2011, un tsunami consécutif à un violent séisme de magnitude 9 au Japon endommage le système de refroidissement principal de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi, entrainant la fusion des cœurs des réacteurs 1, 2 et 3, ainsi que la surchauffe de la piscine de désactivation du réacteur 4. Du 12 au 15 mars, des explosions se produisent projetant dans l'air des particules radioactives qui finissent par retomber sur une très large zone autour de la centrale. C'est un accident nucléaire majeur.
Le césium-137 est l'un des produits radioactifs issu de la fission nucléaire qui se déroule dans le réacteur. Après un accident, il se dépose au sol principalement sous l'effet de la pluie. Il est d'abord intercepté par le feuillage puis le césium déposé sur les feuilles et l'herbe broutée par les animaux peut passer dans la chaine alimentaire (feuilles, champignons, légumes, fruits, céréales, lait, gibier, poisson…).
Le césium-137 constitue la principale source radioactive de contamination des sols.

L'objectif de cet exercice est d'estimer le temps nécessaire pour que les sols de la province de Fukushima soient à nouveau cultivables.

Q1. Rappeler la définition d'un noyau radioactif.

Q2. Recopier et compléter l'équation de fission de l'uranium-235 aboutissant au césium-137 :

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{137}_{55}\mathrm{Cs} + {}^{93}_{\ldots}\mathrm{Rb} + \ldots\ {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Données :

- domaine des ondes électromagnétiques :

Intervalle de longueur d'onde λ en m	Nom du domaine
$\lambda < 10^{-11}$	Rayons gamma
$10^{-11} < \lambda < 10^{-8}$	Rayons X
$10^{-8} < \lambda < 4\times10^{-7}$	Ultra-violets
$4\times10^{-7} < \lambda < 8\times10^{-7}$	Rayonnement visible
$8\times10^{-7} < \lambda < 10^{-3}$	Infra-rouges
$10^{-3} < \lambda < 1$	Micro-ondes
$\lambda > 1$	Ondes radio

- constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J·s ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00\times10^{8}$ m·s^{-1} ;
- 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J.

Le césium $^{137}_{55}\mathrm{Cs}$ se désintègre en baryum $^{137}_{56}\mathrm{Ba}$ stable en deux temps. Il se transforme d'abord en $^{137}_{56}\mathrm{Ba}^{*}$ (noyau excité) puis en $^{137}_{56}\mathrm{Ba}$.

Q3. Écrire l'équation modélisant la transformation nucléaire de $^{137}_{55}\mathrm{Cs}$ en $^{137}_{56}\mathrm{Ba}^{*}$ et préciser la nature de cette désintégration.

La désexcitation de $^{137}_{56}\mathrm{Ba}^{*}$ pour donner $^{137}_{56}\mathrm{Ba}$ s'accompagne d'une transition énergétique libérant un photon possédant une énergie de valeur ΔE = 662 keV.

Q4. Calculer la valeur de la longueur d'onde λ_p du photon émis lors de cette transition et préciser en s'aidant des données à quel domaine des ondes électromagnétiques il appartient.

Données :

- l'activité radioactive d'un isotope correspond au nombre de désintégrations subi par unité de temps. Pour une désintégration simple on a : $A(t) = -\frac{\mathrm{dN(t)}}{\mathrm{dt}}$;
- l'activité est proportionnelle au nombre de noyaux restant soit $A(t) = \lambda \cdot N(t)$ avec λ constante radioactive.

Q5. Établir l'équation différentielle suivie par le nombre de noyaux *N(t)* en introduisant la constante radioactive λ du césium-137.

Données :

- la solution de l'équation différentielle établie à la question **Q5**. est de la forme : $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, avec N_0 nombre de noyaux initialement présents et λ constante radioactive du césium-137 ;
- la demi-vie $t_{1/2}$ du césium-137 est égale à 30,1 ans.

Q6. Donner la définition de la demi-vie radioactive $t_{1/2}$ ainsi que la relation entre la demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ. Montrer que la constante radioactive du césium-137 vaut $\lambda = 2{,}30\times10^{-2}$ an^{-1}.

Pour quantifier le degré de contamination radioactive d'un sol, on mesure son activité surfacique donnée en becquerel par mètre carré, $\mathrm{Bq\cdot m^{-2}}$. On considère que le sol est contaminé au césium-137, et donc non cultivable, lorsque son activité surfacique dépasse 10,0 $\mathrm{kBq\cdot m^{-2}}$. L'activité surfacique suit une loi de décroissance du même type que celle du nombre de noyaux notée : $A_{surf}(t) = \mathrm{A^i_{surf}} \cdot e^{-\lambda t}$, où $\mathrm{A^i_{surf}}$ est l'activité surfacique initiale extrapolée à l'instant de l'accident.
Établi dans une région boisée de la province de Fukushima, à environ quarante kilomètres au nord-ouest de la centrale, Litate est un petit village d'agriculteurs qui a été fortement irradié en 2011. Un an après la catastrophe, l'activité surfacique mesurée à Litate était encore de $1{,}00\times10^{3}$ $\mathrm{kBq\cdot m^{-2}}$.

Q7. Montrer que la valeur de l'activité surfacique initiale $\mathrm{A^i_{surf}}$ au moment de l'accident à Litate vaut environ $\mathrm{A^i_{surf}} = 1{,}02\times10^{3}$ $\mathrm{kBq\cdot m^{-2}}$.

Q8. En déduire l'année à partir de laquelle les sols seront de nouveau cultivables dans la région de Litate, dans l'hypothèse où aucune action de décontamination n'est entreprise en l'absence de nouvelle contamination.

EXERCICE 3 - DOSAGE DU PHOSPHORE DANS UNE EAU DE PISCINE (4 POINTS)

La pollution d'une eau peut être due à différentes espèces chimiques. La pollution au phosphore est souvent sous-estimée mais peut être la cause d'une prolifération d'algues vertes, et réduire l'efficacité des produits de traitement, ce qui pose un problème, notamment dans les bassins de piscine.
Le phosphore existe sous diverses formes : PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$ et H_3PO_4. Par souci de simplification, nous appellerons ces espèces « espèces phosphorées ».

L'objectif de cet exercice est d'effectuer un contrôle qualité de l'eau d'une piscine pour savoir s'il y a un risque de prolifération d'algues.

Données :

- couples acide-base des espèces phosphorées accompagnées de leur valeur de *pKa* :
  H_3PO_4 (aq) / $H_2PO_4^-$ (aq) $pKa_1 = 2{,}1$;
  $H_2PO_4^-$ (aq) / HPO_4^{2-} (aq) pKa_2 ;
  HPO_4^{2-} (aq) / PO_4^{3-} (aq) pKa_3.

Le diagramme de distribution des couples acide-base des espèces phosphorées est représenté figure 1.

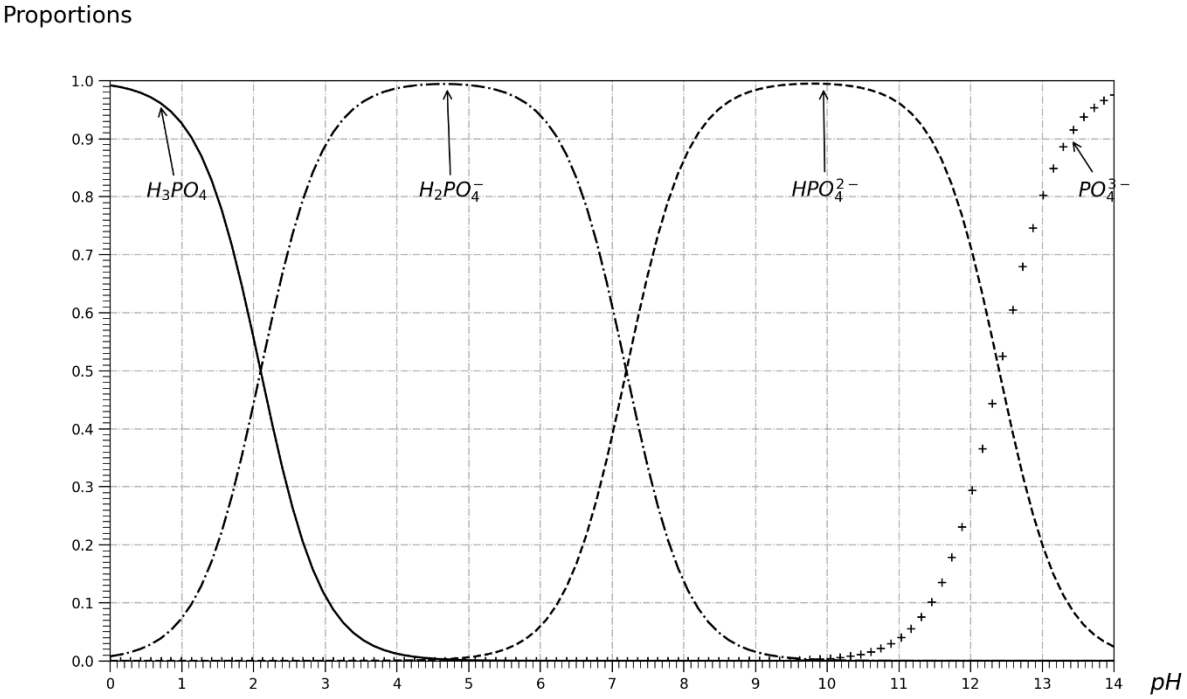


Figure 1. Diagramme de distribution des espèces acido-basiques de l'acide phosphorique.

Q1. À l'aide de la figure 1, déterminer la valeur du pKa_2 du couple ($H_2PO_4^-$ (aq) / HPO_4^{2-} (aq)) et la valeur du pKa_3 du couple (HPO_4^{2-} (aq) / PO_4^{3-} (aq)).

Q2. Représenter le diagramme de prédominance de ces espèces phosphorées. En déduire la nature de l'espèce phosphorée majoritaire dans l'eau d'une piscine dont le *p*H vaut 7,0.

Les espèces phosphorées sont incolores. Dans l'objectif de réaliser un dosage spectrophotométrique, il est donc nécessaire d'ajouter à la solution un réactif spécifique qui permettra de former un composé coloré.
Le spectre d'absorbance du composé coloré ainsi que le cercle chromatique sont donnés en figure 2.

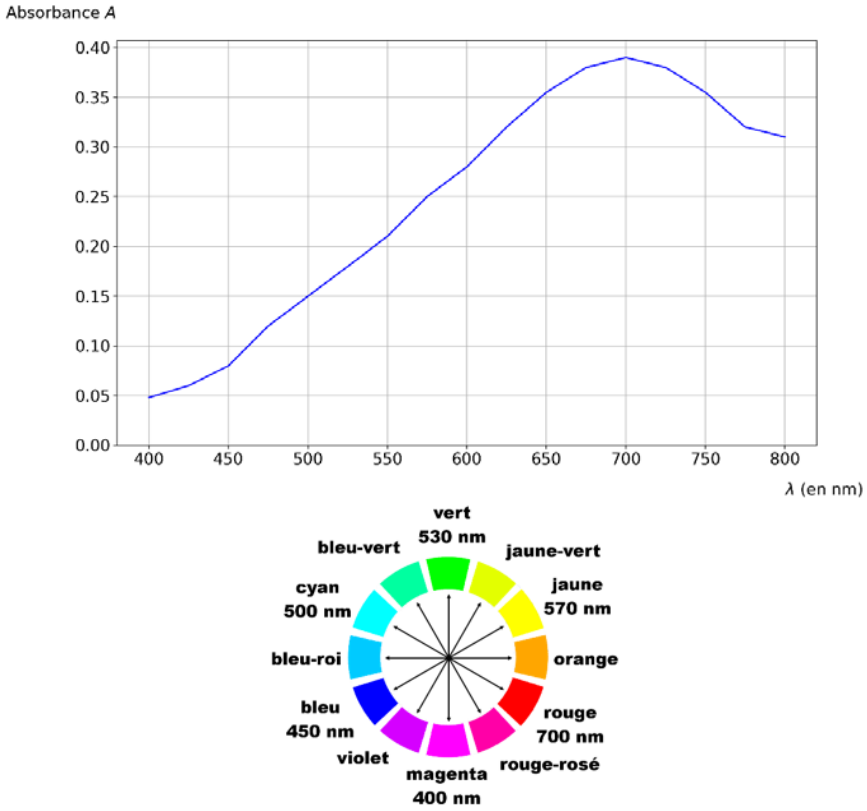


Figure 2. Spectre d'absorbance du composé coloré et cercle chromatique.

Q3. À l'aide de la figure 2 et en expliquant votre démarche, proposer une valeur de longueur d'onde λ à laquelle il serait judicieux de régler le spectrophotomètre. Préciser, en justifiant, la couleur du composé coloré formé après ajout du réactif.

Dans l'objectif de préparer une gamme étalon, on cherche, dans un premier temps, à fabriquer une solution S_0 de concentration en quantité de matière en espèce phosphorée $C(S_0) = 3{,}67\times10^{-3}$ mol·L^{-1}.
Le solide utilisé pour la dissolution est le dihydrogénophosphate de potassium de formule brute KH_2PO_4. On considère alors que tout le solide se dissout et que la quantité de matière en espèce phosphorée dissoute est égale à la quantité de matière de solide introduite.

Donnée :

- masse molaire du dihydrogénophosphate de potassium solide : $M(KH_2PO_4) = 136$ g·mol^{-1}.

Q4. Montrer que la masse *m* qu'il faut prélever pour préparer la solution S_0 dans une fiole jaugée de volume *V* = 200 mL est voisine de 100 mg.

Les concentrations en masse en espèces phosphorées présentes dans l'eau de piscine sont relativement faibles (de l'ordre de 0,05 à 1,00 mg par litre de solution). C'est pourquoi il est nécessaire de diluer au préalable cette solution S_0 cent fois pour obtenir une solution notée S.

Q5. Écrire en le détaillant, le protocole de la préparation de la solution S à partir de la solution S_0. Préciser la verrerie utilisée ainsi que son volume.

Une gamme étalon est enfin effectuée à partir de la solution S en suivant le protocole suivant :

- on prélève un volume de solution S selon les conditions résumées dans le tableau ci-dessous et on l'insère dans une fiole jaugée de 25,0 mL ;
- un volume de 5,00 mL de réactif spécifique permettant la formation du complexe coloré est ajouté dans chaque fiole ;
- chaque solution est complétée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge de la fiole jaugée qui est ensuite bouchée et agitée ;
- l'absorbance de chaque solution de la gamme étalon est alors mesurée.

Solution de volume total 25 mL	S_{F0}	S_{F1}	S_{F2}	S_{F3}	S_{F4}
Volume de solution S (en mL)	0	2,50	5,00	7,50	10,0
Concentration en masse *C* en espèces phosphorées en $mg \cdot L^{-1}$	0	0,50	1,00	1,50	2,00
Absorbance mesurée	0,000	0,080	0,162	0,231	0,311

Tableau donnant les concentrations en masse des solutions filles élaborées.

La courbe d'étalonnage correspondant à ces solutions filles a été réalisée :

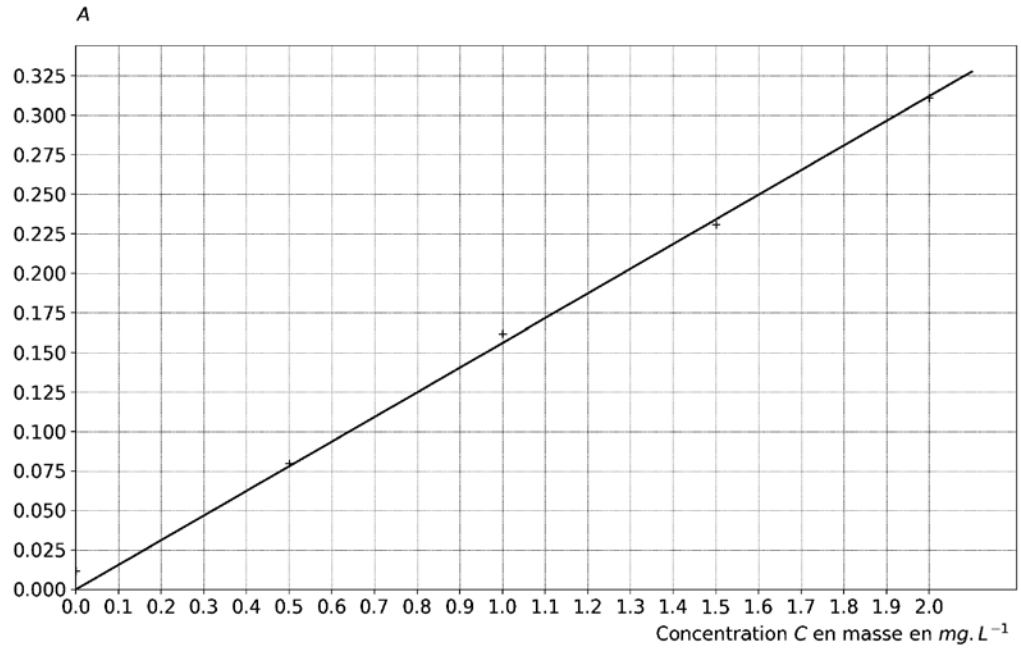


Figure 3. Graphique représentant l'absorbance des solutions étalon en fonction de leur concentration en masse *C* en espèces phosphorées.

Q6. Justifier que l'absorbance peut être modélisée par la relation $A = k \cdot C$ et vérifier que le coefficient k a pour valeur 0,156 $L \cdot mg^{-1}$ à l'aide d'une méthode de votre choix.

Avant d'analyser l'échantillon d'eau de piscine, il est nécessaire de le filtrer sur filtre Büchner. Le filtrat est ainsi récupéré.

On récupère après la filtration sur filtre Büchner, $V_{filtrat}$ = 5,00 mL du filtrat de l'eau de la piscine qui est placé dans une fiole jaugée de 25,0 mL, auquel on ajoute $V_{réactif}$ = 5,00 mL de réactif spécifique afin d'obtenir le complexe coloré. On complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on agite.
L'absorbance de la solution filtrée et colorée est ensuite mesurée à la même longueur d'onde que précédemment. L'absorbance mesurée vaut A_{eau} = 0,075.

Données :

Concentration en masse en espèces phosphorées (en $mg \cdot L^{-1}$)	Qualité de l'eau
0,05 – 0,2	Bonne
0,2 – 0,5	Passable
0,5 – 1,0	Mauvaise
Supérieure à 1,0	Très mauvaise

Tableau donnant la qualité de l'eau en fonction de la concentration en masse en espèces phosphorées

Source : SAGE Mayenne – Janvier 2013
Source : BD Carthage®©IGN MATE 2001 Agence de l'eau - CG

Q7. À partir des données et des résultats expérimentaux, donner la qualité de l'eau de piscine étudiée.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.