BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2019

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 6

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Obligatoire

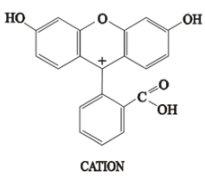
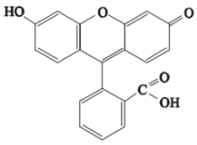
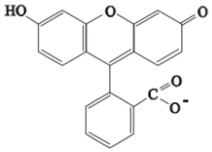
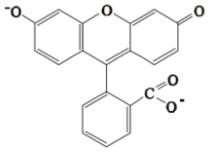
Le sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE 1 : UN MARQUEUR FLUORESCENT, LA FLUORESCÉINE (10 points)

La fluorescéine est obtenue par dissolution dans l'eau de fluorescinate de sodium, solide de couleur rougeâtre. La fluorescéine est connue pour émettre une lumière « vert-fluo » quand elle est éclairée en lumière blanche ou en lumière UV. Ses applications sont nombreuses : traçage de cours d'eau souterrains, détection de fuites, angiographie de l'œil. L'intérêt des molécules fluorescentes ne s'arrête pas là : en 2008, M. Chalfie et R.Y. Tsien ont reçu le prix Nobel de chimie pour la découverte de la GFP (Green Fluorescent Protein) à partir de l'étude d'une méduse bioluminescente. Cette découverte permet aujourd'hui le marquage de protéines, d'anticorps et le suivi de processus biologiques complexes par fluorescence.

À la fluorescéine sont associées différentes formes acidobasiques :

Écriture simplifiée	H_3Flu^+	H_2Flu	$HFlu^-$	Flu^{2-}
Formule topologique	 CATION	 QUINONOID	 MONOANION	 DIANION

Référence : Chem. Ber. 91 572-580.1958

Cet exercice a pour objectif d'étudier les propriétés spectroscopiques de la fluorescéine d'une part et d'étudier une voie de synthèse de la fluorescéine d'autre part.

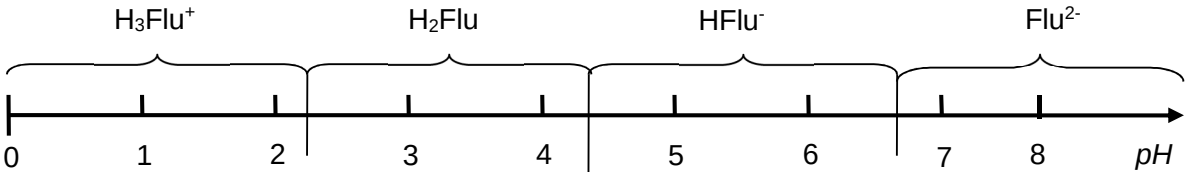
Données :

- Produit ionique de l'eau à 25°C : $pK_e = 14$;
- Couples acido-basiques de l'eau : H_3O^+/H_2O et H_2O/HO^- ;
- Loi de Beer-Lambert : $A = \varepsilon.l.C$ avec ε, le coefficient d'extinction molaire.

Nom	Formule brute	Masse molaire en $g.mol^{-1}$	Températures de changement d'état	Solubilité dans l'eau en $g.L^{-1}$	Sécurité
Résorcine	$C_6H_6O_2$	110	T_f = 110 °C ; T_{eb} = 280 °C	1400	
Anhydride Phtalique	$C_8H_4O_3$	148	T_f = 131 °C ; T_{eb} = 284 °C	$6,2 \times 10^{-3}$	
Forme H_2Flu de la fluorescéine	$C_{20}H_{12}O_5$	332	T_f = 315 °C	Peu soluble	
Fluorescinate de sodium $FluNa_2$	$C_{20}H_{10}O_5Na_2$	376		600	
Acide sulfurique	H_2SO_4	98		Miscible avec l'eau	

1. Propriétés spectroscopiques de la fluorescéine

La détermination des concentrations de fluorescéine par mesures d'absorbance ou d'émission de fluorescence est délicate car l'absorbance et l'émission de fluorescence dépendent fortement du pH de la solution ; parmi les différentes formes de la fluorescéine, la forme Flu^{2-} est la plus fluorescente. Le diagramme de prédominance des différentes formes de la fluorescéine figure ci-après.



1.1. Identifier les différents couples acide/base associés à la fluorescéine et estimer leur pK_a.

1.2. On réalise une solution aqueuse S_0 en dissolvant 1,00 × 10^{-2} g de fluorescinate de sodium $FluNa_2$ dans 100 mL d'eau déminéralisée.

1.2.1. Écrire l'équation de la réaction de dissolution du fluorescinate de sodium en ions Flu^{2-} et Na^+ dans l'eau. En déduire la concentration molaire apportée en ion fluorescinate $[Flu^{2-}]_0$.

1.2.2. Lors de la dissolution, les ions Flu^{2-} réagissent avec l'eau. Écrire l'équation de la réaction. De quel type de réaction s'agit-il ?

1.2.3. Justifier la relation suivante : $[Flu^{2-}] = [Flu^{2-}]_0 - [HFlu^-]$

Avec : $[Flu^{2-}]_0$: concentration molaire apportée en ions fluorescinate.
$[Flu^{2-}]$: concentration molaire en ion fluorescinate à l'équilibre.
$[HFlu^-]$: concentration molaire de l'espèce $HFlu^-$ à l'équilibre.

1.2.4. À partir des résultats précédents, en déduire la concentration molaire en ions $HFlu^-$ à l'équilibre, pour un *pH* de la solution égal à 7,0, en utilisant la relation ci-dessous.

$$pH = pK_a + \log\left(\frac{[Flu^{2-}]}{[HFlu^-]}\right)$$

1.2.5. Le résultat trouvé est-il cohérent avec le diagramme de prédominance ? Justifier.

1.3. Pour obtenir une solution aqueuse de fluorescence maximale, on réalise le spectre d'absorption et d'émission en absorbance de la fluorescéine sous la forme Flu^{2-} dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na^+_{aq} ; HO^-_{aq}) de concentration molaire 0,01 mol.L^{-1}.

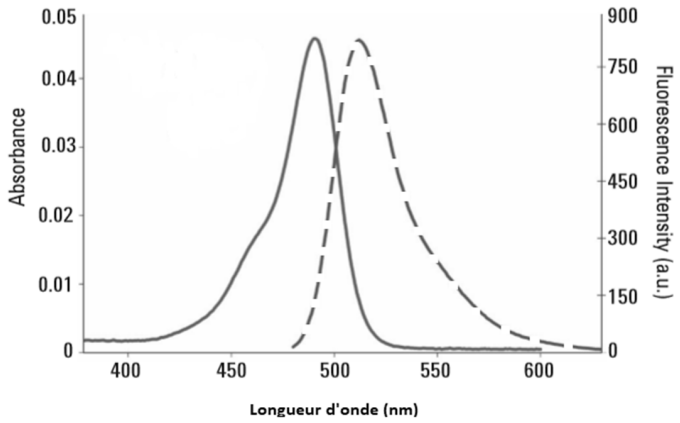


Figure 1 : Spectre d'absorption et d'émission par fluorescence de la fluorescéine sous la forme Flu^{2-} dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à 0,01 mol/L.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

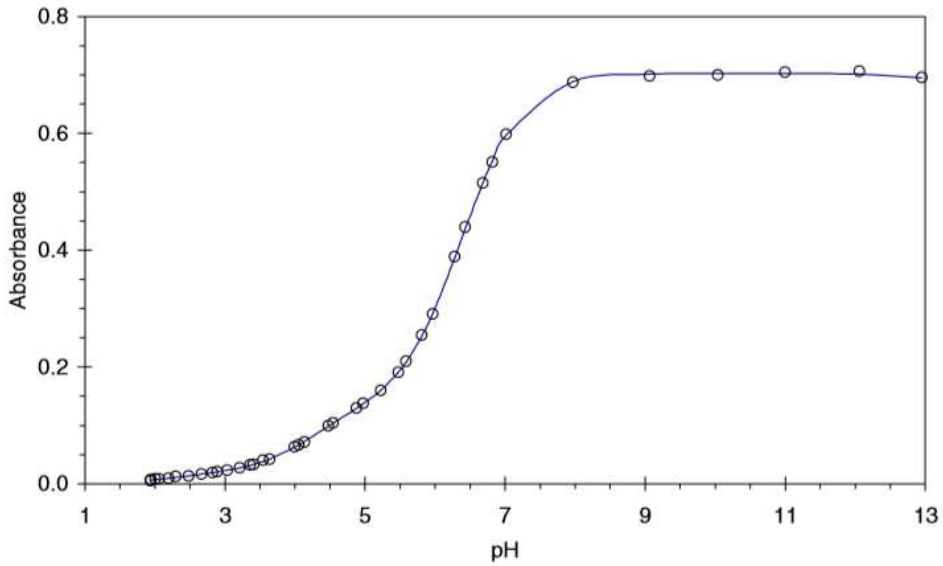


Figure 2 : Absorbance d'une solution de fluorescéine en fonction du pH.
Référence : ISSN 0378-4738 = Water SA Vol. 28 No. 4 Octobre 2002

1.3.1. Vérifier que le *pH* d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na^+_{aq} ; HO^-_{aq}) de concentration molaire 0,01 $mol.L^{-1}$ est égal à 12.

1.3.2. Cette solution permet-elle d'assurer une fluorescence maximale ? Argumenter.

1.3.3. Quelle courbe de la figure 1 correspond au spectre d'absorption de la fluorescéine sachant qu'elle absorbe dans le bleu et fluoresce dans le vert ?

1.3.4. L'eau à la source du Lez à Montpellier a un pH de 8,3. Le suivi fluorimétrique du cours d'eau est-il envisageable ? Justifier.

1.4. L'étude qui suit a pour objectif d'étudier l'absorption de la fluorescéine. Pour cela, on réalise une solution aqueuse S_0 de volume 100,0 mL par dissolution de $1{,}00 \times 10^{-2}$ g de fluorescinate de sodium. En diluant la solution aqueuse S_0 par 10, on obtient la solution aqueuse S_1. La valeur *pH* de cette solution aqueuse est ajustée au-dessus de 9. Trois solutions S_2, S_3 et S_4 sont fabriquées de façon analogue. On mesure l'absorbance des différentes solutions aqueuses à une longueur d'onde appropriée, en utilisant une cuve spectrophotométrique de 1 cm d'épaisseur et on obtient les résultats suivants :

Solution	S_1	S_2	S_3	S_4
C ($mol.L^{-1}$)	$2{,}68 \times 10^{-5}$	$2{,}01 \times 10^{-5}$	$1{,}34 \times 10^{-5}$	$6{,}70 \times 10^{-6}$
A	1,523	1,200	0,811	0,411

1.4.1. Rédiger le protocole de dilution pour préparer S_1 à partir de S_0 en précisant la liste du matériel utilisé.

1.4.2. À quelle longueur d'onde faut-il réaliser le dosage spectrophotométrique ?

1.4.3. Montrer que les mesures réalisées sont en accord avec la loi de Beer-Lambert.

1.4.4. En déduire la valeur du coefficient d'extinction molaire ε pour la forme prédominante de la fluorescéine à ce pH.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 4 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

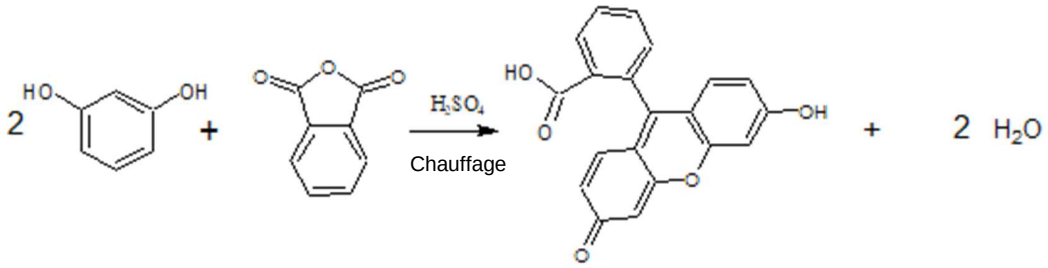
2. Synthèse de la fluorescéine

La fluorescéine a été découverte et synthétisée en 1871 par Adolf von Baeyer à partir de résorcine et d'anhydride phtalique. Il s'agit de la première synthèse d'une molécule fluorescente.

On se propose d'étudier un protocole de synthèse de la fluorescéine à partir de la résorcine.

a) Broyer 3,30 g de résorcine et 2,00 g d'anhydride phtalique.
b) Les introduire dans un ballon de 100 mL et placer l'ensemble dans un bain d'huile thermostaté à 180 °C.
c) Ajouter quelques gouttes d'acide sulfurique concentré.
d) Le système prend alors rapidement une couleur rougeâtre et des vapeurs sont émises. Chauffer pendant 30 min tout en agitant.
e) Laisser refroidir. Veiller à retirer le barreau aimanté car le produit brut passe à l'état solide.
f) Dissoudre le produit obtenu en ajoutant progressivement une solution aqueuse de soude à 1 mol.L^{-1} en utilisant une agitation magnétique.
g) Placer la solution obtenue dans un grand bécher.
h) Pour précipiter la fluorescéine, acidifier la solution en ajoutant progressivement de l'acide sulfurique tout en agitant. Arrêter quand la phase aqueuse devient limpide.
i) Filtrer sur Büchner.
j) Sécher à l'étuve à 100 °C.

L'équation de la réaction de synthèse est donnée ci-dessous :



2.1 Identifier les deux réactifs résorcine et anhydride phtalique dans l'équation de réaction. Justifier votre démarche.

2.2 Montrer que la résorcine est introduite en excès.

2.3 Sous quel état physique se trouvent les réactifs à la température du bain d'huile ?

2.4 Quel est le rôle de l'acide sulfurique lors de l'étape c ? Justifier.

2.5 Quelle est la nature des vapeurs émises lors de l'étape d ? Justifier.

2.6 Sous quelle forme prédomine la fluorescéine à la fin de l'étape f ?

2.7 Pourquoi l'ajout d'acide sulfurique dans l'étape h permet-il la précipitation de la fluorescéine ?

2.8 Une masse de 2,47 g de fluorescéine est obtenue. Quel est le rendement de la synthèse ?

EXERCICE 2 : SAUT À SKI AUX JEUX OLYMPIQUES D'HIVER 2018 (5 points)

La médaille d'or d'Andreas Wellinger

Le 10 février 2018, lors des JO d'hiver de PyeongChang, dans des conditions difficiles en raison d'un vent important, l'Allemand Andreas Wellinger a réalisé, sur le tremplin HS109 d'Alpensia, un saut qui lui a permis d'obtenir la médaille d'or.

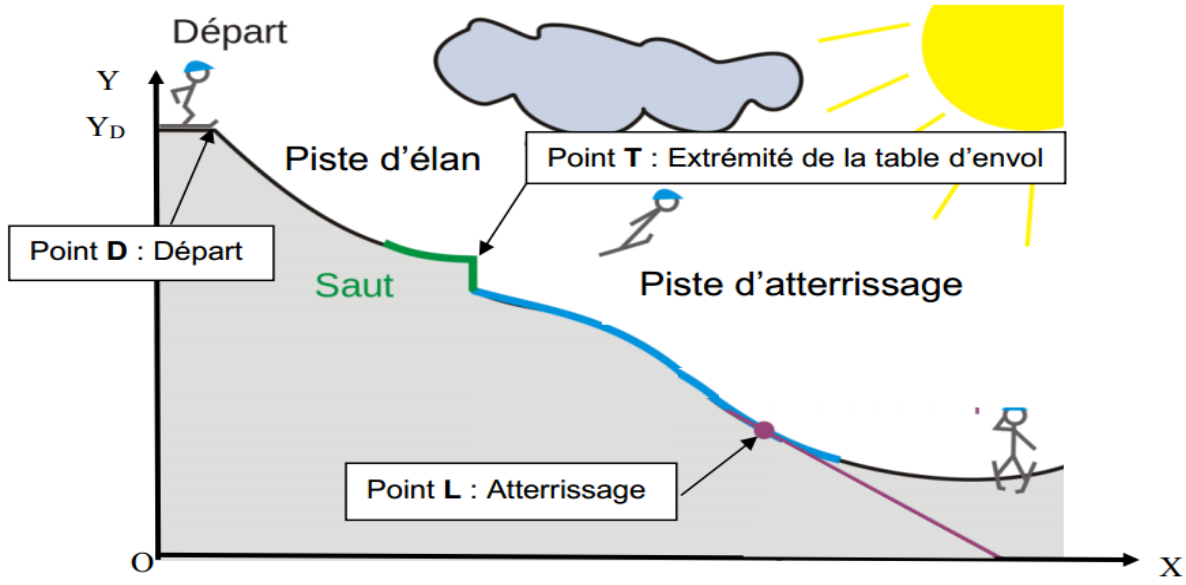
L'exercice consiste à faire l'étude du mouvement d'Andreas Wellinger sur la piste d'élan et lors du saut dans le cadre d'un modèle simplifié et de comparer les résultats obtenus aux mesures réalisées le jour de l'épreuve olympique.

Données :

- accélération de la pesanteur : $g = 9{,}8$ m.s^{-2} ;
- masse de Andreas Wellinger avec son équipement : $m = 70$ kg ;
- altitude du point de départ D : $y_D = 98$ m ;
- altitude au point d'envol T (bout de la table d'envol) : $y_T = 65$ m ;
- inclinaison de la table d'envol : $\alpha = 11°$;
- vitesse de décollage mesurée : $v_T = 83{,}3$ km.h^{-1}.

Cette étude sera menée dans le référentiel terrestre, le système {skieur + équipement} sera considéré comme un point matériel. On négligera tout type de frottement.
Au départ de l'épreuve, au point D, la vitesse du skieur est nulle.
La valeur de l'énergie potentielle de pesanteur est nulle en $y = 0$.

Modélisation de la piste de saut à ski



D'après : https://fr.wikipedia.org

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

1. Étude du mouvement du skieur sur la piste d'élan du tremplin

1.1. Calculer la valeur de E_{mD} l'énergie mécanique du système au point D.

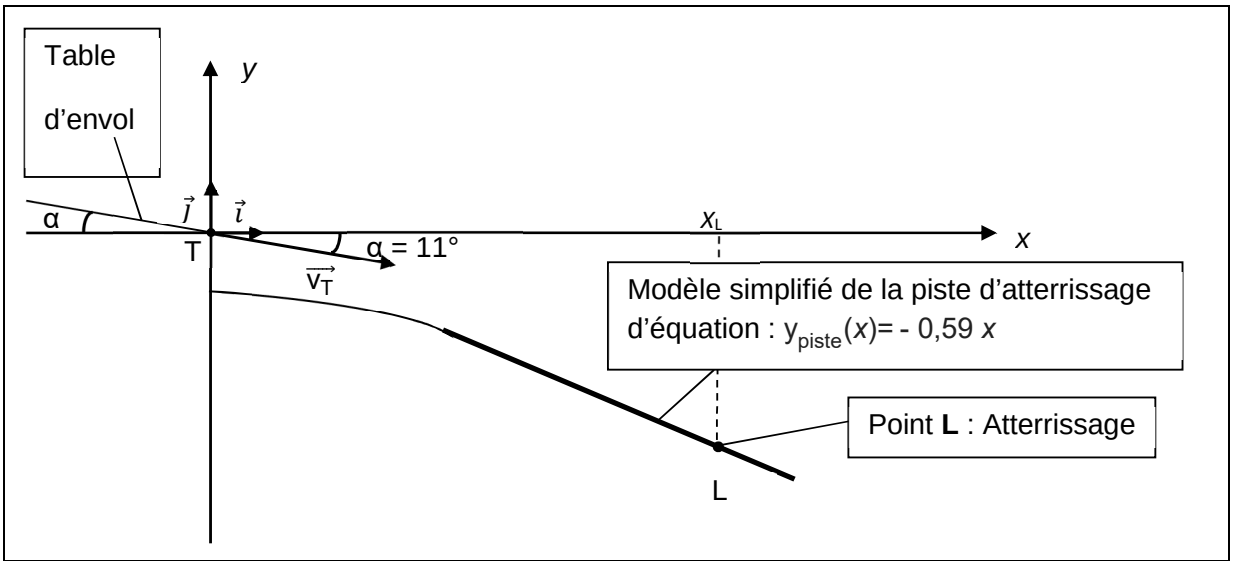
1.2. Exprimer l'énergie mécanique E_{mT} du système au point T en fonction de la masse m du système, de l'accélération g de la pesanteur, de l'altitude y_T du point T et de la vitesse v_T au point T.

1.3. En utilisant une approche énergétique, montrer que l'expression littérale de la valeur v_T de la vitesse du système au bout de la table d'envol est $v_T = \sqrt{2g.(y_D - y_T)}$. Calculer sa valeur numérique.

1.4. Le résultat obtenu par calcul pour la vitesse de décollage v_T est-il en accord avec la valeur mesurée le jour de l'épreuve ? Commenter.

2. Étude du mouvement du skieur lors du saut

Pour cette étude, on utilise le repère orthonormé (T, $\vec{\imath}$, $\vec{\jmath}$), T étant le point situé au bout de la table d'envol.
On modélise de manière simplifiée l'allure de la piste d'atterrissage par une droite d'équation $y_{piste}(x) = -0{,}59\ x$.
On notera x_L l'abscisse du point d'atterrissage L.



2.1 En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées du vecteur accélération lors du saut.

2.2 Montrer, en détaillant chaque étape de votre raisonnement, que les équations horaires du point matériel M représentant le système étudié lors du saut dans le champ de pesanteur s'écrivent :

$$x(t) = v_T \cos\alpha\ t$$
$$y(t) = -\frac{1}{2} g\ t^2 - v_T \sin\alpha\ t$$

2.3 En déduire que l'équation de la trajectoire du point matériel M s'écrit :

$$y(x) = -9{,}5 \times 10^{-3}\ x^2 - 1{,}9 \times 10^{-1}\ x$$

Dans cette équation x et y sont exprimés en mètres.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

2.4 Le jour de l'épreuve olympique, la longueur réelle mesurée lors du saut étudié a été de 113 m. Cette longueur correspond à la longueur TL sachant que le point d'atterrissage L a une abscisse réelle égale à 97 m.

Le cadre du modèle précédent permet-il de rendre compte de la valeur réelle de l'abscisse du point d'atterrissage ?

Commenter.

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.

EXERCICE 3 : UN RADAR DE SURVEILLANCE MARITIME (5 points)

On désigne sous le nom de radar (*Radio Detection and Ranging*) un dispositif qui émet des ondes électromagnétiques et qui reçoit celles réfléchies par les objets. Un tel dispositif permet, entre autres, de détecter la présence de ces objets.

D'après *Encyclopaedia Universalis*

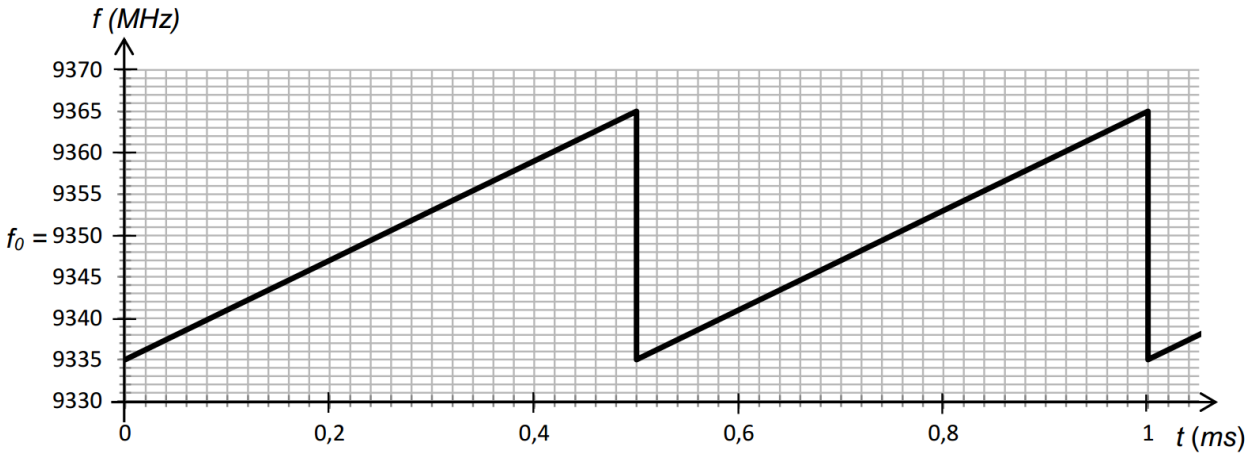
Données :

- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air est supposée connue par les candidats ;
- unité de mesure de distance employée en navigation maritime et aérienne :

1 mile nautique (mn) = 1,852 km.

Partie 1 : Détermination de la position d'une cible fixe par la technique de l'écho

Le radar de surveillance maritime émet continuellement des ondes électromagnétiques dont la valeur de la fréquence d'émission varie périodiquement au cours du temps autour de sa fréquence de référence f_0 (voir document 1). L'analyse de la fréquence de l'onde reçue lors de l'écho permet de déterminer l'instant t_1 auquel l'onde a été émise.

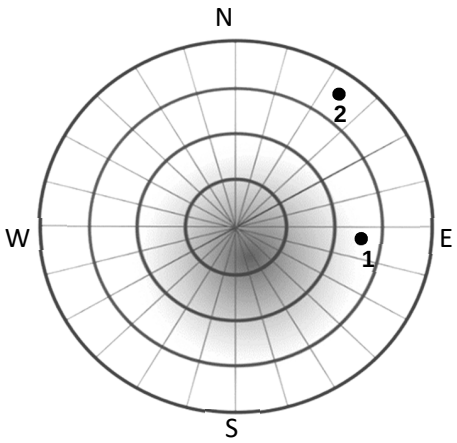


Document 1 : Variation de la fréquence de l'onde émise par le navire de surveillance maritime au cours du temps

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 8 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

L'analyse de la zone de surveillance met en évidence l'existence de deux échos qui correspondent à la présence de deux bateaux. L'objectif est de déterminer quel bateau est responsable de l'écho de fréquence 9344 MHz reçu à l'instant t = 0,43 ms. Une copie de l'écran radar à cet instant est fournie dans le document 2.

Distance entre chaque cercle concentrique de l'écran radar : 9 miles nautiques.
Écran radar (site Pixabay)



Document 2 : Écran radar du navire de surveillance à l'instant t = 0,43 ms

On considère que les deux bateaux sont immobiles.

1.1. Donner la relation entre la distance d (entre le radar et le bateau détecté) et Δt la durée du trajet aller-retour de l'onde.

1.2. À quel instant a été émise l'onde de fréquence 9344 MHz ?

1.3. En déduire la valeur de la distance d entre le radar et le bateau responsable de cet écho.

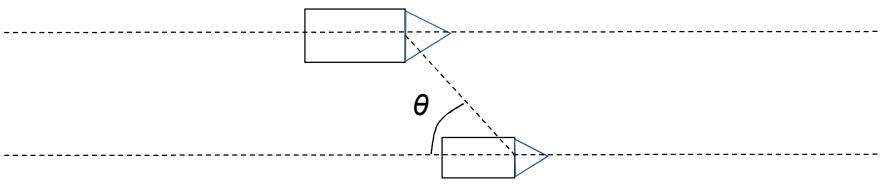
1.4. Identifier, parmi les deux bateaux, celui qui correspond à cet écho. Expliciter la démarche utilisée.

1.5. Déterminer la valeur de la distance maximale que peut détecter ce radar et comparer avec la valeur proposée par le constructeur qui est de 36 miles nautiques.

Partie 2 : Limites du dispositif par effet Doppler

Un navire de surveillance maritime équipé d'un radar et un bateau (cible) naviguent tous les deux dans la même direction.

En raison d'un mouvement relatif entre la cible et le radar, la fréquence de l'onde reçue ne correspond plus à la fréquence de l'onde émise. Il existe un décalage de fréquence Δf_D appelé le décalage Doppler. Il dépend de la fréquence de l'onde émise (f_0 = 9350 MHz), de la vitesse relative v entre les deux bateaux et de leur position respective repérée par l'angle θ sur le schéma ci-dessous.



L'expression permettant de déterminer le décalage Doppler s'écrit :

$$\Delta f_D = \frac{2v}{c} \cdot f_0 \cdot |\cos \theta|$$

2.1 Donner, en justifiant la réponse, la valeur de l'angle pour lequel le décalage Δf_D est toujours nul.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Afin de ne pas introduire d'erreur dans le positionnement d'un bateau, ce décalage Doppler ne doit pas être supérieur à la limite de détection du radar qui est de 1,5 kHz.

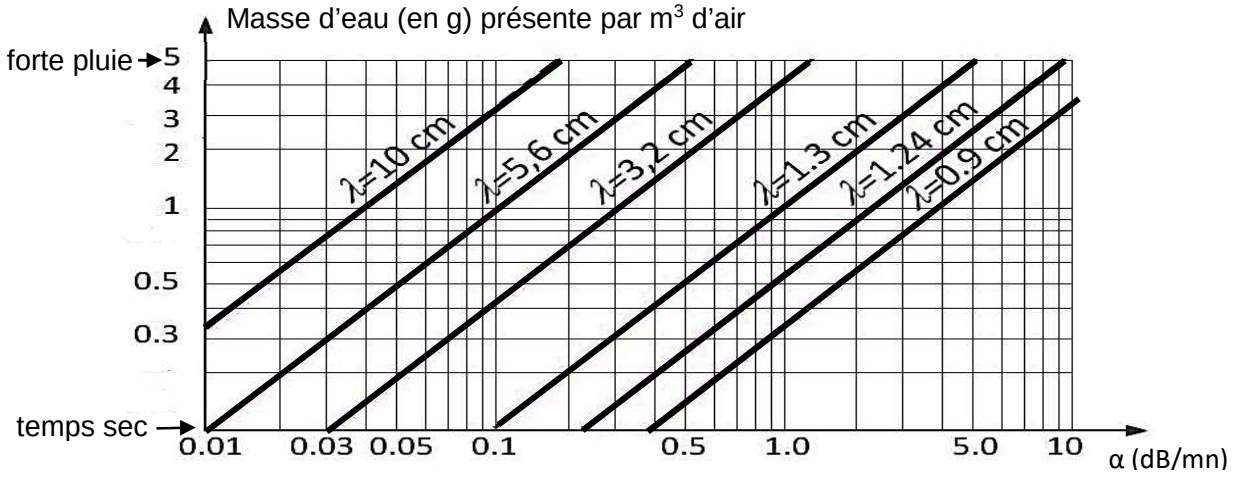
2.2. On se place dans la configuration où $\theta = 0°$. Déterminer la valeur de la vitesse relative maximale entre les deux bateaux afin que cela n'introduise pas d'erreur dans son positionnement.

Partie 3 : Limites du dispositif par atténuation du signal

Quand une onde électromagnétique se propage dans l'air, une partie de celle-ci est renvoyée dans toutes les directions, par exemple en raison de la présence de molécules d'eau. Ce phénomène qui est à l'origine d'une partie de l'atténuation du signal radar est donc très dépendant des conditions météorologiques.

Données :

- puissance émise : $P_{émise} = 165$ mW ;
- puissance minimum détectable : 1×10^{-11} mW ;
- distance maximale de détection : 36 mn (miles nautiques) ;
- fréquence moyenne du transmetteur : $f_0 = 9350$ MHz.



Document 3 : Évolution du coefficient d'atténuation linéique α en fonction de la quantité d'eau présente dans l'air pour différentes valeurs de longueurs d'ondes utilisées par les radars

On rappelle que l'atténuation linéique α d'un signal est définie par la relation suivante :

$$\alpha = \frac{10}{L} \log\left(\frac{P_{émise}}{P_{reçue}}\right)$$ avec L distance parcourue par le signal.

3.1. Quel type de propagation (libre ou guidée) utilisent les systèmes radar ?

3.2. Calculer la valeur de la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique émis par le radar.

3.3. La valeur de la puissance reçue par le radar pour une masse d'eau présente par m^3 d'air, égale à 4 g, est-elle détectable ?

On explicitera soigneusement la démarche utilisée ainsi que les hypothèses formulées.
Toute tentative de réponse cohérente sera valorisée.