

PARTIE A : la pelouse synthétique pour l'épreuve de hockey sur gazon (7 points)

Aux JO de Paris, les hockeyeurs vont jouer sur un gazon synthétique particulièrement respectueux de l'environnement. Les fibres de ce gazon seront majoritairement composées de polyéthylène biosourcé car il est fabriqué à partir de cannes à sucre. Le polyéthylène est une matière plastique très utilisée, notamment dans la fabrication de pelouses synthétiques. Il s'obtient par polymérisation de l'éthène (appelé aussi éthylène), lui-même obtenu par déshydratation de l'éthanol. Le plus souvent, le polyéthylène est issu de combustibles fossiles de la pétrochimie.

Extraction de l'éthanol du moût fermenté

Le broyage des cannes à sucre permet d'obtenir un sirop épais appelé la mélasse. Après fermentation alcoolique de la mélasse, on obtient un moût fermenté riche en éthanol, qui est extrait par distillation.

On estime que la concentration en quantité de matière en éthanol dans le moût fermenté est de $7,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Afin de contrôler la concentration en éthanol dans le moût fermenté, noté solution S, on réalise une distillation fractionnée. À partir du distillat, on fabrique par dilution une solution S₁. **Dans la suite de l'exercice nous considérerons que la solution S₁ correspond à la solution S diluée 50 fois.**

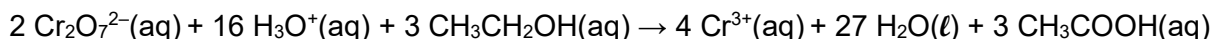
1. Légender le schéma de la distillation donné en **document-réponse 1 page 13/14**, à **rendre avec la copie**, et préciser le sens de circulation de l'eau.

L'éthanol réagit avec les ions dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en milieu acide, mais cette transformation, quoique totale, est lente : elle ne peut donc pas être le support d'un titrage.

On réalise alors un dosage en retour de l'éthanol présent dans le distillat, selon les deux étapes suivantes.

Étape 1 : les ions dichromate sont introduits en excès dans un volume donné de la solution S₁ pour transformer tout l'éthanol présent en acide éthanoïque et on laisse le temps nécessaire à la transformation de s'effectuer.

L'équation chimique de la réaction est :



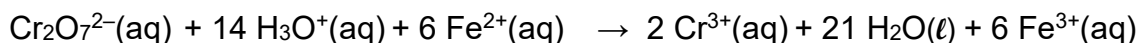
Protocole expérimental de l'étape 1 :

- dans un erlenmeyer, on mélange un volume $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de la solution S₁ (distillat dilué), un volume $V_2 = 10,0 \text{ mL}$ d'une solution de dichromate de potassium ($2\text{K}^+ + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) de concentration en quantité de matière $C_2 = 5,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et environ 5 mL d'acide sulfurique concentré ;
- on bouche l'erlenmeyer et on laisse réagir pendant environ 30 minutes ;
- on obtient alors une solution verdâtre.

2. Montrer que la relation entre la quantité de matière n_1 d'éthanol oxydé et la quantité de matière d'ions dichromate restant $n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{restant}}$ à la fin de l'étape 1 est :

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{restant}} = C_2 \times V_2 - \frac{2}{3} n_1$$

Étape 2 : on réalise le dosage par titrage des ions dichromate restant dans l'erlenmeyer, par les ions Fe^{2+} apportés par une solution acidifiée de sel de Mohr. L'équation de la réaction support du titrage est :



La solution de sel de Mohr a une concentration en quantité de matière $C_3 = 2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en ions Fe^{2+} . L'équivalence est repérée à l'aide d'un indicateur de fin de réaction. Le volume de solution de sel de Mohr nécessaire pour atteindre l'équivalence est $V_E = 11,8 \text{ mL}$.

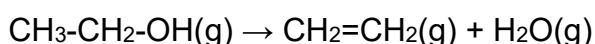
3. Réaliser un schéma légendé du montage permettant d'effectuer le titrage.
4. Définir l'équivalence d'un titrage.
5. Écrire, à partir de l'équation de l'étape 2, la relation qui existe à l'équivalence entre les quantités de matière d'ions dichromate et d'ions Fe^{2+} versés, notés $n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})_{\text{restant}}$ et $n(\text{Fe}^{2+})$.
6. Montrer que la quantité de matière n_1 d'éthanol présente dans 10,0 mL de solution S_1 s'exprime par la relation suivante :

$$n_1 = \frac{3}{2} C_2 \times V_2 - \frac{1}{4} C_3 \times V_E$$

7. Calculer la valeur numérique de n_1 .
8. En déduire la valeur de la concentration en quantité de matière C_1 en éthanol de la solution diluée S_1 .
9. Calculer la valeur de la concentration en quantité de matière C en éthanol dans le moût fermenté, appelé solution S .
10. Comparer l'ordre de grandeur de la valeur de C trouvée avec celle donnée en introduction de la partie A.
11. Identifier deux sources d'erreur dans la mesure de C .

Production de l'éthène

La production d'éthène se fait par déshydratation de l'éthanol selon l'équation suivante :



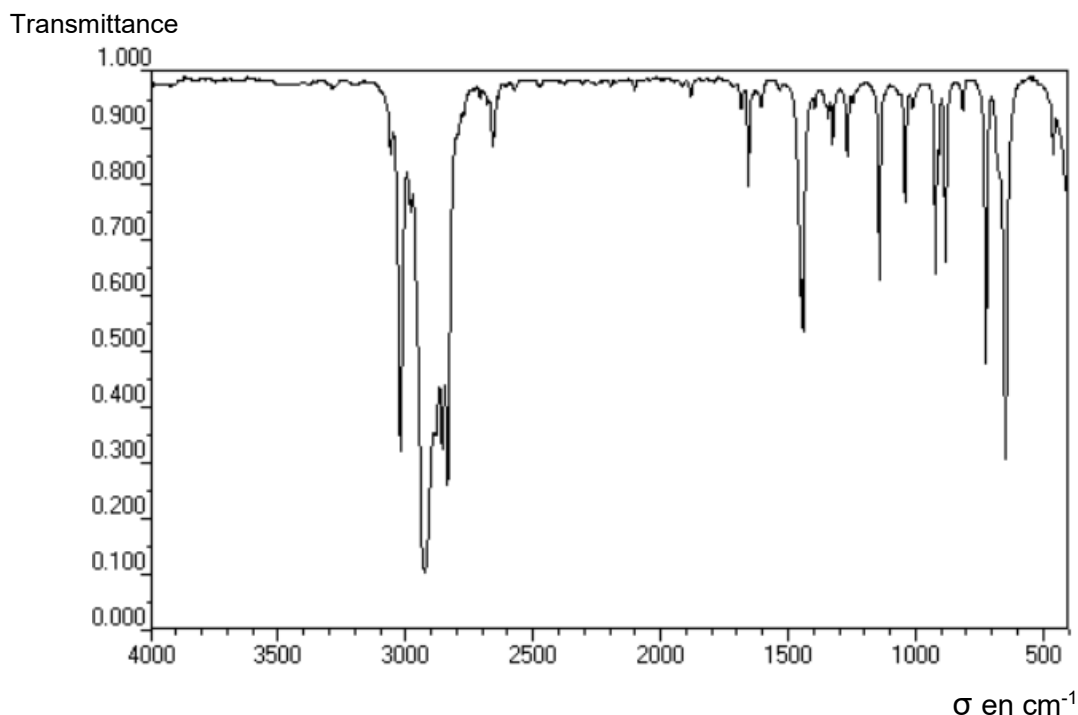
12. Identifier le type de réaction chimique à laquelle appartient la réaction de production de l'éthène parmi les termes suivants : addition, élimination, substitution, acide-base, oxydation, réduction.

La première étape du mécanisme réactionnel de cette réaction chimique consiste en une réaction entre une molécule d'éthanol et un ion hydrogène H^+ présent dans le milieu réactionnel.

L'équation de cette réaction est donnée dans le **document-réponse 2 page 13/14**, à rendre avec la copie.

13. Identifier le site donneur et le site accepteur d'électrons mis en jeu lors de cette première étape et représenter, à l'aide d'une flèche courbe, le mouvement du doublet d'électrons sur le **document-réponse 2 page 13/14**, à rendre avec la copie.

À l'issue de la transformation chimique, un contrôle de pureté est réalisé par spectroscopie IR. Le spectre IR obtenu est présenté ci-dessous :



Données : principaux nombres d'ondes σ utiles pour identifier certains groupes caractéristiques

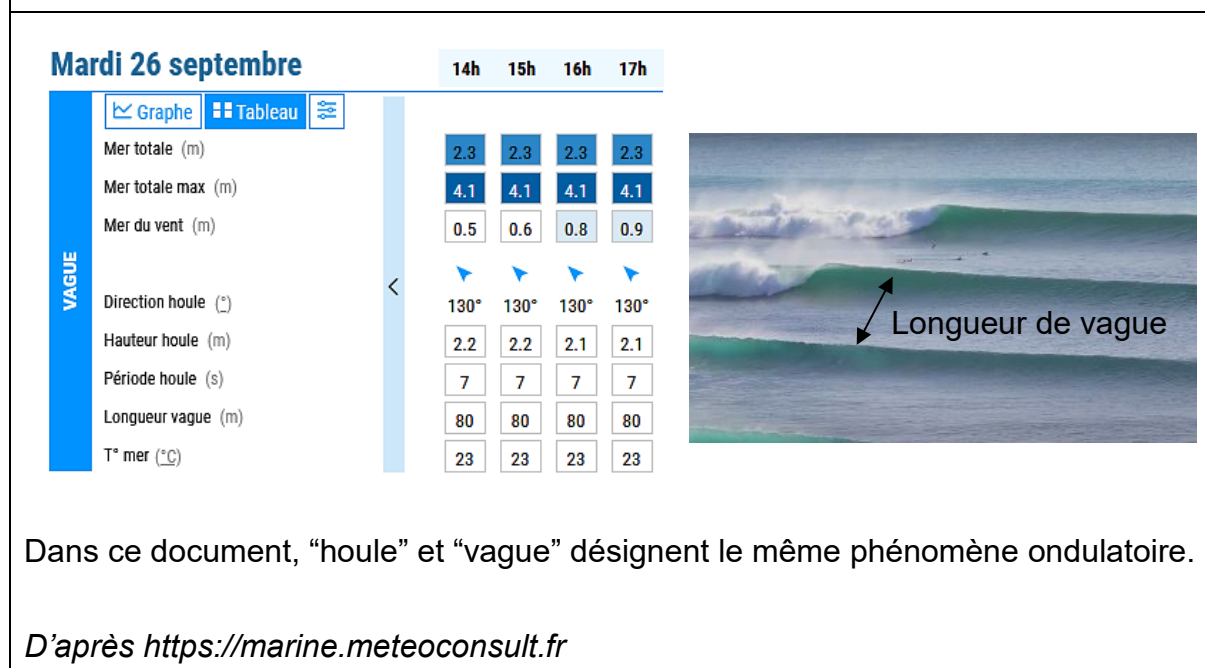
Liaison	Nombre d'onde σ (cm^{-1})
C-H (carbone tétraédrique)	2850 - 3020
C-H (carbone trigonal)	3050 - 3080
C=O (aldéhyde)	1720 - 1740
C=O (acide carboxylique)	1700 - 1720
C=O (ester)	1735 - 1750
C=O (acide aminé)	1590 - 1600
O-H (acide carboxylique)	2500 - 3300 (bande large)
O-H (alcool)	3200 - 3550
C=C (alcène)	1640

14. Justifier qu'il ne reste plus d'éthanol à l'aide du spectre IR.

PARTIE B : l'épreuve de surf aux Jeux olympiques (6,5 points)

L'épreuve de surf, présente pour la première fois aux Jeux olympiques, aura lieu à Teahupo'o, à Tahiti.

DOCUMENT 1 : météo marine à Teahupo'o le mardi 26 septembre 2023



15. Préciser, en justifiant, si les vagues sont des ondes longitudinales ou transversales.

16. À l'aide du **document 1**, déterminer la fréquence des vagues le mardi 26 septembre 2023.

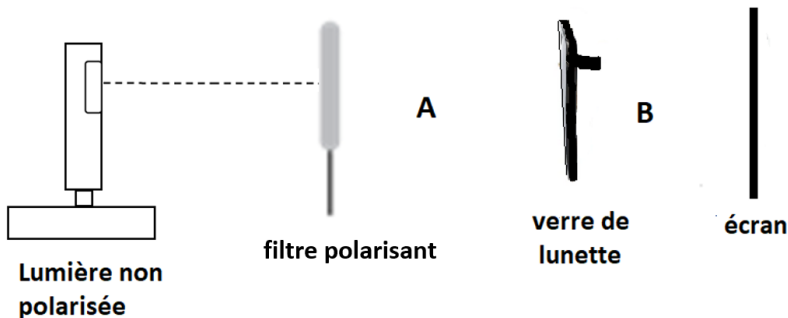
17. Montrer que la vitesse de propagation des vagues est d'environ $11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Les sportifs pratiquant des sports nautiques comme les surfeurs protègent leurs yeux à l'aide de lunettes de soleil ayant des caractéristiques spécifiques.

Afin de comprendre l'intérêt des verres polarisants dans la protection contre le soleil, une expérience réalisée en laboratoire sur un banc optique, utilisant un verre de lunette polarisant, est décrite ci-dessous.

Protocole de l'expérience :

Au départ, un verre de lunettes de surf est fixé derrière un filtre polarisant comme sur la photo. Celui-ci impose une polarisation verticale à la lumière. On l'éclaire avec une lumière non polarisée. On observe alors une tache de lumière sur l'écran.

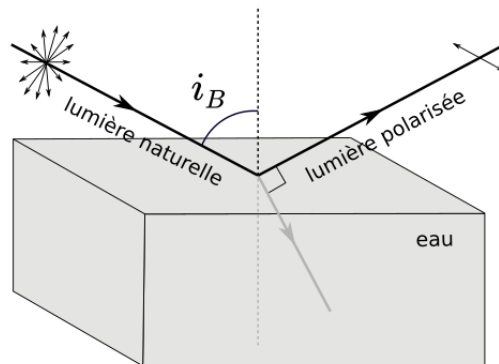


On fait ensuite tourner le filtre polarisant de façon à ne plus avoir de lumière sur l'écran. L'extinction est obtenue après une rotation du filtre polarisant d'un angle de 90° .

18. Préciser si la lumière est polarisée ou non dans la zone A, et si oui indiquer la direction de la polarisation au début de l'expérience.
19. Justifier d'après l'expérience que le verre de lunette est bien polarisant et déterminer la direction de polarisation du verre.

La réflexion de la lumière sur l'eau peut modifier l'état de polarisation de celle-ci. En effet, il existe un angle d'incidence particulier, appelé angle de Brewster, pour lequel la lumière réfléchie est polarisée avec un axe parallèle à la surface de séparation entre l'air et l'eau.

L'angle d'incidence de Brewster, noté i_B , est obtenu dans la condition où **le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon réfracté**.



20. La surface de la mer étant considérée horizontale, expliquer l'intérêt pour le surfeur que les verres de lunettes soient polarisés verticalement.

Données :

- indice de réfraction de l'air : $n_{air} = 1,00$
- indice de réfraction de l'eau : $n_{eau} = 1,33$
- pour une surface de séparation air / eau de mer, la valeur de l'angle de Brewster est de $53,1^\circ$.

On se placera dans le cas où la lumière forme un angle d'incidence proche de celui de l'angle de Brewster.

21. En appliquant la relation de Snell-Descartes, déterminer la valeur numérique de l'angle réfracté r_B et placer sur le **document-réponse 3 page 14/14, à rendre avec la copie**, le rayon réfracté et l'angle réfracté r_B .
22. Tracer, sur le **document-réponse 3 page 14/14, à rendre avec la copie**, le rayon réfléchi et expliquer en justifiant votre réponse que la condition de Brewster est bien vérifiée.

Plusieurs groupes d'élèves décident de reproduire en laboratoire la situation pour vérifier cette condition. Pour cela, un demi-cylindre rempli d'eau est éclairé avec un angle d'incidence égal à 53° comme dans le **document-réponse 3 page 14/14**, à rendre avec la copie. Le tableau de valeurs obtenues est donné ci-dessous :

Mesure	1	2	3	4	5	6	7
Angle réfracté r_B (°)	39	37	38	39	40	39	39

23. Déterminer la valeur moyenne $\bar{r}_B$ de l'angle réfracté et son écart-type expérimental.

On rappelle la relation donnant l'incertitude-type sur la valeur moyenne d'une série de n mesures : $u(\text{moyenne}) = \frac{\text{écart-type expérimental}}{\sqrt{n}}$.

24. Calculer la valeur de l'incertitude-type sur la valeur moyenne $\bar{r}_B$ de l'angle réfracté.

Dans ces conditions expérimentales, la valeur de référence de l'angle réfracté, calculée à partir de la valeur théorique de l'angle de Brewster, est de $36,9^\circ$.

25. Discuter de la validité du résultat expérimental, en s'appuyant sur le rapport suivant :

$$\frac{|\text{moyenne} - \text{valeur de référence}|}{u(\text{moyenne})}$$

PARTIE C : le centre aquatique olympique (6,5 points)

Les technologies numériques nécessitent la création de centres de données (appelés data center) de plus en plus performants. Ces infrastructures, capables de stocker de grandes quantités de données, sont très énergivores et ont l'inconvénient de dégager dans l'atmosphère une grande partie de l'énergie thermique produite par les appareils.

Les épreuves de water-polo, de plongeon et de natation synchronisée auront lieu dans la piscine du futur centre aquatique olympique de Saint-Denis, situé en région parisienne. Un géant mondial de l'hébergement informatique s'engage à fournir gratuitement au réseau de chauffage de la piscine l'énergie thermique produite par son nouveau data center.

L'énergie thermique cédée par le data center permettra de produire de l'eau chaude à une température de 65°C qui sera ensuite envoyée dans un échangeur thermique afin de maintenir constante la température de l'eau de la piscine.

Étude de l'échangeur thermique

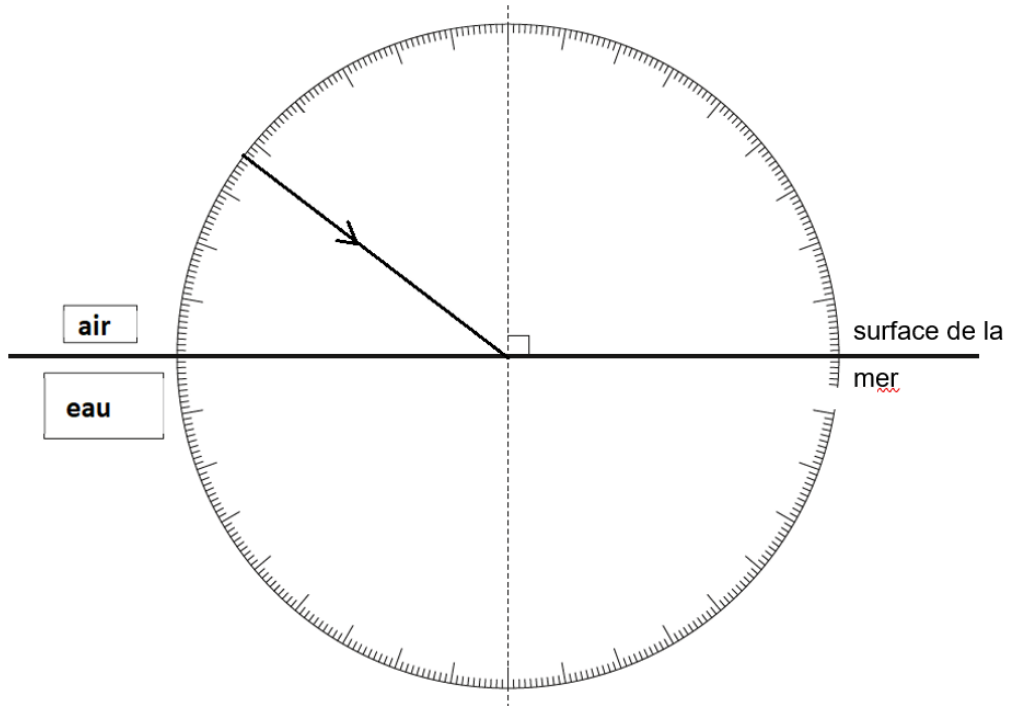
On se place dans la situation où l'eau de la piscine entre dans l'échangeur à une température de 24°C et en ressort à la température de 35°C .

L'eau provenant du data center (à la température de 65°C) sort de l'échangeur thermique à la température de 50°C .

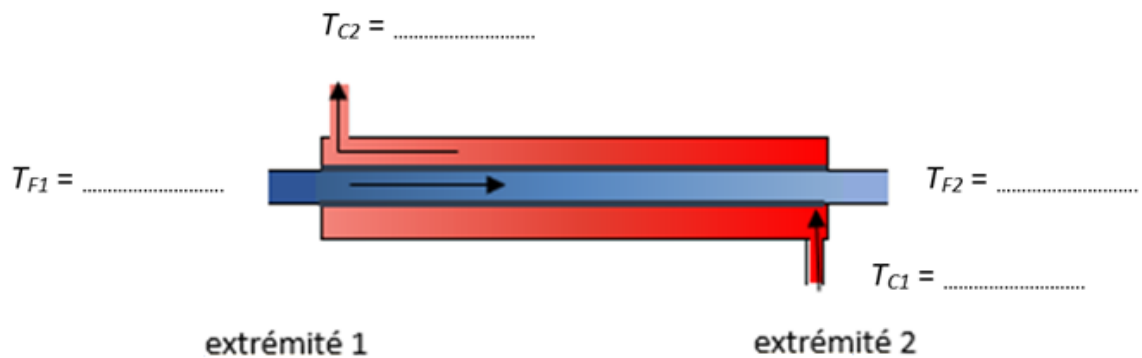
La puissance de cet échange thermique est de 270 kW.

Document réponse à rendre avec la copie

DOCUMENT-REPONSE 3



DOCUMENT-REPONSE 4 : Schéma de l'échangeur thermique à contre-courant



Indice « C » pour chaud

Indice « F » pour froid