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 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.

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

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

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

ATTENTION : l'annexe (page 11/11) est à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 : observation d'un volcan par interférométrie satellitaire radar
(11 points)

Lancé en 2006 par le Japon, le satellite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) a permis d'observer la Terre, notamment dans le domaine radar. Cet exercice s'intéresse au mouvement orbital de ce satellite et à l'utilisation des données radar appliquées à l'étude de la déformation du sol au niveau d'un volcan situé sur l'Ile de la Réunion, le Piton de la Fournaise.



Image de synthèse
(*earth.esa.int/eogateway/missions/alos)*

Données :

- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97\times10^{24}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37\times10^{6}$ m ;
- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$;
- la valeur de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide, notée c, est supposée connue.

1. Étude du mouvement orbital du satellite ALOS

ALOS est placé sur une orbite polaire (c'est-à-dire passant à la verticale des pôles terrestres) supposée circulaire dans le référentiel géocentrique à une altitude h = 692 km. Le satellite se déplace à une vitesse proche de 2,7 x 10^4 $km\cdot h^{-1}$.

En utilisant les données d'altitude et de période du satellite, un programme écrit en langage python (voir figure 1) a permis de déterminer les positions du satellite sur son orbite à intervalle de temps régulier Δt = 369,3 s et de représenter les vecteurs vitesse et variation de vitesse du satellite en ces points (figure 2).

```
#initialisation
delta_t = 369.3 #pas de temps en s
vx =np.zeros(N-2)
vy =np.zeros(N-2)
delta_vx =np.zeros(N-2)
delta_vy  =np.zeros(N-2)

#Calculs des coordonnées des vecteurs
for i in range(1,N-2):
    vx[i] = (x[i+1]-x[i-1])/(2*delta_t)
    vy[i] = (y[i+1]-y[i-1])/(2*delta_t)

for i in range(2,N-3):
    delta_vx[i] = (vx[i+1]-vx[i-1])
    delta_vy[i] = (vy[i+1]-vy[i-1])

#tracer les vecteurs
trace_vect(x,y,vx,vy,50,5)
trace_vect(x,y,delta_vx,delta_vy,50,5)

#tracer les positions
plt.plot(x,y,"b.",label="Positions du satellite ")

#tracer le centre de rotation
plt.plot(0,0,"bo")
```

Figure 1 : programme en langage python

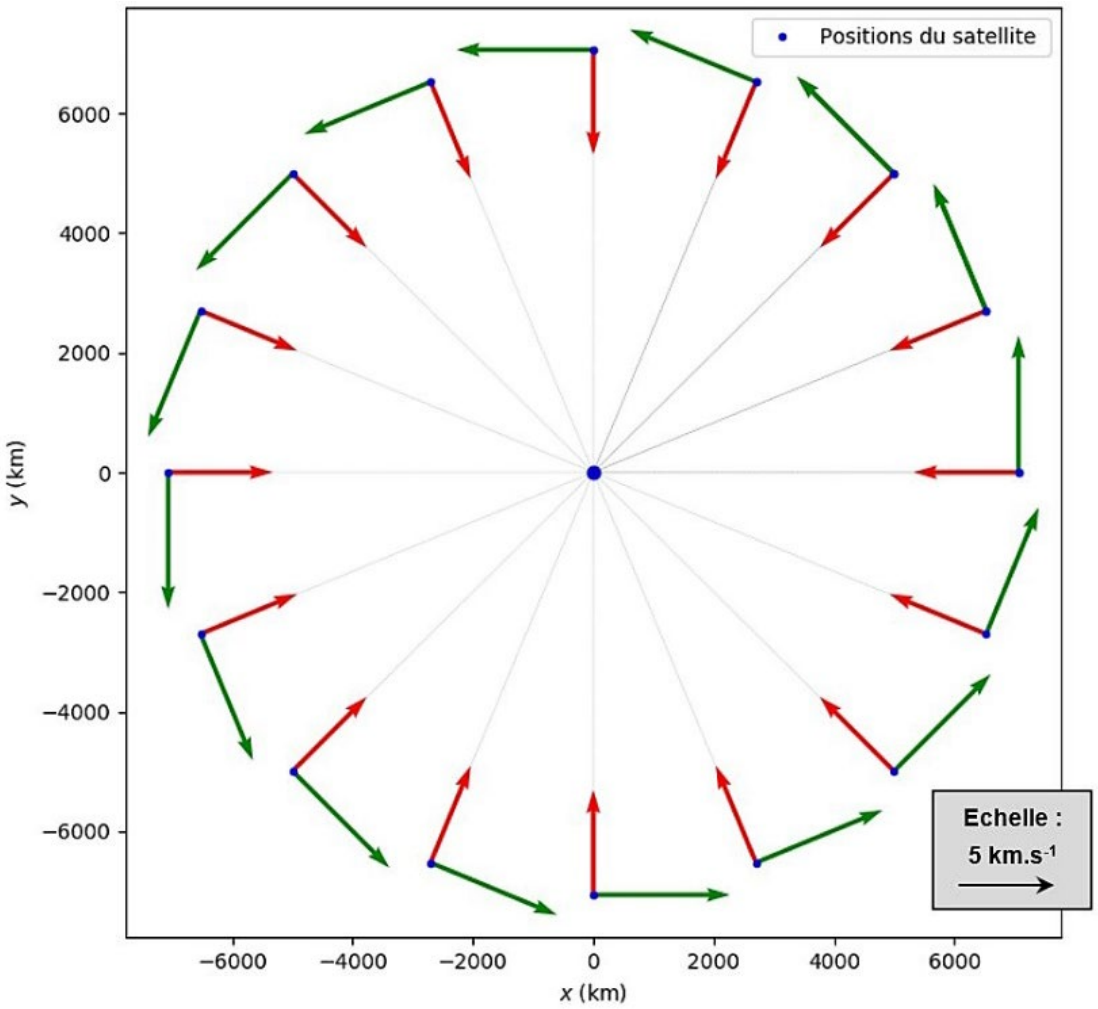


Figure 2 : vecteurs tracés après exécution du programme

Q.1. Indiquer les lignes du programme fourni qui permettent de calculer les coordonnées approchées des vecteurs variation de vitesse.

Q.2. Indiquer lequel des deux vecteurs représentés à une position du satellite donnée sur la figure 2 correspond au vecteur variation de vitesse. Justifier.

Q.3. Montrer à l'aide de l'échelle fournie sur la figure 2 que la valeur de l'accélération moyenne du satellite est voisine de 8 $m \cdot s^{-2}$.

Le mouvement du centre de masse, S, du satellite ALOS est étudié dans le référentiel géocentrique supposé galiléen en utilisant le repère de Frenet (S, $\overrightarrow{u_t}$, $\overrightarrow{u_n}$). La masse du satellite est notée *m*.

Q.4. Exprimer, dans le repère de Frenet, la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite ALOS en fonction de G, *m*, M_T, R_T, *h*. Représenter, sans souci d'échelle, cette force sur un schéma avec le repère de Frenet associé au satellite.

Q.5. Établir l'expression du vecteur accélération du satellite et calculer sa norme. Comparer à la valeur obtenue à la question Q.3.

Q.6. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme et établir l'expression de sa vitesse :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}}$$

Q.7. En déduire l'expression de la période de révolution du satellite en fonction de G, M_T, R_T, h. Calculer sa valeur.

Compte tenu de la rotation de la Terre sur elle-même, le satellite repasse tous les 46 jours à la verticale d'un même point de la surface terrestre.

Q.8. Déterminer le nombre d'orbites parcourues par le satellite ALOS avant de repasser au-dessus du même point.

2. Étude de la déformation du sol par interférométrie radar

Un satellite faisant de l'interférométrie radar est dit actif : il éclaire lui-même un point de la surface terrestre qu'il observe en émettant une onde radar et récupère le signal renvoyé.

L'interférométrie satellitaire radar (InSAR) est une technique d'imagerie utilisée principalement pour détecter des mouvements de terrain comme la contraction ou le gonflement des sols argileux et le suivi de l'activité des volcans.

Q.9. Écrire la relation entre la longueur d'onde, la célérité et la période de l'onde, en précisant les unités de ces grandeurs.

Q.10. Justifier, à l'aide du document ci-dessous, que les ondes émises par le satellite ALOS dont la longueur d'onde est 23,6 cm appartiennent au domaine des ondes radio.

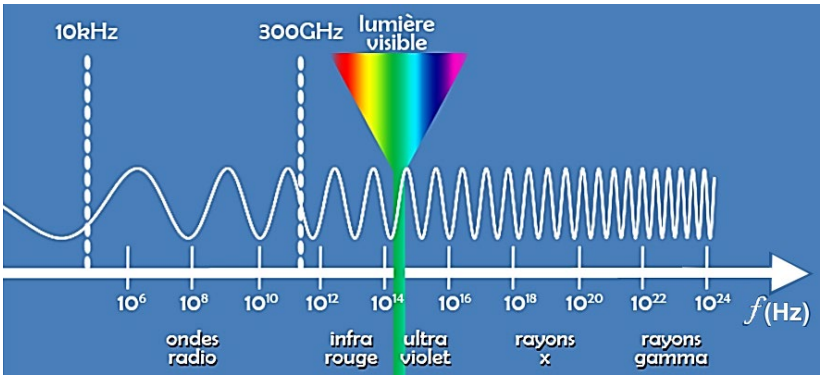


Figure 3 : spectre électromagnétique des ondes. © CEA

Le principe de la mesure de déplacement par InSAR est le suivant : le satellite capte une image de l'ensemble des points d'une même zone de la Terre depuis la même position dans le ciel à deux dates différentes (voir figure 4).

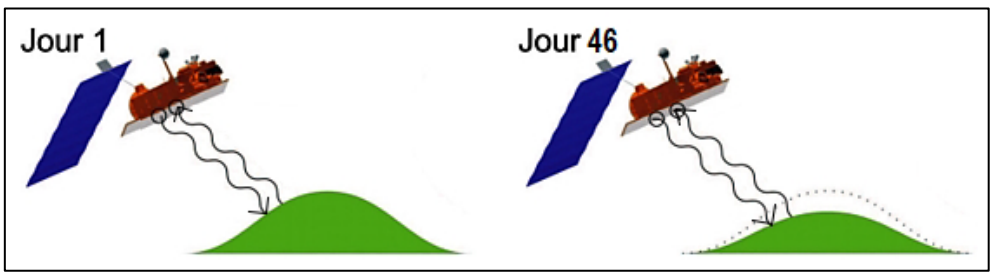


Figure 4 : trajets de l'onde émise par le satellite ALOS, pour un point de la zone étudiée

Une contraction ou un gonflement du sol survenant entre ces deux dates induit une variation de la distance entre le satellite et le sol. Cette variation génère une différence de marche entre les deux ondes radar reçues. Une figure d'interférences, appelée interférogramme, est obtenue par traitement informatique.

L'interférogramme réalisé permet de mesurer le déplacement du sol dans l'axe de visée du satellite.

On admettra que la variation d'altitude du sol est due uniquement à une contraction de ce dernier.

On note *L* la distance entre le satellite et le point visé à la surface de la Terre lors du premier passage et *d* le déplacement du sol dans l'axe de visée du satellite entre le premier et le deuxième passage du satellite.

Q.11. En exprimant la distance parcourue par l'onde radar lors du premier passage et celle parcourue par l'onde lors du deuxième passage, établir que la relation entre la différence de marche δ entre ces deux ondes et le déplacement du sol *d* est :

$$\delta = 2\,d$$

Q.12. En déduire que la relation entre le déplacement du sol *d* et la longueur d'onde λ pour que ces deux ondes soient en phase est :

$$d = k \times \frac{\lambda}{2} \quad \text{avec k entier}$$

Du 30 mars au 1er avril 2007, le volcan situé sur l'île de la Réunion a connu une crise éruptive. Cet évènement a été imagé par le satellite radar ALOS dont la longueur d'onde de travail est de 23,6 cm. L'analyse comparée des deux images (Jour 1 et Jour 46) a permis la construction d'un interférogramme.

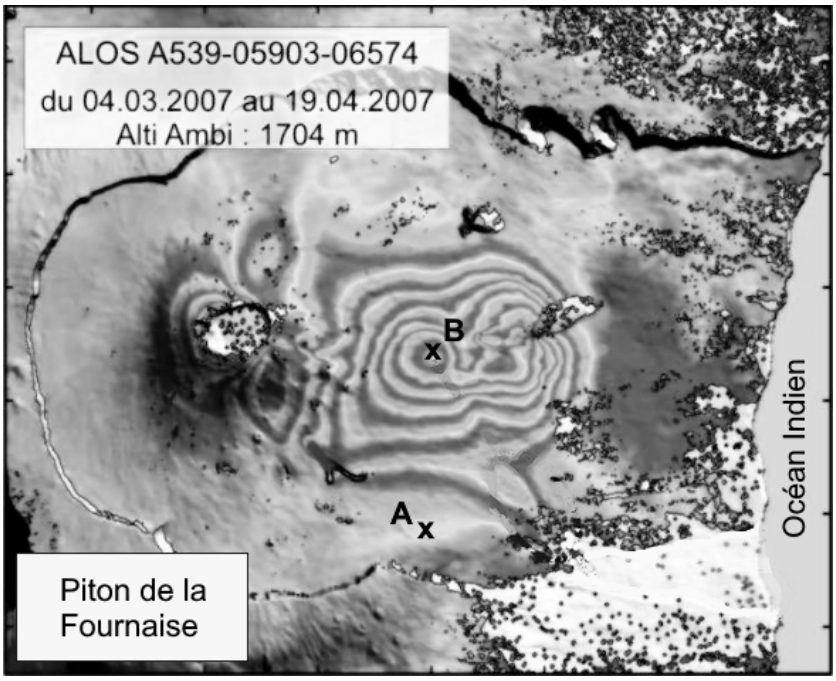


Figure 5 : interférogramme obtenu par superposition des images du 04 mars et du 19 avril 2007

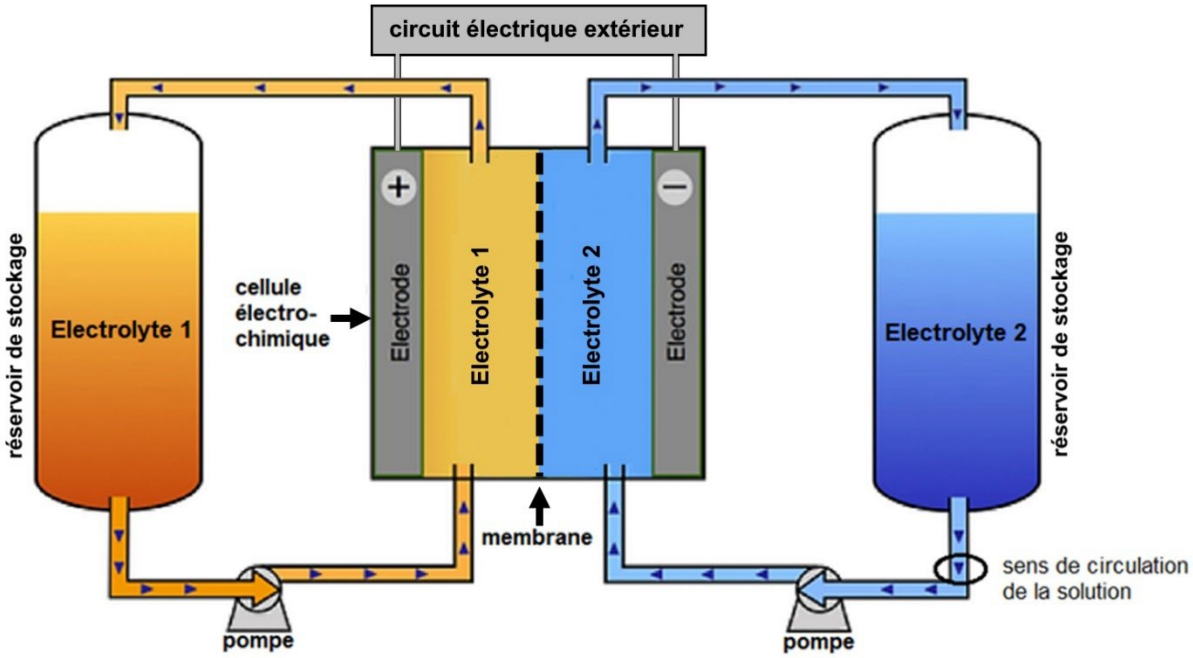
Sur la figure 5, les franges les plus claires correspondent à des interférences constructives.

Q.13. Déterminer l'entier k entre les points A et B et en déduire la variation d'altitude du point B en supposant que le point A n'a pas subi de déplacement.

EXERCICE 2 : des batteries à flux redox organiques (5 points)

Pour le développement des énergies renouvelables, le stockage massif de l'énergie est un élément crucial afin de palier le caractère intermittent de ces modes de production. Lors des pics de production, l'énergie doit pouvoir être stockée pour être libérée lorsque la production est faible et la demande forte.

Actuellement, les batteries à flux redox organiques sont au cœur de plus en plus de projets en tant que solutions de stockage de grandes capacités, sûres, non polluantes et économiques.



D'après diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-france/diplomatie-scientifique-et-universitaire

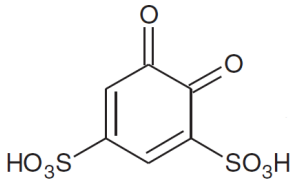
Figure 1 : schéma du dispositif se comportant en pile électrochimique

Comme l'illustre la figure 1 ci-dessus, les batteries à flux redox sont constituées de :

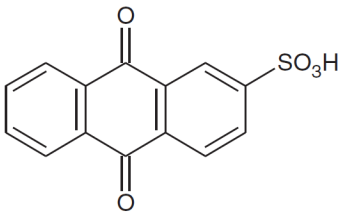
- **deux réservoirs de stockage** équipés de pompes pour faire circuler les solutions aqueuses de substances organiques ou électrolytes à travers la cellule électrochimique ;
- **une cellule électrochimique** qui se comporte comme une pile électrochimique (lors de la décharge) ou comme un électrolyseur (lors de la charge). Elle permet des conversions d'énergie via des réactions d'oxydoréduction ;
- **une membrane** spécialement conçue pour empêcher le mélange des deux solutions, tout en permettant l'échange d'ions H^+ (c'est-à-dire le déplacement de la charge électrique) à travers celle-ci.

Exercice 2

On étudie une batterie à flux redox organique utilisant comme électrolytes l'acide 1,2-benzoquinone-3,5-disulfonique (BQDS) et l'acide antraquinone-2-sulfonique (AQS) représentés ci-dessous.



BQDS



AQS

Les réactions au sein de la cellule électrochimique mettent en jeu les couples oxydant-réducteur BQDS / H_2BQDS et AQS / H_2AQS, espèces présentes en solution aqueuse dans les réservoirs de stockage.

Q.1. Écrire les deux réactions électrochimiques qui modélisent les transformations se produisant aux électrodes.

L'équation de la réaction modélisant la transformation qui a lieu lors de la décharge de la batterie (fonctionnement en mode pile) est :

$$BQDS + H_2AQS \rightarrow H_2BQDS + AQS$$

Q.2. Définir un oxydant.
Identifier l'oxydant et le réducteur lors de cette transformation chimique.

Q.3. Déterminer si la solution de BQDS est l'électrolyte 1 ou l'électrolyte 2 à l'aide des polarités indiquées sur la cellule électrochimique et des équations des réactions électrochimiques. Justifier.

Q.4. Déterminer le sens de circulation des ions H^+ à travers la membrane. Justifier.

On considère une cellule électrochimique produisant un courant électrique de 250 A pendant 6,0 h. La cellule est alimentée par des solutions électrolytiques de concentration en quantité de matière apportée en BQDS et H_2AQS égale à 1,0 mol·L^{-1}.

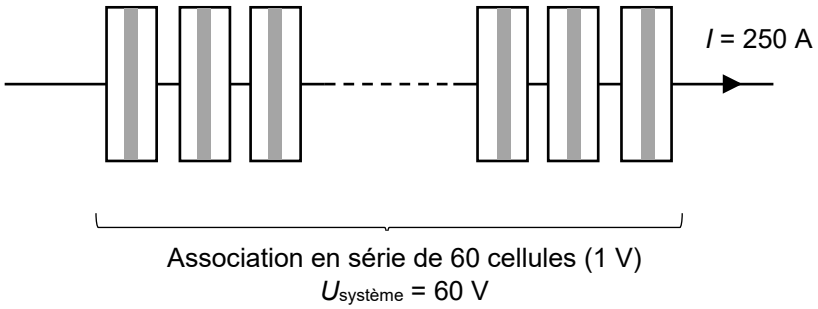
Données :

- nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02\times10^{23}$ mol^{-1} ;
- charge élémentaire $e = 1{,}6\times10^{-19}$ C ;
- constante de Faraday : $F = 96\,500$ C·mol^{-1}.
  Le Faraday est la valeur absolue de la charge électrique d'1 mol d'électrons.

Q.5. Montrer que la capacité électrique de la cellule a une valeur proche de $Q = 5{,}4 \times 10^6$ C.

Q.6. Déterminer le volume de chaque électrolyte nécessaire pour assurer le fonctionnement de cette cellule.
En déduire le volume réel sachant que seulement 70 % des électrons susceptibles d'être produits par les réactions d'oxydoréduction contribuent réellement au courant électrique.

Afin d'atteindre des puissances adaptées à une utilisation sur le réseau électrique, les batteries sont en réalité constituées de plusieurs cellules électrochimiques associées en série. On considère un système constitué d'un assemblage de 60 cellules identiques à celle étudiée précédemment.



Q.7. Déterminer le volume total de chaque électrolyte nécessaire au fonctionnement de ce système pendant 6,0 h.

Q.8. Parmi les nombreux avantages de ce type de batterie, figure sa capacité de stockage qui peut être facilement augmentée. Proposer une solution simple pour doubler la durée de fonctionnement du système étudié à puissance délivrée constante.

Pour se positionner sur le marché du stockage de l'énergie, les batteries à flux redox doivent atteindre une valeur minimale d'énergie volumique de l'ordre de 10 $W \cdot h \cdot L^{-1}$. Cette valeur correspond au quotient de l'énergie délivrée par le système (en W·h) par le volume total d'électrolytes (en L).

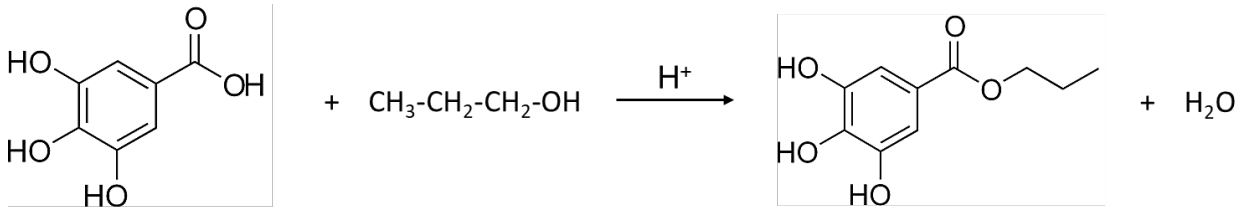
Q.9. Déterminer la puissance électrique du système.
En déduire l'énergie en W·h produite par le système lorsqu'il délivre du courant pendant 6,0 h.

Q.10. Déterminer si la batterie à flux redox étudiée peut se positionner sur le marché. Justifier.

EXERCICE 3 : le gallate de propyle (4 points)

Le gallate de propyle (E310) est un antioxydant. Il permet de prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations causées par l'oxydation, telles que le rancissement des matières grasses et les modifications de couleur. On en trouve notamment dans les chewing-gums ou les céréales du petit-déjeuner.

Le gallate de propyle (E310) peut être synthétisé à partir d'acide gallique et de propan-1-ol, en présence d'ions H^+, selon une transformation chimique modélisée par la réaction dont l'équation est donnée ci-dessous :



acide gallique gallate de propyle

D'après la réglementation NGAA (Norme Générale pour les Additifs Alimentaires), la teneur maximale autorisée de ce conservateur est de 200 mg par kilogramme d'aliment.

Q.1. Recopier sur la copie les formules de l'acide gallique et du gallate de propyle. Entourer les groupes caractéristiques modifiés lors de la transformation de l'acide gallique en gallate de propyle et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

Le mécanisme réactionnel de la synthèse comporte cinq étapes, dont les étapes 3 et 4 sont représentées sur le document fourni en **Annexe à rendre avec la copie.**

Q.2. Représenter sur l'**Annexe à rendre avec la copie** les flèches courbes de l'acte élémentaire correspondant à l'étape 3 du mécanisme, en justifiant leur sens.

Q.3. Représenter le schéma de Lewis de l'espèce chimique A obtenue lors de l'étape 4. Justifier le qualificatif d'intermédiaire réactionnel donné à cette entité.

Q.4. Indiquer le rôle joué par les ions hydrogène H^+ lors de cette transformation.

Données :

- masse molaire de l'acide gallique : $M_1 = 170{,}1\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- masse molaire du gallate de propyle : $M_2 = 212{,}2\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- masse volumique de l'huile d'olive : $\rho_{huile} = 0{,}91\ kg{\cdot}L^{-1}$.

Exercice 3

On utilise le gallate de propyle comme conservateur dans de l'huile d'olive alimentaire. On le synthétise en faisant réagir l'acide gallique avec un excès de propan-1-ol dans des conditions expérimentales où le rendement de la synthèse est de 60 %.

Q.5. Indiquer l'intérêt d'introduire en excès le propan-1-ol.

Q.6. Déterminer la masse d'acide gallique nécessaire pour obtenir 500 litres d'huile possédant la teneur maximale en conservateur autorisée par la réglementation. Commenter le résultat.

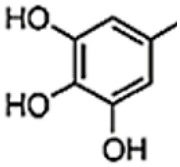
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

Annexe à rendre avec la copie

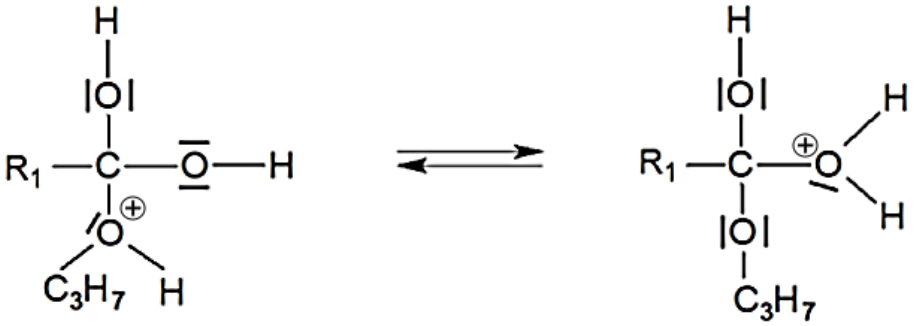
EXERCICE 3 : le gallate de propyle

Étapes 3 et 4 du mécanisme de la synthèse du gallate de propyle

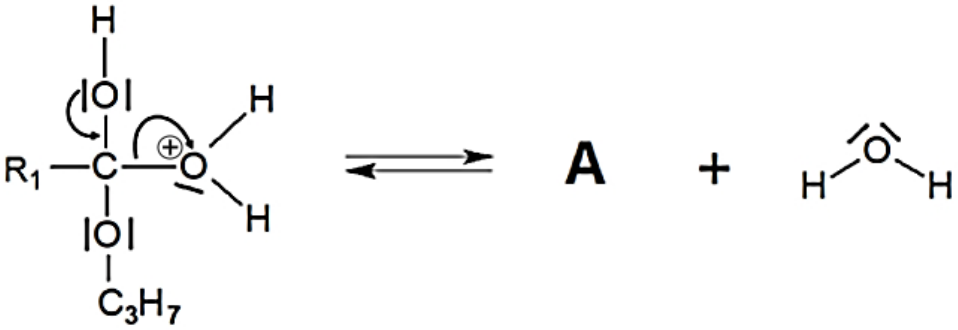
Pour simplifier l'écriture, on note R_1 le groupe suivant :



Étape 3



Étape 4



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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.