

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

SESSION 2019

Jeudi 20 juin 2019

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

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

Le sujet comporte **10** pages

La page 10 est à rendre avec la copie.

Lascaux IV, un défi technologique



La grotte de Lascaux, située en Dordogne, est l'une des plus importantes grottes ornées du Paléolithique, par le nombre et la qualité de ses œuvres. Découverte en 1940, la grotte est fermée depuis 1963 afin de la préserver.

Lascaux IV est la réplique grandeur nature de l'intégralité de la grotte de Lascaux : il aura fallu trois ans pour produire la copie parfaite. Les visiteurs peuvent à nouveau contempler ces œuvres au cœur d'un musée, le Centre International de l'Art Pariétal.

La réalisation de ce « clone » de Lascaux a constitué un véritable défi technologique. En effet, il a fallu scanner la grotte afin d'en obtenir un modèle 3D, façonner et mouler les parois, et réaliser avec une extrême précision des dessins et des gravures.

Les trois parties sont indépendantes.

PARTIE 1 : réalisation d'un scan numérique 3D à l'aide d'un laser (3,5 points)

PARTIE 2 : peintures de la grotte de Lascaux (9,5 points)

PARTIE 3 : chauffage de la salle de visite (7 points)

PARTIE 1 : réalisation d'un scan numérique 3D à l'aide d'un laser (3,5 points)

Donnée :

célérité de la lumière dans l'air : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Les LiDAR, acronyme de « Light Detection And Ranging » sont des systèmes de mesure à distance utilisant les propriétés du rayonnement laser.

Le LiDAR topographique qui a été utilisé pour construire une image de synthèse en trois dimensions de la grotte de Lascaux, effectue des mesures de distance à la fréquence de 150 000 relevés par seconde. L'appareil scanne la totalité de son champ de vision point par point en changeant sa direction de vue à chaque mesure grâce à la rotation de l'appareil lui-même ou à l'utilisation d'un système de miroirs rotatifs.



Le LiDAR est muni, entre autres, d'une sonde constituée d'un émetteur et d'un récepteur d'impulsions laser. Lors de la mesure d'une distance :

- l'émetteur de la sonde émet une impulsion laser ;
- l'impulsion laser se réfléchit sur l'obstacle (paroi de la grotte) situé à une distance d du LiDAR ;
- le récepteur de la sonde détecte l'impulsion laser réfléchie.

Dans le cas d'une des mesures réalisées dans la grotte, un oscillogramme donnant l'allure des signaux émis et reçus par le LiDAR est représenté sur le **document 1**.

Lors de cette mesure :

- à $t = t_0$ l'impulsion laser est émise ;
- à $t = t_R$ le récepteur détecte l'impulsion réfléchie.

1.1. Représenter l'expérience de mesure décrite. Le schéma devra notamment faire apparaître la distance d et le trajet du faisceau laser.

1.2. À l'aide du **document 1**, déterminer la durée Δt , entre les instants d'émission et de réception de l'impulsion laser. Présenter le résultat avec deux chiffres significatifs. En déduire une valeur de la distance d avec cette méthode.

1.3. En réalité, le système de traitement statistique du signal du LiDAR est capable de mesurer une durée Δt avec une incertitude $U(\Delta t) = 20 \cdot 10^{-12} \text{ s}$.

Pour une distance de 11 m et une durée de 70 ns, calculer l'incertitude $U(d)$ sur la mesure de la distance sachant que :

$$\frac{U(d)}{d} = \frac{U(\Delta t)}{\Delta t}$$

Le scanner 3D a permis d'obtenir le « clone numérique » de la grotte de Lascaux.

1.4. À l'aide de la question précédente, justifier le qualificatif de « clone » évoqué à propos de Lascaux IV.

PARTIE 2 : peintures de la grotte de Lascaux (9,5 points)

2.1. Pigments

Les artistes peintres mobilisés sur le chantier de Lascaux IV ont utilisé des pigments naturels. À la différence d'un colorant, un pigment n'est pas soluble dans le milieu où il est dispersé.

La famille des ocres permet d'obtenir une palette de couleurs diversifiée dans la gamme des jaunes et rouges. Deux des pigments de cette famille sont l'hématite, oxyde ferrique, et la goëthite, oxyhydroxyde de fer. Leur point commun est la présence d'un ion ferrique Fe^{3+} au centre d'un octaèdre dont les sommets sont occupés par six ligands. Le **document 2** donne les structures de chacun de ces deux complexes.

2.1.1. Donner la représentation de Lewis de l'ion HO^- .

2.1.2. Nommer en justifiant la liaison entre l'ion métallique central Fe^{3+} et chacun des ligands selon le modèle accepteur-donneur de doublet électronique.

2.1.3. Au sein de chacun des deux complexes, préciser le caractère monodenté ou polydenté de chaque ligand O^{2-} et HO^- .

2.1.4. À l'aide du **document 3**, expliquer pourquoi l'hématite est un pigment de couleur rouge.

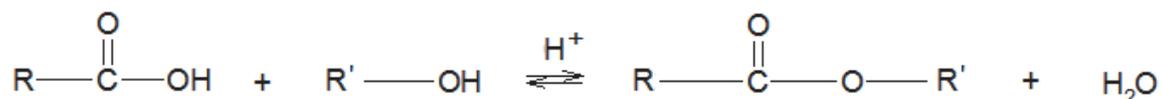
2.2. Dispersion des pigments dans un liant

La poudre de pigment n'est pas applicable directement sur un support. Pour assurer l'adhérence sur ce dernier, les particules de pigments doivent être au préalable dispersées dans une substance appelée liant.

Des liants à base d'huile de lin sont utilisés depuis le $\text{XV}^{\text{ème}}$ siècle. Leur composition est détaillée dans le **document 4**.

2.2.1. Les formules semi-développées du glycérol et de l'acide oléique sont données dans le **document réponse**. Sur ce document, entourer et nommer les groupes caractéristiques.

On rappelle qu'une des voies de synthèse d'un ester RCOOR' est la réaction d'estérification entre un acide carboxylique RCOOH et un alcool $\text{R}'\text{OH}$. L'équation s'écrit :



2.2.2. En utilisant ce modèle, écrire l'équation de la réaction de synthèse du triglycéride obtenu à partir de l'acide oléique et du glycérol.

2.2.3. La première étape du mécanisme réactionnel de la réaction d'estérification est donnée sur le **document réponse** à rendre avec la copie. Compléter ce document en faisant apparaître le mécanisme réactionnel par une flèche courbe et en indiquant le site nucléophile et le site électrophile.

2.2.4. À l'issue de la dernière étape intervenant dans le mécanisme réactionnel, l'ion H^+ est régénéré. Préciser son rôle dans la réaction d'estérification.

Les acides oléique, linoléique et linolénique, grâce à leurs doubles liaisons C=C, permettent à l'huile de lin de sécher très rapidement.

La méthode de Wijs (**document 5**) permet de déterminer le nombre de doubles liaisons d'un acide gras insaturé.

Cette méthode appliquée au cas de l'acide oléique, comprend trois étapes qui sont décrites dans le **document 6**.

Donnée : masse molaire moléculaire de l'acide oléique : $M = 282,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

2.2.5. Déterminer la quantité de matière de diiode, $n(\text{I}_2)$ titrée dans l'étape (3).

2.2.6. Montrer que la quantité de matière de chlorure d'iode $n_{\text{excès}}(\text{ICl})$ qui n'a pas réagi au cours de l'étape (1) est égale à $3,8 \times 10^{-4} \text{ mol}$.

2.2.7. En calculant la quantité d'acide oléique mise en jeu, montrer grâce à la méthode de Wijs que la molécule d'acide oléique contient bien une unique double liaison C=C.

PARTIE 3 : chauffage de la salle de visite (7 points)

3.1. Étude du système de chauffage (document 7)

Les conditions de température dans la salle de visite de Lascaux IV sont les mêmes que dans la grotte de Lascaux originale.

Pour limiter au maximum le recours aux énergies fossiles et utiliser de façon optimale les énergies renouvelables, la production de chaleur est assurée par une chaufferie biomasse prévue pour brûler des déchets de bois. Cette chaufferie est associée à une pompe à chaleur.

On s'intéresse ici au fonctionnement de la pompe à chaleur en mode « chauffage ».

La température de l'air à l'intérieur de la salle de visite doit être maintenue à $\theta_0 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$.

Si cette température est inférieure à θ_0 , un système de recyclage de l'air permet de réchauffer cet air grâce à la pompe à chaleur.

On considère la masse m d'air recyclé et chauffé.

La capacité thermique massique de l'air est notée c_{air} .

La température de l'air passe d'une valeur θ_1 à une valeur θ_2 .

Dans ce cas, l'énergie Q échangée par transfert thermique s'écrit :

$$Q = m \times c_{\text{air}} \times (\theta_2 - \theta_1),$$

où Q est en J (joule), m en kg et c_{air} en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$.

Données complémentaires :

- Débit massique d'air recyclé : $D_m = 720 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'air : $c_{\text{air}} = 1,0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$
- $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$
- 1 kWh coûte environ $0,09 \text{ €}$

- 3.1.1.** Compléter le schéma du principe de fonctionnement de la pompe à chaleur de la salle de visite, sur **le document réponse** à rendre avec la copie, avec les termes **compresseur, détendeur, évaporateur et condenseur**.
- 3.1.2.** En l'absence de visiteurs la nuit, la température de l'air de la salle de visite diminue significativement. Cet air doit être régulièrement recyclé et chauffé. Calculer l'énergie Q échangée en 1,0 h pour passer d'une température de 12 °C à la température de 16 °C. Exprimer le résultat en joule puis en kWh.
- 3.1.3.** Le coefficient de performance de la pompe à chaleur étant $COP = 4,0$, calculer la valeur de l'énergie électrique consommée en 1,0 h.
- 3.1.4.** En déduire une estimation du coût de 12 h de fonctionnement du chauffage de la salle de visite dans ces conditions.

3.2. Régulation du système de chauffage

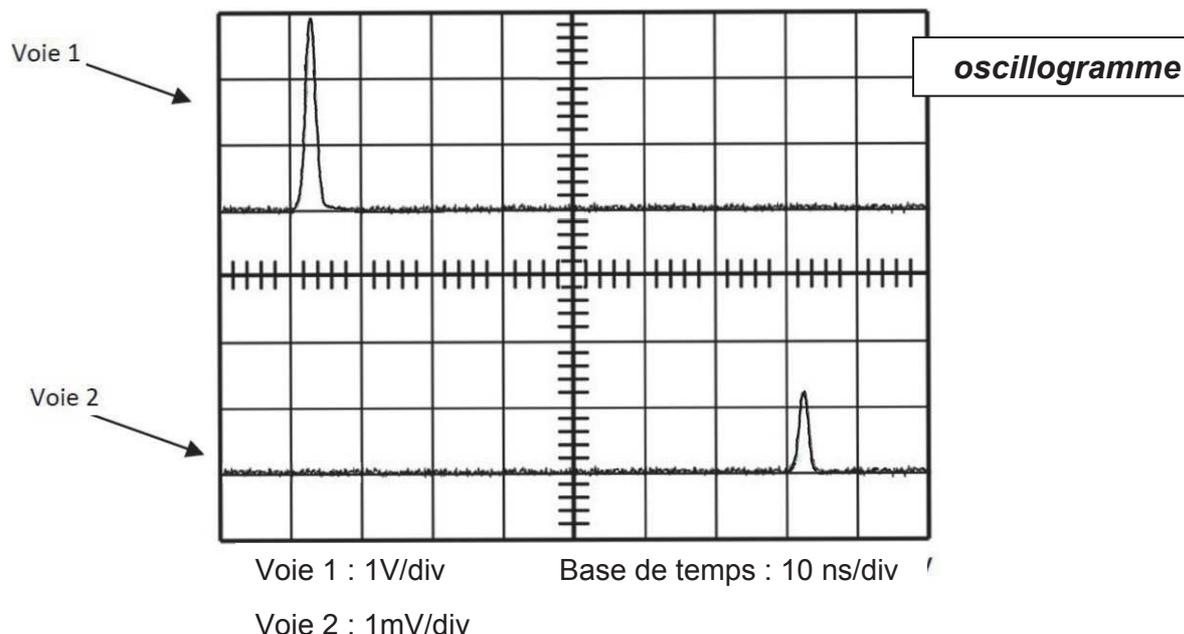
Pour maintenir l'air de la salle de visite à la température souhaitée de 13 °C, une boucle de régulation de la température est utilisée. Le débit d'air recyclé est alors ajusté.

- 3.2.1.** Établir le schéma fonctionnel de cette boucle :
- placer le régulateur, le capteur-transmetteur, l'actionneur et le procédé.
 - indiquer la consigne W , la perturbation Z , la commande Y , la mesure X et la grandeur réglée.

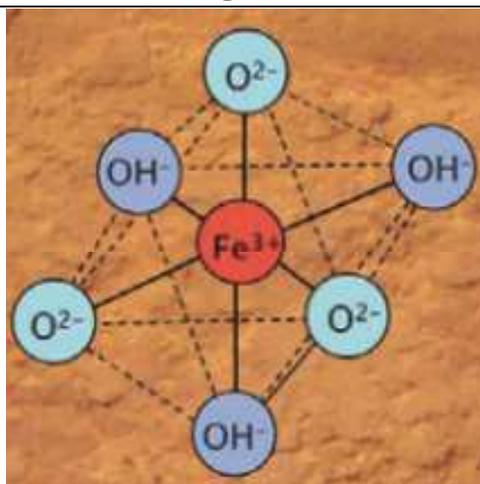
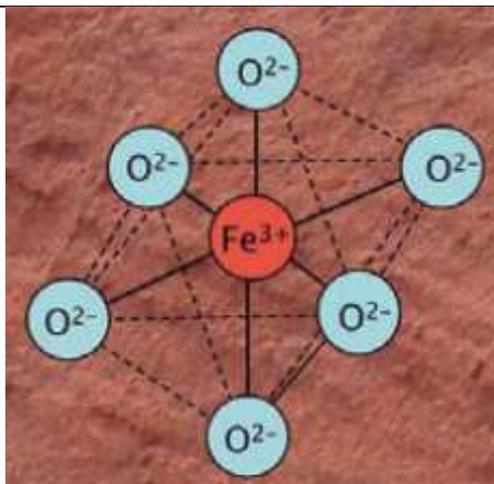
Pour contrôler la température à différents endroits de la salle de visite, on utilise des capteurs-transmetteurs de température (**document 8**) qui délivrent en sortie une tension variant entre 0 V et 10 V. Les capteurs de température associés sont les thermistances Pt100.

- 3.2.2.** Donner le rôle du capteur-transmetteur.
- 3.2.3.** Indiquer les grandeurs réglante et réglée.
- 3.2.4.** Indiquer également la valeur de la consigne.
- 3.2.5.** Donner un exemple de grandeur perturbatrice.

Document 1 : mesure d'une distance dans la grotte



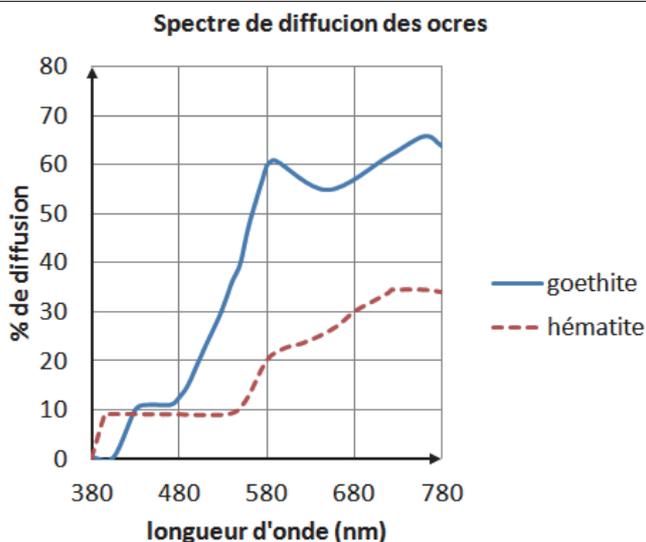
Document 2 : structures de l'hématite et de la goéthite



Document 3 : la couleur des ocres

Le secret de la couleur des ocres réside dans la présence de l'ion Fe^{3+} et de son environnement.

Cette couleur est due aux phénomènes d'absorption et de diffusion de la lumière. Ces phénomènes dépendent de la longueur d'onde de la lumière. Les longueurs d'onde diffusées déterminent la couleur des ocres.



Document 4 : huile de lin

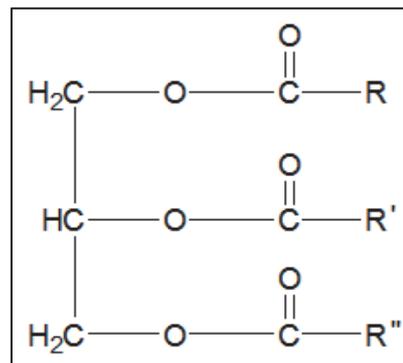
L'huile de lin est principalement constituée d'un mélange de triglycérides (molécule représentée ci-contre).

Un triglycéride est un triester formé à partir d'un trialcool (le glycérol) et d'acides carboxyliques à longue chaîne carbonée dits « acides gras ». Ces chaînes carbonées sont très majoritairement insaturées : elles possèdent une, deux ou trois doubles liaisons C=C.

R, R' et R'' représentent des chaînes carbonées.

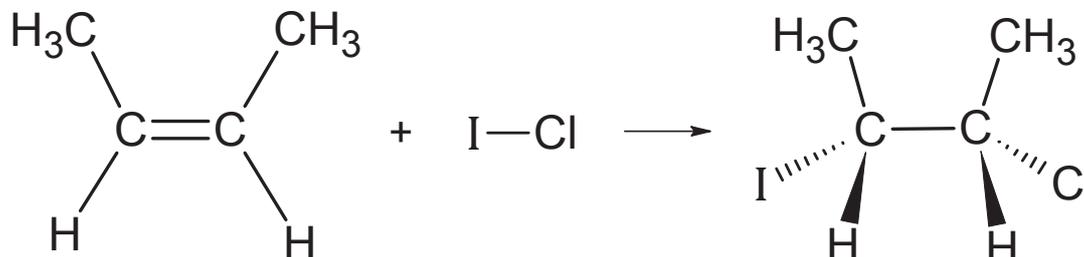
Quelques exemples de chaînes carbonées et de l'acide gras dont elles sont issues :

- $-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ issu de l'acide oléique ;
- $-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$ issu de l'acide linoléique ;
- $-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ issu de l'acide linoléique.



Document 5 : principe de la méthode de Wijs

Pour déterminer le nombre N_d de doubles liaisons dans un acide gras, on utilise la réactivité de la double liaison C=C. Chaque double liaison est le siège d'une transformation modélisée par la réaction d'équation :



Le chlorure d'iode ICl est introduit en excès. Le titrage de cet excès permet ensuite la détermination du nombre de doubles liaisons dans la molécule suivant la relation :

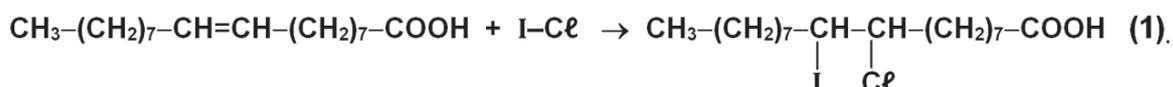
$$N_d = \frac{n_r(\text{ICl})}{n(\text{acide gras})}$$

où $n_r(\text{ICl})$ est la quantité de matière de chlorure d'iode ayant réagi au cours de la réaction et $n(\text{acide gras})$, la quantité de matière initiale en acide gras.

Document 6 : protocole opératoire de la méthode de Wijs dans le cas de l'acide oléique

• Étape 1 : action du chlorure d'iode

Dans un erlenmeyer, on introduit $n_I(\text{ICl}) = 1,1 \cdot 10^{-3}$ mol de chlorure d'iode, 250 mL de cyclohexane et $m = 0,20$ g d'acide oléique. On bouche l'erlenmeyer et on le place à l'obscurité pendant 45 minutes en agitant régulièrement. La transformation qui a lieu dans cette étape est modélisée par la réaction d'équation :



• Étape 2 : transformation de ICl en excès en diiode

L'excès de chlorure d'iode ne peut pas être titré facilement.

On ajoute donc dans l'erlenmeyer 20,0 mL d'une solution d'iodure de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq})$) et 100 mL d'eau distillée. On agite et on attend quelques minutes dans l'obscurité.

Le chlorure d'iode en excès est alors transformé intégralement en diiode selon l'équation de la réaction suivante :



• Étape 3 : titrage du diiode

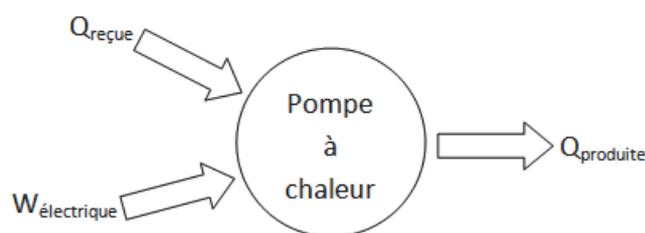
Le diiode formé au cours de la deuxième étape est titré par une solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$) de concentration molaire $c_0 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en présence d'empois d'amidon selon la transformation totale d'équation :



Le volume de solution de thiosulfate de sodium versé à l'équivalence est : $V_E = 7,6 \text{ mL}$.

Document 7 : échanges d'énergie dans la pompe à chaleur

Échanges d'énergie dans la pompe à chaleur :



Q_{produite} : énergie produite par la pompe sous forme thermique
 $Q_{\text{reçue}}$: énergie reçue de l'extérieur sous forme thermique
 $W_{\text{électrique}}$: énergie électrique consommée

Définition du COP (Coefficient de Performance) d'une pompe à chaleur :

Le coefficient de performance est défini par la relation : $\text{COP} = \frac{Q_{\text{produite}}}{W_{\text{électrique}}}$

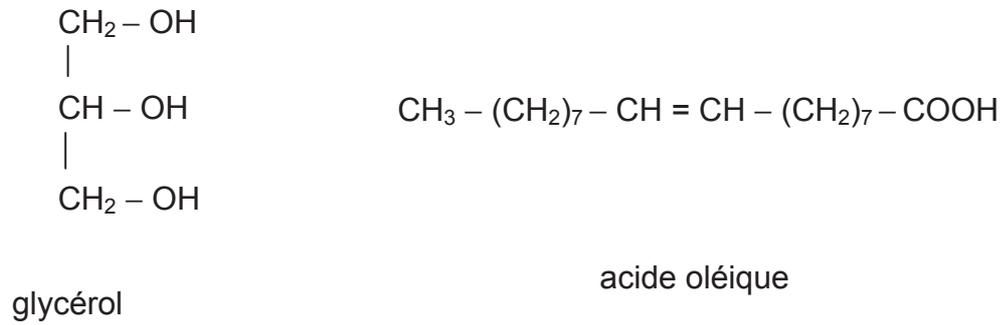
Document 8 : capteur-transmetteur de température



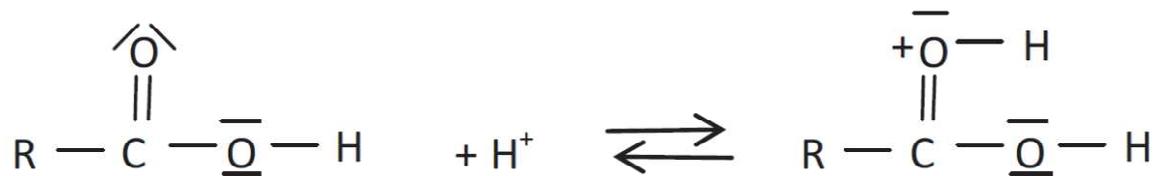
La résistance du capteur Pt100 varie en fonction de la température.
 Le transmetteur utilisé est un convertisseur analogique.
 Il convertit la valeur de résistance en signal normalisé de $0 \rightarrow 10 \text{ V}$.
 Le signal de sortie est proportionnel à la température exprimée en $^{\circ}\text{C}$.

Document réponse à rendre avec la copie

Question 2.2.1.



Question 2.2.3 :



Question 3.1.1. :

