

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Sciences physiques et chimiques en laboratoire

Sujet zéro

Durée de l'épreuve : **3 heures**

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

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

Dès que ce document vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce document comporte **17** pages numérotées de **1/17** à **17/17**.

Le candidat traite 3 parties : la partie 1, puis il choisit 2 parties parmi les 3 proposées.

Les missions du bateau Tara

Tara est un bateau équipé pour étudier les effets du changement climatique. Il est conçu pour des missions au niveau des pôles pour l'étude de la fonte des glaces comme pour des missions dans les océans plus chauds.

Depuis 2002, il a permis de réaliser onze expéditions scientifiques. Deux missions sont abordées dans ce sujet : la mission Tara Arctic pour l'étude de la fonte des glaces et la mission Tara Océans pour l'étude de l'impact de l'acidification des océans.



Tara Arctic



Tara Océans

Mission Tara Arctic

Avec le projet TARA ARCTIC, dès septembre 2006, Tara se fait enserrer par la banquise de l'océan Arctique. L'expédition va durer plus de 500 jours ; elle vise à observer, comprendre et quantifier les changements climatiques en Arctique. Les scientifiques embarqués ont pour mission de faire des mesures concernant l'ensemble « atmosphère-banquise-océan ».

Nous nous intéresserons ici à l'évaluation de l'épaisseur de la banquise.

Le sujet comporte quatre parties indépendantes :

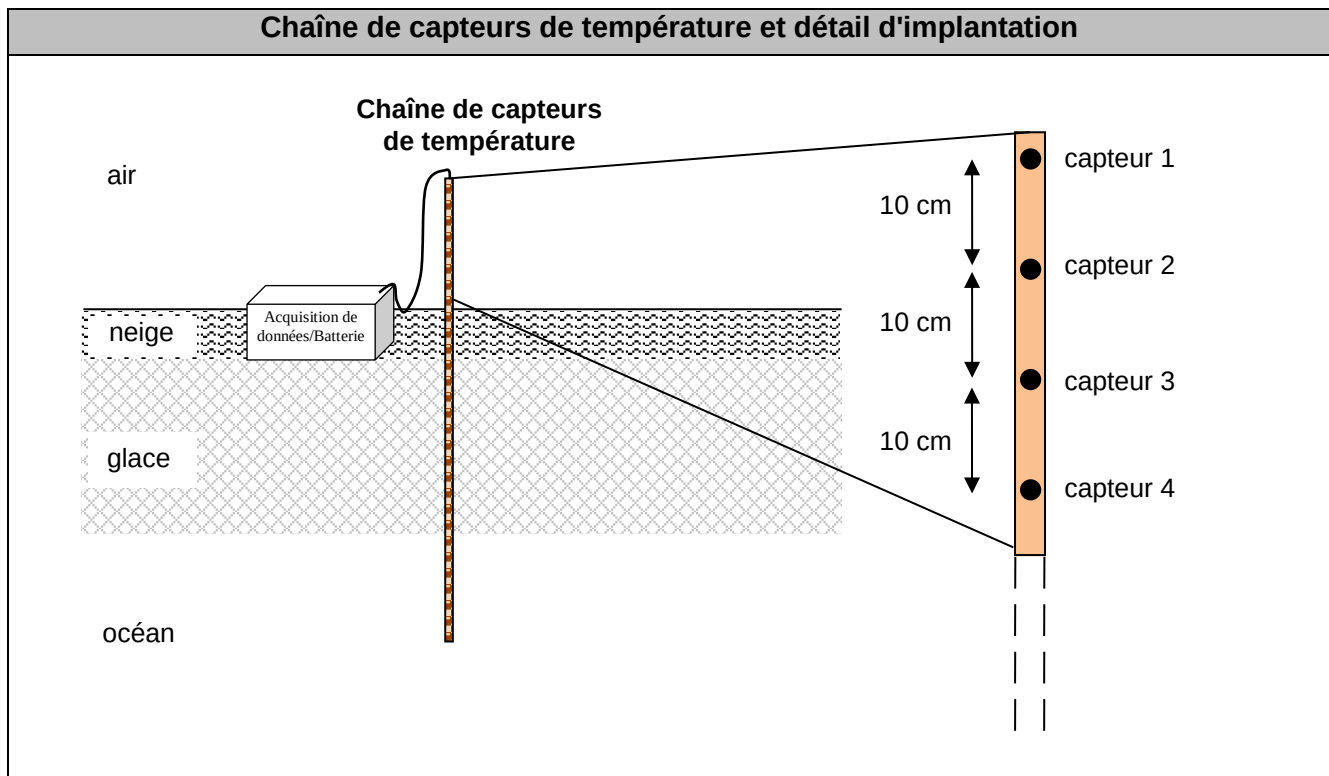
Partie 1	Détermination de la hauteur de glace avec une chaîne de capteurs de température et régulation de température dans le laboratoire sec	Le candidat traite obligatoirement la partie 1.
Parties au choix du candidat	Partie A – Observation de cyanobactéries au microscope	Le candidat traite <u>deux parties</u> qu'il choisit parmi les parties A, B, C.
	Partie B – Limitation de l'empreinte carbone lors des déplacements de Tara	
	Partie C – Contrôle de la qualité d'un lait avant fabrication de yaourts	

PARTIE 1 commune à tous les candidats (10 points)

Détermination de la hauteur de glace avec une chaîne de capteurs de température et régulation de température dans le laboratoire sec

1. Détermination de la hauteur de glace avec une chaîne de capteurs de température

Un des procédés utilisés pour la mesure de la hauteur de glace est constitué d'un ensemble de 30 capteurs de température espacés de 10 cm et fixés sur une tige verticale traversant la glace. La chaîne de capteurs ainsi constituée permet de déterminer l'évolution de la température en fonction de l'altitude dans les différentes couches air/neige/glace/océan.



Dans un premier temps, l'étude des transferts thermiques entre l'océan et l'air à travers la couche de glace de la banquise est faite en négligeant l'épaisseur de neige.

1) Citer les 3 modes possibles de transfert thermique.

La puissance thermique échangée à travers une couche de glace peut s'écrire sous la forme :

$$\phi = \frac{\theta_{\text{zone chaude}} - \theta_{\text{zone froide}}}{R_{Th}} \text{ avec } R_{Th \text{ glace}} = \frac{e}{\lambda_{\text{glace}} \times S}$$

Avec S : surface d'échange thermique ;

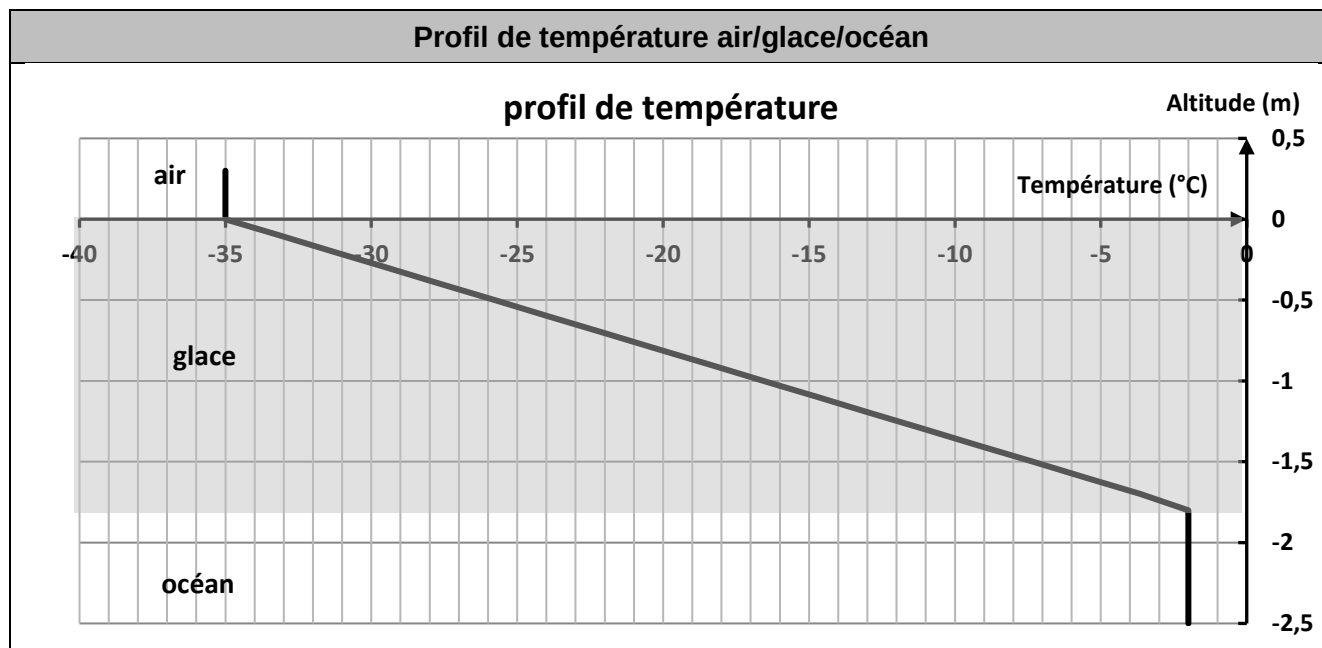
e : épaisseur moyenne de la glace ;

θ : température de la zone chaude ou froide ;

λ_{glace} : conductivité thermique de la glace exprimée en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

2) Préciser, en justifiant, l'unité de la résistance thermique.

On considère une couche de glace d'épaisseur moyenne $e = 1,80$ m. On a établi un modèle du profil de température représentant l'évolution de la température en fonction de l'altitude dans les différentes couches air/glace/océan.

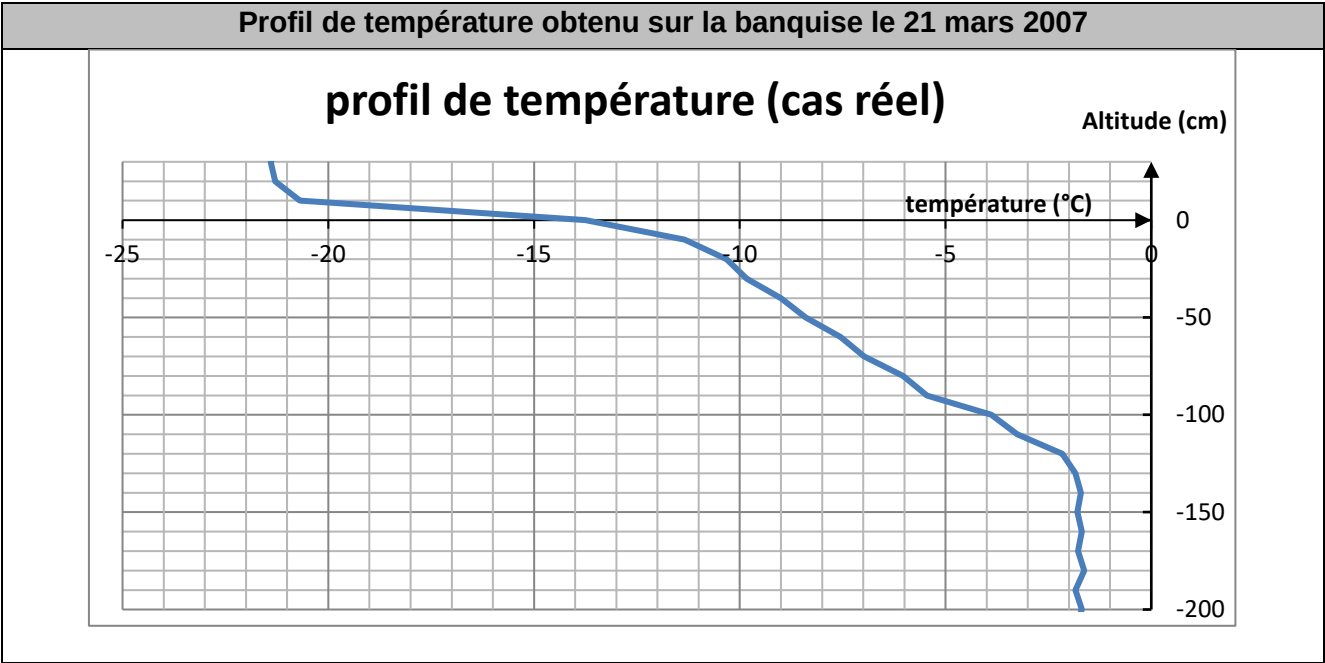


- 3) À partir du graphe du profil de température, déterminer la température dans l'air et la température dans l'océan.
- 4) Indiquer le sens de transfert de la puissance thermique à travers la glace, entre l'air et l'océan.

Dans un deuxième temps, nous considérons une banquise de surface égale à 10 m^2 avec une épaisseur de neige de 10 cm au-dessus de 1,80 m de glace. La conductivité thermique de la neige λ_{neige} est égale à $0,11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

- 5) Calculer la valeur de la résistance thermique $R_{Th \text{ neige}}$ de la couche de neige.
- 6) Faire un schéma simple représentant les deux couches (glace + neige) et indiquer le sens de transfert de la puissance thermique à travers chacune des deux couches entre l'air et l'océan.
- 7) Donner l'expression de la résistance thermique $R_{Th \text{ total}}$ de l'ensemble des deux couches (glace + neige) en fonction de la résistance thermique de chacune des couches et des données du problème.
- 8) Sachant que la valeur de la résistance thermique de la couche de glace est $R_{Th \text{ glace}} = 86 \times 10^{-3} \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$, calculer la valeur de la résistance thermique de l'ensemble des deux couches.
- 9) Discuter de la pertinence de l'approximation effectuée dans les premières questions, qui ne tient compte que de l'épaisseur de glace.
- 10) Déterminer alors la valeur de la puissance thermique traversant les deux couches.
- 11) Sachant que la température à l'interface neige/glace vaut -18 °C , compléter le profil de température du **document réponse 1, page 14/17**.

Le 21 mars 2007, les membres de l'expédition Tara chargés de déterminer l'épaisseur de glace ont récupéré les mesures obtenues sur les capteurs de la chaîne de température. Le graphe ci-après représente l'évolution de la température en fonction de l'altitude.



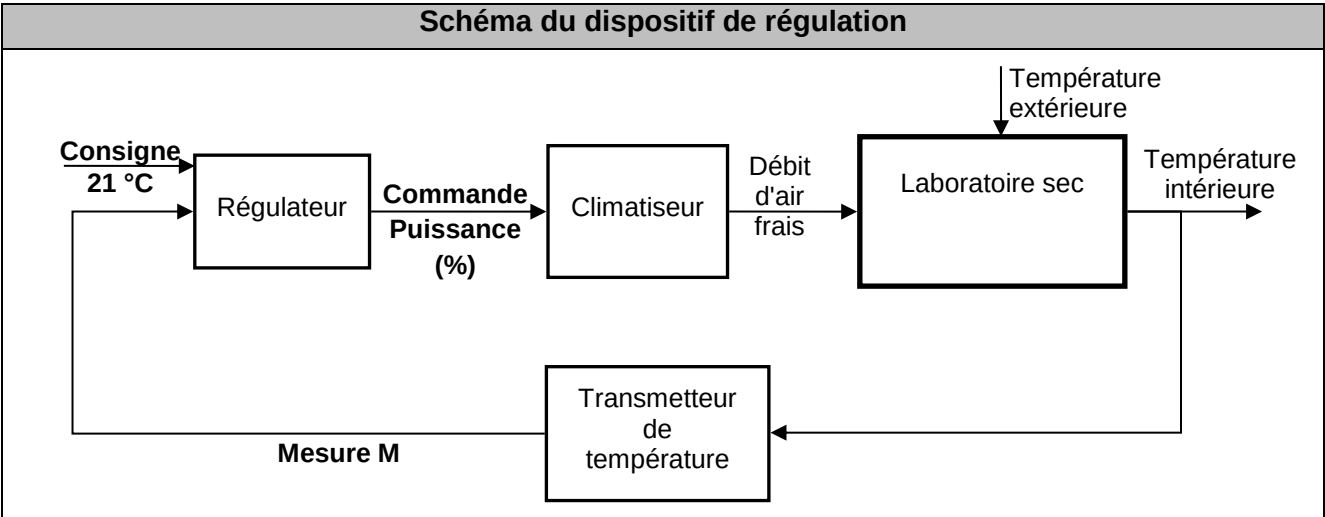
- 12) En vous appuyant sur l'étude précédente et sur les résultats expérimentaux, en proposer une méthode graphique utilisant le **document réponse 2, page 14/17**, pour déterminer la hauteur de la couche de neige et celle de la glace.

2. Régulation de température dans le laboratoire sec

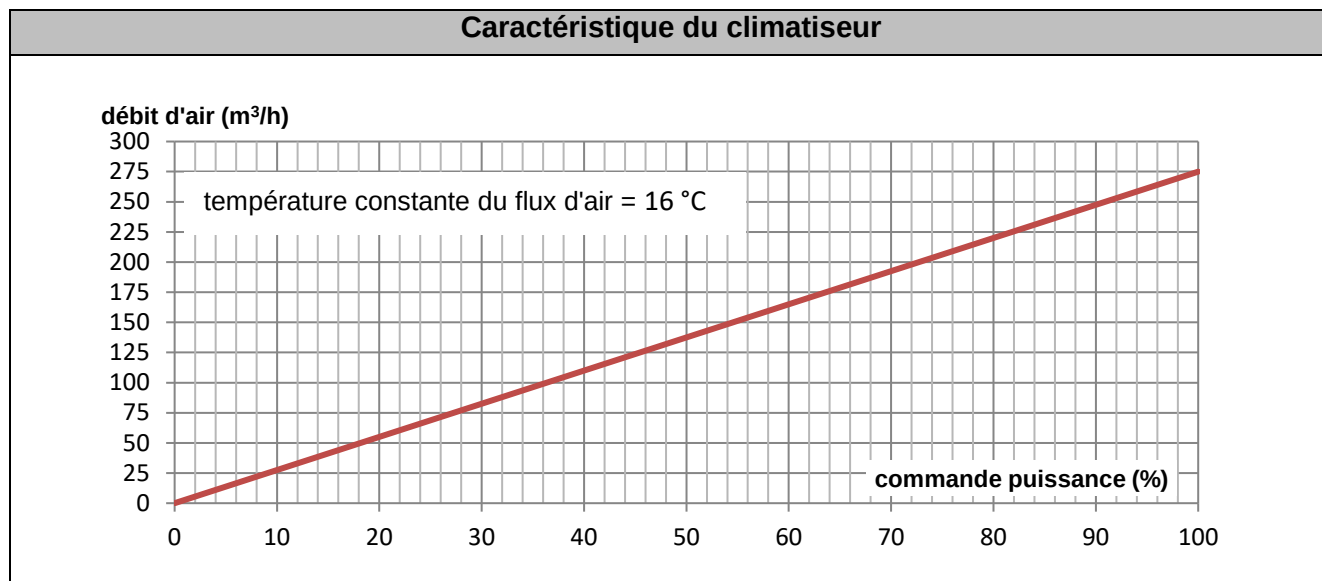
Le bateau construit pour résister aux glaces des régions polaires est aussi aménagé pour s'adapter aux zones chaudes. Afin d'accueillir à bord de nouveaux instruments scientifiques, une cabine a été transformée en laboratoire appelé laboratoire sec. Pour réaliser les mesures sur les échantillons marins avec une grande précision, le cahier des charges impose que la température du laboratoire soit maintenue à une valeur de $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Dans cette partie, on étudie le dispositif de régulation associé au climatiseur.

Présentation du dispositif de régulation de température

La température intérieure du laboratoire sec est régulée par le débit d'air frais de température constante fourni par le climatiseur. La valeur de la température de cet air frais est 16 °C .



L'évolution du débit d'air frais fourni par le climatiseur en fonction de la commande en puissance du régulateur exprimée en % est donnée par le graphe suivant.



Une régulation « tout ou rien » est mise en œuvre (TOR).

- 13) Rappeler le principe de la régulation en « tout ou rien » et donner les deux valeurs possibles de la commande dans le cas d'une régulation TOR. Préciser les valeurs des débits d'air frais associés.
- 14) Proposer un algorithme permettant de fixer la valeur de la commande en fonction de la mesure et de la consigne pour une régulation en « tout ou rien » à un seuil.
- 15) Le premier graphique du **document réponse 3, page 15/17**, représente l'évolution de la mesure au cours du temps. Compléter le second graphique de ce document en traçant les variations de la commande en concordance de temps avec la mesure M.
- 16) En justifiant votre réponse, indiquer si le cahier des charges est respecté.

PARTIES au choix du candidat (10 points)

Vous indiquerez sur votre copie **les 2 parties choisies** : A ou B ou C

PARTIE A : Observation de cyanobactéries au microscope (5 points)

Mots clés pour la partie A : microscope, diamètre apparent d'un objet.

Les cyanobactéries (également appelées « algues bleues »), dont la taille moyenne vaut $0,6\ \mu\text{m}$, constituent une part importante de la nourriture de nombreuses espèces d'animaux filtreurs (éponges, moules, huîtres...) ou de larves de poissons.

Le laboratoire sec de Tara est équipé d'instruments permettant d'étudier la diversité du plancton. Dans cette partie, nous analyserons le fonctionnement d'un microscope afin d'observer des cyanobactéries.

Microscope modélisé

Un microscope est constitué :

- d'un objectif modélisé par une lentille mince convergente L_1 de distance focale f_1 ;
- d'un oculaire modélisé par une lentille mince convergente L_2 de distance focale f_2 .

Le microscope est utilisé pour observer une cyanobactérie modélisée par un objet AB perpendiculaire à l'axe optique du microscope, le point A étant supposé placé sur l'axe.

On appelle A_1B_1 l'image de AB à travers l'objectif (L_1) et A_2B_2 l'image de A_1B_1 à travers l'oculaire (L_2).

La **figure 1 du document réponse 4, page 16/17**, permet d'illustrer le principe d'un microscope sans tenir compte de l'échelle.

- 1) Tracer deux rayons qui permettent de construire l'image B_1 de B à travers la lentille L_1 . Préciser les caractéristiques des deux rayons tracés.
- 2) L'image intermédiaire se situe dans le plan focal objet de L_2 . Préciser où se trouve l'image définitive A_2B_2 .
- 3) Justifier le résultat précédent par une construction graphique sur le **document réponse 4, page 16/17**.
- 4) Quel intérêt présente la position de l'image A_2B_2 à la sortie du système optique ?

Grossissement

Le grossissement d'un microscope est donné par la relation $G = \frac{\theta'}{\theta}$

- θ désigne le diamètre apparent de l'objet observé à l'œil nu, à 25 cm de cet objet ;
- θ' désigne le diamètre apparent de l'image A_2B_2 observée à travers le microscope.

Le pouvoir séparateur de l'œil est l'angle minimal séparant deux points objets pouvant être nettement distingués. Il vaut $3,0 \times 10^{-4}$ rad.

On rappelle que dans le cas des petits angle $\sin \theta \approx \theta$ et $\tan \theta \approx \theta$.

La taille moyenne d'une cyanobactérie vaut $0,6\ \mu\text{m}$.

- 5) Montrer que son diamètre apparent vaut $\theta = 2,4 \times 10^{-6}$ rad.
- 6) La cyanobactérie est-elle observable à l'œil nu ? Justifier la réponse.
- 7) Quelle est la valeur minimale du grossissement du microscope permettant d'observer la cyanobactérie ?

Le grossissement G du microscope peut être calculé à partir du grandissement γ_{ob} de l'objectif et du grossissement G_{oc} de l'oculaire par la relation : $G = |\gamma_{ob}| \times G_{oc}$.

- 8) Expliquer ce que représente le grandissement de l'objectif.
- 9) Parmi les objectifs suivants, déterminer celui qui peut être utilisé pour observer une cyanobactérie de taille moyenne. Justifier la réponse.

Caractéristiques des objectifs et oculaire	
Objectifs	
Oculaire	Grossissement $G_{oc} = 10$

PARTIE B : Limitation de l'empreinte carbone lors des déplacements de Tara (5 points)

Mots clés pour la partie B : groupes caractéristiques, estérification ; mécanismes réactionnels ; rendement d'une synthèse ; spectroscopie RMN.

Même si la goélette Tara navigue le plus souvent à la voile, elle a parfois recours à ses moteurs alimentés en carburant dont on désire limiter le coût énergétique et l'empreinte carbone. Dans cette perspective, les biocarburants pourraient être un substitut ou un complément au gasoil.

Le biodiesel
source : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/biocarburants#e2>

Les huiles végétales et les graisses animales ne peuvent pas être utilisées telles quelles pour l'alimentation des moteurs diesel modernes. Elles sont transformées par une réaction chimique appelées « transestérification ».

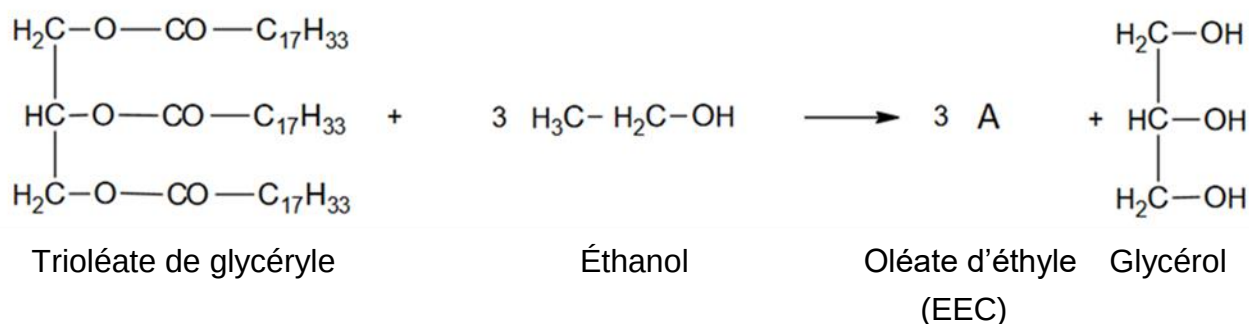
La transestérification consiste à faire réagir un ester avec un alcool pour le transformer en un autre ester.

Si l'alcool utilisé pour effectuer cette transformation est de l'éthanol, on obtient un ester éthylique d'acide gras. Cette voie est encore peu développée car elle présente des contraintes techniques de production. Il s'agit cependant d'un procédé innovant qui offre des débouchés pour le bioéthanol dans la filière gasoil.



L'objectif de cette partie est l'étude de la synthèse d'un ester éthylique d'acide gras par transestérification : l'**EEC** ainsi nommé car il s'agit d'un ester ethylique d'une huile végétale issue des graines de colza.

L'huile de colza est composée majoritairement de trioléate de glycéryle. Sa transestérification s'effectue en milieu basique [présence d'hydroxyde de potassium ($K^+(aq)$, $HO^-(aq)$)] et en présence d'un excès d'éthanol. L'équation de la réaction chimique modélisant cette transformation est :



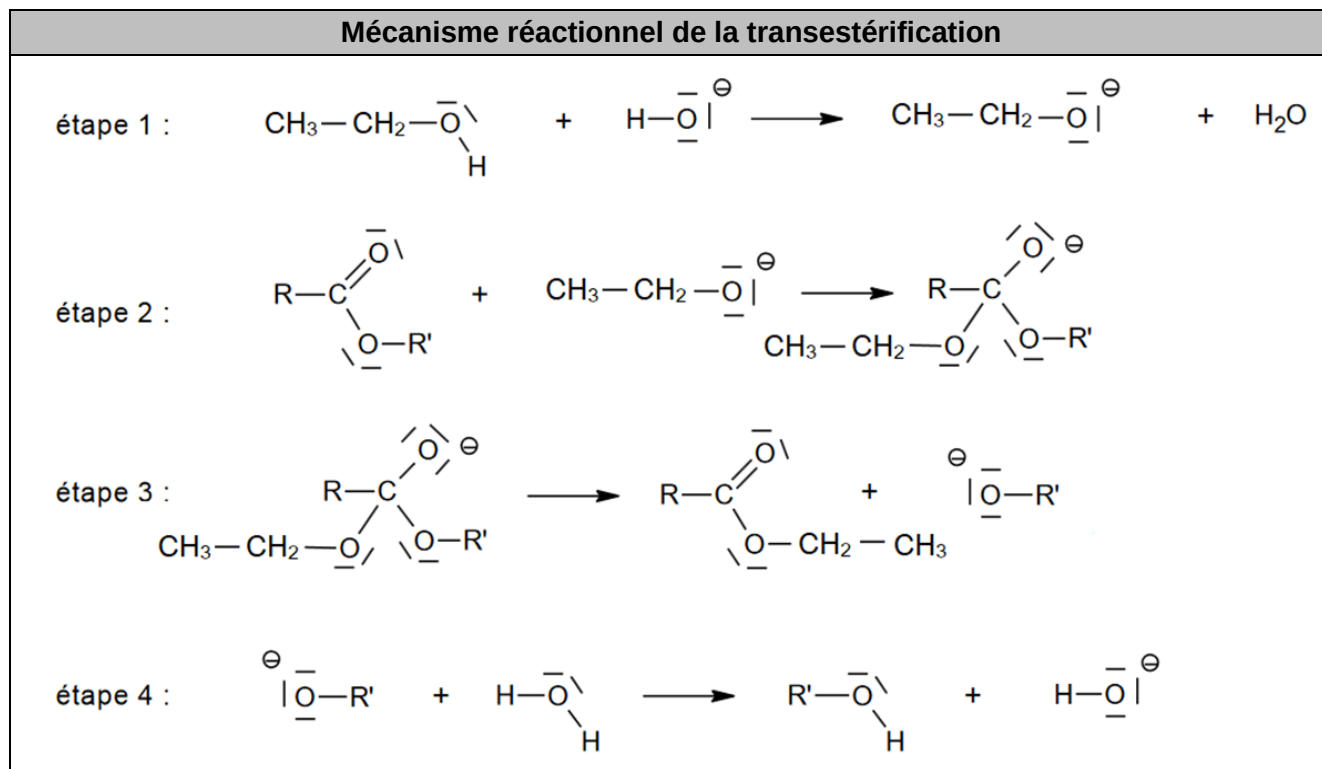
Données :

	Formule brute	Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Masse volumique ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 15 °C)
Oléate d'éthyle (EEC)	$\text{C}_{20}\text{H}_{38}\text{O}_2$	310	880

- 1) Sur le **document réponse 5, page 17/17**, à rendre avec la copie, entourer les groupes caractéristiques du glycérol et nommer les fonctions chimiques associées.
- 2) Sans développer le groupe $-C_{17}H_{33}$, donner la formule développée de la molécule A (oléate d'éthyle).

On donne ci-dessous les étapes élémentaires du mécanisme réactionnel d'une transestérification d'un ester simple.

Dans le cas du trioléate de glycéryle, la transestérification a lieu sur les trois groupes caractéristiques présents.



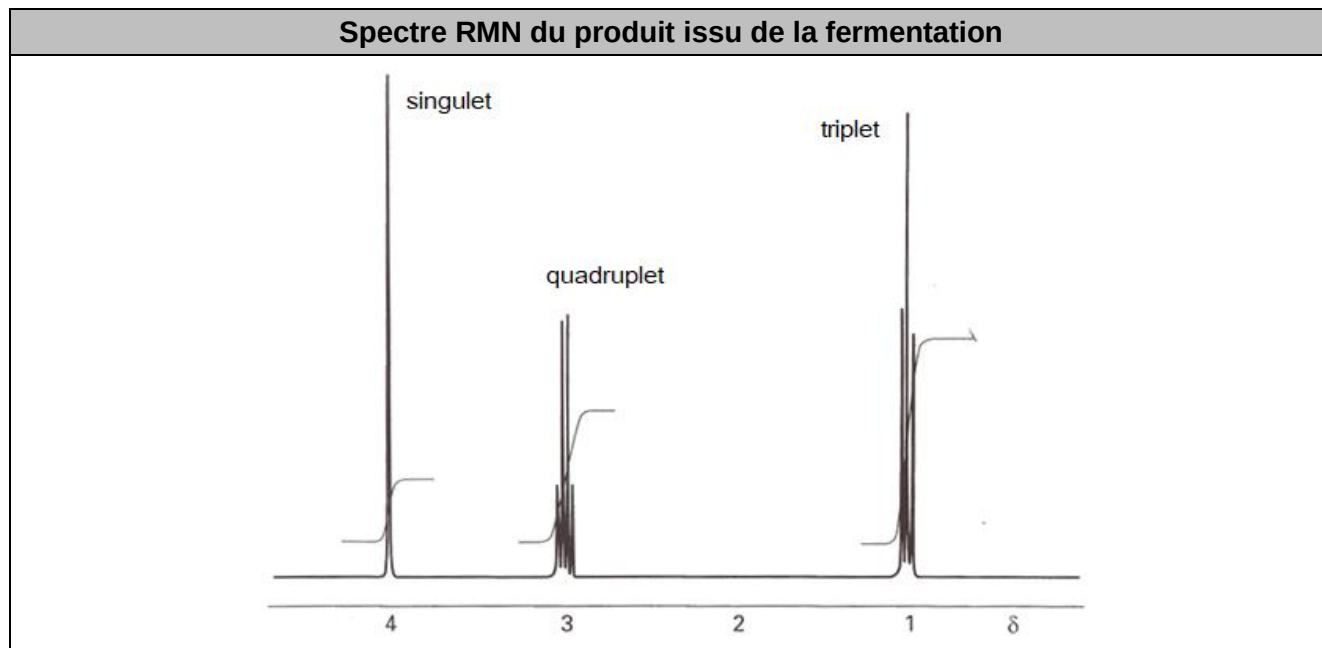
- 3) Indiquer ce que représentent les flèches courbes dans l'écriture d'un mécanisme réactionnel.
- 4) Compléter par des flèches courbes l'étape 2 du mécanisme élémentaire de transestérification sur le **document réponse 6, page 17/17**, à rendre avec la copie.
- 5) Écrire l'équation de la réaction chimique modélisant au niveau macroscopique la transestérification, modélisée au niveau microscopique par le mécanisme réactionnel écrit ci-dessus.

La transestérification de l'huile de colza se déroule en présence d'un excès d'éthanol. La chaîne de fabrication d'EEC montre que 1 150 kg d'huile de colza permettent d'obtenir 1 200 L d'EEC.

- 6) Montrer que cette transestérification permet d'obtenir $1,06 \times 10^3$ kg d'EEC et déduire la quantité de matière d'ECC obtenue notée $n_{obtenue}$.
- 7) La valeur maximale de la quantité de matière d'EEC qu'il est possible d'obtenir avec cette réaction est $n_{max} = 3,90 \times 10^3$ mol.
Déterminer la valeur du rendement de la synthèse d'EEC.
- 8) Expliquer l'intérêt de réaliser la synthèse de transestérification avec un excès d'éthanol.

Afin de valoriser la filière écologique, l'éthanol utilisé dans la transestérification est du bioéthanol provenant de la fermentation de matières premières végétales.

On cherche à vérifier que le produit issu de la fermentation est bien de l'éthanol en réalisant une analyse par spectroscopie RMN.



- 9) Montrer que le nombre de signaux présents dans ce spectre est en accord avec la formule semi-développée de l'éthanol.
- 10) En admettant que le proton du groupe –OH ne présente pas de couplage avec les autres protons de la molécule d'éthanol, justifier la multiplicité de chaque signal.

PARTIE C : Contrôle de la qualité d'un lait avant fabrication de yaourts (5 points)

Mots clés pour la partie C : composition des systèmes chimiques, titrage acide-base, stéréoisomères.

Le lait est un aliment d'un grand intérêt nutritionnel dont la difficulté de conservation a été palliée, depuis longtemps, par sa transformation sous forme de laits fermentés, de yaourt ou de fromage. Ces transformations font intervenir des ferments lactiques dont l'action conduit à la libération d'acide lactique qui entraîne la coagulation des caséines et la prise en masse du lait.

Pour que le lait soit utilisable pour la fabrication de yaourt, il ne doit pas contenir plus de $2,16 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ d'acide lactique avant l'ensemencement par les ferments lactiques. Au-delà de $5,00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ d'acide lactique, il présente un risque de caillage.

Dans le cadre d'une production de yaourts, des contrôles qualité sont mis en place sur la matière première et sur le produit fini afin de vérifier leur conformité vis-à-vis des exigences imposées. Un des contrôles qualité consiste à vérifier la concentration en acide lactique initiale du lait pasteurisé utilisé pour la production des yaourts.

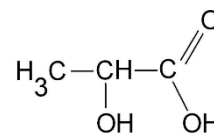
D'après un sujet d'évaluation des compétences expérimentales en biotechnologie, Baccalauréat technologique STL Session 2013.

Dans le lait et les produits laitiers, l'acide lactique provient de la dégradation du lactose par des bactéries. Plus un lait est frais, moins il contient d'acide lactique. La concentration en acide lactique dans un lait s'exprime en degrés Dornic ($^{\circ}\text{D}$) : 1°D correspond à $0,1 \text{ g}$ d'acide lactique par litre de lait. Un lait frais contient de 15 à 18°D , il caille à $60 - 70^{\circ}\text{D}$.

D'après un article de la Société chimique de France
<http://www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/acide-lactique.html>.

La structure de l'acide lactique a été établie par Johannes Wislicenus en 1873.

L'acide lactique est un acide organique très soluble dans l'eau qui joue un rôle dans divers processus biochimiques.



Données :

- masse molaire moléculaire de l'acide lactique $M = 90,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- pK_a du couple acide lactique/ion lactate à 25°C , $pK_a = 3,90$;
- caractéristiques de quelques indicateurs colorés :

Indicateur coloré	Teinte pour $pH < pH_1$	Zone de virage $pH_1 - pH_2$	pK_A	Teinte pour $pH > pH_2$
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	3,7	jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	3,8 – 5,4	4,7	bleu
Rouge de méthyle	Rouge	4,2 – 6,3	5,1	jaune
Bleu de bromothymol (B.B.T.)	Jaune	6,0 – 7,6	7,0	bleu
Phénolphtaléine	Incolore	8,2 – 10,0	9,4	rose-violet

- 1) Justifier le fait que l'acide lactique présente des stéréo-isomères, puis les représenter et préciser la relation de stéréo-isomérisie qui les lie.
- 2) Représenter la formule semi-développée de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

Afin de contrôler la qualité d'un lait avant la fabrication de yaourts, on réalise le titrage d'un volume $V = 10,00 \text{ mL}$ de ce lait auquel on ajoute 40 mL d'eau par une solution étalonnée d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$, $\text{OH}^-(\text{aq})$) de concentration: $C_{\text{HO}^-} = 0,015 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le titrage est suivi par suivi pH-métrie. Les résultats obtenus sont présentés, sous forme graphique (figure 1).

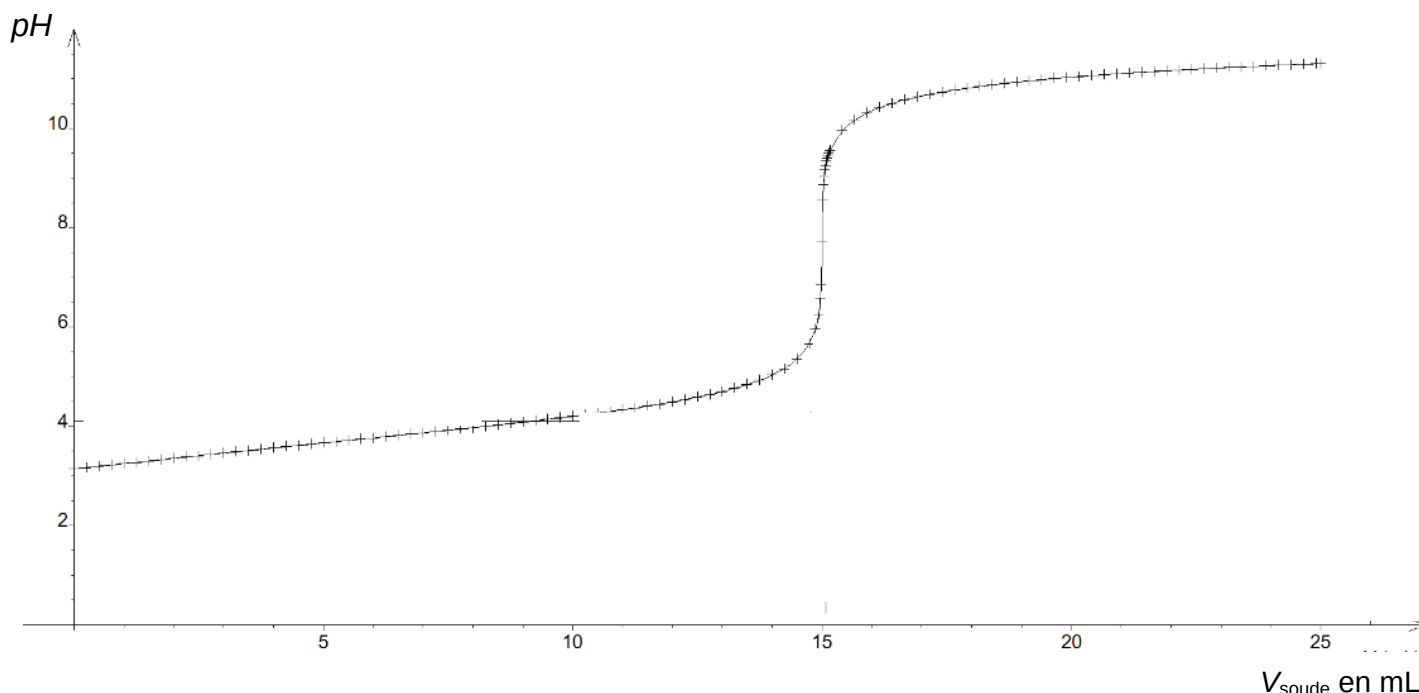


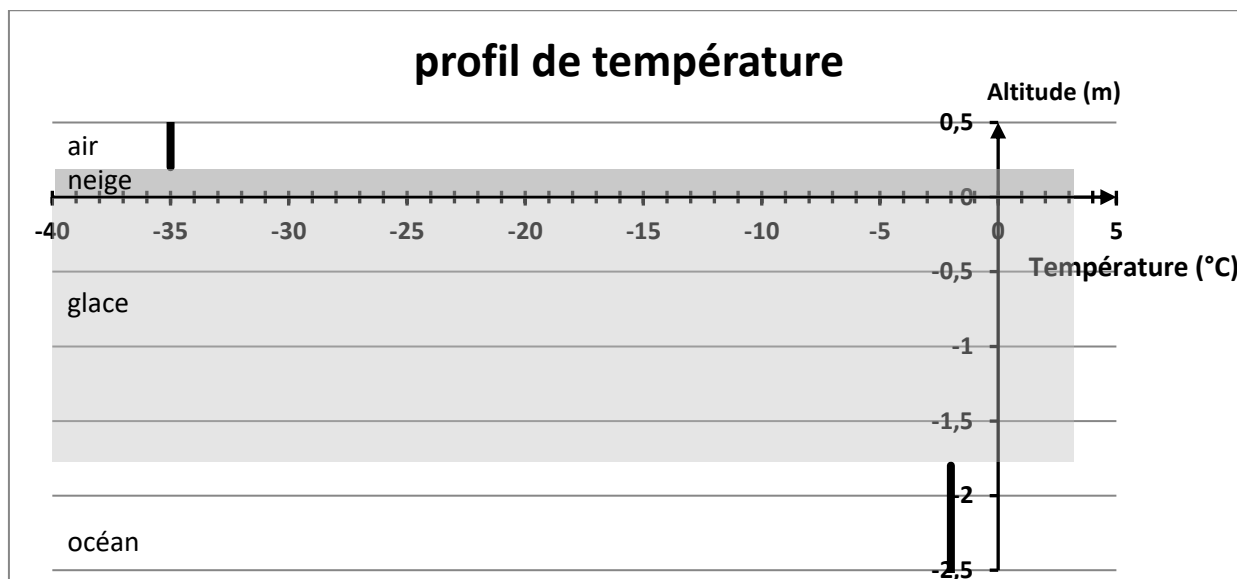
Figure 1 : évolution du pH en fonction du volume d'hydroxyde de sodium versé.

- 3) Indiquer quelle est l'espèce du couple acide lactique/lactate présente majoritairement au début du titrage d'une part, en fin de titrage d'autre part.
- 4) En déduire l'équation de la réaction support du titrage, en supposant que l'acide lactique est le seul acide présent dans le lait.
- 5) Déterminer le volume à l'équivalence en explicitant la méthode mise en œuvre.
- 6) Estimer graphiquement une valeur approchée du pK_a . Commenter le résultat obtenu.
- 7) Déterminer la concentration en quantité de matière en acide lactique du lait analysé. Exprimer le résultat de la mesure en tenant compte d'une incertitude-type égale à $3 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- 8) Conclure si le lait analysé est frais ou pas et s'il peut être utilisé pour la production de yaourts.
- 9) Proposer un indicateur coloré permettant de réaliser ce même titrage par repérage visuel de l'équivalence. Justifier et indiquer alors les changements de couleur observés.

Document réponse 1

Partie 1 – Détermination de la hauteur de glace avec une chaîne de capteurs de température

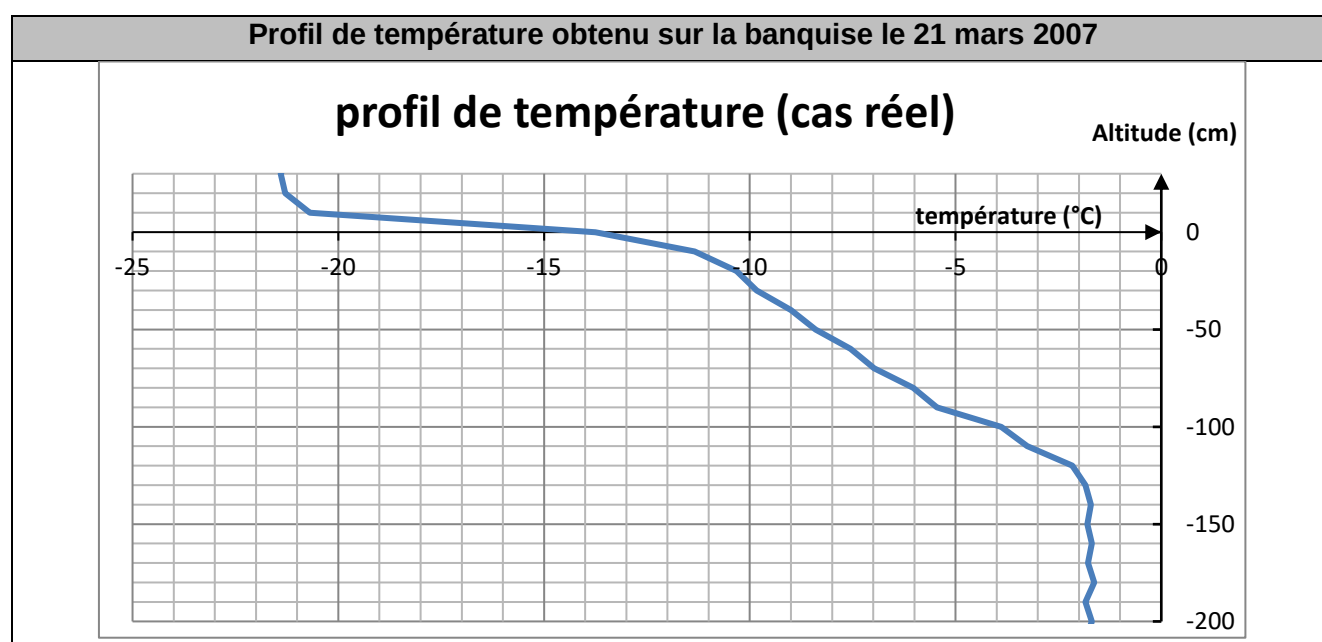
Q11.



Document réponse 2

Partie 1 – Détermination de la hauteur de glace avec une chaîne de capteurs de température

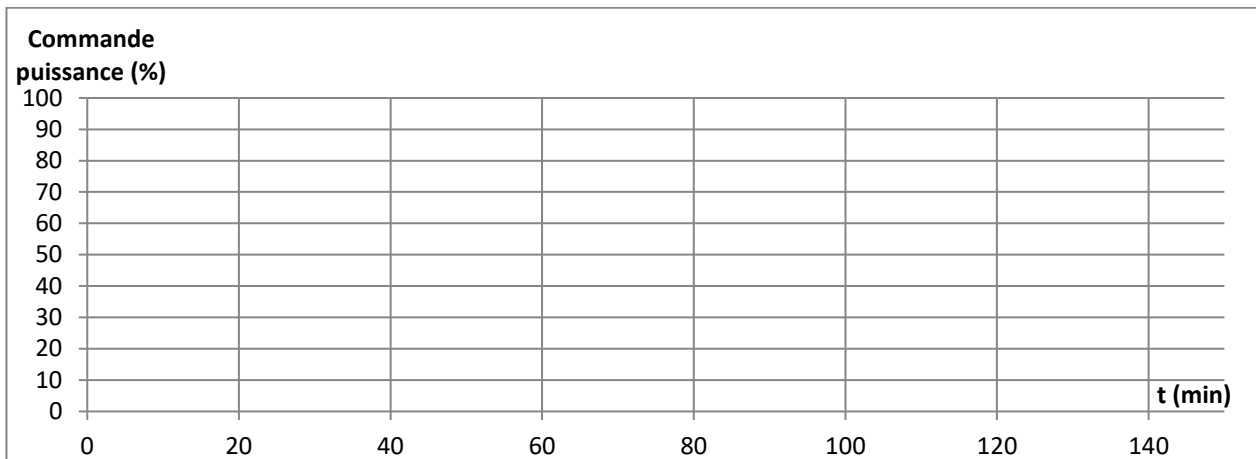
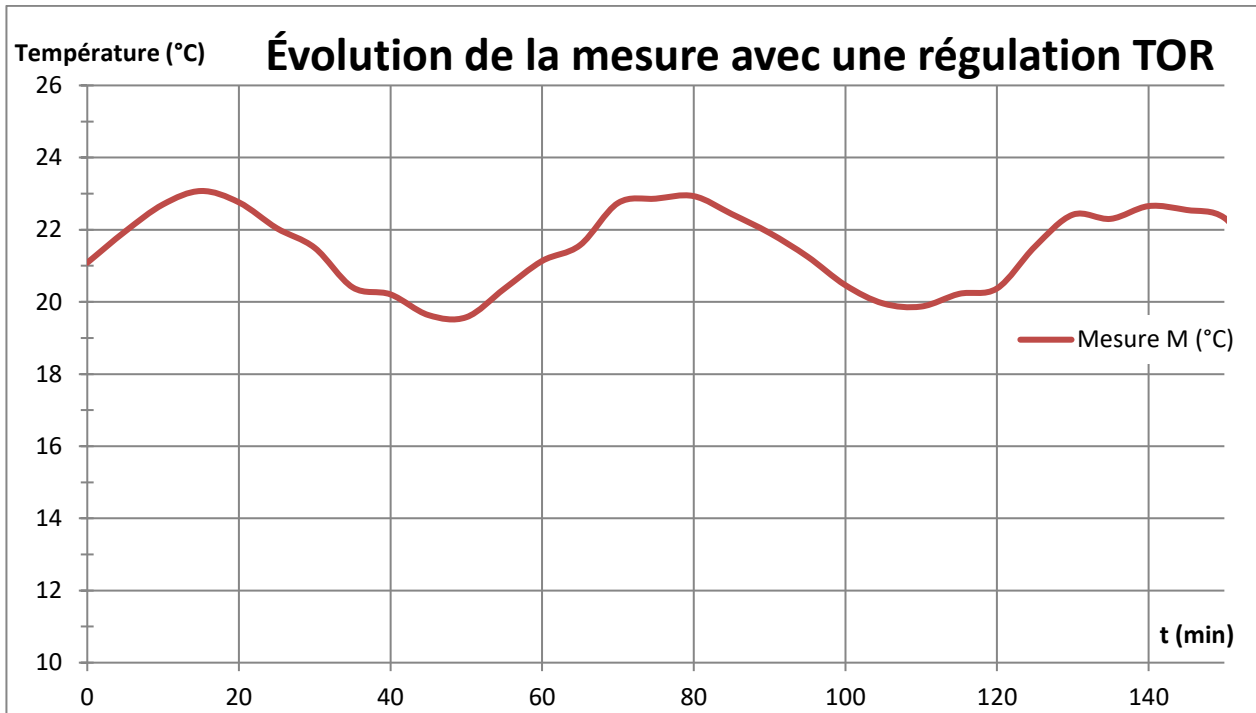
Q12.



Document réponse 3

2 – Régulation de température dans le laboratoire sec

Q15.



Document réponse 4

Partie A – Observation de cyanobactéries au microscope

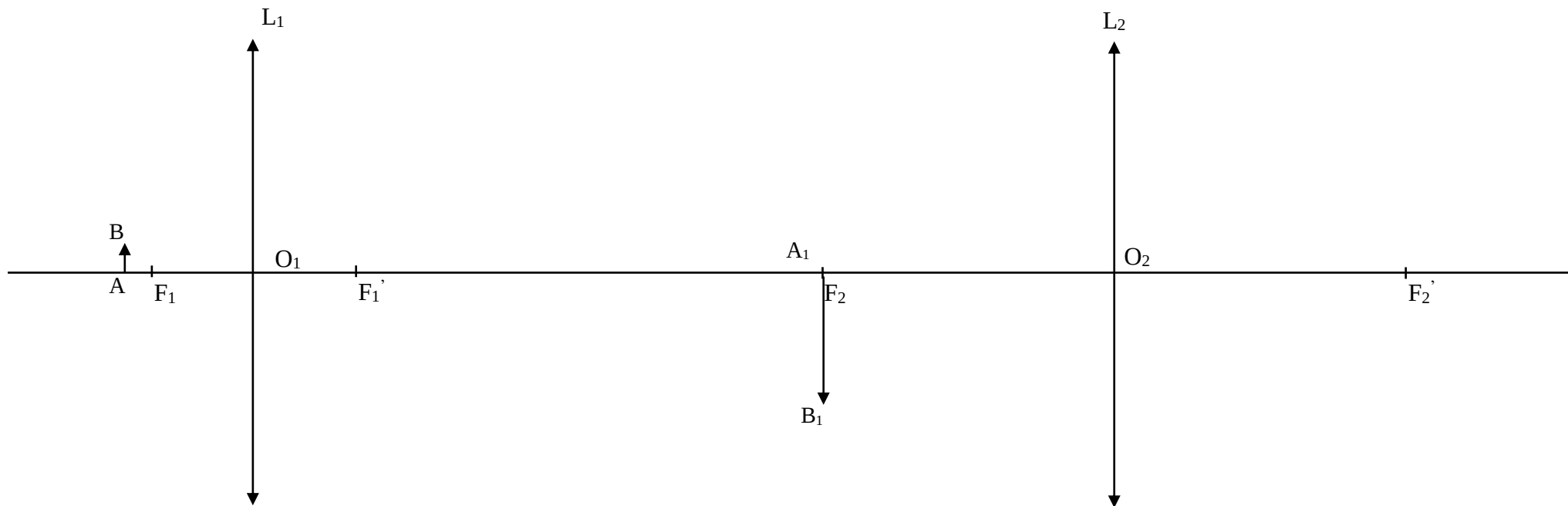
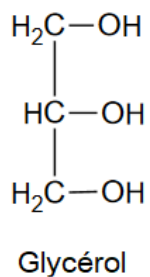


Figure 1 : à compléter

Document réponse 5

Partie B – Limitation de l'empreinte carbone lors des déplacements de Tara
Q1.



Document réponse 6

Partie B – Limitation de l'empreinte carbone lors des déplacements de Tara
Q4.

Mécanisme réactionnel de l'étape 2

