

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : STL
Spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire

SESSION 2017

CBSV : sous épreuve coefficient 4
Sciences physiques et chimiques en laboratoire : sous épreuve coefficient 4

Durée totale de l'épreuve : 4 heures

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

Dès que les sujets vous sont remis, assurez-vous qu'ils sont complets.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialités : - Biotechnologies
- Sciences physiques et chimiques en laboratoire**

SESSION 2017

Sous-épreuve écrite de Chimie – Biochimie – Sciences du vivant

Coefficient de cette sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de spécialité seront traités
sur des copies séparées.**

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte **11** pages.

Partie I : pages 2 à 5

Partie II : pages 7 à 11

Les deux parties sont indépendantes.

PARTIE I : la leucémie aiguë lymphoblastique (LAL) (8 points)

La leucémie aiguë lymphoblastique est un cancer du sang. Le processus prend naissance dans la moelle osseuse et évolue rapidement.

La LAL est liée à la multiplication incontrôlée de cellules sanguines, appelées lymphoblastes, qui envahissent la moelle osseuse et passent progressivement dans le sang.

L'objectif de cette partie est d'étudier le processus physiologique de production des cellules sanguines ainsi que la dérégulation à l'origine de l'apparition de cette maladie et de présenter une thérapie possible.

Le **document A** présente la leucémie aiguë lymphoblastique. Le déroulement normal de la production de cellules sanguines appelé hématopoïèse est schématisé sur le **document B**.

- 1.1. Reporter les numéros de 1 à 9 du **document B** sur la copie et y associer les mots en caractères gras présents dans le texte du **document A**.

Le diagnostic de la LAL repose essentiellement sur un comptage des éléments figurés du sang effectué sur un frottis sanguin coloré et sur un examen de la moelle osseuse appelé myélogramme.

Le **document C** présente deux photographies correspondant à une observation au microscope d'un frottis sanguin normal et d'un frottis sanguin d'un patient atteint de la LAL.

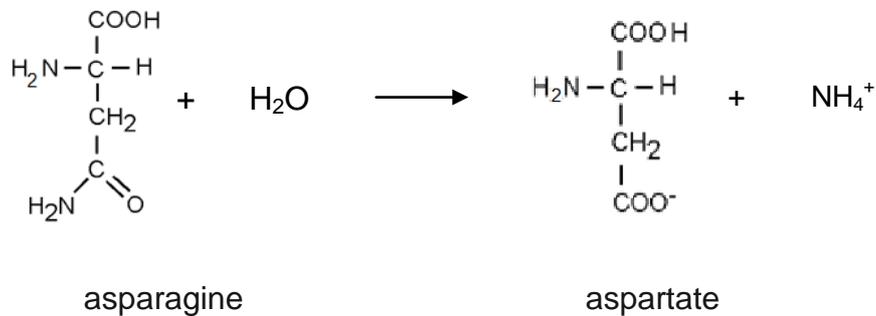
- 1.2. Nommer la technique d'observation des frottis photographiés sur le **document C**. Argumenter la réponse.
- 1.3. À l'aide du **document A**, identifier le frottis du patient atteint de la LAL en argumentant la réponse.

Certaines modifications génétiques des cellules de la moelle osseuse peuvent provoquer une multiplication exagérée des lymphoblastes.

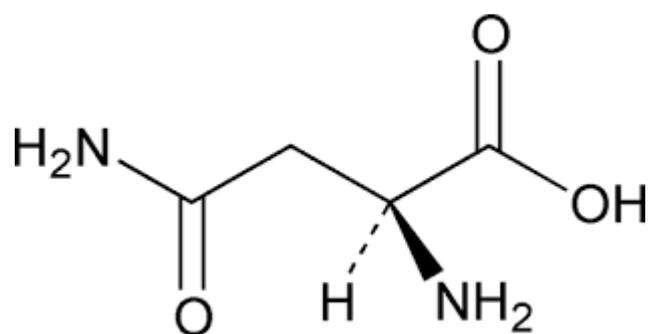
- 1.4. À l'aide du **document D**, indiquer la durée de chaque étape du cycle cellulaire. Préciser le nombre de chromatides par chromosome pour les phases G_1 et G_2 .
- 1.5. La mitose comprend quatre phases désignées a, b, c et d dans le **document E**. Classer ces quatre phases par ordre chronologique et les nommer.
- 1.6. À l'aide des informations données dans le **document F**, choisir une des deux familles de gènes et expliquer en quoi elle peut être à l'origine de la dérégulation du cycle cellulaire des lymphoblastes.

Une des approches thérapeutiques pour traiter la LAL est la chimiothérapie. Elle consiste à injecter dans le sang de l'asparaginase, enzyme provoquant la dégradation de l'asparagine qui est un acide aminé indispensable à la multiplication des lymphoblastes.

L'équation de la réaction catalysée par l'enzyme asparaginase est la suivante :



- 1.7. L'asparaginase est un catalyseur enzymatique. Expliquer le rôle d'un catalyseur.
- 1.8. L'asparagine est un acide aminé. Argumenter cette affirmation à l'aide de la formule de cette molécule recopiée sur la copie.
- 1.9. Donner la définition d'un atome de carbone asymétrique. Repérer le (ou les) atome(s) de carbone asymétrique(s) dans la formule de l'asparagine recopiée à la question 1.8.
- 1.10. L'asparaginase ne catalyse cette réaction que pour la L-asparagine (représentée ci-dessous). Donner la représentation de Cram de la D-asparagine.



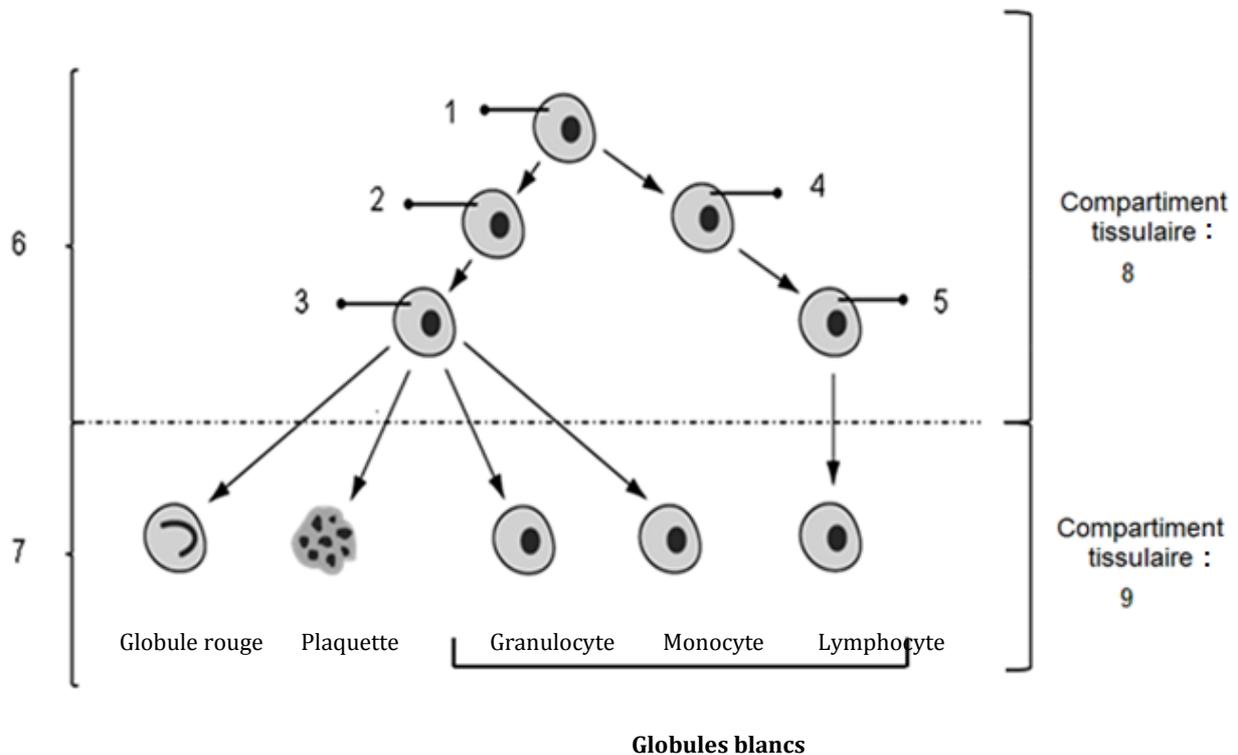
Représentation de Cram de la L-asparagine

Document A : présentation de la leucémie aiguë lymphoblastique (LAL)

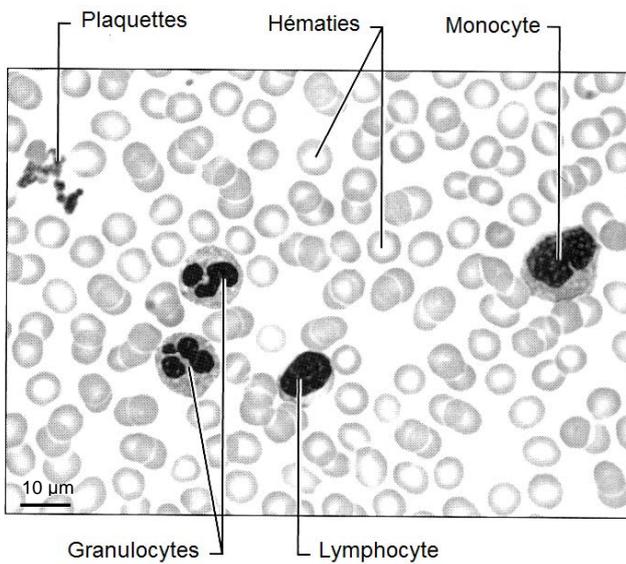
La moelle osseuse contient des **cellules souches hématopoïétiques**. Ces dernières se transforment en d'autres types de cellules ayant des fonctions distinctes. Les cellules souches hématopoïétiques deviennent des **cellules souches myéloïdes et lymphoïdes**, puis des cellules blastiques (**myéloblastes et lymphoblastes**), qui sont des **cellules sanguines immatures**. Les cellules de la lignée myéloïde se différencient en globules rouges, en plaquettes, en granulocytes et en monocytes. Les cellules de la lignée lymphoïde se différencient uniquement en lymphocytes.

Dans le cas de la LAL, certaines cellules lymphoblastiques prolifèrent anormalement et ne deviennent pas des **cellules sanguines matures**. Avec le temps, les lymphoblastes deviennent anormalement abondants dans le **sang**.

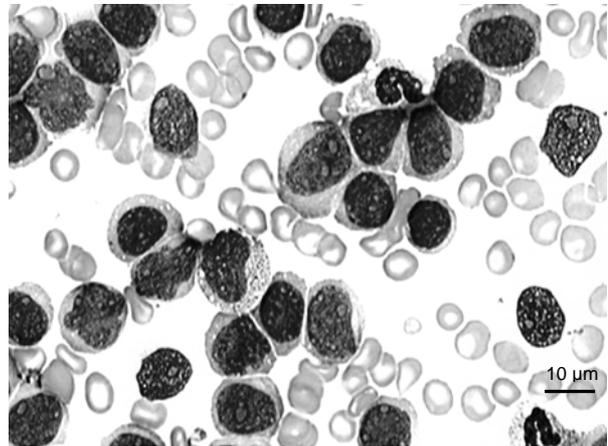
Document B : représentation simplifiée du déroulement normal de l'hématopoïèse



Document C : photographies de frottis sanguins d'un individu sain et d'un patient atteint de la LAL

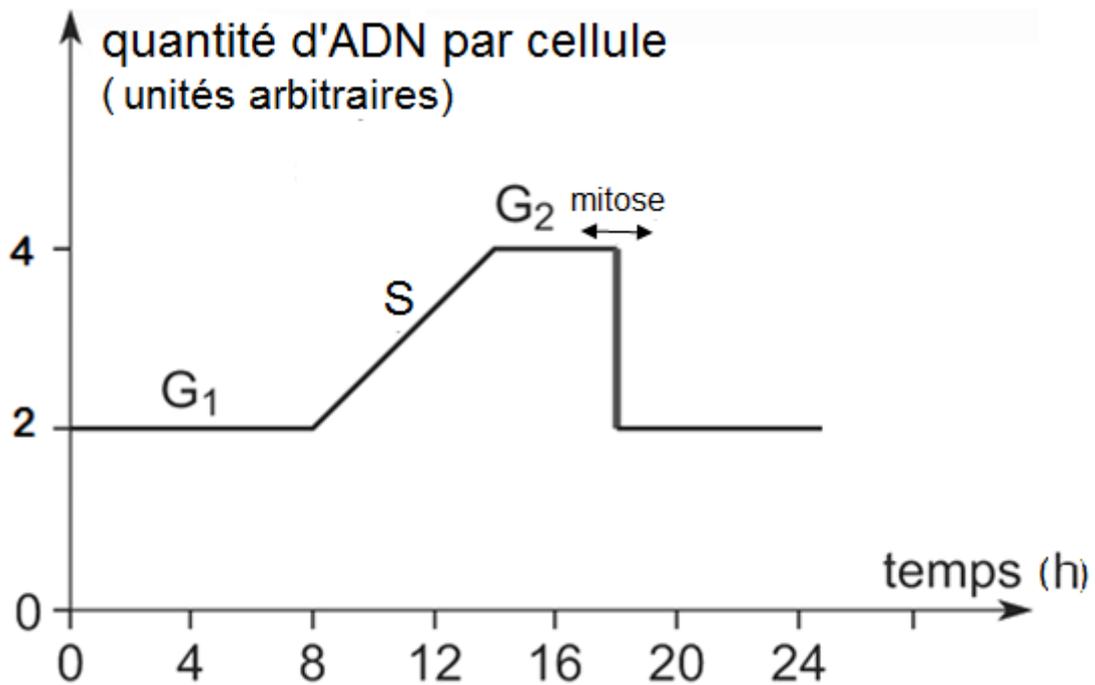


Document C1

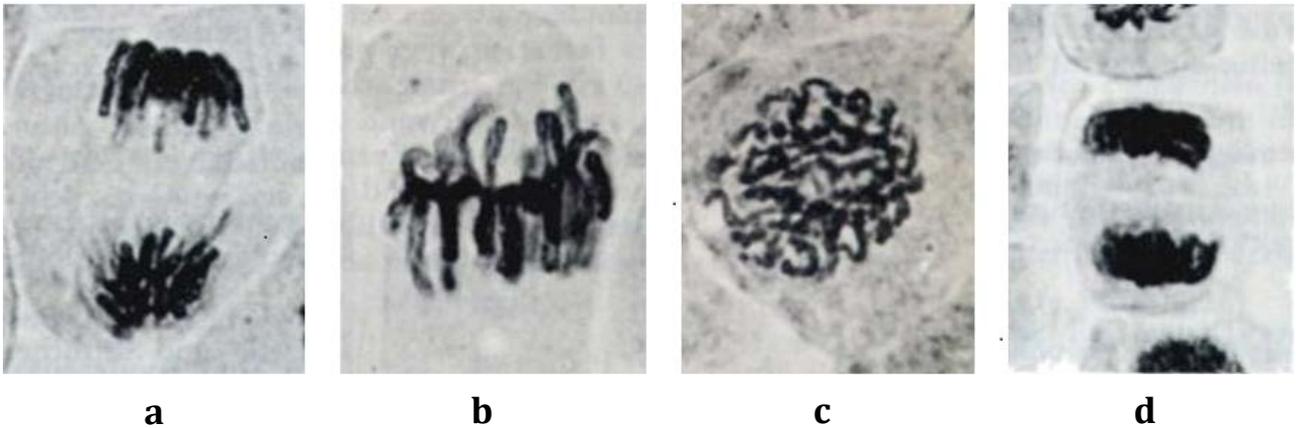


Document C2

Document D : variation de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire



Document E : micrographies des différentes phases de la mitose



Document F : présentation du rôle des gènes impliqués dans la prolifération cellulaire

Dans une cellule non cancéreuse, le cycle cellulaire est sous contrôle de deux familles de gènes antagonistes, ceux qui activent la prolifération cellulaire et ceux qui l'inhibent. Les gènes activateurs accélèrent le cycle cellulaire, alors que les gènes inhibiteurs le ralentissent.

PARTIE 2 : étude du métabolisme de l'azote chez les légumineuses (12 points)

L'azote est un élément indispensable au développement des végétaux qui le trouvent dans le sol sous forme d'ions ammonium ou nitrate. Ce sont principalement les ions nitrate qui sont assimilés du fait de leur plus grande disponibilité.

Certains végétaux comme les légumineuses sont cependant capables de se développer sur des terrains pauvres et d'enrichir naturellement le sol en azote.

L'objectif de cette étude est de comprendre le mécanisme par lequel les légumineuses assimilent l'azote.

Le métabolisme de l'azote dans le sol

2.1. Reporter sur la copie les repères 1.a, 1.b et 1.c de la partie 1 du schéma du **document G** et à partir du **document H**, indiquer leur signification.

L'équation de la nitrification est la suivante : $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$

L'un des couples intervenant est $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$.

2.2. Identifier l'autre couple et indiquer si, dans cette étape, les ions ammonium sont oxydés ou réduits.

2.3. La réaction étant spontanée, attribuer les potentiels d'oxydoréduction suivants à chacun des couples en justifiant la réponse :



La particularité des légumineuses

Les plantes absorbent les ions nitrate du sol par leurs racines. Elles les transforment en ions ammonium, puis en acides aminés, et finalement en protéines.

La plupart des plantes en culture nécessitent l'apport d'engrais azotés car le sol s'appauvrit en azote au fur et à mesure des récoltes. Les légumineuses, au contraire, peuvent être cultivées en absence d'apport d'engrais azotés. Ces plantes présentent des excroissances appelées nodosités, situées sur les racines.

Le **document I** présente la photographie d'une coupe de nodosité. On constate la présence d'un grand nombre de bactéries du genre *Rhizobium* dans ces nodosités.

2.4. Estimer la taille du *Rhizobium* fléché.

Le **document J** présente des résultats issus de la culture de légumineuses dans un sol pauvre en azote dans différentes conditions.

2.5. Proposer une hypothèse permettant d'expliquer la capacité des légumineuses à croître dans un sol pauvre en azote.

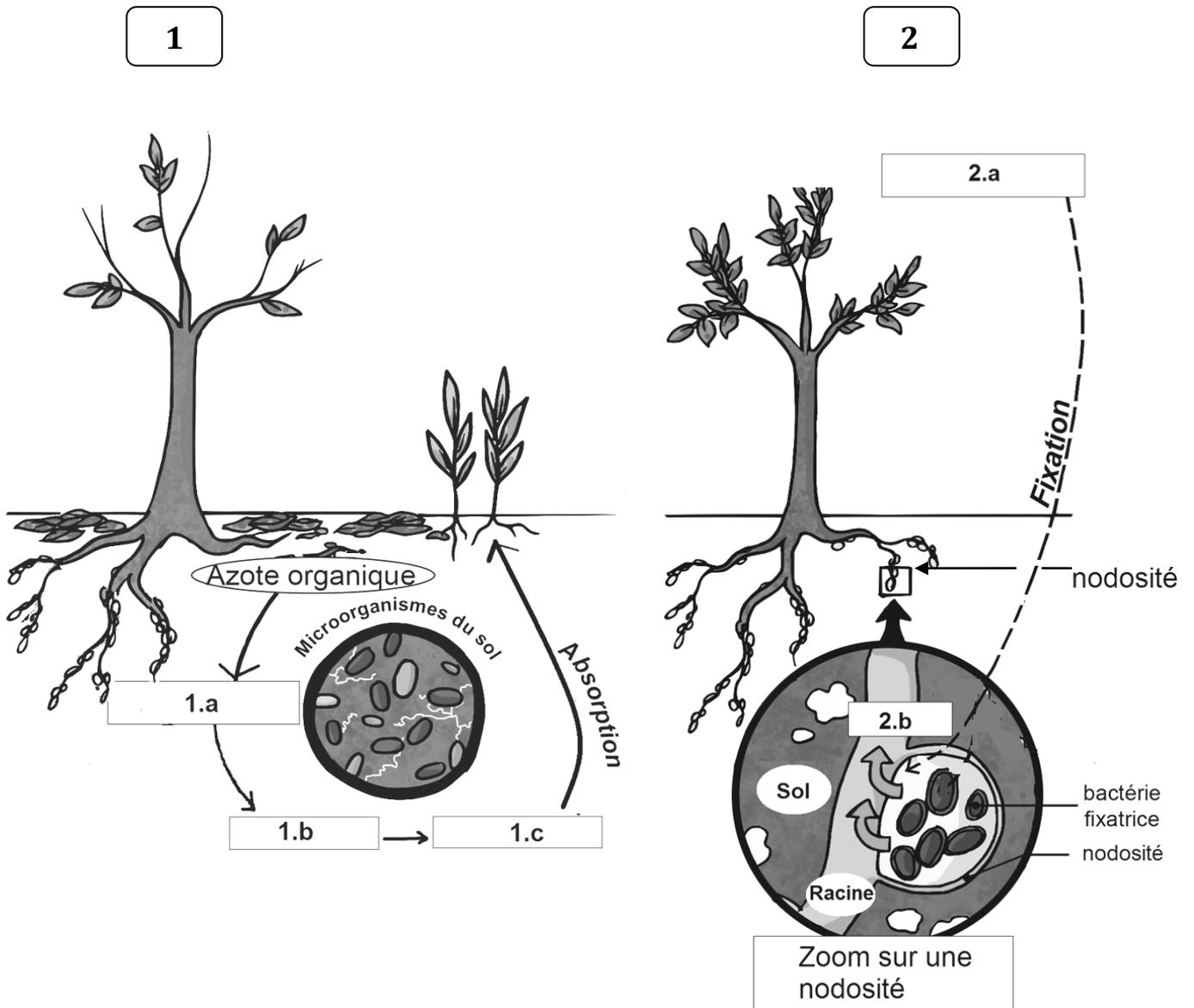
Le *Rhizobium* a la capacité de fixer le diazote atmosphérique N_2 et de le convertir en ions ammonium. Des résultats d'expérience avec deux souches de *Rhizobium* sont présentés dans le **document K**.

- 2.6. Reporter sur la copie les repères 2.a et 2.b du schéma du **document G** et indiquer leur signification.
- 2.7. Exploiter les résultats expérimentaux et conclure sur l'intérêt de la colonisation des légumineuses par le *Rhizobium*.

En agriculture biologique, les cultures de légumineuses sont fréquemment utilisées en alternance avec des cultures de céréales. L'INRA (Institut national de recherche agronomique) de Toulouse propose même d'associer simultanément les cultures de céréales et de légumineuses telles que le pois.

- 2.8. D'après l'ensemble des données des questions précédentes, expliquer un intérêt de l'utilisation des légumineuses dans ces pratiques agricoles.

Document G: schémas de l'absorption d'azote par les végétaux
(Adapté de www.solicaz.fr/notre-innovation/fixation-dazote/)



Document H : le devenir de l'azote dans le sol

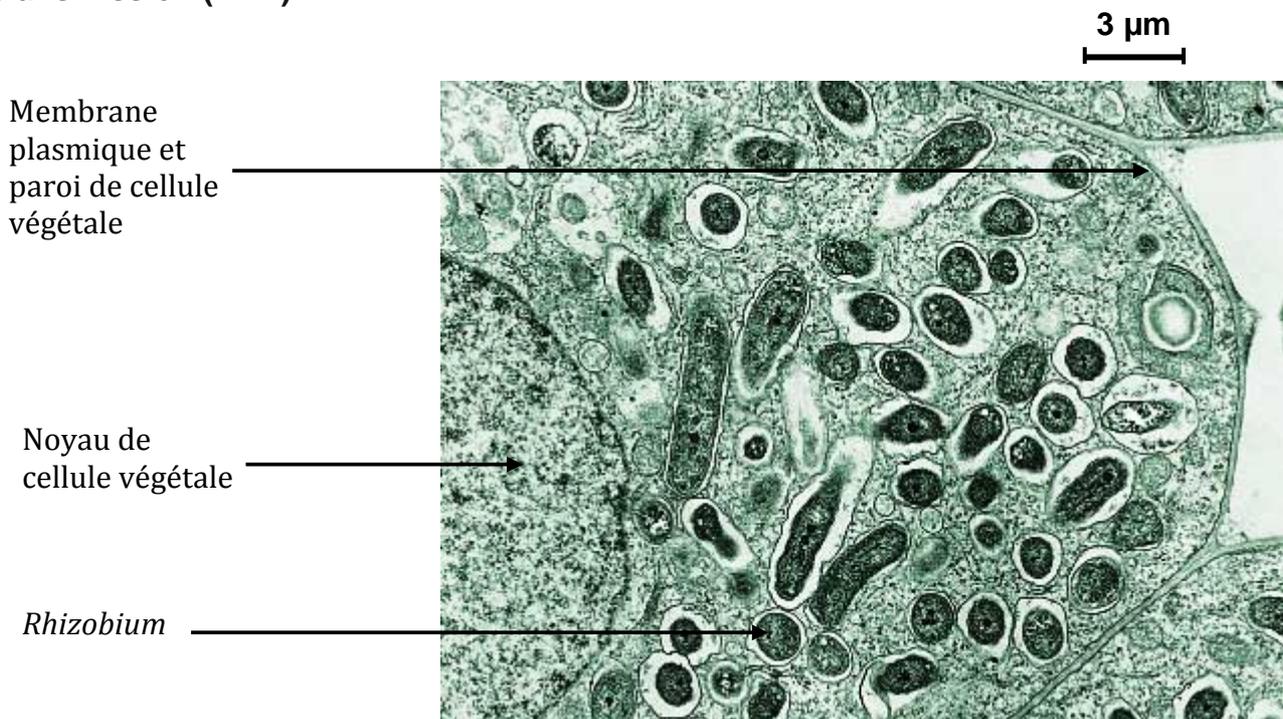
Les ions nitrate proviennent de la décomposition de la matière organique azotée présente dans le sol. Celle-ci est d'abord transformée en ions ammonium (NH_4^+) par des bactéries ammonifiantes du sol : c'est l'ammonification.

Les ions ammonium sont ensuite transformés en ions nitrite (NO_2^-) par des bactéries comme *Nitrosomonas* : c'est la nitritation.

Les ions nitrite sont enfin transformés en ions nitrate (NO_3^-) par des bactéries telles que *Nitrobacter* : c'est la nitratisation.

Une petite partie des ions nitrate du sol peut être convertie en diazote par des bactéries dénitrifiantes. Ce diazote formé retourne dans l'atmosphère.

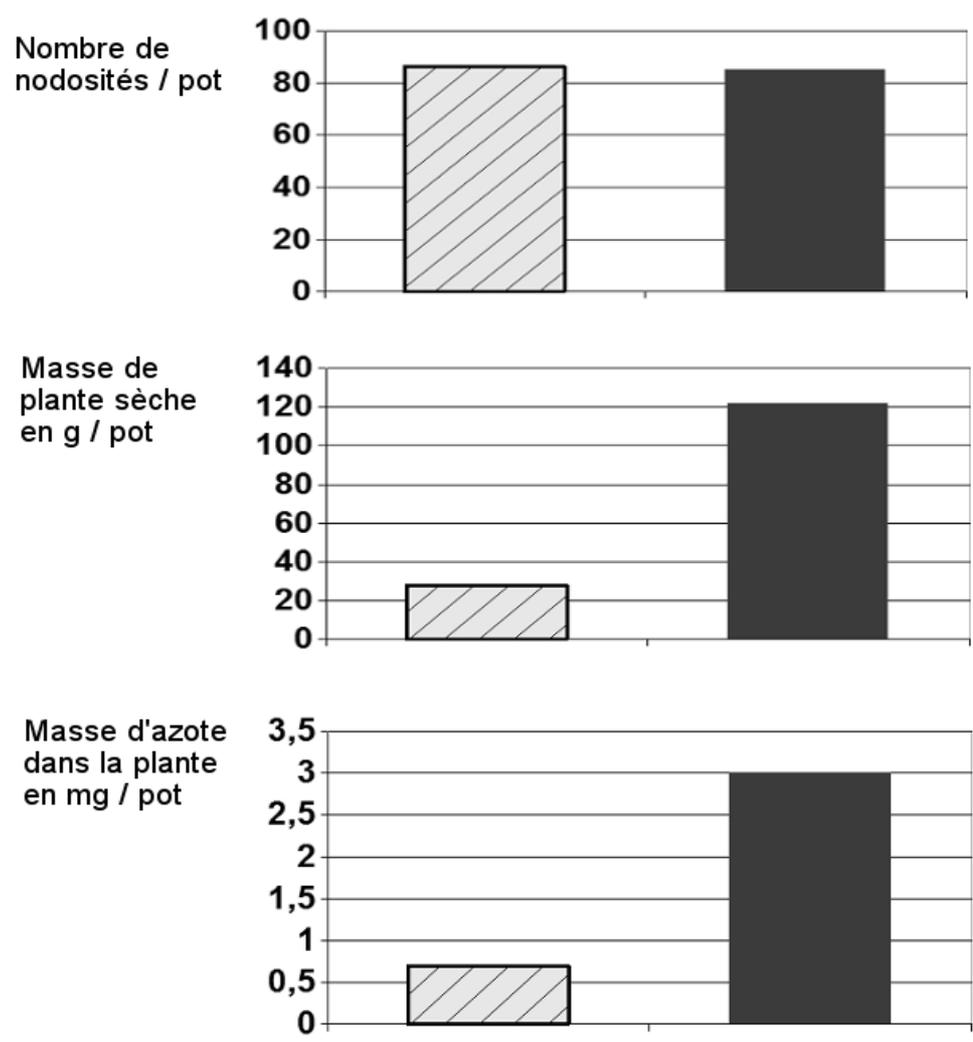
Document I : coupe de nodosité observée en microscope électronique à transmission (MET)



Document J : développement de plants de légumineuse avec ou sans nodosités dans un sol pauvre en azote pour une même durée

Plants	Croissance moyenne de plants (en cm)	Gain moyen en masse de matière sèche des plants (en g)	Gain moyen en masse de protéines des plants (en mg)
Sans nodosités	4,3	0,06	8
Avec nodosités	15,8	0,62	128

Document K : croissance de légumineuses en pots, inoculées soit par du *Rhizobium* fixant efficacement l'azote atmosphérique soit par du *Rhizobium* fixant très peu l'azote atmosphérique.



BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

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

SESSION 2017

**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 la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte **10** pages.

Les documents sont réunis en fin d'énoncé.

DES ALGUES AU BIODIESEL

Les algocarburants sont élaborés à partir des lipides extraits de microalgues.

La synthèse des algocarburants est considérée comme une voie susceptible de remplacer les biodiesels actuels obtenus à partir d'huiles végétales comme le colza. À ce stade du développement, la faisabilité est démontrée et les recherches visent à diminuer le coût de production du biodiesel par cette voie.

Ce sujet propose d'étudier l'influence de quelques paramètres permettant aux algues de se développer de manière efficace, puis de comprendre le fonctionnement d'une installation industrielle de production de biodiesel à partir de microalgues.

Partie 1 : Étude de la croissance des microalgues

sur 12,5 points

- A. L'éclairage des microalgues
- B. La solution nutritive
- C. Mesure de la taille des microalgues par granulométrie LASER

Partie 2 : Un procédé de production du biodiesel

sur 7,5 points

- A. Étude thermique du photobioréacteur
- B. Transfert par pompe centrifuge
- C. Transestérification

Les deux parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat.

Les documents sont regroupés en fin de sujet.

A. L'éclairage des microalgues

On s'intéresse dans cette partie à une installation de recherche qui permet d'identifier les paramètres permettant une bonne croissance des microalgues. L'installation comprend un bassin rempli d'une suspension de microalgues dans une solution nutritive. L'ensemble est éclairé par une lampe.

Pour la photosynthèse, les microalgues utilisent un rayonnement lumineux dont l'énergie par photon est comprise entre 1,78 eV (soit $2,84 \times 10^{-19}$ J) et 3,11 eV (soit $4,97 \times 10^{-19}$ J). Les photons infrarouges n'ont pas assez d'énergie pour initier la photosynthèse alors que les photons ultra-violetts endommagent les microalgues.

On rappelle la relation entre l'énergie E (en Joule) d'un photon et la longueur d'onde λ (en mètre) du rayonnement associé :

$$E = \frac{h \times c}{\lambda} \quad \text{avec : } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \\ c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

- 1.1. À partir de cette relation, calculer les longueurs d'onde correspondant aux deux valeurs d'énergie précédentes.
- 1.2. Le **document 1 (voir page 7)** présente le spectre d'émission de deux sources lumineuses pouvant être envisagées en remplacement de la lumière solaire. En justifiant le choix, indiquer pour chacune d'elles, si elle peut être retenue ou non pour éclairer les microalgues et obtenir l'effet voulu.

B. La solution nutritive

La croissance des algues est fortement dépendante de la composition du milieu de culture. L'apport en éléments nutritifs doit être suffisamment important dans le bassin, afin d'éviter toute carence susceptible d'affecter leur croissance.

Un technicien effectue un prélèvement dans le bassin contenant les microalgues pour vérifier si la concentration en éléments nutritifs est correcte.

- 1.3. À l'aide des **documents 2 et 3**, déterminer la concentration massique C_m en ions chlorure dans la solution du bassin et vérifier si elle est conforme à la valeur de référence. On rédigera soigneusement la réponse en précisant les différentes étapes du raisonnement.

- 1.4. Sur la courbe de dosage du **document 3**, on observe un changement de pente net à l'équivalence. Expliquer pourquoi la conductivité croît après l'équivalence.

L'EDTA est un très fort complexant que l'on notera sous sa formule simplifiée Y^{4-} (voir **document 4**). Il est présent dans la solution nutritive pour éviter la précipitation de certains cations métalliques de la solution et favoriser ainsi leur assimilation par les microalgues.

- 1.5. À l'aide du **document 4** préciser le caractère monodenté ou polydenté du ligand. Justifier la réponse.

- 1.6. Écrire l'équation de formation du complexe $[FeY]^-$, en utilisant la formule simplifiée de l'EDTA.

L'élément azote dans le milieu nutritif est un autre paramètre important. Sa concentration dans la solution nutritive doit être plus ou moins grande en fonction de l'état de maturité des microalgues.

- 1.7. En vous aidant du **document 5** et du **texte introductif du sujet** (page 2), préciser quel avantage présente une carence en azote dans le bassin.

C. Mesure de la taille des microalgues par granulométrie LASER

La mesure du diamètre des microalgues (supposées être des grains de forme sphérique) s'effectue grâce au phénomène de diffraction. Les microalgues arrivées à maturité doivent avoir un diamètre de 10 μm .

- 1.8. Le **document 6** indique que « plus les grains sont petits, plus ce disque est large ». Montrer que la relation donnant le diamètre a des grains est en accord avec cette phrase.

- 1.9. Pour un échantillon, la mesure du rayon du disque central donne $R = 7,5$ cm, pour une distance $D = 1,00$ m. La longueur d'onde du laser utilisé vaut 540 nm. Calculer le diamètre a des grains correspondant en vous aidant du **document 6**.

- 1.10. À l'aide du **document 6**, calculer l'incertitude sur la mesure de a .

- 1.11. En tenant compte de l'incertitude, en déduire si les microalgues ont atteint leur maturité.

- 1.12. Indiquer quel instrument d'optique pourrait également être utilisé pour cette mesure.

On s'intéresse à présent à une unité de production de biodiesel dont le schéma est représenté dans le **document 7**.

Cette unité utilise des photobioréacteurs fonctionnant en continu et alimentés par une solution nutritive. Les algues produites sont extraites du système en continu et transférées dans un réservoir de stockage avant une étape de séparation visant à extraire les huiles (mélange de lipides) contenues dans les algues. Le biodiesel est ensuite obtenu par transestérification.

A. Étude de l'échangeur thermique du photobioréacteur

Les tubes des photobioréacteurs sont situés en plein air. Un système de refroidissement constitué d'un échangeur thermique est prévu pour les chaudes journées d'été (**document 7**), afin d'assurer des conditions optimales de température pour les microalgues.

- 2.1. À l'aide du **document 8**, indiquer en justifiant, laquelle des trois solutions proposées permet l'échange thermique le plus important.
- 2.2. En utilisant le **document 9**, expliquer le rôle de l'échangeur thermique.

B. Transfert par pompe centrifuge

La suspension d'algues est transférée du réservoir de recirculation au réservoir de stockage grâce à la pompe 2 (voir **document 7**).

Le débit volumique de consigne vaut $Q_V = 2,45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. La longueur totale de canalisation entre les points A et B vaut 65 m.

- 2.3. Sachant que la masse volumique de la suspension d'algues vaut : $\rho = 1020 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, montrer que le débit massique de la suspension d'algues vaut $Q_m = 2,50 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.
- 2.4. À l'aide du **document 10**, calculer les pertes de charge J_1 dues à la circulation du fluide dans les parties droites de la canalisation. Exprimer le résultat avec deux chiffres significatifs.

- 2.5. En réalité, les pertes de charge totales sont supérieures à J_1 et valent $J_{tot} = 4,8$ m. Justifier cela sans calcul à l'aide du schéma du **document 7**.

Pour cette installation, la relation de conservation de l'énergie entre les points A et B des deux réservoirs conduit à l'expression suivante :

$$P_{hyd} = \left[(z_B - z_A) + \frac{v_B^2}{2g} + J_{tot} \right] \times Q_m \times g$$

avec :

- P_{hyd} la puissance hydraulique de pompe ;
 - z_B et z_A les altitudes aux points A et B (voir **document 7**) ;
 - $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ l'intensité de la pesanteur ;
 - $v_B = 0,50 \text{ m.s}^{-1}$ la vitesse du fluide au point B ;
 - $Q_m = 2,50 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1} = 0,69 \text{ kg.s}^{-1}$.
- 2.6. Calculer la puissance hydraulique P_{hyd} (ou puissance utile) que la pompe doit fournir.
- 2.7. À l'aide du **document 11**, calculer alors la puissance électrique consommée par la pompe.

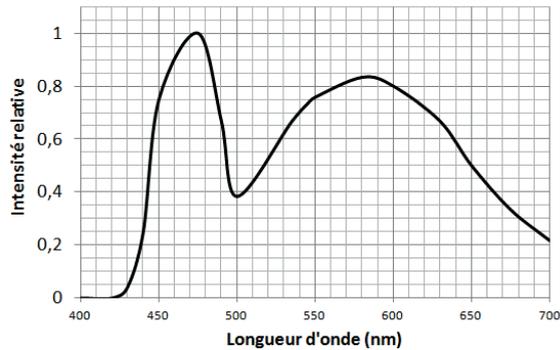
C. Transestérification

On s'intéresse désormais au réacteur de transestérification situé à la fin du procédé (voir **documents 7 et 12**).

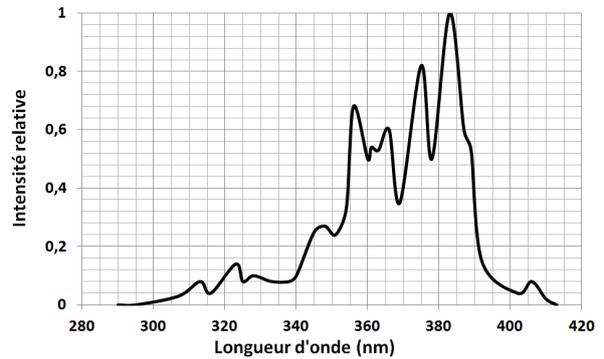
- 2.8. En vous aidant du **document 12**, donner la représentation de Lewis de la molécule de méthanol et entourer le site nucléophile.
- 2.9. Dans l'installation, lors de la réaction de transestérification, le méthanol est introduit en large excès. Justifier cette affirmation.

DOCUMENT 1 : Spectres de différentes sources lumineuses

Spectre n°1 : émission d'un panneau de LED



Spectre n°2 : émission d'une lampe à Xénon



DOCUMENT 2 : Composition simplifiée du milieu nutritif de référence

Constituant	Concentration massique de référence	Masse molaire
ion nitrate NO_3^-	610 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	62,0 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
ion chlorure Cl^-	12 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	35,5 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$
ion fer Fe^{3+}	1,6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	55,8 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

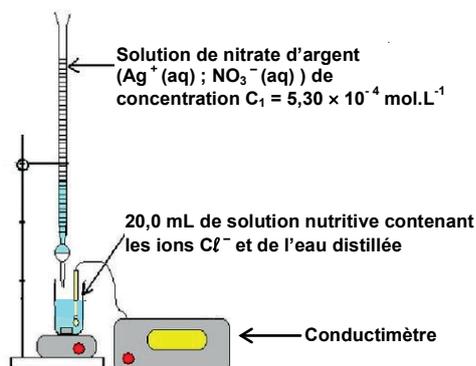
DOCUMENT 3 : Dosage des ions chlorure dans la solution du bassin

Protocole du dosage :

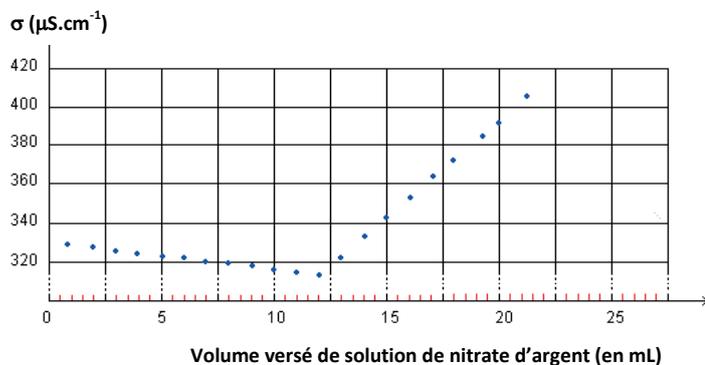
- Prélever $V_0 = 20,0$ mL de la solution nutritive à doser, à l'aide d'une pipette jaugée. Les verser dans un bécher muni d'un agitateur magnétique.
- Placer la sonde d'un conductimètre dans ce bécher.
- Verser mL par mL, à la burette, une solution titrante de nitrate d'argent de concentration $C_1 = 5,30 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Relever les valeurs de la conductivité de la solution après chaque ajout.



Schéma du montage :



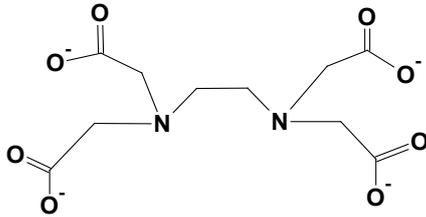
Courbe de dosage :



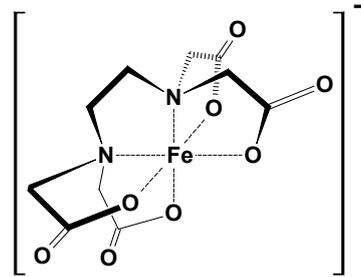
Ion	Cl^-	NO_3^-	Ag^+
Conductivité molaire ionique λ_{i0} (en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$)	7,6	7,1	6,2

DOCUMENT 4 : Le ligand EDTA et son complexe avec le cation fer (III)

EDTA, noté Y^{4-}

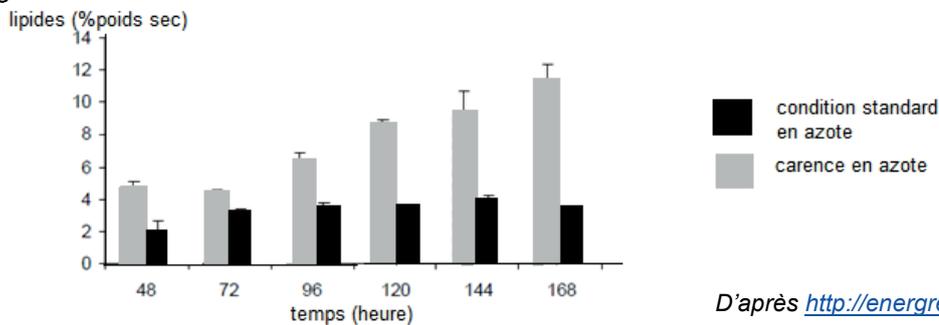


complexe $[FeY]^{-}$



DOCUMENT 5 : Teneur en lipides dans les microalgues

Une fois les microalgues arrivées à maturité, on modifie leur milieu de culture. Le graphique ci-dessous permet d'évaluer l'effet de cette modification sur la teneur en lipides présente dans les microalgues.

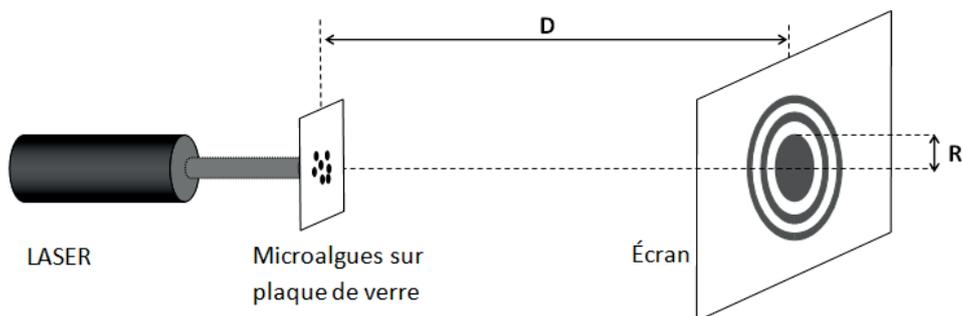


DOCUMENT 6 : Diamètre des microalgues mesuré par diffraction

Principe de la mesure :

Lorsqu'un faisceau LASER éclaire un ensemble de grains sphériques de même dimension, on peut observer une figure de diffraction appelée « figure d'Airy » sur un écran situé à une distance D des grains. La figure représente un disque central lumineux et des cercles concentriques. Plus les grains sont petits, plus ce disque est large : la mesure du rayon R de ce disque permettra par la suite de déterminer le diamètre des grains noté a .

$$a = \frac{1,22 \times \lambda \times D}{R}$$



Incertitude :

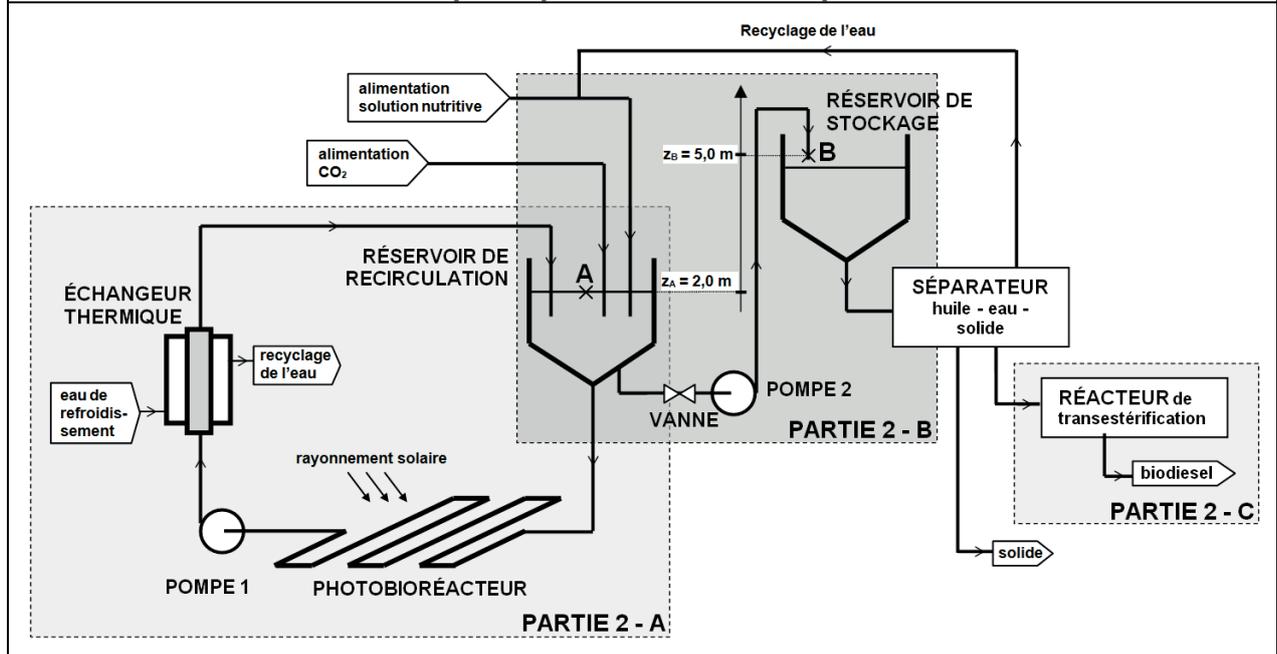
On peut montrer que l'incertitude sur la détermination de a (diamètre des grains) est donnée par l'expression :

$$U(a) = a \times \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(R)}{R}\right)^2}$$

Par ailleurs, les incertitudes sur D et R sont données ci-dessous, compte-tenu de la réalisation de l'expérience et de la précision des différents instruments utilisés :

Grandeur	distance D	rayon R
Incertitude	1×10^{-2} m	0,1 cm

DOCUMENT 7 : Schéma de principe d'une usine de production de biodiesel



DOCUMENT 8 : Échangeur thermique

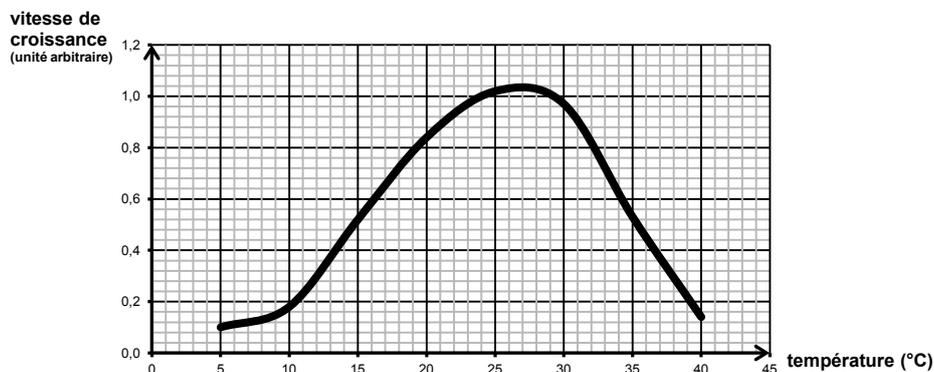
Le fluide froid (eau de refroidissement) circule à l'extérieur du tube. L'échange thermique s'effectue à travers la paroi de ce tube.

Trois échangeurs nommés E1, E2 et E3, d'épaisseur de tubes identiques, sont susceptibles d'être choisis. Leurs caractéristiques sont regroupées dans le tableau suivant.

	Surface totale d'échange (m ²)	Matériau constituant les tubes
E1	40	polypropylène
E2	40	inox
E3	10	inox

Conductivité thermique des matériaux des tubes : inox : $16 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
polypropylène : $0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

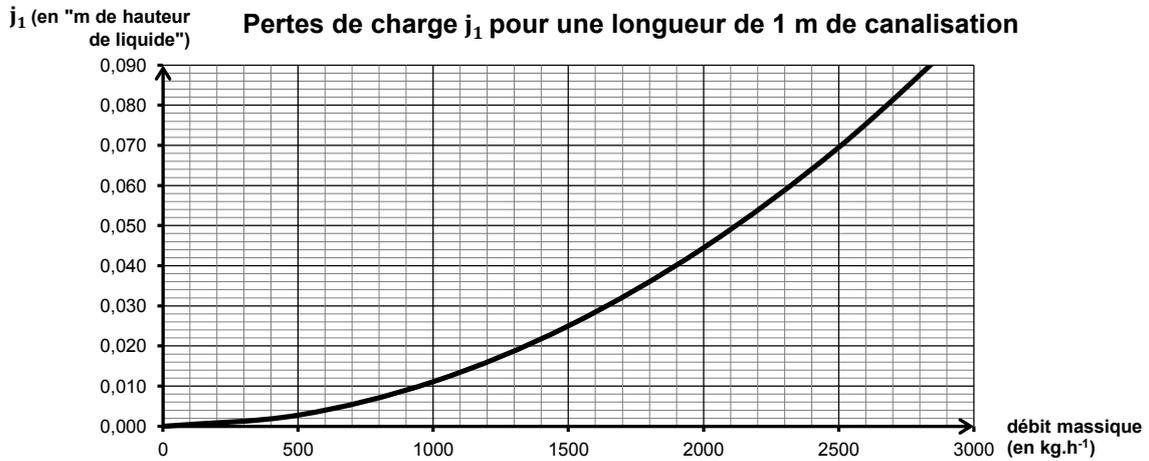
DOCUMENT 9 : Croissance des microalgues et température



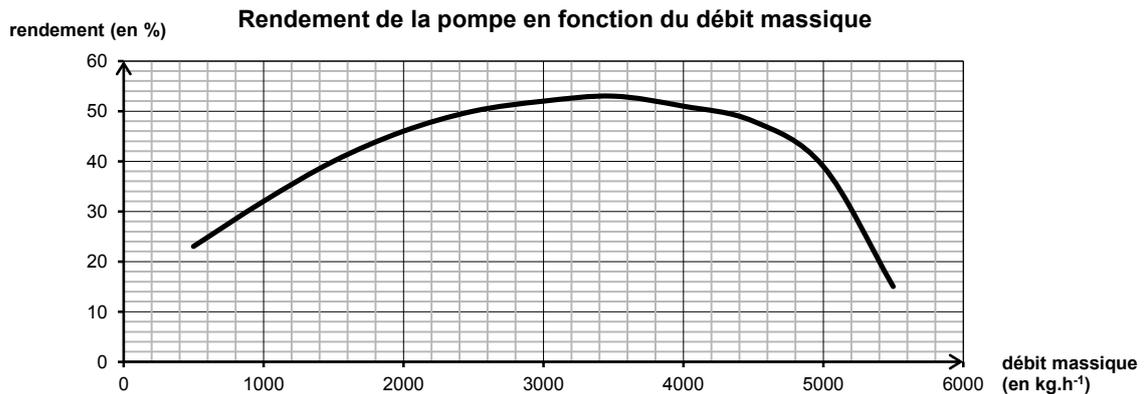
DOCUMENT 10 : Pertes de charge dans les canalisations droites

Les pertes de charge dues à la circulation du fluide dans les portions droites de canalisations dépendent du débit massique du liquide.

Les pertes de charges j_1 (données en « mètre de hauteur de liquide ») sont représentées sur le graphique suivant pour 1 m de canalisation droite en fonction du débit massique.

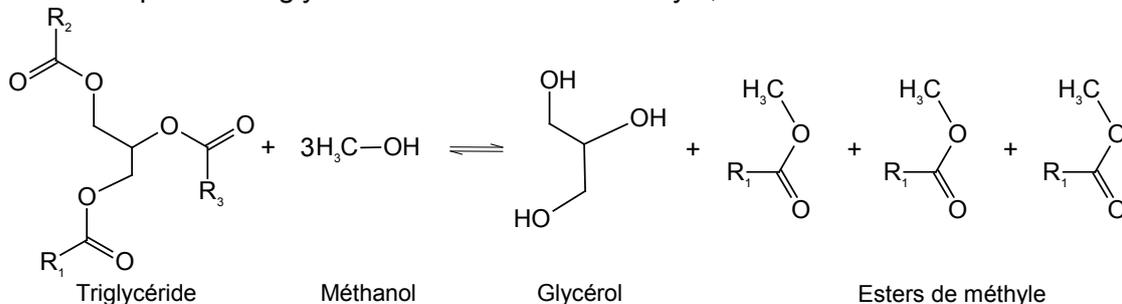


DOCUMENT 11 : Rendement de la pompe



DOCUMENT 12 : Transestérification

La transestérification est une réaction chimique entre les triglycérides contenus dans l'huile des microalgues et un alcool (on utilise généralement le méthanol car il est meilleur marché). Cette réaction produit du glycérol et des esters de méthyle, c'est à dire du biodiesel :



(R1, R2 et R3 sont des chaînes hydrocarbonées)

rendement : 67% réaction athermique