

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.

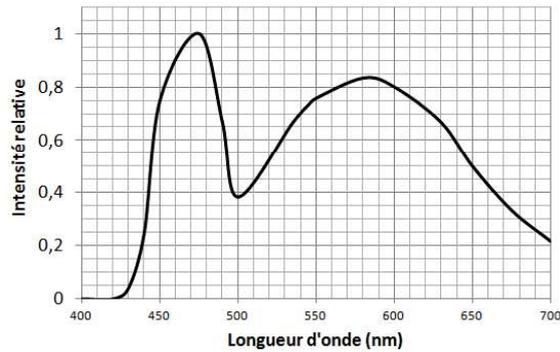
C. Transestérification

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

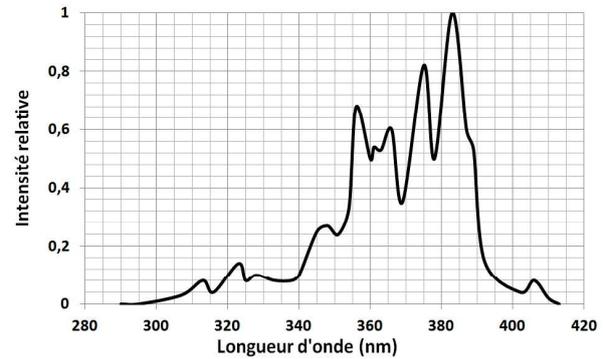
- 2.8. En vous aidant du **document 12**, donner la représentation de Lewis de la molécule de méthanol et entourer le site nucléophile.
- 2.9. Dans l'installation, lors de la réaction de transestérification, le méthanol est introduit en large excès. Justifier cette affirmation.

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.

Équation chimique modélisant le dosage :

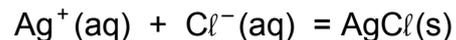
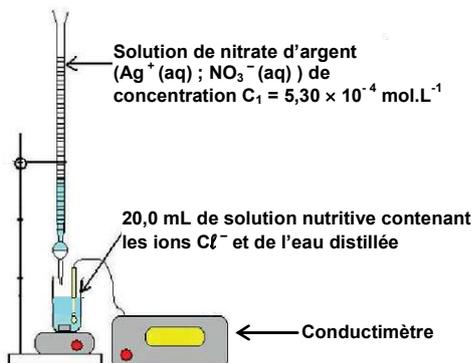
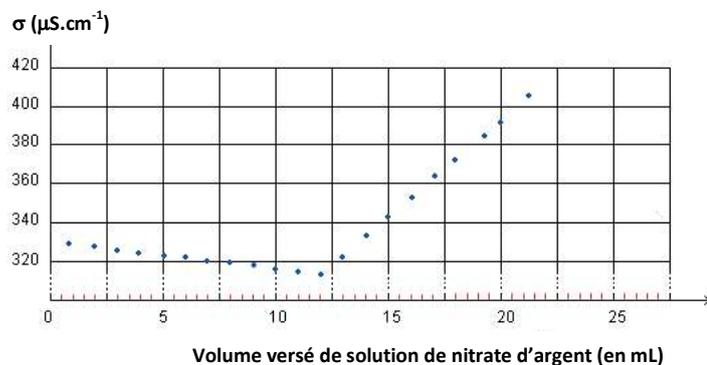


Schéma du montage :



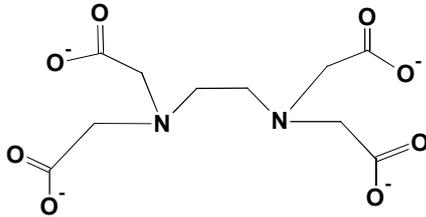
Courbe de dosage :



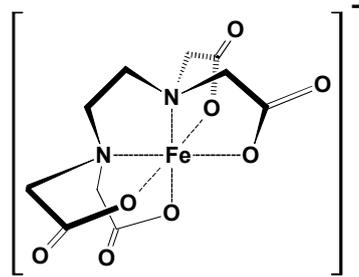
Ion	Cl^-	NO_3^-	Ag^+
Conductivité molaire ionique λ_0 (en $\text{mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$)	7,6	7,1	6,2

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

EDTA, noté Y^{4-}

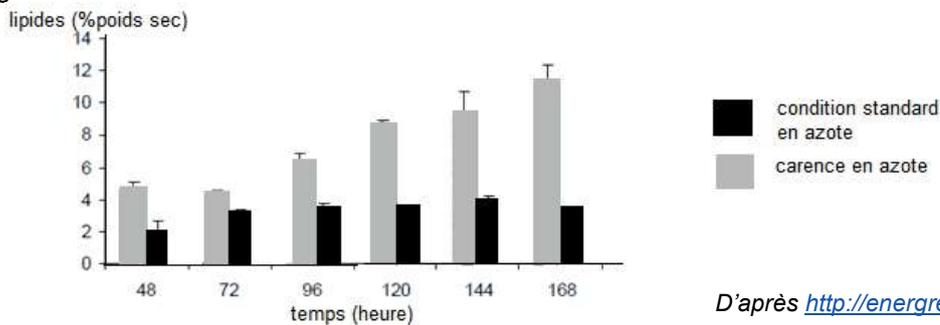


complexe $[FeY]^{-}$



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.

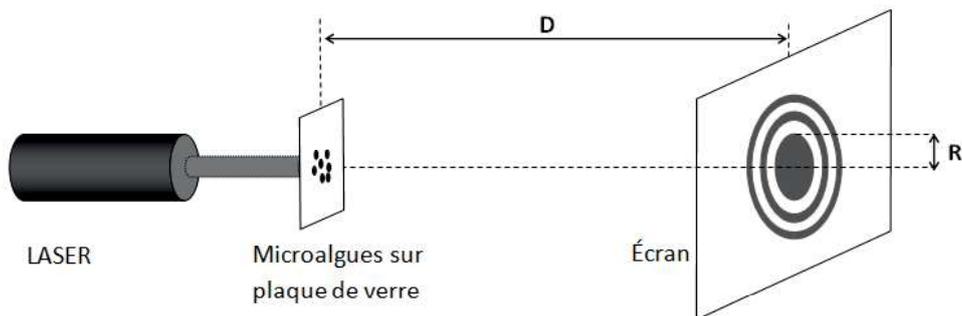


DOCUMENT 6 : Diamètre des microalgues mesuré par diffraction

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 :

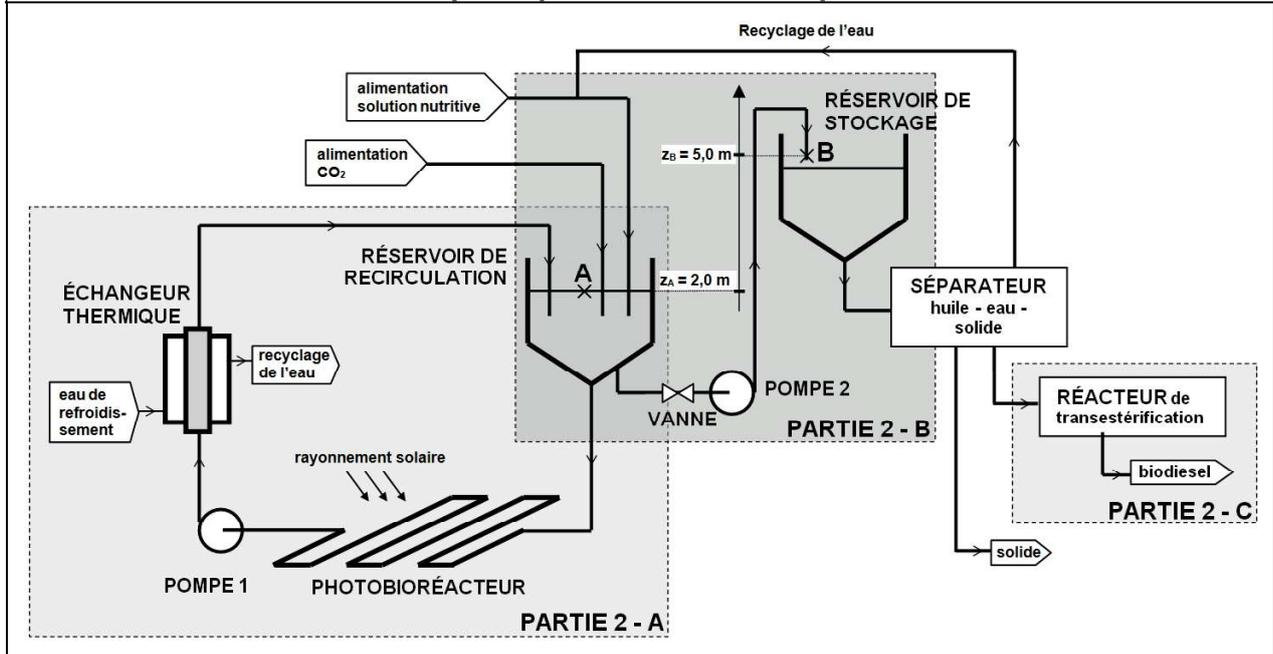
On peut montrer que l'incertitude sur la détermination de a (diamètre des grains) est donnée par l'expression :

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

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

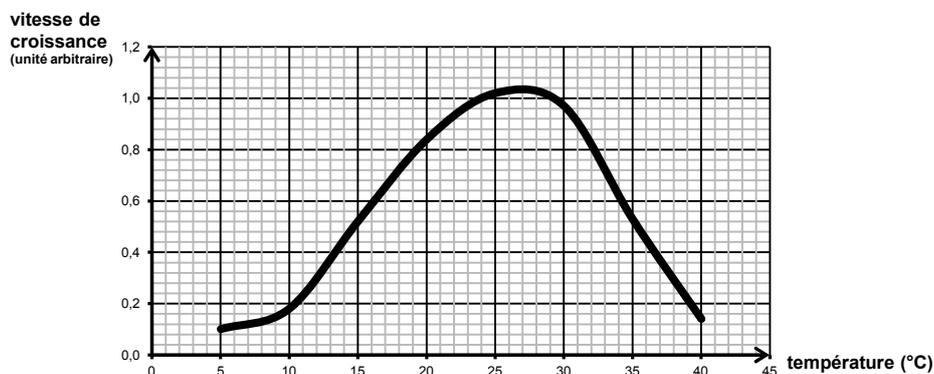
Le fluide froid (eau de refroidissement) circule à l'extérieur du tube. L'échange thermique s'effectue à travers la paroi de ce tube.

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 : $0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

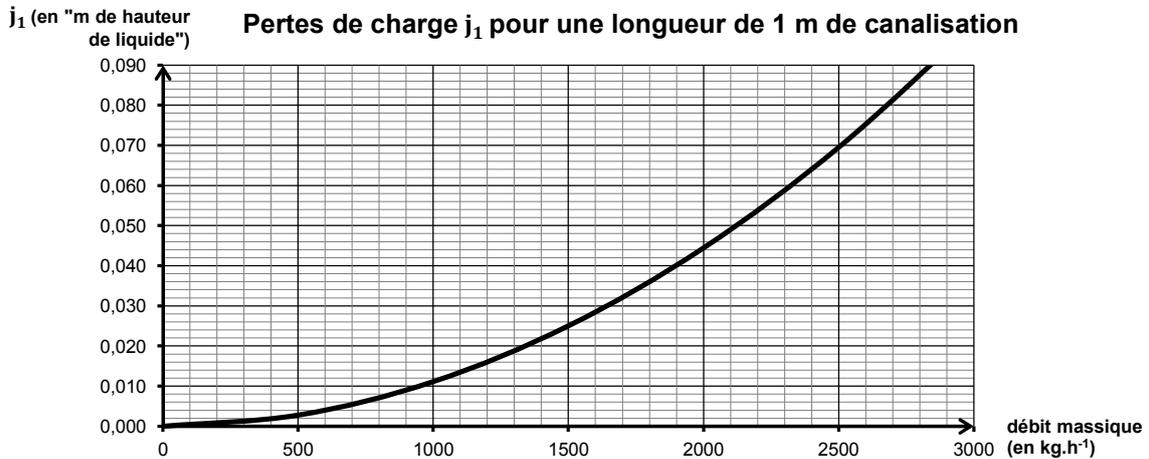
DOCUMENT 9 : Croissance des microalgues et température



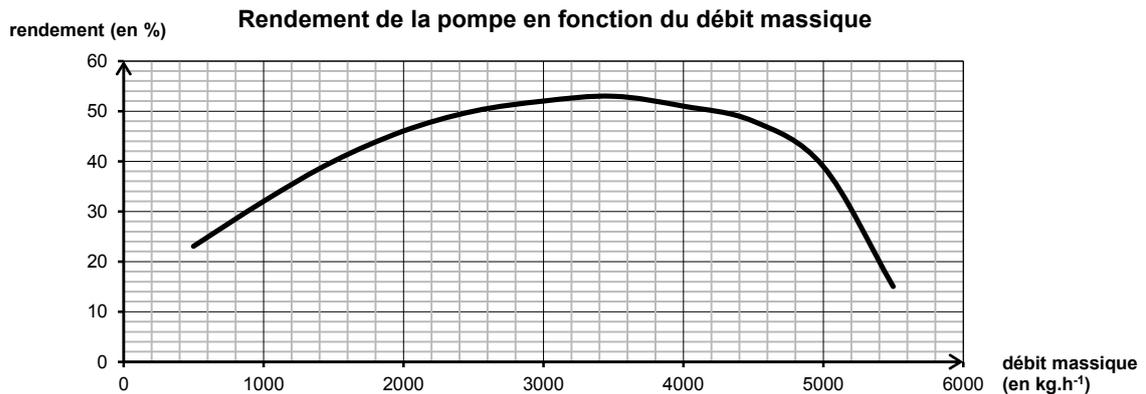
DOCUMENT 10 : Pertes de charge dans les canalisations droites

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.

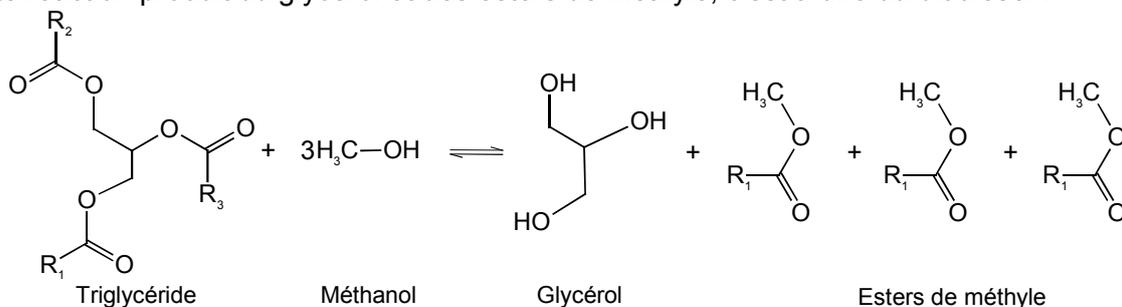


DOCUMENT 11 : Rendement de la pompe



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