

11<sup>th</sup> EUROPEAN UNION SCIENCE OLYMPIAD

Test 2

Feuille d'activité

Luxembourg, mars 21<sup>th</sup>, 2013



# Energie Renouvelable



Pays :

Langue :

---

## **Instructions générales**

**Portez votre blouse et vos lunettes de protection dans le laboratoire durant toute l'épreuve.**

**Il est interdit de manger et de boire dans le laboratoire**

Vous devez porter des gants de protection lorsque vous manipulez des produits chimiques.

Tous les papiers, y compris les feuilles de brouillon, doivent être rendus à la fin du test.

Tous les résultats doivent être transcrits sur la feuille réponses.

Vous devez également rendre tous les calculs en même temps que la feuille réponses.

**Il n'y a qu'une seule feuille de réponses**

Les activités peuvent être accomplies dans l'ordre que vous souhaitez.

L'épreuve consiste en 3 activités et peuvent être réalisées soit individuellement soit en équipe.

Vous avez **4 heures** pour réaliser le test 2

Activité 1: 20 points

activité 2: 21 points

activité 3: 17 points

activité 4: 31 points

activité 5: 6 points

**A la fin de l'épreuve laissez TOUT en place sur votre paillasse.**

**Vous ne pouvez rien emporter hors du laboratoire !**

**Biométhanisation** – Biogaz à partir de déchets organiques

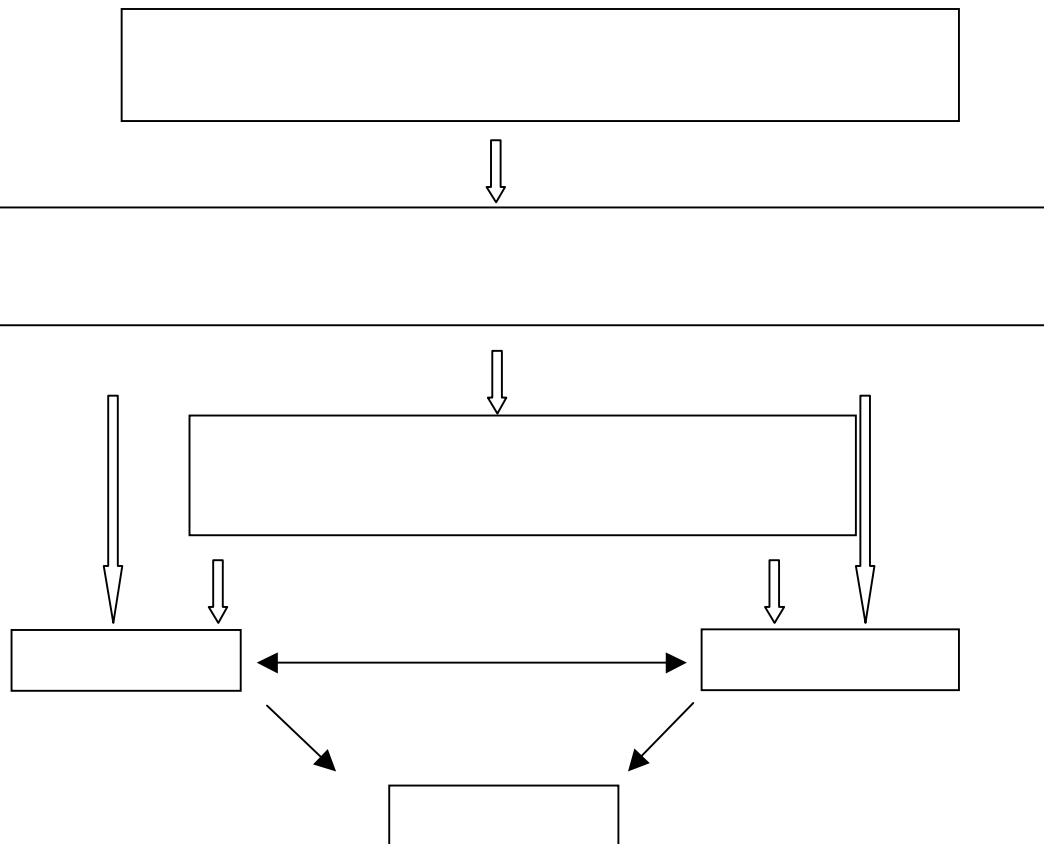
La biométhanisation, ou la production du biogaz, se produit naturellement dans les processus de fermentation dans les marais, lits des rivières et des lacs mais également pendant des processus digestifs dans l'estomac des ruminants tels que des moutons, des vaches, et des chèvres. Ces animaux contribuent donc aux émissions naturelles du méthane (CH<sub>4</sub>) ; le même gaz que nous trouvons en gaz naturel fossile. La cellulose trouvée dans l'herbe, le foin et le grain est décomposée par des micro-organismes dans l'estomac des ruminants afin de récupérer de l'énergie.

Pendant le processus digestif, du méthane est produit et roté par les ruminants (50kg d'herbe ingérée/jour/vache libèrent 350L de CH<sub>4</sub> et 1500 L de CO<sub>2</sub>/jour/vache). Cependant, le méthane est un gaz à effet de serre puissant parce qu'il piège environ 20 fois autant de chaleur dans notre atmosphère que le même volume de dioxyde de carbone. Environ 20% de la production globale de méthane provient des animaux de ferme.

Méthanogenèse  
Acétotrophe



La biométhanisation (digestion anaérobie) est un processus biologique qui décompose la matière organique en méthane (CH<sub>4</sub>), presque insoluble dans l'eau), dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, bien soluble dans l'eau où il produit un acide faible), le soufre d'hydrogène (H<sub>2</sub>S, partiellement soluble dans l'eau et aussi acide), et l'ammoniaque (NH<sub>3</sub>, fortement soluble dans l'eau et dans un milieu alcalin modéré). Il est réalisé en absence d'oxygène (anaérobies) par un ensemble complexe de microbes.



L'équation suivante résume le processus (Buswell & Müller, 1952 ; Boyle 1976):

m<sup>3</sup> d'effluents des animaux → 30 m<sup>3</sup> biogaz

tonne de déchets verts ménages → 10 m<sup>3</sup> biogaz

m<sup>3</sup> biogaz → 2kWh énergie électrique & 4 kWh chaleur

m<sup>3</sup> biogaz a un équivalent énergétique de 0.6 L pétrole



**HYDRATES DE CARBONE /GLUCIDES :** C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> → 3CO<sub>2</sub> + 3 CH<sub>4</sub>

**LIPIDES:** C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub> + 5 H<sub>2</sub>O → 3.5 CO<sub>2</sub> + 8.5 CH<sub>4</sub>

**PROTEINES:** C<sub>13</sub>H<sub>25</sub>O<sub>7</sub>N<sub>3</sub>S + 6H<sub>2</sub>O → 6.5 CO<sub>2</sub> + 6.5 CH<sub>4</sub> + 3 NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>S

Les molécules **organiques** complexes et insolubles sont hydrolysées en composés solubles fermentables. Les produits de fermentation sont principalement des acides gras volatils (**VFA**, tels que acide acétique, acide propionique, acide butyrique, etc.), **hydrogène**, et **CO<sub>2</sub>**. Des microbes convertissent les gros VFA en **acétate**. Enfin les bactéries méthanogènes convertissent l'acétate, le CO<sub>2</sub> et l'H<sub>2</sub> en **méthane (CH<sub>4</sub>)**.

### Le Biogaz à la ferme: une production alternative d'énergie

L'humanité a entamé le processus de biogaz en construisant de grands digesteurs anaérobies, avec une capacité de quelques milliers de mètres cube, qui rassemblent le biogaz produit dans un réservoir, et emploient le gaz comme carburant pour produire la chaleur et l'électricité. Récemment, le biogaz a été amélioré en bio-méthane et a été injecté dans les conduites de gaz naturel.



De grandes quantités de substrat organique des fermes (les effluents animaux tels que le fumier ou la boue, les résidus de culture) ou des supermarchés et des ménages (nourriture ou déchets verts) sont facilement disponibles pour alimenter les digesteurs de biogaz.



Au Luxembourg il existe 30 usines de biogaz d'une capacité totale de 34 millions m<sup>3</sup> de biogaz /an. Environ 23 millions de m<sup>3</sup> de biogaz sont brûlés dans une unité CHP (combiné chaleur et

énergie) et 11 millions sont transformés en biométhane (CH<sub>4</sub> = 6.6 millions m<sup>3</sup>) et injectés dans les conduites de gaz naturel.

Le matériel non-digéré, le digestat, est un excellent engrais organique pour l'agriculture. Il contient la plupart des minéraux (N, P, K, Ca, magnésium, etc.) nécessaires pour la croissance végétale. La synthèse chimique de 1 tonne d'azote réactif requiert approximativement 1 tonne d'équivalent pétrole (toe) ou 1000 m<sup>3</sup> de gaz naturel. Le processus de biométhanisation contribue à l'économie de l'énergie fossile en récupérant l'azote des déchets organiques.

### Energie renouvelable pour Alfred Bioman

M. Alfred Bioman a reconnu les avantages des énergies renouvelables depuis de nombreuses années. En tant qu'agriculteur il a pensé qu'il pourrait apporter une contribution à l'environnement en utilisant de l'énergie propre et durable. Par ailleurs, le gouvernement du Luxembourg soutient la production « d'énergie verte ». La ferme de Mr. Bioman située au Luxembourg a environ 100 vaches à lait et produit également de grandes quantités de maïs.



Il y a quatre ans, il a décidé d'installer une unité de biogaz à côté de sa

ferme. Cette unité produit le biogaz qui est converti en bio-méthane et est injecté directement dans la conduite de gaz naturel. M. Bioman est très satisfait de la production énergétique de son unité. Mais le bilan énergétique de la piscine extérieure est négatif (coût d'énergie élevé pour chauffer l'eau de sa piscine).

Mr Bioman souhaiterait produire l'énergie pour sa piscine grâce à l'énergie solaire et souhaiterait installer des panneaux solaires sur le toit de sa maison.



Dans l'activité suivante vous devrez résoudre différents problèmes concernant l'unité de biogaz de Alfred Bioman et le fonctionnement des panneaux solaires:

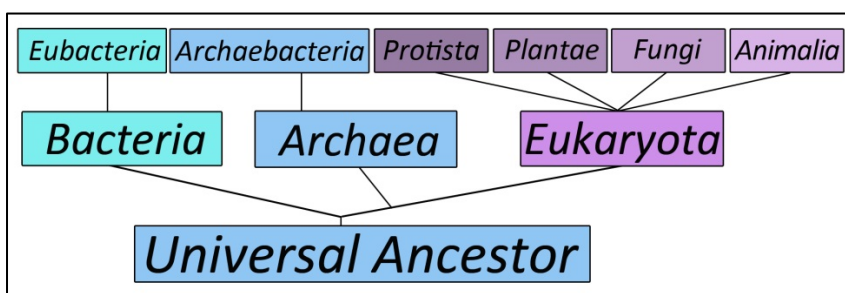
- **activité 1: Microbiologie de la production de biogaz**
- **activité 2: Identifications de deux gaz dans un mélange de biogaz**
- **activité 3: gestion de production du biogaz**
- **activité 4 : détermination de la capacité thermique spécifique d'un liquide conducteur de chaleur utilisé dans les panneaux solaires**
- **activité 5: Questions générales à propos de la biométhanisation**

## ACTIVITE 1: Microbiologie et production de biogaz

Alfred Bioman voudrait connaître quels organismes sont impliqués dans la production de méthane dans son unité de biogaz. Par conséquent, vous devrez analyser le digestat sous un microscope avec un grossissement de 1000x. Votre tâche consistera à prélever un échantillon provenant du digestat, à préparer une lame microscopique et à identifier les organismes impliqués.

### Information générale

Différents genres de microbes sont impliqués dans les processus de fermentation. Les levures (Fungi) jouent un rôle important dans la production de bière et de vin. Il y a environ trente ans, la découverte des micro-organismes vivant dans des conditions extrêmes (hautes températures, salinité, pression etc.) était très importante pour le développement de nouvelles techniques dans la biologie (c.-à-d. ACP). Ces bactéries appelées Archaeobacteria sont très différentes des bactéries connues et sont plutôt étroitement liés aux Eucaryotes ;



La classification actuelle des êtres vivants proposée par Woese et autres en 1990, suppose qu'un ancêtre commun a évolué en différents types de cellules, chacun représentant un des six règnes de l'arbre phylogénétique ci-contre :

3. Plongez les lames dans une solution de Lugol (R2) pendant 3 minutes

4. Rincez les lames à l'eau courante durant 30 secondes

5. Plongez les lames pendant 5-10 seconds dans la solution de décoloration (R3)

**Matériel utilisé pour cette activité**

contenant de l'alcool et de l'acétone

6. Rincez les lames à l'eau courante durant 30 secondes. Sur la paillasse principale. Digestat d'une station de biogaz (échantillon A) ; culture microbienne (échantillon B) ; centrifugeuse.

7. Plongez les lames dans la solution de Safranine (R4) pendant 1 minute

8. Rincez les lames à l'eau courante durant 30 secondes

9. Laissez sécher les lames sur la plaque chauffante pendant 10 secondes  
 Par équipe: microscope et huile d'immersion ; plaque chauffante; chronomètre ; pipettes pasteur ; tubes Eppendorf ; tubes test ; paire de pinces ; lames porte objet ; gants ; set de coloration de Gram (R1, R2, R3, R4) ; accès à l'eau courante, marqueur ; crayon ; gomme; papier essuie tout.

**Protocole expérimental**

**Étape 1: échantillonnage.**

Échantillon (A): prélevez 1 mL de **digestat (échantillon A)** dans le flacon sur la paillasse du laboratoire et le diluer 10 fois avec de l'eau du robinet. Versez 1.5 mL du digestat dilué dans un tube Eppendorf et le centrifuger durant 1 minute (centrifugeuse sur la paillasse). Utilisez le surnageant pour d'autres expériences.

échantillon (B): prélevez 1 mL de la culture de **l'échantillon (B) du flacon** disposé sur la paillasse dans un tube Eppendorf.

**Étape 2: fixation de la chaleur.**

Mettez en marche la plaque de chauffage et réglez la température à 100-120°C. Vous devez préparer deux lames microscopiques, une de votre digestat (échantillon A) et une provenant de l'échantillon B. Marquez les lames A et B à l'aide d'un crayon. Déposez les lames microscopiques de chaque échantillon sur la plaque chauffante. Prélevez 0,5 ml de surnageant de chaque échantillon et répartissez-le de manière uniforme sur la lame correspondante. Laissez les lames sur la plaque chauffante jusqu'à évaporation totale de l'eau.

Retirez les lames de la plaque chauffante avec les pinces et déposez-les sur la paillasse jusqu'à refroidissement.



**Étape 3: Coloration.**

Afin de pouvoir observer les micro-organismes présents, vous devez colorer l'échantillon. Une technique commune en microbiologie est la coloration de Gram. Utilisez les gants et les pinces pour manipuler les échantillons. Pour la coloration vous emploierez la technique d'immersion dans des cuvettes à coloration contenant trois colorants différents. Suivez les instructions ci-dessous :

**Coloration de Gram (vous trouverez des informations générales à propos de la coloration Gram dans l'annexe à la fin du questionnaire!)**

#### Etape 4: Observation.

Vous pouvez maintenant analyser les échantillons à l'aide du microscope. Vous n'avez pas besoin de couvrir votre préparation d'une lamelle. Commencez votre observation avec un objectif 10x puis 40x. Pour le grossissement final de 1000x, vous devrez employer la technique de l'huile à immersion. Vous devrez placer une goutte d'huile d'immersion entre l'échantillon et l'objectif.

Remarque : si vous n'êtes pas satisfait de la qualité de votre lame vous pouvez en préparer une autre.



**Joker:** si vous ne savez pas comment réaliser la technique de l'huile d'immersion, demandez l'aide d'un assistant. Il vous en coûtera cependant 3 points!

#### Evaluation des observations

1. Au début, vous pouvez aller vérifier la coloration générale de vos échantillons et donner une évaluation préliminaire de la coloration de Gram en marquant un (x) sur la feuille réponse (réponse 1.1).
2. Observez l'échantillon sous le microscope avec un grossissement de 1000x et choisissez le meilleur champ de l'échantillon A sous le microscope. Appelez un membre du jury pour regarder votre lame microscopique afin d'évaluer votre préparation microscopique. (réponse 1.2)
3. Examinez l'échantillon (A) et en vous rapportant à la fiche d'identification (annexe 1.1 à la fin du document), vous pouvez maintenant indiquer quels organismes, parmi les 6 règnes, **ne sont pas** impliqués dans la production de biogaz à l'unité de biogaz d'Alfred BIOMAN (échantillon A). (réponse 1.3).
4. En regardant l'échantillon (B) et en se rapportant à la fiche d'identification, identifiez les micro-organismes présents. (réponse 1.4).
5. Faites un dessin des micro-organismes présents dans l'échantillon (A) et nommer les spécimens utilisant les nombres de la fiche d'identification (réponse 1.5).
6. Questions générales au sujet des micro-organismes et de production de biogaz : marquez par un (x) si les affirmations sont vraies ou fausses sur la feuille réponses.

## Activité 2 : Identification de deux gaz dans le biogaz

Alfred Bioman aimerait connaître les deux gaz qui sont contenus dans le biogaz produit.

#### Remarques générales

- Utilisez des gants
- Purgez la seringue et la valve de l'air contenu avant de remplir la seringue de biogaz
- Soyez prudent lors de l'utilisation de la solution de NaOH

La constante des gaz parfaits est  $R = 8,3114 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

#### Matériel utilisé

- Balance de précision, manomètre, thermomètre (un par local)
- Un sac (ballon en plastique souple) contenant le mélange de biogaz
- Une seringue de 50 mL avec une valve (embout à 3 voies)
- Une seringue de 50 mL contenant 10 mL de solution de NaOH à 1 mol/L
- Un tuyau flexible
- Des embouts de connexion pour le tuyau flexible
- Un flacon laveur contenant une solution de NaOH à 1 mol/L

## Mode opératoire

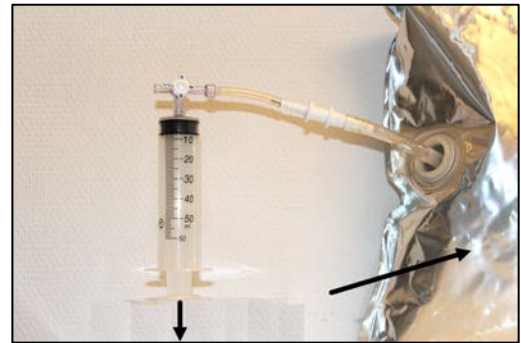
### 2.1 Détermination de la masse $m_1$ de la seringue contenant de l'air

Remplir la seringue avec 50 mL d'air

Peser la seringue avec la valve à trois voies et indiquer la masse  $m_1$  sur le tableau à côté de la balance et sur la feuille de réponse.

### 2.2 Détermination de la masse $m_2$ de la seringue contenant 50 mL de mélange gazeux

Connecter la seringue au sac contenant le gaz et la remplir avec 50 mL du biogaz. Exercer une légère pression sur le sac pour remplir la seringue et aspirer avec le piston de la seringue. Il vaut mieux être à deux chaque fois que l'on manipule le sac connecté aux autres appareils. Faites préalablement passer le biogaz dans le tube et la valve pour les purger (ainsi il ne reste aucune trace d'air).



Peser la seringue (avec la valve) remplie de gaz et indiquer la masse  $m_2$  sur le tableau à côté de la balance et sur votre feuille de réponses.

### 2.3 Détermination de la masse $m_3$ de 50 mL de mélange gazeux après réaction avec NaOH

Connecter le flacon laveur contenant la solution de NaOH de concentration 1 mol/L (1M) au sac contenant le biogaz à analyser. Faire buller le biogaz au travers de la solution de NaOH en exerçant une pression sur le sac.



Connecter la seringue au flacon laveur et la remplir avec 50 mL de biogaz issu du flacon laveur (aspirer au moyen du piston de la seringue).

Indiquez la masse  $m_3$  sur la feuille de réponses.

### 2.4 Détermination de la proportion de chaque gaz X et Y dans le mélange

Connecter la seringue au sac contenant le biogaz à prélever et la remplir avec 50 mL de biogaz en exerçant une légère pression sur le sac. Connecter cette seringue à une seconde





seringue qui contient déjà 10 mL de solution de NaOH de concentration 1 mol/L (1M).

Envoyer le biogaz de la première seringue vers celle qui contient NaOH. Agiter légèrement pour permettre à la réaction chimique de se dérouler. Le volume de mélange gazeux dans cette seringue diminue au fur et à mesure que la réaction chimique se déroule puisqu'il y a consommation d'un des deux gaz du mélange. Lorsque la réaction est terminée, le volume de gaz est constant. Notez ce volume.

## Calculs

### 2.5 Calcul de la masse de la seringue vide

A partir de la valeur  $m_1$  et du tableau 2.1 (masses volumiques de l'air), on peut connaître la masse  $m_A$  de la seringue (avec la valve) complètement vide. Notez la valeur de  $m_A$  dans le feuille de réponses.

Température (°C)	Densité de l'air ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
30	1.1644
25	1.1839
20	1.2041
15	1.2250
5	1.2690
0	1.2922
-5	1.3163

Fig 2.1 Tableau de la masse volumique de l'air en fonction de la température (à  $p=1$  atm)

### 2.6 Calcul de la masse de mélange gazeux contenu dans la seringue (50 mL)

A partir de la valeur  $m_2$  et de la masse de la seringue vide (avec la valve), on peut connaître la masse  $m_B$  de mélange gazeux contenu dans la seringue. Notez la valeur de  $m_B$  dans la feuille de réponses.

### 2.7 Calcul de la masse molaire de chaque gaz

2.7.1 A partir de la valeur de  $m_3$  et de la masse de la seringue vide (avec la valve), calculez la masse  $m_X$  de 50 mL de gaz X. Indiquez la valeur de  $m_X$  dans la feuille de réponses.

2.7.2 Calculez la masse molaire  $M_X$  du gaz X en utilisant la loi des gaz parfaits dans les conditions de température et de pression du local.



**JOKER:** si vous ne connaissez plus cette loi, l'assistant peut vous la donner mais vous perdez 3 points.

2.7.3. A partir de la valeur trouvée pour V et des masses calculées plus haut, calculez la masse molaire  $M_Y$  du gaz Y.

## Conclusion

2.8 Donnez la formule brute de chacun des deux gaz X et Y. ☞ Indiquez les sur la feuille de réponses.

### Questions supplémentaires

2A. Indiquez si chacune des phrases suivantes est vraie ou fausse dans la feuille de réponses.

Dans la loi des gaz parfaits :

- Le volume propre des molécules est négligeable
- Le gaz lui-même n'exerce aucune pression
- Le rayon des molécules est plus grand que 10 nm
- Il n'y a pas d'interactions moléculaires
- Le gaz n'est pas soluble dans l'eau

2B. Indiquez si chacune des phrases suivantes est vraie ou fausse dans la feuille de réponses.

- Le méthane provoque un accroissement de l'effet de serre plus élevé que le dioxyde de carbone
- Le méthane peut se combiner avec l'eau dans le fond des océans
- Le méthane est très soluble dans l'eau
- Le méthane a une structure moléculaire cubique
- Le méthane a une odeur caractéristique

## Activité 3 : Gestion du procédé de production du biogaz

Alfred Bioman mesure régulièrement plusieurs paramètres pour contrôler la production de biogaz dans le digesteur. Il craint cependant que la production de biogaz pourrait être perturbée par un phénomène d'acidose dû à des composés contenant des impuretés. Ceci pourrait être la conséquence de l'utilisation d'un appareil (de production de biogaz) insuffisamment propre au départ.

L'acidose produit une diminution du pH du milieu jusqu'à des valeurs inférieures à 6,5. A ces valeurs de pH, les microorganismes qui produisent le biogaz sont inhibés, ce qui diminue le rendement de la réaction en produisant notamment de grandes quantités de sucres solubles.

Pour éviter cette diminution de pH, **il faut que le milieu soit tamponné**. Le  $\text{CO}_2$  produit se transforme partiellement en  $\text{HCO}_3^-$  et ce dernier en  $\text{CO}_3^{2-}$ . On a un pouvoir tampon efficace s'il y a au moins 1 à 3 volumes de  $\text{CO}_2$  par volume de milieu réactionnel (que l'on appelle digestat).

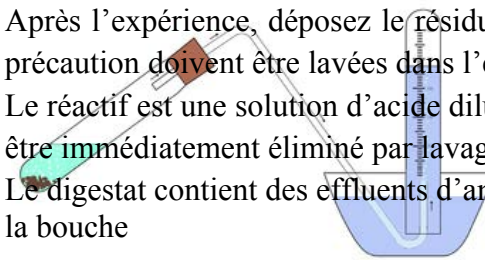
Alfred Bioman suggère de mesurer, tout au long de la production de biogaz, les deux paramètres suivants : pouvoir tampon et pH.

Le pouvoir tampon est déterminé par l'analyse du gaz émis au cours de la réaction.

Le pH est mesuré au moyen de bandes imprégnées d'indicateurs colorés caractéristiques (papier de pH).

Dans l'activité 3.1, le volume de gaz produit est mesuré au moyen d'un eudiomètre qui est un appareil permettant de mesurer le changement de volume d'un gaz après une modification chimique, physique ou biochimique. La forme la plus simple d'un eudiomètre est donnée dans la figure 3.1. Le montage expérimental qui sera utilisé est donné dans la figure 3.2.

- Mettre des gants et porter des lunettes de sécurité pendant toute la manipulation
- Après l'expérience, déposez le résidu dans le « waste container » et donc seules les lunettes de précaution doivent être lavées dans l'évier
- Le réactif est une solution d'acide dilué (HCl à 5 %) et tout contact avec la peau ou les yeux doit être immédiatement éliminé par lavage à l'eau



**Figure 3.1** : La forme simplifiée d'un eudiomètre. Le gaz produit par la réaction est envoyé dans une colonne d'eau. L'eau est déplacée vers le bas de la colonne graduée, ce qui permet de mesurer le volume.

Etant donné que Mr Alfred Bioman n'a pas envie de perdre les revenus générés par la production de biogaz et d'électricité, il voudrait connaître le statut de son digesteur et vous demande de procéder comme suit :

**Activité 3.1 : Pouvoir tampon du digestat**

**Matériel et méthodes**

Les appareils utilisés sont les suivants :

- Un eudiomètre modifié qui consiste en un flacon de 500 mL équipé d'une colonne et d'une entrée latérale.
- Une colonne en verre graduée contenant de l'eau.
- Un flacon qui sert de réservoir d'eau et qui sert à ajuster le niveau d'eau dans la colonne graduée.
- Un flacon de réaction de 2 litres en plastique (polycarbonate) qui est équipé de tubes verticaux.
- Le flacon qui contient les réactifs est connecté au flacon réactionnel par deux tubes : le premier permet au liquide réactionnel d'être transféré vers le flacon réactionnel et le second permet le déplacement de l'air pour faciliter le transfert de liquide.
- Deux flacons de mesure (bêchers de 250 ml)
- Une solution de HCl à 5 % colorée en rouge
- Un échantillon de digestat qui se trouve sur la table principale du laboratoire.

➤ Effectuer le montage du système comme indiqué dans la figure 3.2.

Colonne  
d'eau  
Water  
column

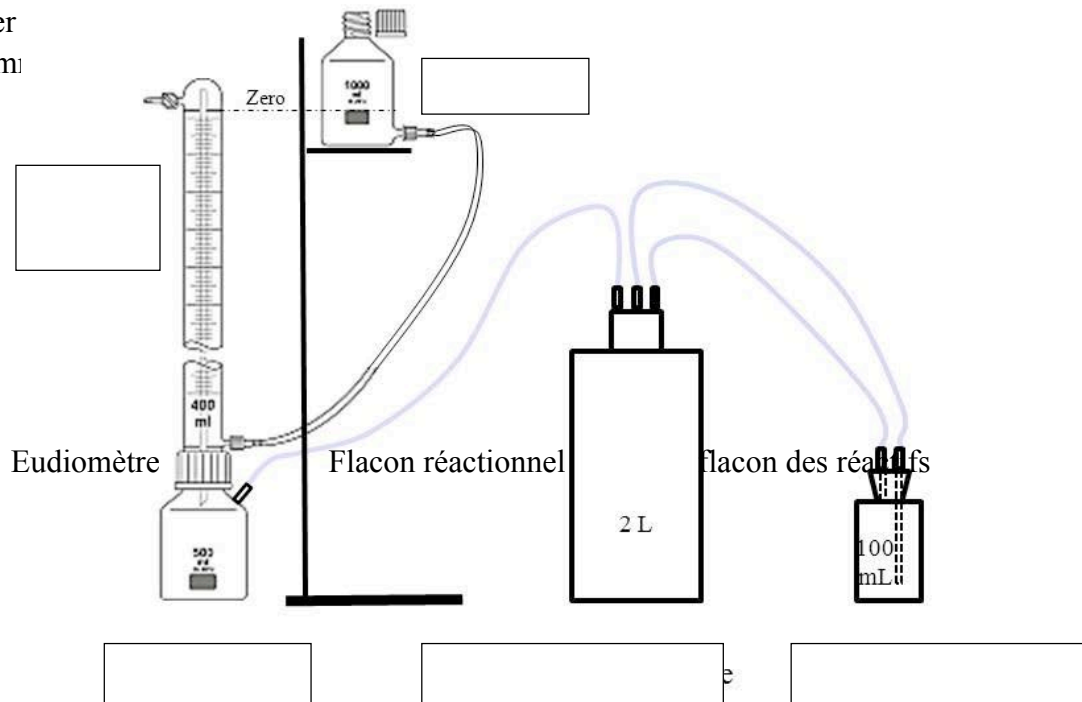


Figure 3.2: Eudiomètre utilisé dans l'expérience.

- Ajuster le volume d'eau dans le réservoir de l'eudiomètre. Il faut que le niveau d'eau dans le réservoir permette au liquide dans la colonne d'être à la graduation zéro lorsque les deux ménisques de liquide sont bien en regard l'un de l'autre. Pour réaliser cette opération, le robinet au-dessus de la colonne doit être ouvert.  
Fermer ensuite le robinet situé au-dessus de la colonne.  
Ajouter le réactif dans le flacon réactionnel.
- Porter des gants et des lunettes de sécurité.
- Prélever 100 mL de digestat dans un bécher de 250 mL. Introduire ces 100 mL dans le flacon réactionnel. Rincer le bécher deux fois avec une petite quantité d'eau du robinet et verser cette eau dans le flacon réactionnel.
- Fermer le flacon réactionnel
- En utilisant un second bécher, verser 50 mL de réactif acide (qui est en excès) dans le flacon réactionnel et le boucher ensuite.
- Vérifier une seconde fois que le niveau d'eau dans la colonne est bien au zéro, que les robinets et bouchons sont tous fermés (à l'exception du flacon réservoir supérieur qui doit rester ouvert) et donc que l'appareillage est bien étanche.
- On lève le flacon de réactif à un niveau supérieur au flacon réactionnel, on le penche de telle sorte que le liquide puisse couler dans le flacon réactionnel par le tuyau qui relie les deux flacons. On constate une formation immédiate de mousse au-dessus du digestat avec dégagement de gaz, ce qui provoque un abaissement du niveau d'eau dans la colonne graduée. Agiter doucement le flacon réactionnel pour bien mélanger et attendre que le niveau d'eau dans la colonne soit stable. Effectuer la lecture et la transcrire dans la feuille de réponses.
- Répéter l'opération encore deux fois et transcrire les volumes de gaz dégagé dans la feuille de réponses.

- Calculer la moyenne des volumes mesurés.
  - Quel est le nom du gaz produit pendant cette expérience ?
- ⇒ Répondre aux questions 3.1.3 à 3.1.8 (feuilles de réponses)

### **Activité 3.2 : pH du digestat**

Il faut maintenant mesurer le pH du digestat. Cela se fait au moyen de bandes de papier pH dont la coloration donnera la valeur du pH.

Pour effectuer la mesure, portez des gants et des lunettes de protection.

- Rincer deux béchers à l'eau du robinet ;
- Dans un premier bécher, prélever approximativement 50 mL du digestat d'origine (c'est-à-dire avant la réaction décrite en 3.1) et le diluer avec un volume équivalent d'eau du robinet ;
- Dans le deuxième bécher, prélever aussi le digestat après réaction dans l'eudiomètre ;
- Plonger une bande de papier pH dans chaque digestat, observer la couleur prise par les bandes, lire les valeurs de pH correspondantes à partir de l'échelle colorimétrique donnée dans le kit et les noter sur la feuille de réponses (réponse 3.2.1). Il faut agiter pour homogénéiser le milieu avant de plonger les bandes de papier.

⇒ Répondre aux questions 3.2.2 sur la feuille de réponses.

## ACTIVITE 4 : Détermination de la capacité thermique d'un liquide conducteur de chaleur utilisant un capteur solaire

Soit un tuyau rempli d'eau exposé à la lumière solaire : après un court moment la température de l'eau augmente considérablement. Le fonctionnement d'un capteur solaire est aussi simple que cela. Lorsqu'un rayon lumineux direct ou diffus frappe un capteur solaire, une part de l'énergie lumineuse est transformée en énergie thermique dans un absorbeur, puis finalement transmise à un **liquide conducteur de chaleur** qui traverse le tube absorbant (voir figure 4.1 ci-dessous). Dans le réservoir, le liquide conducteur de chaleur transfère son énergie thermique à l'eau.

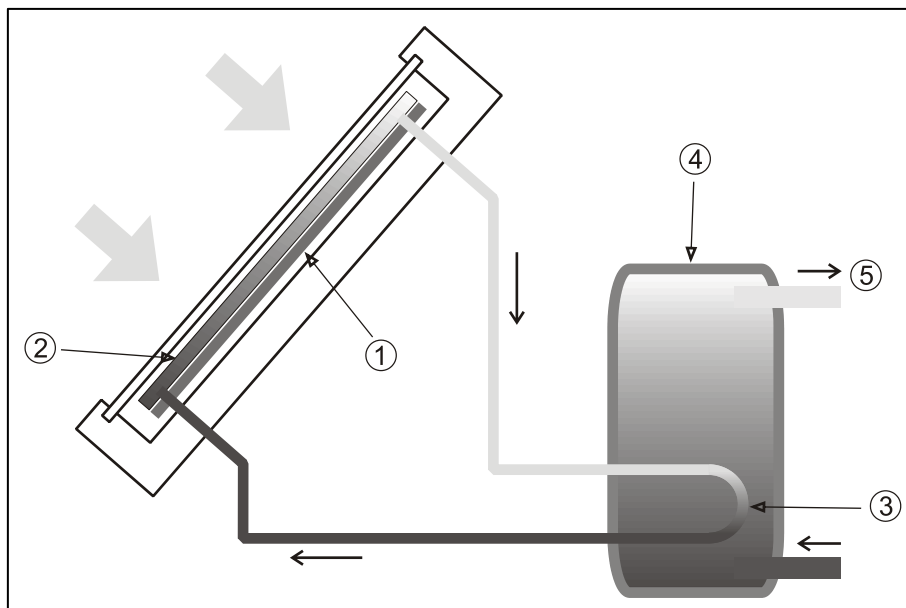


Figure 4.1: (1) plaque d'absorption, (2) liquide conducteur de chaleur, (3) échangeur de chaleur, (4) réservoir, (5) eau chaude domestique.

**Dans cette activité vous allez déterminer la capacité thermique spécifique du liquide conducteur de chaleur.**

### Définitions et Théorie

Tout matériau est capable de stocker de l'énergie thermique. Soit  $Q$  l'énergie thermique (calorifique) échangée entre la source de chaleur et un objet de masse  $m$ . si  $\Delta\theta$  représente la différence de température entre l'état initial et l'état final ( $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ ) (en °C) de l'objet, la capacité thermique de l'objet peut être définie par :

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta\theta} \quad (\text{ou } Q = m \times c \times \Delta\theta) \quad (1)$$

$c$  est une caractéristique du matériau qui compose l'objet.

L'unité SI est  $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Comme la différence de température absolue  $\Delta T = 1\text{K}$  correspond à une différence de température  $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$ , vous pouvez également utiliser l'unité  $\text{J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  comme unité de la capacité thermique spécifique. Par exemple à  $20^\circ\text{C}$  l'eau a une capacité thermique spécifique de

$4183 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Cela signifie qu'il faut une énergie de  $4183 \text{ J}$  pour augmenter de  $1^\circ\text{C}$  la température d' $1 \text{ kg}$  d'eau.

Comparée à d'autres liquides, l'eau a une capacité thermique spécifique très élevée. Cette propriété fait de lui un candidat idéal comme liquide conducteur de chaleur dans les capteurs solaires. Afin de protéger du gel et de la corrosion l'installation, on ajoute à l'eau un antigel disponible dans le commerce (généralement à base de propylène glycol) pour obtenir un bon liquide conducteur de la chaleur. L'intérêt est de diminuer la température de solidification (de congélation) de l'eau pure. Par contre un des désavantages du mélange eau-antigel est l'augmentation de la viscosité (résistance à l'écoulement).

D'après les explications données au-dessus, pour la capacité thermique spécifique d'un liquide conducteur de chaleur utilisé dans la vie réelle, il faut d'abord :

- connaître la capacité thermique spécifique de l'antigel ;
- puis, en utilisant une règle de mélange, calculer la capacité thermique spécifique du conducteur de chaleur lui-même.

Pour déterminer la capacité thermique spécifique de l'antigel disponible dans le commerce (Tyfocor®L dans votre cas ; Tyfo en abrégé), il faut enregistrer les courbes de refroidissement d'un échantillon de Tyfo et d'eau comme liquide de référence. Dans les deux cas il faudra étudier comment la température des deux échantillons de liquide chaud diminue en fonction du temps.

Pour l'expérience qui suit, vous allez utiliser le calorimètre représenté sur la figure 4.2. Il est constitué d'un cylindre de cuivre, fermé à une extrémité, muni d'un couvercle de cuivre et équipé d'un agitateur de cuivre. Soit  $m_{cal}$ , la masse totale du dispositif expérimental et  $\theta_{amb}$  sa température (correspondant à la température ambiante). La figure 4.2 montre que le calorimètre repose sur des supports en liège à l'intérieur d'une grande boîte en plastique. Le but de ce dispositif est de rendre le calorimètre adiabatique (c'est-à-dire d'empêcher les échanges thermiques avec l'extérieur).

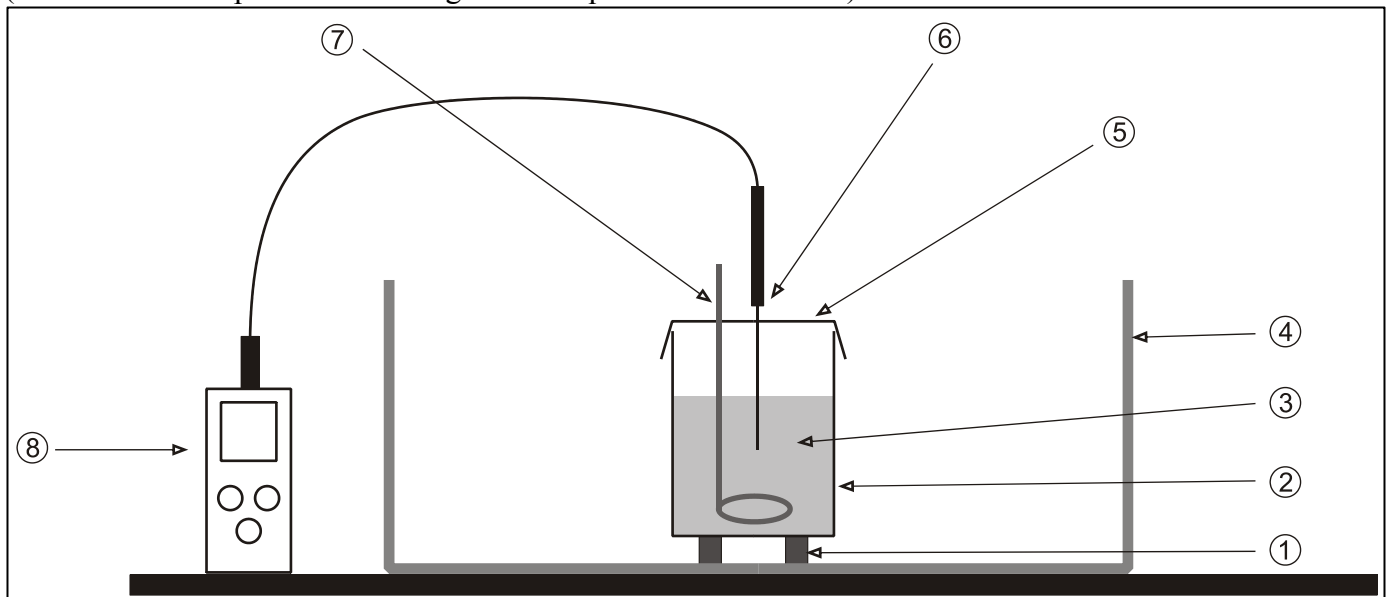


Figure 4.2 : (1) supports en liège, (2) calorimètre, (3) liquide, (4) boîte en plastique, (5) couvercle, (6) sonde thermométrique, (7) agitateur, (8) thermomètre digital.

Si on remplit le calorimètre avec un volume d'eau chaude de masse  $m_{liq}$ , alors assez vite, le calorimètre va se réchauffer et le liquide va se refroidir pour atteindre une température d'équilibre. A partir de ce moment, la température d'équilibre va diminuer.

Plusieurs mécanismes de transport sont responsables du refroidissement du calorimètre et de son contenu :

- La conduction thermique qui a lieu sur l'interface calorimètre-air,
- la convection qui résulte de la différence de densités entre l'air chaud et l'air plus froid,
- la radiation thermique qui peut être négligée car dans votre expérience la température maximum du calorimètre sera relativement faible.

**Attention :** Quelque soit l'importance de chaque mécanisme (a, b, c) dans le processus de refroidissement des échantillons, l'évaluation des courbes de refroidissement donnera un résultat fiable pour la capacité thermique spécifique de l'antigel si les deux échantillons eau-Tyfo sont refroidis dans **exactement les mêmes conditions**.

Si  $Q$  représente l'énergie thermique (calorifique) dissipée par le calorimètre et son contenu, avec une différence de température  $\Delta\theta$ , alors, selon (1) :

$$Q = Q_{liq} + Q_{cal} = m_{liq} \cdot c_{liq} \cdot \Delta\theta + m_{cal} \cdot c_{cal} \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

$c_{liq}$  : capacité thermique spécifique du liquide (respectivement eau et Tyfo) ;

$c_{cal}$  : capacité thermique spécifique du calorimètre.

En considérant que l'échange thermique a une durée de  $\Delta t$ , alors grâce à l'équation (2) et en divisant par  $\Delta t$ , l'énergie thermique perdue par unité de temps est donnée par la formule (3) :

$$\frac{Q}{\Delta t} = (m_{liq} \cdot c_{liq} + m_{cal} \cdot c_{cal}) \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (3)$$

Si les deux liquides peuvent refroidir dans les mêmes conditions,  $\frac{Q}{\Delta t}$  dépend seulement de la différence de température entre le calorimètre (et son contenu) et l'environnement (air, boîte, support en plastique). Ainsi, l'énergie thermique (calorifique) perdue par unité de temps, **à une température donnée du calorimètre**, est indépendante de la nature du liquide dans le calorimètre.

A partir de cette remarque, vous pouvez déterminer la capacité thermique d'un liquide (le Tyfo), si vous connaissez la capacité thermique du liquide de référence (eau).

Après refroidissement de l'échantillon d'eau (liquide de référence), puis dans les mêmes conditions, le refroidissement de l'antigel : Tyfo, vous obtenez à une température donnée  $\theta_{slope}$  :

$$\boxed{\phantom{0}} \left( \frac{Q}{\Delta t} \right)_{Tyfo} = \left( \frac{Q}{\Delta t} \right)_{water} \\ (m_{Tyfo} \cdot c_{Tyfo} + m_{cal} \cdot c_{cal}) \cdot \left( \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right)_{Tyfo} = (m_{water} \cdot c_{water} + m_{cal} \cdot c_{cal}) \cdot \left( \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right)_{water} \quad (4)$$

$m_{Tyfo}$ ,  $m_{water}$  sont respectivement les masses du même volume  $V$  d'antigel et d'eau.

$c_{Tyfo}$ ,  $c_{water}$  représentent les capacités thermiques spécifiques des deux liquides (Tyfo et eau) ;



$\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right)_{Tyfo}$ ,  $\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right)_{water}$  correspondent respectivement aux coefficients directeurs (encore appelés pentes (slope) ou coefficients angulaires) des courbes de refroidissement  $\theta_{Tyfo}(t)$  et  $\theta_{water}(t)$  déterminés à la même température  $\theta_{slope}$  qui sera définie après.

**Attention :**  $\theta_{Tyfo}(t)$  signifie  $\theta_{Tyfo} = f(t)$  et  $\theta_{water}(t)$  signifie  $\theta_{water} = f(t)$ .

Comme mentionné précédemment, dans un vrai capteur solaire le conducteur de chaleur est un mélange de Tyfo et d'eau.

### **Equipement et matériel :**

- 1 calorimètre en cuivre avec couvercle et 1 agitateur en cuivre
- 1 thermomètre digital
- 1 grande boîte en plastique
- 3 supports en liège
- 1 chronomètre
- 1 balance digitale
- 1 plaque chauffante
- 1 bécher rempli de 0,5 L d'antigel (Tyfocor<sup>®</sup>L)(Tyfo)
- 1 bécher vide (à remplir d'eau)
- 1 paire de gants de protection
- 1 éponge
- 1 chiffon
- 2 feuilles de papier millimétré
- 1 règle

### **Activité 4.1: Masse du calorimètre**

Mesurer la masse du calorimètre vide avec le couvercle et l'agitateur. Reporter la réponse sur la feuille de réponses. Indiquer également le N° du calorimètre utilisé (voir l'envers du couvercle).

### **Activité 4.2 : Tableau des données**

- Laisser le calorimètre sans le couvercle et l'agitateur sur la balance digitale et le remplir de 300g d'eau (liquide de référence). Placer ensuite le calorimètre (sans couvercle et agitateur) sur la plaque chauffante et le chauffer jusqu'à environ 80°C. **Régler le thermostat au maximum et laisser l'agitateur magnétique éteint.**

**Attention ! Le calorimètre et son contenu vont devenir très chauds. Protégez-vous les mains avec les gants.**

Vous pouvez vérifier la température du liquide de référence (eau) dans le calorimètre avec le thermomètre digital. Pour homogénéiser la température dans le calorimètre, agiter de façon continue avec la sonde thermique.

**Très important ! Attention ! Eviter le contact entre le fil de connexion de la sonde thermométrique et la plaque chauffante !**

- Une fois que le liquide a atteint une température d'environ 80°C :
  - Arrêter la plaque chauffante ;
  - Transférer le calorimètre dans la boîte en plastique, en utilisant les gants de protection, et le placer avec précaution sur les 3 supports en liège ;
  - Insérer la sonde thermométrique dans le petit trou au centre du couvercle et fixer la sonde avec la vis ;
  - Enfin, placer l'agitateur dans le liquide et fermer le calorimètre avec le couvercle.
- Tout en mélangeant (régulièrement et doucement), mesurer la température  $\theta$  toutes les 30 secondes pendant le refroidissement du liquide. Commencer les mesures à environ  $\theta = 75^{\circ}\text{C}$ . Noter les valeurs dans le tableau de l'activité 4.2 de la feuille de réponses.

t (min)	$\theta_{\text{water}}$ (°C) Liquide de Référence	$\theta_{\text{Tyfo}}$ (°C) Antigel (Tyfo)
0		
0.5		
1.0		
1.5		
....		
10.0		

Arrêter les mesures au bout de 10 minutes.

- Verser l'eau dans son contenant d'origine et nettoyer le calorimètre avec le chiffon.
- Répéter l'expérience avec le calorimètre maintenant rempli de 300 g d'antigel (Tyfo). On considère que, **pour les températures mesurées**, la densité du liquide de référence (l'eau) est approximativement égale à la densité de l'antigel (Tyfo). (les deux échantillons occupent le même volume à l'intérieur du calorimètre) (ceci est très important pour garantir que les courbes de refroidissement soient mesurées dans exactement les mêmes conditions.)

**Activité 4.3 : Courbes de refroidissement**

Grâce aux données du tableau, tracer les graphes représentant l'évolution de la température  $\theta_{\text{ref}}(t)$  et  $\theta_{\text{Tyfo}}(t)$  en fonction du temps t sur le même papier millimétré en mettant  $\theta$  en ordonnée et t en abscisse.

**Activité 4.4 : Coefficients directeurs (angulaires) des tangentes**

- Déterminez les coefficients directeurs à la température  $\theta_{\text{slope}} = 70^{\circ}\text{C}$  et complétez la feuille de réponses.  
(Le coefficient directeur correspond à la tangente au préalable tracée avec la règle sur la courbe précédente à 70°C.)

### **Activité 4.5 : Capacité thermique spécifique de l'antigel (Tyfo)**

- A partir de l'équation (4), trouver la formule qui permet de calculer  $c_{\text{Tyfo}}$  (la capacité thermique spécifique de l'antigel Tyfo).
- Déterminer la capacité thermique spécifique de l'antigel  $c_{\text{Tyfo}}$  à partir de la formule trouvée précédemment, sachant que  $c_{\text{cal}} = 380 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $c_{\text{water}} = 4189 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ , à la température de  $70^\circ\text{C}$ . Reporter le résultat sur la feuille de réponse.
- Sachant que la capacité thermique spécifique de Tyfo augmente de façon linéaire de  $5,75 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  lorsque la température augmente de  $1^\circ\text{C}$ , déterminer la capacité thermique spécifique de l'échantillon d'antigel à  $+30^\circ\text{C}$  et à  $-20^\circ\text{C}$ . Reporter les résultats sur la feuille de réponses.

### **Activité 4.6 : Concentration du mélange conducteur de chaleur**

Comme dit précédemment, en pratique, un liquide conducteur de chaleur est un mélange d'eau et d'antigel (dans notre cas Tyfocor<sup>®</sup>L). Considérons un capteur solaire fonctionnant correctement à une température de  $-20^\circ\text{C}$ . Pour économiser de l'énergie, le mélange conducteur de chaleur doit avoir une viscosité (c'est-à-dire la résistance à l'écoulement). Utiliser le document annexe pour déterminer la concentration de Tyfo de ce mélange et reporter la valeur sur la feuille de réponse.

#### **➤ Question 4A : Capacité thermique spécifique de ce mélange**

Un capteur solaire fonctionne à une température de  $30^\circ\text{C}$  avec un conducteur de chaleur contenant 40% de Tyfocor<sup>®</sup>L. Sachant que  $c_{\text{water}} = 4179 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  à une température de  $30^\circ\text{C}$ , déterminer la capacité thermique spécifique du mélange à  $30^\circ\text{C}$ .

Reporter le résultat sur la feuille de réponse.

#### **➤ Question 4B : Equilibre thermique du calorimètre**

Un échantillon de liquide, à un volume donné, est chauffé à une température de  $80^\circ\text{C}$  et versé dans un calorimètre, qui était au départ à température ambiante. Le liquide est agité de façon continue. Après un certain temps, le calorimètre et le liquide atteignent une température identique.

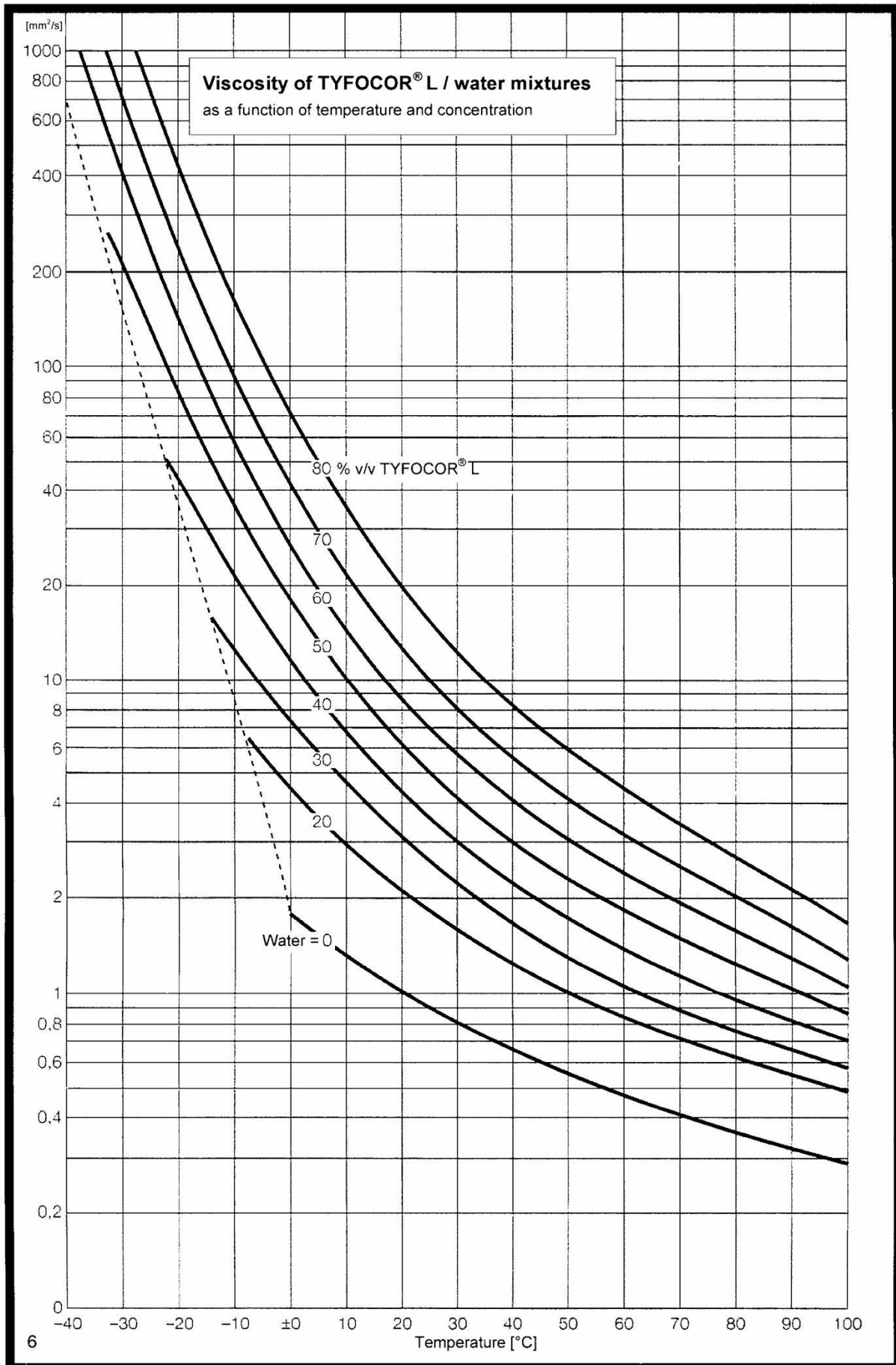
Parmi les facteurs et actions suivants, le quel/lesquels va/vont modifier ce temps ?

- Choisir un calorimètre fait du même matériau mais avec une masse différente ;
- Changer la surface de contact entre le calorimètre et le liquide ;
- Placer le calorimètre dans une petite boîte en plastique ;
- Ne pas mélanger le liquide ;
- Augmenter la température ambiante et la température du liquide chauffé de  $5^\circ\text{C}$  (les capacités thermiques et les conductivités thermiques du calorimètre et du liquide restant invariables)

Noter les réponses sur la feuille de réponses.

**Document ANNEXE : Viscosité des mélanges TYFO/eau**

**Comme une fonction de température et de concentration**



## **ACTIVITE 5 : Questions générales sur la biométhanisation**

**(7 points)**

### **5A Synthèse du méthane :**

Ecrivez l'équation de la production de méthane par les producteurs de méthane acétotrophique en utilisant l'acide acétique. ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) :

Ecrivez l'équation de la production de méthane par les producteurs de méthane hydrogéntrophique, en utilisant de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.

**5B Calculez la quantité totale de pétrole qui pourrait être épargnée annuellement par l'utilisation de la biométhanisation pour la production d'énergie au Luxembourg.**

**5C Le gouvernement du Luxembourg, dans un effort de réduction des émissions de gaz à effet de serre et pour atteindre l'objectif de réduction des émissions prévu par le Protocole de Kyoto, pourrait mettre en place une taxe pour les agriculteurs possédant des vaches (taxe sur la flatulence : 0.05 € /L de  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$  émis annuellement) parce que leur cheptel est le plus gros producteur de méthane (19 6470 vaches).**

**Combien d'argent le gouvernement pourrait-il récolter par an (365 jours) grâce à cette taxe ?**

**5D Depuis que Monsieur Alfred Bioman a transformé sa ferme en unité de biogaz, il fait bon usage du digestat comme engrais biologique. Sa ferme a une surface cultivable de 100 ha et il utilise l'équivalent de 170 kg d'azote/ha/an (le digestat de la ferme de Monsieur Bioman contient en moyenne 4 kg d'azote par  $\text{m}^3$ ).**

**Calculer la quantité, en  $\text{m}^3$ , de gaz naturel, qui est économisée annuellement grâce à l'action de Monsieur Bioman.**