

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2018

## PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement de Spécialité

Durée de l'épreuve : 3h30 – Coefficient : 8

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

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.**

**Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.**

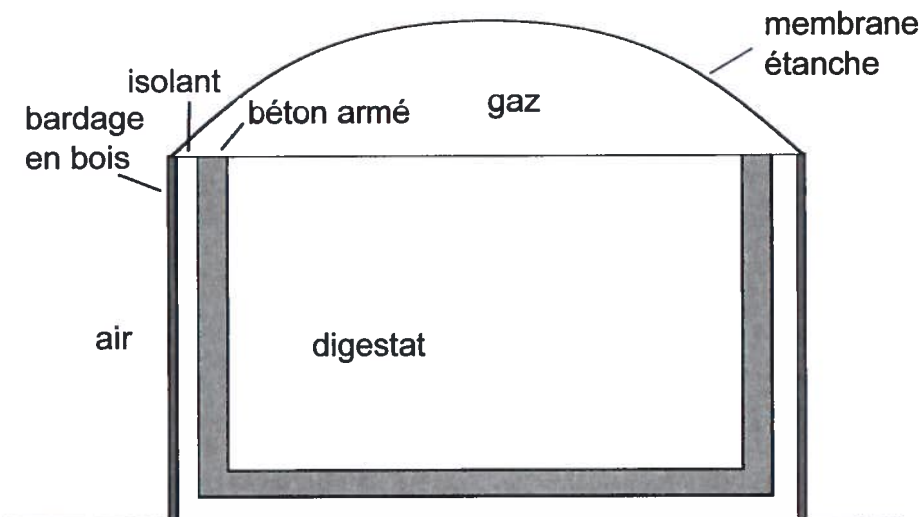
**Les feuilles d'annexes (pages 11/12 et 12/12)  
SONT À RENDRE AGRAFÉES À LA COPIE.**

**EXERCICE I : VALORISATION DES DÉCHETS D'UN MÉTHANISEUR (7 points)**

La méthanisation est une technique mise en œuvre dans des méthaniseurs où le processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène est accéléré et entretenu pour produire un méthane utilisable (biogaz, dénommé biométhane après épuration). On cherche à atteindre trois objectifs complémentaires : produire de l'énergie, réduire la charge polluante des déchets et des effluents et également, selon la nature du produit de départ, produire un digestat utilisable comme fertilisant ou amendement organique.

**1. Maintien à température du digestat**

Une partie du méthane produit est utilisée pour chauffer le méthaniseur lui-même. La température doit être maintenue à une valeur proche de 38°C de façon à optimiser la méthanisation.



Le méthaniseur est assimilable à un cylindre en béton armé, d'épaisseur  $e_1 = 30$  cm, d'un diamètre  $D = 10,0$  m et d'une hauteur  $h = 5,0$  m. Il est isolé par l'extérieur avec du polystyrène d'épaisseur  $e_2 = 15$  cm. Un bardage en bois d'épaisseur  $e_3 = 2,0$  cm protège le dispositif des intempéries. La poche de biogaz au sommet de l'ensemble est retenue par une membrane étanche, comme le montre le schéma ci-dessus.

**Données :**

- La résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi plane est donnée par la relation  $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$  où  $e$  est l'épaisseur de la paroi (en m),  $S$  la surface d'échange en  $m^2$  et  $\lambda$  la conductivité thermique de la paroi (en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ).
- La surface latérale d'un cylindre de diamètre  $D$  et de hauteur  $h$  est donnée par  $S = \pi Dh$ .

- Valeurs de conductivité thermique :

Matériaux	Béton armé	Polystyrène extrudé	Bois (bardage)
Conductivité thermique $\lambda$ en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	1,65	0,038	0,20

- Les résistances thermiques de parois accolées s'additionnent.
- Le flux thermique  $\varphi$  d'un milieu 2 de température  $T_2$  à un milieu 1 de température  $T_1$  à travers une paroi de résistance thermique  $R_{\text{th}}$  est donné par la relation  $\varphi = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{th}}}$  où  $\varphi$  est exprimé en W,  $R_{\text{th}}$  en unité du système international,  $T_1$  et  $T_2$  en K.

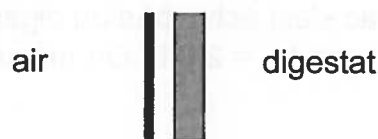
1.1. Déterminer le mode de transfert thermique à travers les parois latérales du méthaniseur.

1.2. On suppose que le diamètre du méthaniseur est suffisamment grand par rapport à l'épaisseur de la paroi pour pouvoir considérer que la résistance thermique de la partie verticale séparant le digestat de l'air est égale à celle d'une paroi plane de même constitution et de même surface.

Vérifier que la résistance thermique totale de la paroi verticale  $R_{\text{totale}}$  est égale à  $2,7 \times 10^{-2}$  S.I. Préciser son unité.

1.3. On considère la température de l'air égale à sa valeur moyenne annuelle en France, soit  $10^\circ\text{C}$ .

1.3.1. Représenter le flux thermique  $\varphi$  à travers la paroi verticale du méthaniseur par une flèche sur le schéma ci-dessous, à reproduire sur la copie. Justifier.



1.3.2. Calculer la valeur du flux thermique qui traverse cette paroi verticale.

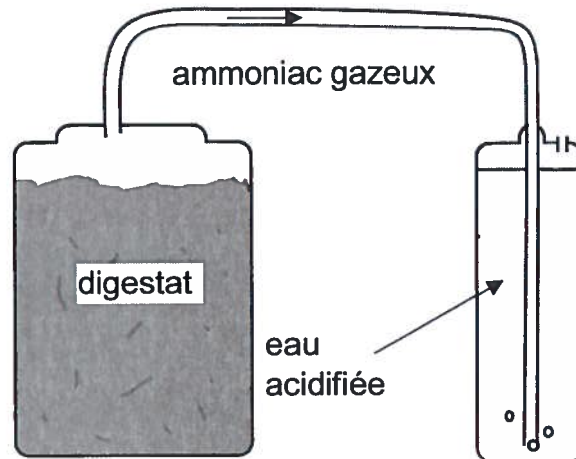
1.4. Un méthaniseur de cette taille peut produire  $750\,000\text{ m}^3$  de biogaz chaque année. L'énergie que peut produire  $1\text{ m}^3$  de biogaz vaut 21 MJ. Les pertes thermiques de l'installation (flux thermique à travers les parois verticales, le sol et la membrane) sont évaluées à 1,6 kW en moyenne.

Comparer la valeur de l'énergie stockée sous forme de biogaz aux pertes thermiques de l'installation. Commenter.

## 2. Le digestat, un engrais vert

Un agriculteur souhaite remplacer ses apports en engrais « chimique » azoté par un apport en digestat dont la quasi-totalité de l'azote se trouve sous la forme d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) dissous. Il demande donc à un laboratoire d'analyser le digestat de manière à connaître sa teneur en azote N.

Pour cette analyse, 1 kg de digestat est chauffé et brassé. L'ammoniac issu du digestat est recueilli puis dissous dans de l'eau acidifiée, comme le montre le schéma ci-dessous :



### Données :

- Masses molaires :  $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- Couples acide / base et  $pK_A$  :
  - ion ammonium / ammoniac ( $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$ ),  $pK_A = 9,2$
  - eau / ion hydroxyde ( $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$ ),  $pK_A = 14,0$

Lorsque la totalité de l'ammoniac s'est échappée du digestat, on recueille l'intégralité de la solution S formée, de volume  $V_S = 2,0 \text{ L}$ . On mesure le pH de la solution S : il est voisin de 5.

2.1. En s'appuyant sur le diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac, identifier l'espèce azotée majoritaire dans la solution S.

2.2. On dose un volume  $V = 10,0 \text{ mL}$  de solution S par une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$ ) de concentration molaire  $C_b = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ . Le suivi pH-métrique permet d'obtenir la courbe fournie en **ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

2.2.1. Écrire l'équation de la réaction support du dosage de l'ion ammonium par la solution d'hydroxyde de sodium.

On suppose que seule cette réaction se produit lors du dosage.

2.2.2. Le laboratoire indique sur la fiche de synthèse de l'analyse une teneur en azote N égale à 2,6 g par kilogramme de digestat.

Cette teneur est-elle cohérente avec le suivi pH-métrique réalisé et donné en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** ? La démarche suivie devra être détaillée.

2.3. L'agriculteur utilisait précédemment un engrais de synthèse, le nitrate d'ammonium  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Après avoir calculé la masse d'azote N dans une mole de nitrate d'ammonium  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , comparer les apports en azote du digestat et de cet engrais de synthèse puis donner un avantage et un inconvénient de la valorisation du digestat comme engrais.

**EXERCICE II : LE BADMINTON, UN SPORT DANS LE VENT (8 POINTS)**

Le badminton est un sport de raquette qui réunit deux joueurs ou deux binômes de joueurs, placés dans deux demi-terrains séparés par un filet. Les joueurs marquent des points en frappant un volant à l'aide d'une raquette pour le faire tomber dans le terrain adverse.

Le volant, d'une masse  $m$  égale à 5,0 g, est un projectile aux propriétés aérodynamiques particulières qui lui donnent une trajectoire très différente des balles utilisées dans la plupart des sports de raquette. En effet, les plumes créent une traînée, modélisée par une force  $\vec{F}$ , qui s'oppose au mouvement du volant dans l'air.

Le mouvement du volant de badminton est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen auquel est associé le repère d'espace (Ox, Oz). L'exploitation de la vidéo du mouvement du volant permet d'obtenir le graphe reproduit sur l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**. L'intervalle de temps entre deux points de mesure vaut  $\Delta t = 50$  ms.

**1. Première approche**

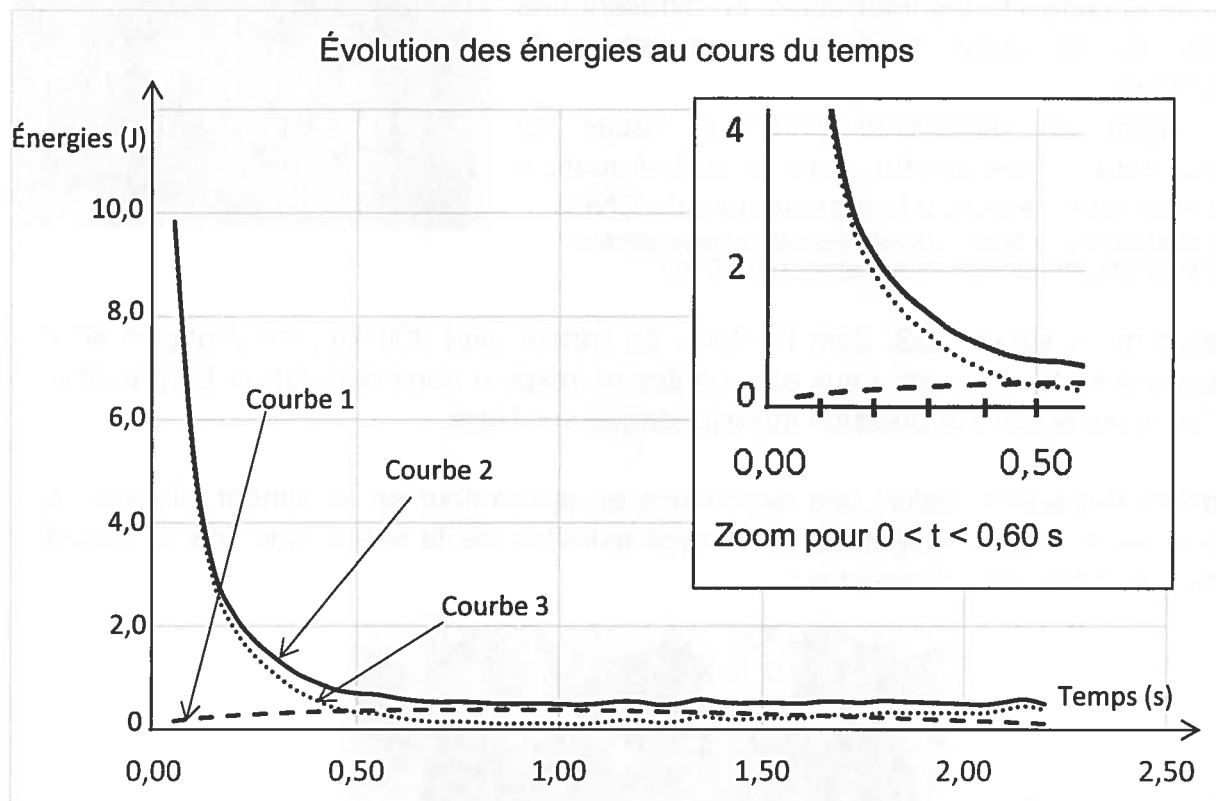
1.1. Justifier le fait que le volant n'est pas en chute libre.

1.2. Comment peut-on en première approximation décrire le mouvement du volant sur la portion AB de sa trajectoire ? Représenter sur le graphe reproduit sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, le vecteur accélération  $\vec{a}$  (direction et sens uniquement) à la date  $t = 100$  ms.  
Aucun calcul n'est demandé.

1.3. Représenter sur le graphe précédent, sans souci d'échelle, les forces qui s'exercent sur le volant en un des points de la portion AB. Les intensités de ces forces sont-elles du même ordre de grandeur ? Justifier en utilisant la 2<sup>ème</sup> loi de Newton.

## 2. Étude énergétique du mouvement

Grâce aux mesures réalisées, on a pu tracer l'évolution au cours du temps des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique.



### Donnée :

Intensité de la pesanteur  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$

- 2.1. Identifier, en justifiant, la nature de l'énergie correspondant à chaque courbe.
- 2.2. À partir d'une des trois courbes précédentes, calculer en  $\text{km.h}^{-1}$  l'ordre de grandeur de la vitesse du volant lorsqu'il occupe la position B.
- 2.3. Calculer le travail du poids du volant lors du déplacement de A à B. Commenter le signe du résultat obtenu.
- 2.4. L'énergie mécanique, quant à elle, varie au cours du mouvement. Quelle est la cause de cette variation?

### 3. L'expérience de Thomas Pesquet

L'astronaute français, qui s'est envolé vers la station spatiale internationale (ISS) jeudi 17 novembre, a suscité la curiosité des internautes en diffusant une photo de sa valise contenant... un volant de badminton.

"Il s'agira de déterminer comment l'objet se comportera en apesanteur, dans la station spatiale internationale," explique le représentant du CNES.

[http://www.lexpress.fr/actualite/sciences/voici-pourquoi-thomas-pesquet-emporte-un-volant-de-badminton-dans-l-espace\\_1851090.html](http://www.lexpress.fr/actualite/sciences/voici-pourquoi-thomas-pesquet-emporte-un-volant-de-badminton-dans-l-espace_1851090.html)



À bord de la station ISS, dont l'altitude de l'orbite vaut 400 km, les modules sont pressurisés pour permettre aux astronautes de respirer sans assistance. La pression de l'air y est égale à la pression atmosphérique sur Terre.

Thomas Pesquet a réalisé une expérience en apesanteur en se filmant : il lâche le volant sans vitesse initiale. Deux images extraites de la vidéo, une fois le volant lâché, sont données ci-dessous :



<https://jason2-mission.cnes.fr/fr/media/sportifs-et-curieux-thomas-pesquet-une-reponse-pour-vous>

#### Données :

- Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  SI
- Rayon de la Terre :  $R_T = 6380$  km
- Masse de la Terre :  $M_T = 5,97 \times 10^{24}$  kg

La Terre est supposée à répartition de masse sphérique. L'ISS est considérée ponctuelle et en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre dans le référentiel géocentrique (supposé galiléen).

- 3.1. Décrire le mouvement du volant lorsqu'il est lâché par Thomas Pesquet, d'abord dans le référentiel lié à l'ISS, puis dans le référentiel géocentrique.
- 3.2. Établir l'expression de la valeur de l'accélération de l'ISS dans le référentiel géocentrique, puis la calculer.
- 3.3. Expliquer pourquoi le volant reste près de l'astronaute.



### EXERCICE III: UN BATEAU INNOVANT (5 points)

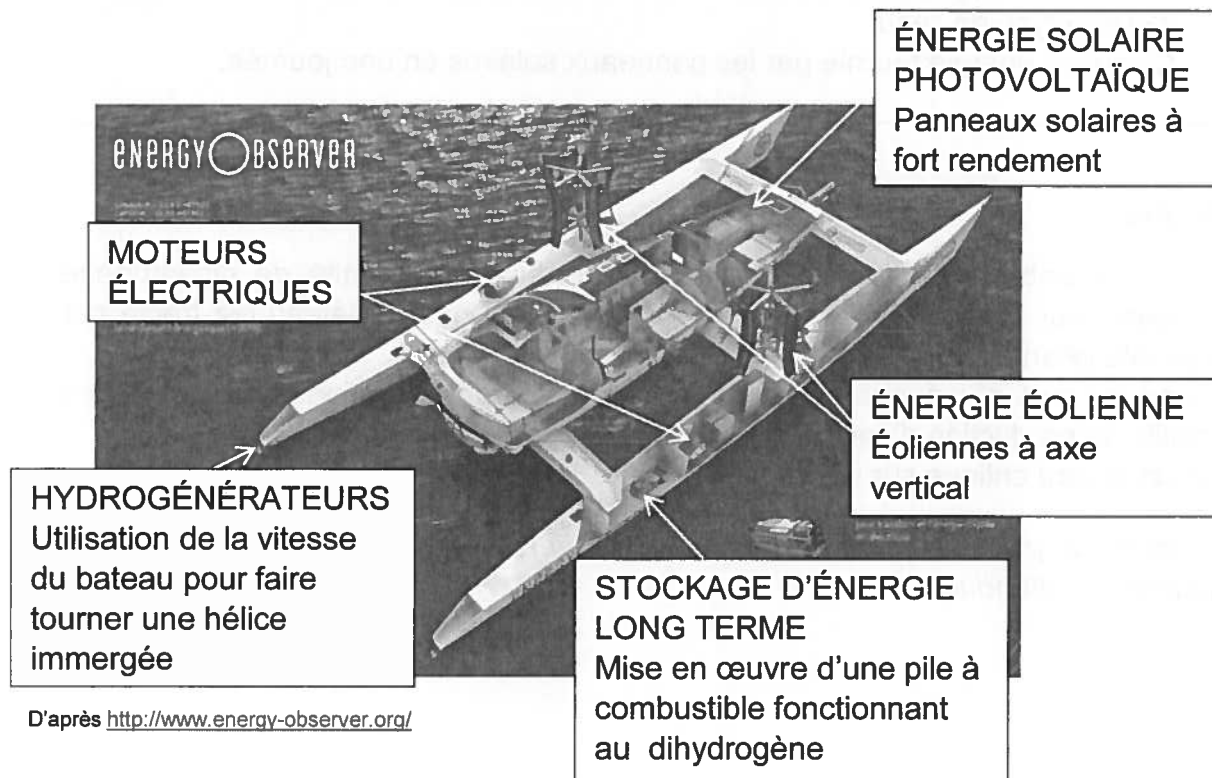
Energy Observer est un prototype de bateau fonctionnant grâce à l'utilisation de plusieurs sources d'énergie : le soleil, le vent, l'eau. Il est capable en particulier de produire du dihydrogène à partir de l'eau de mer. Il est doté d'une aile de kite géante qui peut tracter le bateau à près de 10 nœuds ( $18,5 \text{ km.h}^{-1}$ ) grâce au vent ainsi que de deux moteurs électriques utilisés en l'absence de vent.



Le vent permet également de produire de l'énergie électrique à partir de deux éoliennes ayant une puissance de 2,5 kW chacune.

Le bateau possède également deux hydrogénérateurs produisant de l'électricité grâce au déplacement du bateau ainsi que des panneaux solaires sur une surface égale à  $130 \text{ m}^2$ . Des batteries de type lithium-ion stockent l'énergie.

La production de dihydrogène est complémentaire aux batteries en permettant également le stockage d'énergie avant d'être utilisé comme carburant de la pile à combustible présente sur le bateau. Le dihydrogène est obtenu par électrolyse de l'eau de mer dessalée. Compte tenu du volume limité pour le stockage, des compresseurs mettent sous pression les 60 kg de dihydrogène que peuvent contenir les réservoirs.



Puissance fournie par les différents dispositifs de production d'énergie présents à bord :

Dispositifs	Deux éoliennes	130 m <sup>2</sup> de panneaux solaires	Hydrogénérateurs
Puissance		21 kW	2 kW

**Données :**

- Durée moyenne d'ensoleillement par jour : 12 h
- Électrolyse de l'eau, demi-équations mises en jeu :
 
$$2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{O}_{2(g)} + 4 \text{H}^+_{(aq)} + 4 \text{e}^-$$

$$\text{H}_{2(g)} = 2 \text{H}^+_{(aq)} + 2 \text{e}^-$$
- Charge électrique d'une mole d'électrons:  $1 F = 96500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Énergie électrique nécessaire pour une électrolyse correspondant à un transfert de charge  $Q$  :  $E_{\text{élec}} = Q \times U$   
Où  $Q$  est en coulomb (C),  $E_{\text{élec}}$  en joule (J), et  $U$  est la tension aux bornes de l'électrolyseur, égale à 1,25 V
- Masse molaire du dihydrogène :  $M(\text{H}_2) = 2,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

**Questions préliminaires**

1. Établir, en s'appuyant sur les informations fournies, l'équation de la réaction d'électrolyse de l'eau.
2. Calculer l'énergie fournie par les panneaux solaires en une journée.

**Problème**

Estimer le nombre de jours qu'il faut pour produire la quantité de dihydrogène nécessaire pour remplir la totalité des réservoirs alors que le bateau est tracté par l'aile de kite géante.

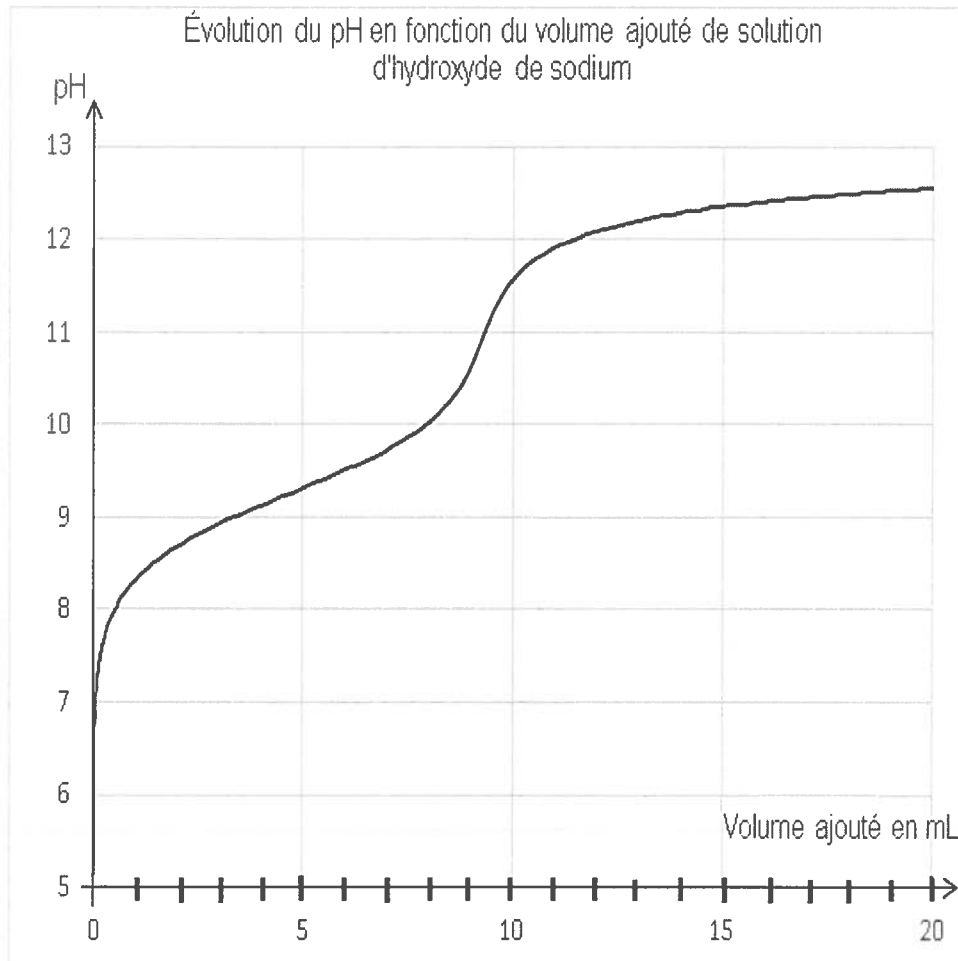
On suppose qu'il n'y a pas de perte pendant la transformation et que tous les dispositifs de production d'énergie fonctionnent à pleine puissance.

Porter un regard critique sur le résultat.

*Les initiatives prises par le candidat seront valorisées. Une réponse claire et structurée est attendue.*

**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE****EXERCICE 1 : VALORISATION DES DÉCHETS D'UN MÉTHANISEUR**

## Question 2.2





## ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

## EXERCICE II : LE BADMINTON, UN SPORT DANS LE VENT

Questions 1.2 et 1.3

