

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

ÉVALUATION

CLASSE : Première

VOIE : Générale Technologique Toutes voies (LV)

ENSEIGNEMENT : physique-chimie

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2 h

CALCULATRICE AUTORISÉE : Oui Non

Ce sujet contient des parties à rendre par le candidat avec sa copie. De ce fait, il ne peut être dupliqué et doit être imprimé pour chaque candidat afin d'assurer ensuite sa bonne numérisation.

Nombre total de pages : 8

PARTIE A

Qui peut griller une tranche de pain en pédalant ? (10 points)

Un court-métrage de l'Académie des arts de Suède a attiré l'attention de plus de 1 million d'internautes. Il présente un défi soumis à Robert Förstemann, un coureur cycliste allemand de presque 100 kg, spécialiste de la piste. Le défi qui lui était proposé consistait à faire griller une tranche de pain avec la seule énergie qu'il produisait en pédalant avec ses impressionnantes cuisses de 74 centimètres de circonférence.

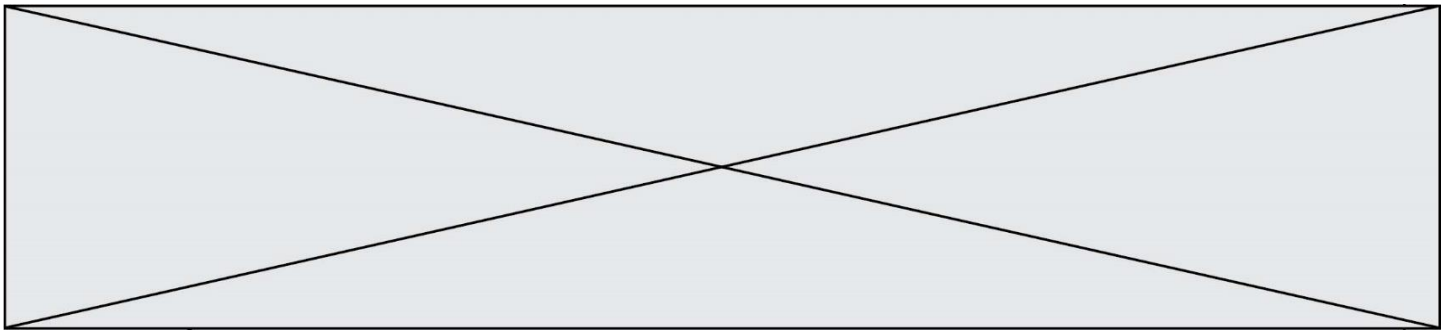
L'énergie musculaire du cycliste est transformée en électricité grâce à une dynamo actionnée par la rotation du pédalier. L'ensemble alimente un grille-pain. Pour que l'appareil fonctionne, il faut que le champion produise une puissance de 700 W. Au départ, Robert semble sûr de lui. Au fil du test, le rythme cardiaque de l'athlète augmente, son souffle s'accélère et son visage se creuse sous l'intensité de l'effort qu'il produit. Deux minutes plus tard, le cycliste a fourni au grille-pain 0,021 kWh (76 kJ) suffisant pour sortir une tranche légèrement brunie. Le cycliste s'effondre, incapable de continuer, et s'allonge sur le sol pour récupérer de l'intense effort qu'il vient de produire.

D'après *Le Monde* (Roland Lehoucq - 14/07/15)



<http://cycling.today/>

L'objectif de cet exercice est d'étudier la performance physique de Robert Förstemann en la comparant avec la consommation énergétique d'un grille-pain. Enfin, on cherche à évaluer la quantité de sucre à ingérer pour compenser l'énergie fournie lors de cet effort.



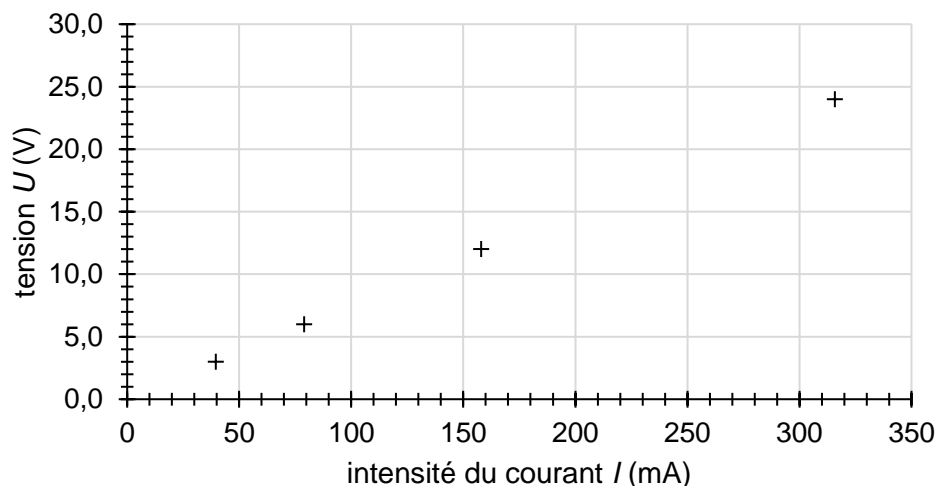
1. Performance de Robert Förstemann

1.1. Schématiser la chaîne énergétique de la dynamo du vélo utilisé par Robert Förstemann. On suppose que le rendement de cette dynamo n'est pas de 100 %.

1.2. Le grille-pain est conçu pour fonctionner normalement sous une tension de 230 V et pour fournir une puissance de 700 W. Montrer que la valeur de l'intensité du courant qui traverse le grille-pain en fonctionnement normal est d'environ 3 A.

1.3. Nommer l'effet responsable de l'élévation de température dans le grille-pain. Déduire de la question précédente la valeur de la résistance R du circuit électrique de cet appareil.

Une simulation de la caractéristique du circuit électrique du grille-pain est donnée ci-dessous. Elle relie la tension U appliquée à l'intensité du courant électrique I qui traverse le circuit électrique du grille-pain.



1.4. Indiquer la loi qui modélise la caractéristique du circuit électrique du grille-pain, retrouver la valeur de la résistance du circuit électrique du grille-pain et comparer le résultat à celui de la question précédente.

1.5. À partir des données contenues dans l'article du Monde, déterminer la valeur de la puissance moyenne fournie par Robert Förstemann. Estimer, en prenant $R = 76 \Omega$, la valeur moyenne de la tension et de celle de l'intensité du courant de fonctionnement du grille-pain durant la performance. Commenter.

1.6. Estimer, en effectuant un bilan énergétique, la valeur de la vitesse maximale que pourrait atteindre le cycliste à vélo initialement immobile en 5 secondes sur un terrain plat en développant une puissance de 630 W. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

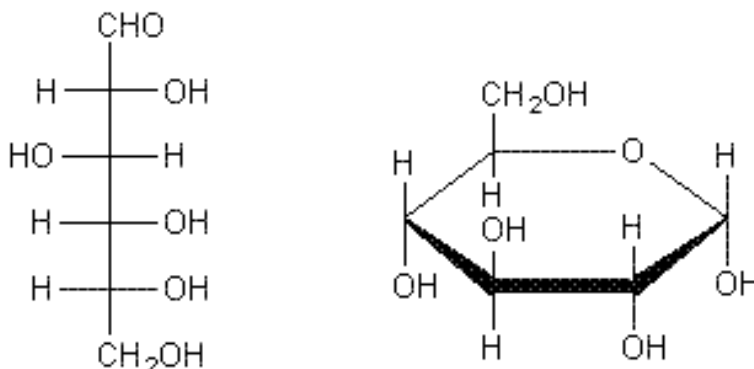
1.1

2. Récupérer après l'effort

Après un effort intense, tel que celui fourni par Robert Förstemann, l'organisme a besoin de glucides simples tels que le saccharose, appelés sucres rapides, disponibles rapidement pour reconstituer les ressources en énergie de l'organisme. Dans cette partie, nous cherchons à déterminer la quantité nécessaire de sucre (saccharose) à ingérer pour récupérer après l'effort fourni par Robert Förstemann.

Le saccharose, sucre de table habituel, est un composé organique de formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$. Son assimilation par l'organisme s'effectue après son hydrolyse (réaction avec l'eau du saccharose) qui forme du glucose et du fructose, deux sucres de même formule brute.

La molécule de glucose peut adopter une configuration à chaîne ouverte ou cyclique, comme l'illustre les deux représentations du glucose suivantes :

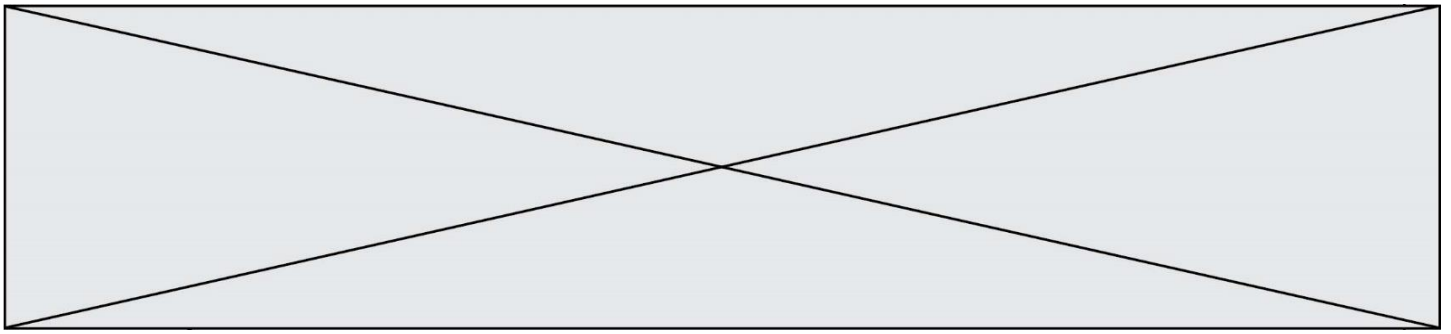


D'après <http://www.societechimiquedefrance.fr/saccharose.html>

Données :

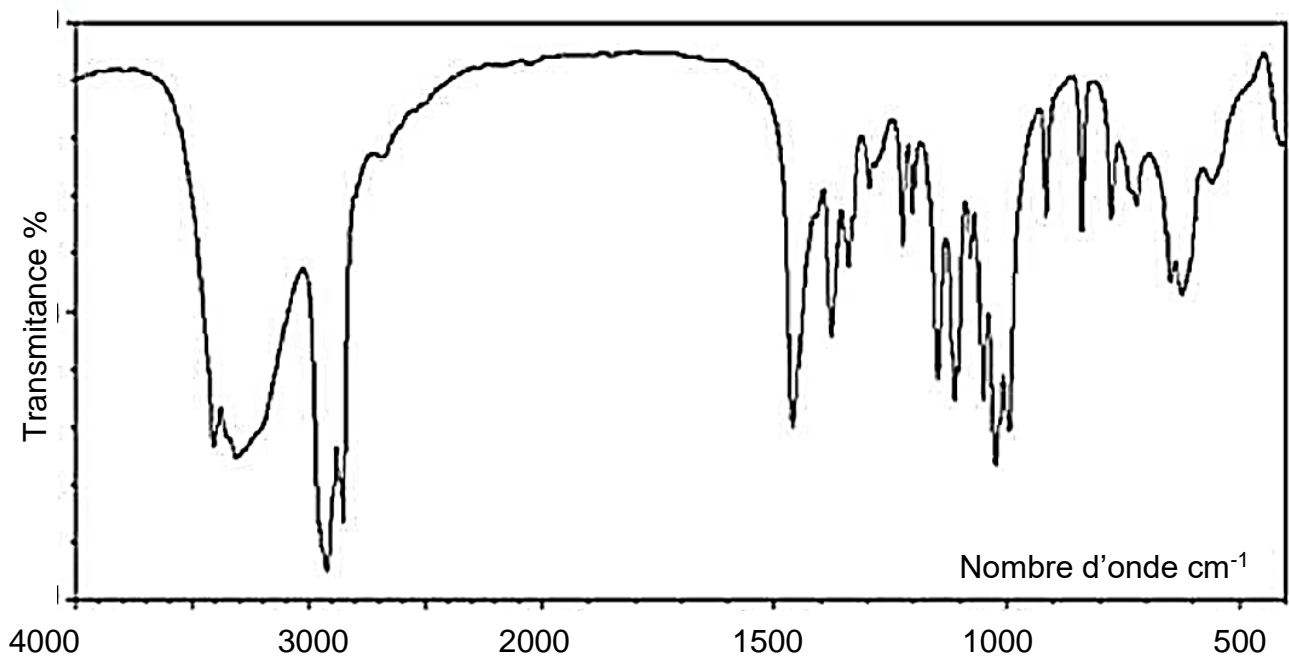
- 1 cal = 4,18 J ;
- masses molaires atomiques (en $g \cdot mol^{-1}$) : $M(O) = 16$; $M(C) = 12$; $M(H) = 1$;
- une boîte de sucre de masse nette $m = 1,0$ kg contient 168 morceaux ;
- l'énergie molaire fournie par la combustion (oxydation complète) du saccharose est $5,8 \times 10^6 J \cdot mol^{-1}$;
- bandes d'absorption IR de quelques liaisons chimiques :

famille	liaison	nombre d'onde (cm^{-1})
cétone	C = O	1705 - 1725
aldéhyde	C _{tri} - H	2700 - 2900
	C = O	1720 - 1740



acide carboxylique	O – H	2500 - 3200
	C = O	1740 - 1800
ester	C = O	1730 - 1750
alcool	O – H _{lié}	3200 - 3450
	O – H _{libre}	3600 - 3700

2.1. Le spectre infrarouge obtenu par analyse d'un échantillon de glucose est fourni ci-dessous. Déduire de ce spectre la configuration majoritaire du glucose dans l'échantillon étudié. Justifier.



*D'après National Institute of Advanced Industrial Science and technology –
<http://sdfs.aist.go.jp>*

2.2. Écrire l'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse du saccharose.

2.3. Vérifier que l'oxydation complète d'un morceau de sucre libère une énergie d'environ 24 kcal.

2.4. En déduire la quantité de sucre que Robert Förstemann doit ingérer pour compenser l'effort réalisé en supposant que l'énergie musculaire a été intégralement transférée au grille-pain. Commenter.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat : N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le : / /



1.1

PARTIE B

Ressources d'énergie renouvelables (10 points)

Les ressources d'énergie renouvelables (solaire, éolien, etc...) présentent un problème d'intermittence car elles sont dépendantes des phénomènes météorologiques. Pour résoudre ce problème une stratégie consiste à stocker l'énergie produite dans les périodes favorables afin de pouvoir la réutiliser quand les conditions météorologiques ne permettent pas une production suffisante.

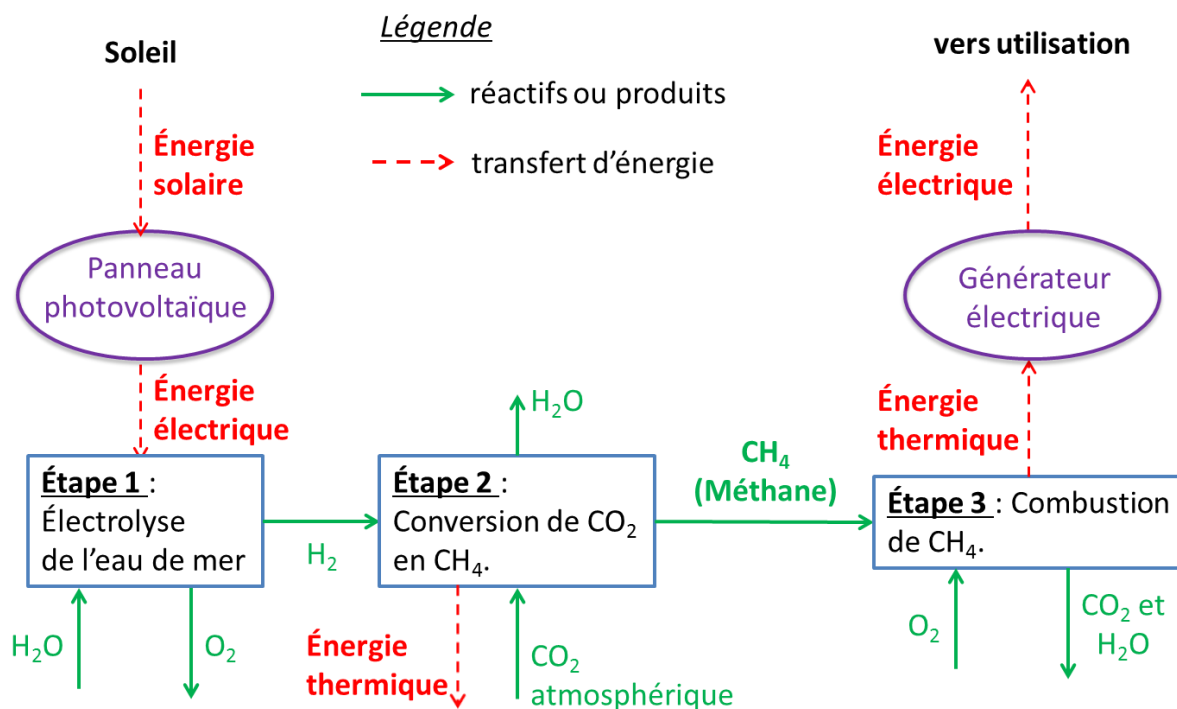
On propose dans cette partie d'étudier deux stratégies de stockage :

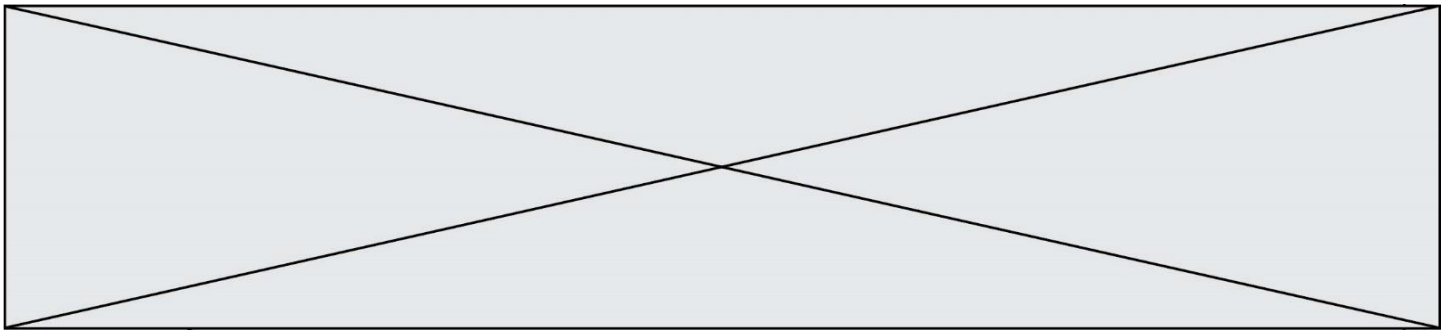
- un stockage chimique par transformation du dioxyde de carbone de l'atmosphère en méthane ;
- un stockage physique à l'aide du remplissage d'un bassin de rétention d'eau.

I. Étude du stockage chimique de l'énergie

Le Professeur K. Hashimoto (Université de Sendai, Japon) a développé un procédé qui transforme le dioxyde de carbone en méthane en utilisant un électrolyseur à eau de mer et des catalyseurs. Les électrolyseurs sont alimentés par l'énergie solaire.

Le méthane produit peut ensuite servir de carburant afin de faire fonctionner un générateur électrique. Ce dernier fonctionne sur le principe suivant : l'énergie thermique libérée par la combustion du méthane permet de produire de la vapeur d'eau qui actionne une turbine. Un alternateur permet alors de produire de l'électricité. Un schéma de principe du dispositif est représenté ci-dessous.





Il se produit dans les différentes étapes les transformations chimiques modélisées par les réactions chimiques d'équation :

- étape 1 : $\text{H}_2\text{O} (\ell) \rightarrow \text{H}_2 (\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (\text{g})$;
- étape 2 : $\text{CO}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$;
- étape 3 : combustion complète du méthane.

Problématique 1 : en quoi le procédé de transformation du dioxyde de carbone en méthane peut-il permettre de répondre aux difficultés liées au caractère intermittent des énergies renouvelables ?

1. Justifier pour chacune des étapes 2 et 3 du procédé si elle est endothermique ou exothermique.
2. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète du méthane de formule brute CH_4 .

On cherche à estimer le pouvoir calorifique massique du méthane. Pour cela on mesure la masse de méthane nécessaire pour porter à l'ébullition une masse d'eau $m_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg}$ dont la température initiale est $T_i = 20,2 \text{ }^\circ\text{C}$. La manipulation est réalisée 6 fois avec le même dispositif.

On rappelle que le pouvoir calorifique massique du méthane est défini par la relation :

$$P_C = \frac{E_{\text{libérée}}}{m_{\text{méthane consommée}}} \text{ avec } E_{\text{libérée}} \text{ l'énergie libérée lors de la combustion d'une masse de méthane } m_{\text{méthane consommée}}.$$

Les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Essais	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
Masse de méthane consommée (en g)	12,1	10,9	11,6	11,0	11,8	10,9

L'énergie libérée par la combustion peut être déterminée par la relation :

$$E_{\text{libérée}} = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (T_f - T_i)$$

avec :

- c_{eau} la capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- T_f la température finale de l'eau, c'est-à-dire la température d'ébullition de l'eau dans les conditions de l'expérience $T_f = 100,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pour effectuer le calcul du pouvoir calorifique massique à partir des résultats expérimentaux, il est nécessaire de déterminer une masse expérimentale de méthane consommée. Pour cela, on fait la moyenne sur toutes les valeurs de masse (valeurs n°1 à n°6).

3. Montrer, en détaillant les calculs, que la valeur expérimentale obtenue pour le pouvoir calorifique massique P_C du méthane est de l'ordre de $29 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

La valeur de référence du pouvoir calorifique massique du méthane est $50 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

4. Proposer une explication pour interpréter l'écart entre la valeur expérimentale du pouvoir calorifique massique du méthane et sa valeur de référence.

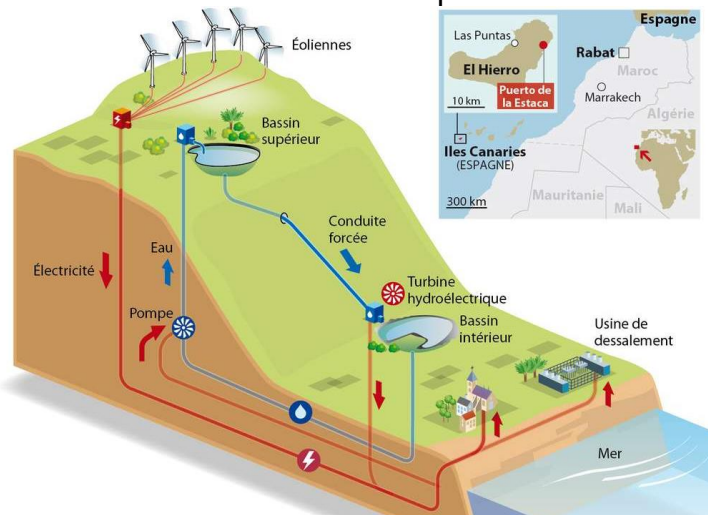
On considère que :

- la production d'un kilogramme de méthane par les étapes 1 et 2 du procédé nécessite 117 MJ d'énergie intermittente ;
- seuls 25% de l'énergie thermique libérée par la combustion du méthane est transformée en électricité.

5. Répondre à la problématique 1 en déterminant la proportion d'énergie intermittente pouvant être considérée comme ayant été stockée par ce procédé. On utilisera la valeur de référence du pouvoir calorifique massique du méthane.

II. El Hierro : île pionnière de l'énergie renouvelable

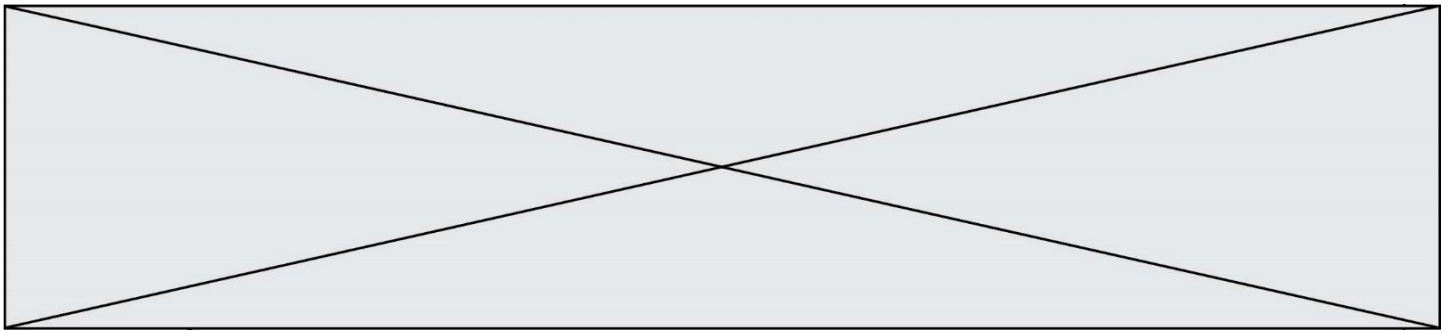
Le pompage-turbinage est une technique de stockage de l'énergie électrique permettant de palier l'intermittence des ressources d'énergie renouvelables. Lorsque les conditions météorologiques sont favorables, l'excédent d'énergie produit par les éoliennes est utilisé pour faire fonctionner des pompes permettant de remplir des retenues d'eau situées en altitude. Lorsque la production d'électricité devient insuffisante, les retenues d'eau sont ouvertes. Après une chute de 650 m à travers une conduite forcée, l'eau actionne des turbines hydroélectriques qui entraînent un alternateur afin de produire de l'électricité.



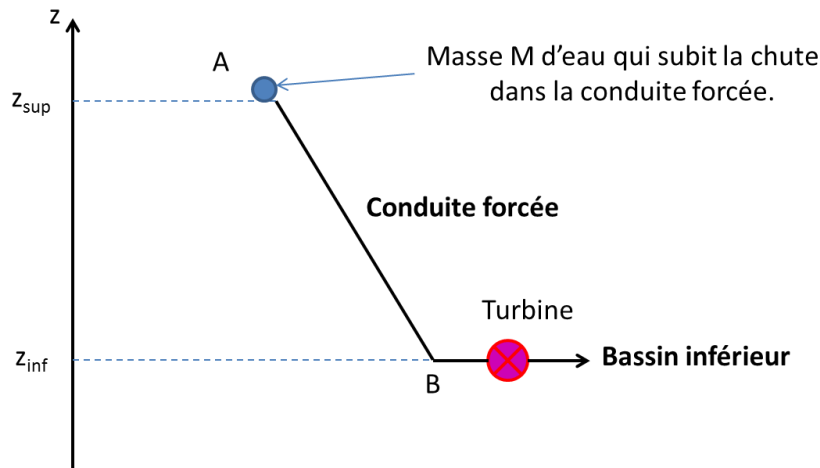
Source : Futura-Sciences <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-ile-el-hierro-bientot-totalement-autonome-energie-44372/>

Problématique 2 : en quoi les infrastructures de l'île de El Hierro lui permettent-elle de s'affranchir des énergies fossiles ?

On s'intéresse à l'eau contenue dans le réservoir supérieur qui chute à travers la conduite forcée pour remplir le bassin inférieur. Le volume d'eau utile considéré est donc égal au



volume du réservoir inférieur V_{inf} et la masse de ce volume d'eau utile, notée M , chute via la conduite du point A au point B (voir schéma ci-dessous).



Données :

- altitude du bassin supérieur : $z_{sup} = 700$ m
- volume du bassin inférieur : $V_{inf} = 150\,000$ m³
- altitude du bassin inférieur : $z_{inf} = 50,0$ m
- accélération de la pesanteur : $g = 9,81$ m.s⁻²
- masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1000$ kg.m⁻³
- consommation annuelle sur l'île d'El Hierro en 2018 : $E = 42,0$ GWh
- 1,000 Wh = 3600 J

On se place dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, muni d'un axe Oz orienté vers le haut. L'énergie potentielle de pesanteur est prise nulle à l'altitude $z = 0$.

6. Exprimer la variation de l'énergie potentielle de pesanteur ΔE_{pp} de cette masse M d'eau lors de sa chute à travers la conduite forcée, en fonction de ρ_{eau} , V_{inf} , g , z_{sup} et z_{inf} . Montrer que la valeur de ΔE_{pp} est de l'ordre de -950 GJ.
7. En considérant que l'eau est immobile dans le réservoir supérieur et que la chute à travers la conduite s'effectue sans frottement, déterminer la valeur de l'énergie cinétique de cette masse M d'eau lorsqu'elle actionne les turbines.
8. Sachant que le rendement de la phase de turbinage est de 90 %, calculer la valeur de l'énergie électrique que peut fournir la centrale hydro-électrique.
9. Répondre à la problématique 2 en déterminant le nombre de jours d'autonomie sans vent que représente la réserve d'eau des bassins.