

## 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.

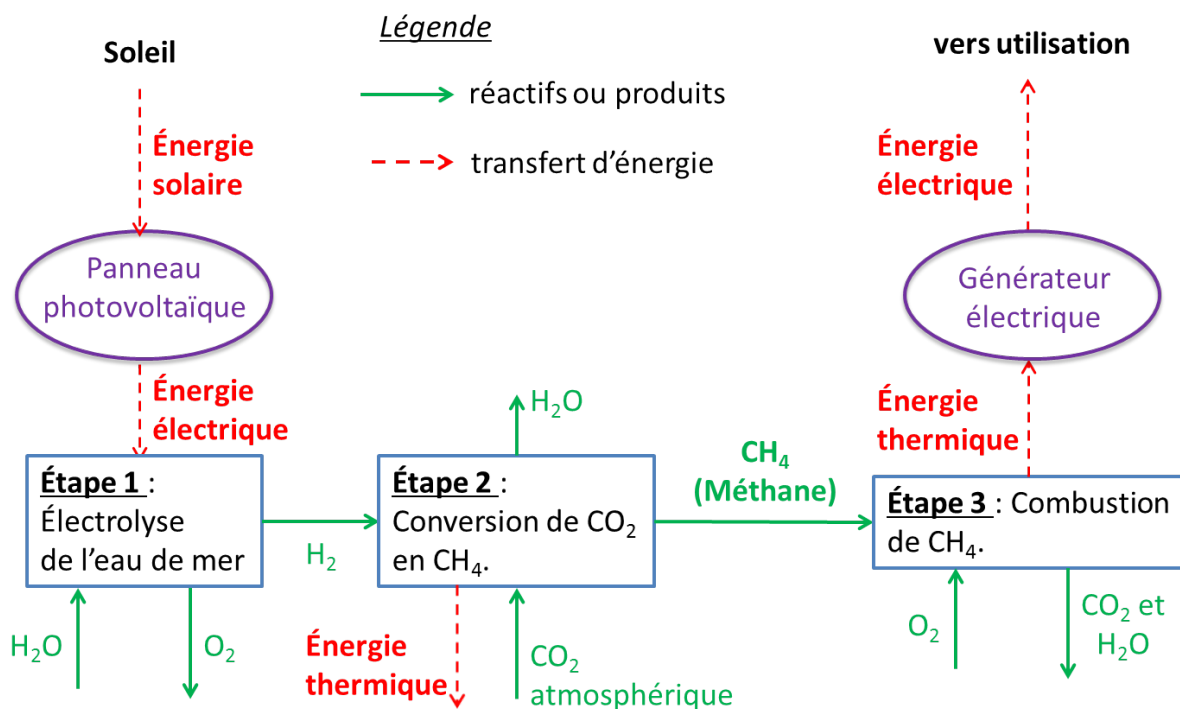
On propose dans cette partie d'étudier deux stratégies de stockage :

- 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 :  $\text{H}_2\text{O} (l) \rightarrow \text{H}_2 (g) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (g)$  ;
- étape 2 :  $\text{CO}_2 (g) + 4 \text{H}_2 (g) \rightarrow \text{CH}_4 (g) + 2 \text{H}_2\text{O} (g)$  ;
- 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  $\text{CH}_4$ .

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 :

- $c_{\text{eau}}$  la capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .
- $T_f$  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  $29 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

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

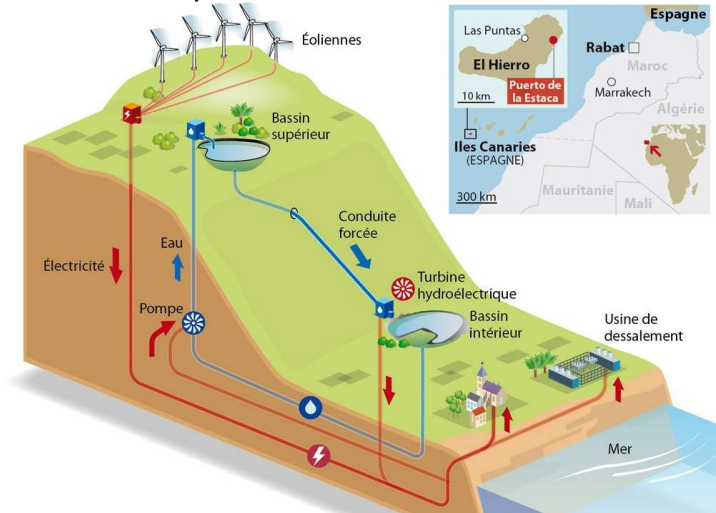
4. Proposer une explication pour interpréter l'écart entre la valeur expérimentale du pouvoir calorifique massique du méthane et sa valeur de référence.

On considère que :

- la production d'un kilogramme de méthane par les étapes 1 et 2 du procédé nécessite  $117 \text{ MJ}$  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

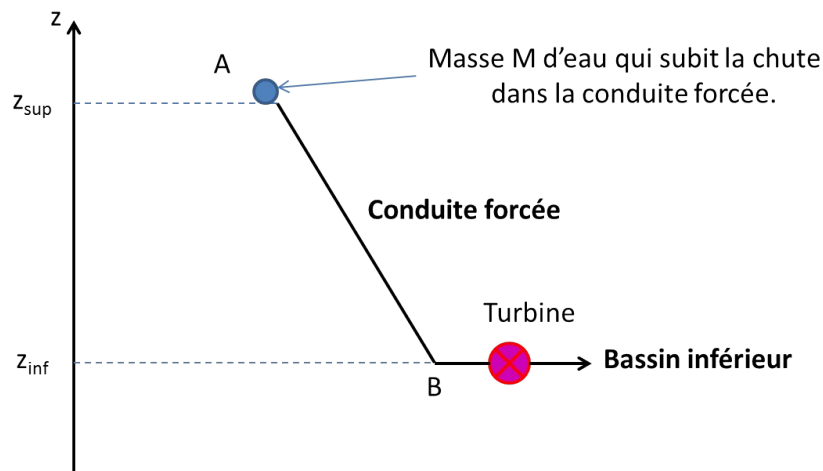
Le pompage-turbinage est une technique de stockage de l'énergie électrique permettant de palier l'intermittence des ressources d'énergie renouvelables. Lorsque les conditions météorologiques sont favorables, l'excédent d'énergie produit par les éoliennes est utilisé pour faire fonctionner des pompes 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 :  $V_{inf} = 150\,000$  m<sup>3</sup>
- altitude du bassin inférieur :  $z_{inf} = 50,0$  m
- accélération de la pesanteur :  $g = 9,81$  m.s<sup>-2</sup>
- masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1000$  kg.m<sup>-3</sup>
- 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  $z = 0$ .

- Exprimer la variation de l'énergie potentielle de pesanteur  $\Delta E_{pp}$  de cette masse  $M$  d'eau lors de sa chute à travers la conduite forcée, en fonction de  $\rho_{eau}$ ,  $V_{inf}$ ,  $g$ ,  $z_{sup}$  et  $z_{inf}$ . Montrer que la valeur de  $\Delta E_{pp}$  est de l'ordre de  $-950$  GJ.
- 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.
- 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.
- Répondre à la problématique 2 en déterminant le nombre de jours d'autonomie sans vent que représente la réserve d'eau des bassins.