

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2017

Série STI2D
Toutes spécialités

Série STL
Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

PHYSIQUE – CHIMIE

DURÉE : 3 HEURES

COEFFICIENT : 4

CALCULATRICE AUTORISÉE

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'elles ne soient pas connectables à un réseau.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de la page 1/13 à la page 13/13.

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.

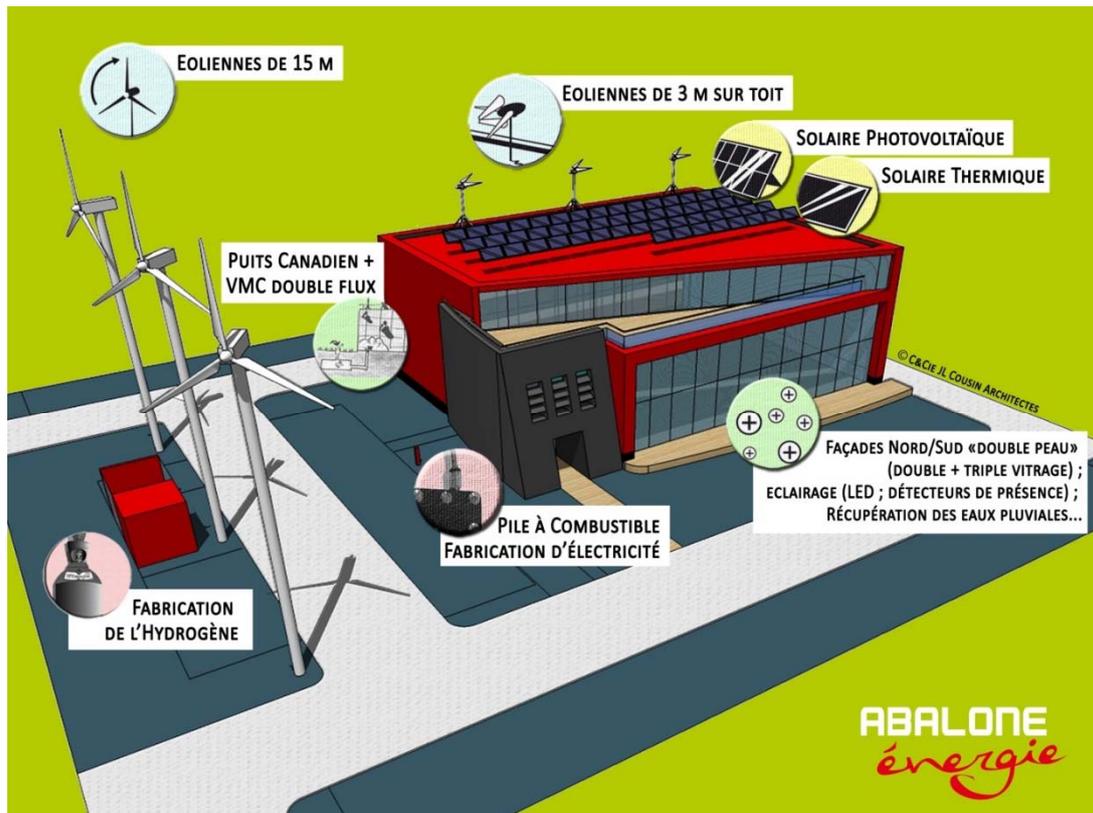
Les pages 12/13 à 13/13 où figurent les documents réponses sont à numéroté et à rendre avec la copie même non complétées.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Les parties du sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément dans l'ordre choisi par le candidat.

UN BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE



La société *ABALONE énergie* est située dans la région nantaise.

Son siège social est un bâtiment dit à énergie positive ; c'est-à-dire qu'il produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Le but de ce sujet est de s'intéresser aux principes physiques des phénomènes utilisés dans la conception du bâtiment de la société (solaires thermique et photovoltaïque, l'éolien, stockage de l'énergie et utilisation d'une pile à combustible) et de vérifier la cohérence de quelques chiffres publiés par la société.

PARTIE A – LE SOLAIRE

PARTIE B – L'ÉOLIEN

PARTIE C – LA PROTECTION DES MATÉRIELS

PARTIE D – LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

PARTIE A – LE SOLAIRE

A.1 Le solaire thermique (Voir Annexe A de la page 11)

On s'intéresse dans cette partie à la production d'eau chaude par un panneau solaire thermique.

A.1.1 Description du panneau thermique

Simplement décrit, un panneau solaire thermique est une boîte noire mate isolée, coiffée d'une vitre. À l'intérieur se trouve un serpentin de même couleur à travers lequel circule un fluide caloporteur avec un débit modulable.

Le rayonnement solaire absorbé par le panneau chauffe le liquide caloporteur.

A.1.1.a À l'aide de l'Annexe A de la page 11, expliquer pourquoi le corps du panneau est noir mat.

A.1.1.b Justifier la nécessité de la vitre transparente. Préciser la nature du rayonnement piégé par l'absorbeur.

A.1.1.c Quel est l'intérêt d'un circuit en serpentin pour le fluide caloporteur?

A.1.2 Fonctionnement du panneau thermique

Dans les conditions d'étude, la puissance solaire surfacique reçue au niveau du sol est de $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

A.1.2.a Compléter le schéma document réponse DR1 de la page 12 : « Le diagramme énergétique du panneau solaire thermique ».

A.1.2.b Dans une première approche théorique, on suppose que le fond noir du panneau absorbe toute la puissance solaire reçue au niveau du sol, puis qu'il la restitue. Que vaut alors la valeur de cette puissance surfacique, notée P_{fond} ?

A.1.2.c En supposant que le fond rayonne en respectant la loi de Stefan, calculer la température théorique, $T_{\text{théorique}}$, du fond du panneau, en kelvins puis en degrés Celsius.

Loi de Stefan

$P = \sigma \times T^4$	avec : P , la puissance surfacique rayonnée en Watt ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ u.S.I.
-------------------------	--

On rappelle la relation entre les échelles de températures Celsius et Kelvin :

$$T \text{ (K)} = \theta \text{ (}^\circ\text{C)} + 273$$

A.1.2.d En réalité, le fluide caloporteur est à l'équilibre thermique à $\theta = 50^\circ\text{C}$. Critiquer la démarche théorique posée ci-dessus.

A.2 Le solaire photovoltaïque

Dans cette partie, on s'intéresse à la production d'électricité par l'effet photovoltaïque puis on cherche à vérifier la cohérence d'un chiffre publié par la société *ABALONE énergie*.

A.2.1 Conversion énergie rayonnante / énergie électrique

Pour que la cellule photovoltaïque présente dans le panneau produise un courant, la valeur minimale d'énergie apportée par les photons doit être $E_{\min} = 1,12 \text{ eV}$.

Données :

Électronvolt : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ la célérité de la lumière dans le vide

$1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$.

A.2.1.a Montrer que la fréquence minimale pour laquelle la cellule permet le passage du courant est $\nu_{\min} = 2,70 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

A.2.1.b En déduire la longueur d'onde maximale, λ_{\max} , correspondante exprimée en μm .

A.2.1.c Rappeler les limites du domaine du visible et en déduire dans quel domaine des ondes électromagnétiques se situe ce rayonnement.

A.2.2 Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

Déterminer la valeur manquante du tableau de l'**Annexe B** de la **page 11**. Reporter cette valeur sur la copie.

A.2.3 Utilisation des panneaux

La puissance solaire surfacique reçue au niveau du sol est toujours ici de $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

La surface d'un panneau est d'environ $1,5 \text{ m}^2$.

A.2.3.a Calculer la puissance solaire, P_p , reçue par un panneau.

A.2.3.b À l'aide de l'**Annexe B page 11** et de la question précédente, définir puis calculer le rendement, η , d'un panneau.

La surface totale des panneaux est 80 m^2 .

A.2.3.c Dans les conditions d'utilisation des panneaux, montrer que la puissance électrique totale produite par l'installation est d'environ $P_{\text{tot}} \approx 13 \text{ kW}$.

La durée annuelle d'ensoleillement, pour les conditions évoquées, de la région de construction du bâtiment est d'environ $\Delta t = 1\,900 \text{ h}$. On négligera les autres situations d'ensoleillement.

A.2.3.d Calculer, en $\text{MW} \cdot \text{h}$, l'énergie électrique, E_{Tot} , que fournira l'installation photovoltaïque par an.

La société annonce $20 \text{ MW} \cdot \text{h}$ par an.

A.2.3.e Est-ce en accord avec la valeur calculée ? Proposer une explication.

PARTIE B – L'ÉOLIEN

Dans cette partie, on s'intéresse à la production d'électricité par une éolienne puis on cherche à vérifier la cohérence d'un chiffre publié par la société ABALONE énergie.

B.1 L'énergie du vent

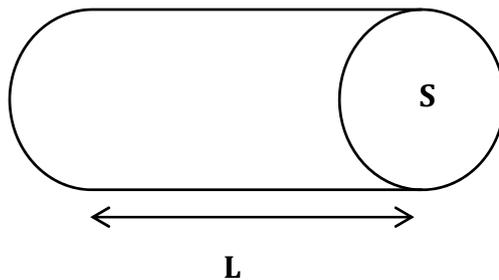
Une éolienne a pour but de transformer l'énergie du vent en énergie électrique.

Elle est constituée d'une hélice qui entraîne un arbre lié à un générateur. Ce dernier produit l'énergie électrique.

Avant l'éolienne, le vent a une vitesse, v_1 , plus grande que sa vitesse, v_2 , après l'éolienne.

B.1.1 Comment appelle-t-on l'énergie liée à un corps en mouvement ?

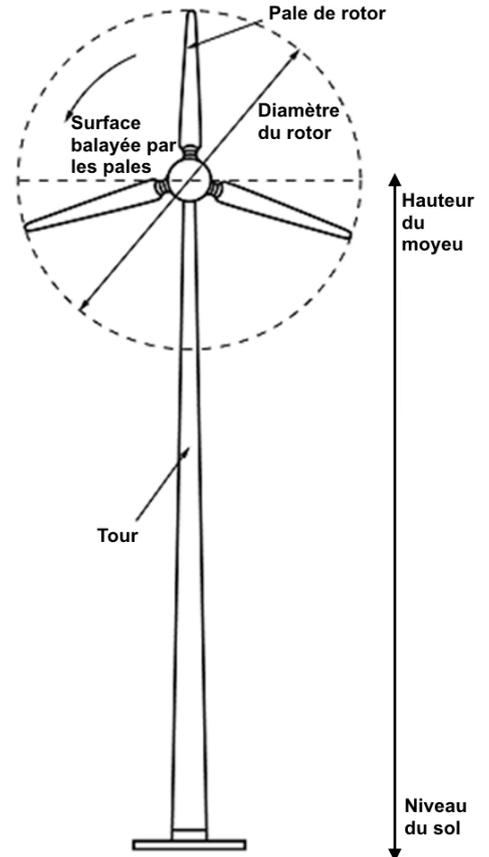
Pendant une durée Δt , un volume d'air, V_{air} , compris dans le cylindre de base S et de longueur L vient frapper l'éolienne.



B.1.2 Exprimer L en fonction de la vitesse, v , du vent et de la durée, Δt .

B.1.3 Exprimer alors le volume d'air, V_{air} , en fonction de v , Δt et S .

B.1.4 En utilisant la masse volumique de l'air, ρ_{air} , exprimer la masse d'air, m , qui frappe l'éolienne pendant Δt .



B.1.5 Après avoir rappelé l'expression de l'énergie cinétique de translation d'un corps de masse, m , et de vitesse, v , montrer que l'énergie cinétique, E_c , du vent captée par l'éolienne pendant la durée, Δt , s'exprime comme : $E_{cvent} = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times \Delta t \times S \times v^3$.

B.1.6 Rappeler la relation entre la puissance mécanique, P_{cvent} , l'énergie du vent, E_{cvent} , et la durée, Δt .

En déduire alors que $P_{cvent} = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times S \times v^3$

B.1.7 Application : la vitesse du vent est $v_1 = 54 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Convertir cette vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ puis montrer que la puissance mécanique du vent, P_{cvent1} , vaut, dans ces conditions, $P_{cvent1} = 42 \text{ kW}$.

Données : $S = 20 \text{ m}^2$
 $\rho_{air} = 1,23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dans ces conditions

B.2 L'énergie électrique fournie au réseau

La société Abalone Énergie annonce une puissance électrique générée par éolienne $P_{el} = 10 \text{ kW} = P_{théorique}$.

B.2.1 Compléter le **document réponse DR2** de la **page 12** : « diagramme énergétique éolienne ».

L'allemand Albert Betz en 1919 a montré que la part de puissance cinétique maximale qui peut être extraite du vent et fournie à l'éolienne est limitée. En pratique la puissance extraite du vent, $P_{cextraite}$, peut être calculée par la formule suivante : $P_{cextraite} \approx 0,44 \times P_{cvent}$.

Le rendement de la chaîne énergétique de l'éolienne est $\eta \approx 89 \%$.

B.2.2 Montrer que la puissance électrique générée par l'éolienne est $P_{el1} = 16 \text{ kW}$.

B.2.3 Comparer les puissances calculée et indiquée par l'entreprise, en calculant l'écart relatif à la valeur indiquée. Commenter.

$$E_r = \frac{|P_{el} - P_{el1}|}{P_{el}} \times 100 \%$$

PARTIE C – LA PROTECTION DES MATÉRIELS

Dans l'éolienne, les différents éléments métalliques constitutifs sont exposés à l'air ambiant qui peut être salin. Il faut donc les protéger de la corrosion.

Pour protéger une pièce d'aluminium, on la recouvre par électrolyse, d'une couche d'alumine ($\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$) isolante de quelques micromètres d'épaisseur.

Lors de l'électrolyse, la pièce en aluminium joue le rôle d'**anode** et une plaque de plomb celui de la **cathode**. Les deux sont plongées dans un bain d'acide sulfurique ($2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$) concentré. Voici les demi-équations des réactions qui ont lieu aux électrodes :

- anode : $2\text{Al}_{(s)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\ell)} = \text{Al}_2\text{O}_{3(s)} + 6\text{H}^+_{(\text{aq})} + 6\text{e}^-$
- cathode : $2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- = \text{H}_{2(g)}$

Un générateur de tension fournit un courant d'intensité $I = 250\text{ A}$.

C.3.1 Compléter le schéma du montage **document réponse DR 3** de la **page 13**, suivant les consignes qui y sont indiquées.

C.3.2 Écrire l'équation bilan de cette électrolyse.

C.3.3 Une couche d'alumine d'épaisseur **14,8 μm** et de surface totale **$S = 0,872\text{ m}^2$** se forme sur la pièce à protéger.

Données :

Valeur absolue de la charge d'une mole d'électrons ou constante de Faraday :

$$F = 9,65 \times 10^4 \text{ C. mol}^{-1}$$

Masse volumique de l'alumine : $\rho = 3,95 \times 10^6 \text{ g. m}^{-3}$

Masse molaire de l'alumine : $M_A = 102 \text{ g. mol}^{-1}$

Conversion : **$1\ \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}\text{ m}$**

C.3.3.a Calculer le volume, V_A , puis la masse, m_A , de la couche d'alumine.

C.3.3.b Montrer alors que la quantité de matière d'alumine formée est **$n_A = 0,500\text{ mol}$** .

C.3.4 À partir de la demi-équation à l'anode, calculer la quantité d'électrons mise en jeu pour 0,500 mol d'alumine formée et en déduire que la charge électrique (en coulomb) mise en jeu lors de l'électrolyse est de **$2,89 \times 10^5\text{ C}$** .

C.3.5 À l'aide de l'intensité du courant électrique, calculer la durée de cette anodisation.

PARTIE D – STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

DOCUMENT D'INTRODUCTION

« Aujourd'hui, deux solutions existent pour stocker une quantité importante d'énergie : la batterie qui pose des problèmes de coût et d'impact environnemental et la solution de l'hydrogène... »

« Sur un bâtiment tertiaire à usage de siège social, il est évident que la production à partir d'énergies renouvelables (Éolien et Solaire) ne sera pas totalement en phase avec la consommation. Autrement dit, la nuit, les éoliennes tournent alors qu'il n'y a pas de consommation, et en journée, la consommation s'avère supérieure à la production... »

« L'hydrogène est un gaz qui s'obtient à partir de l'eau et de l'électricité par un processus qu'on appelle électrolyse ».

« Les énergies renouvelables (Éolien et Solaire) produiront de l'hydrogène par électrolyse de l'eau ».

« La législation actuelle nous limite à produire seulement 7500 kW.h par an ».

Note : dans les textes ci-dessus, hydrogène signifie « dihydrogène $H_{2(g)}$ »

Source : <http://www.fedre.org/content/abalone-des-locaux-entierement-autonomes-en-energie>

Nous cherchons dans cette partie à vérifier la cohérence du document d'introduction ; c'est-à-dire utiliser l'énergie électrique générée la nuit par les 3 éoliennes de **10 kW** chacune pour produire par électrolyse du dihydrogène, le stocker sous forme gazeuse puis utiliser une pile à combustible pour restituer de l'énergie sous forme électrique le moment voulu.

D'après le site : <http://www.ehd2020.com/> pour produire **1,0 kg** d'hydrogène, il faut **75 L** d'eau et environ **70 kW.h** d'électricité.

Par ailleurs, **1,0 kg** d'hydrogène contient **33 kW.h** d'énergie au maximum.

D.1 Voici les deux pictogrammes que l'on trouve sur une bouteille de dihydrogène. Rappeler leurs significations.



D.2 Montrer que l'énergie que peuvent fournir la nuit (12 h) l'ensemble des éoliennes sur un an est $W_{el} \approx 1,3 \cdot 10^5 \text{ kW.h}$.

D.3 Calculer alors la masse de dihydrogène qui peut être produite par électrolyse.

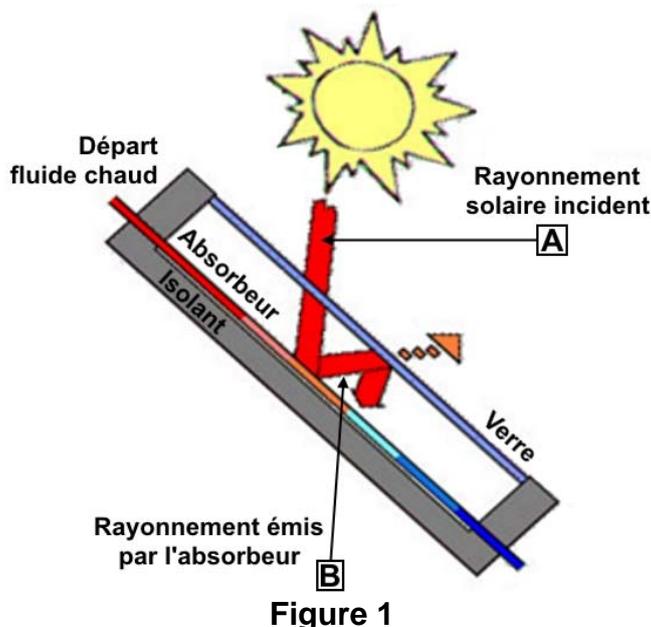
D.4 Montrer alors que l'énergie maximum disponible dans le dihydrogène est :

$$W_{H_2} \approx 6,2 \cdot 10^4 \text{ kW.h}$$

Pour stocker le gaz, il faut dépenser 15 % de l'énergie précédente, et, pour obtenir de l'énergie électrique via une PAC basse température (100 à 200°C), le rendement est de l'ordre de 45 %.

D.5 Montrer alors que l'énergie électrique potentiellement restituée est largement supérieure aux **7 500 kW.h** sur un an mentionnés dans le texte d'introduction.

Annexe A – Panneau solaire : Principe de fonctionnement



Fonctionnement :

[...] des tuyauteries de couleur sombre (absorbeur), intégrées dans des panneaux emprisonnant l'énergie grâce à un vitrage et une isolation adaptés, transmettent à l'eau (circuit direct) ou au liquide caloporteur (circuit à échangeur) qu'elles contiennent la chaleur absorbée. Le vitrage laisse pénétrer la lumière solaire et minimise les pertes par rayonnement infrarouge de l'absorbeur en utilisant l'effet de serre tout en limitant les pertes de chaleur avec l'air ambiant. Le capteur solaire est d'autant plus performant que le revêtement de l'absorbeur aura un coefficient d'absorption élevé et un coefficient d'émission faible. Les matériaux qui présentent ces caractéristiques sont dits « sélectifs ». Les performances du capteur sont encore améliorées en isolant la face arrière du module. [...]

Un ballon d'eau chaude accumule et préserve cette eau chaude puis la restitue à la demande. Une pompe/ circulateur et un système de vannes assurent la régulation de l'installation et l'optimisation de la production de chaleur selon l'ensoleillement.

Source : <http://seme.cer.free.fr>

Annexe B : Panneau photovoltaïque

Caractéristiques électriques du panneau photovoltaïque

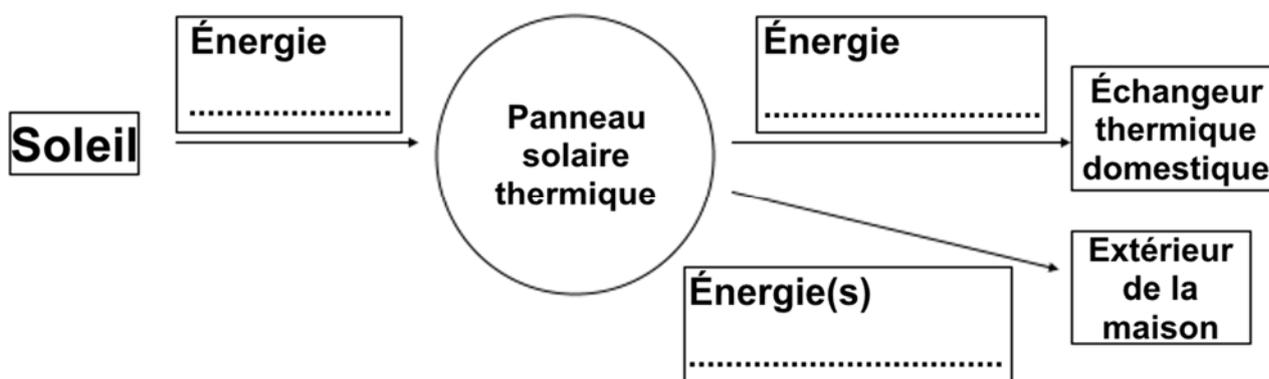
Caractéristiques électriques		
Valeurs à température nominale d'opération de la cellule (NOCT): ensoleillement de 800 W/m ² , 20 °C, vent 1 m/s		
Puissance nominale maximale	P_{nom}	236 W
Tension à puissance nominale	V_{pm}	50,4 V
Courant à puissance nominale	I_{pm}	?

Annexe à numérotter et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée.

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

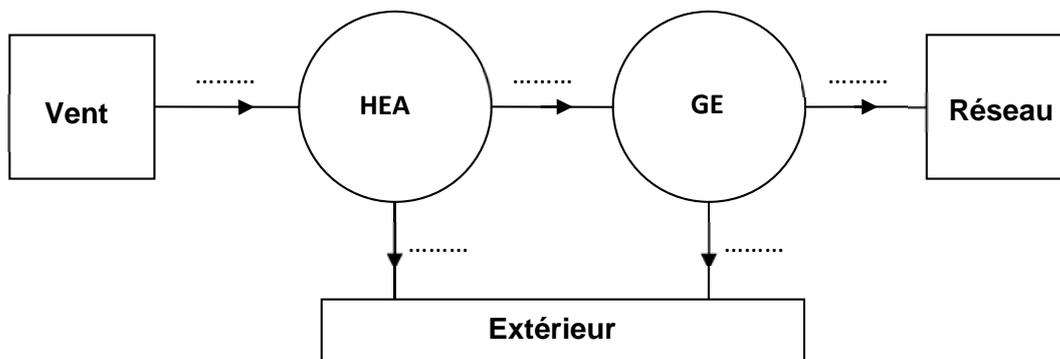
Document réponse DR 1 : le diagramme énergétique du panneau solaire thermique (question A.1.2.a)

Compléter ci-dessous le diagramme énergétique à l'aide des mots suivants : *rayonnante*, *thermique*. Puis, indiquer si les énergies citées après le panneau sont perdue ou utile.



Document réponse DR 2 : diagramme énergétique éolienne (question B.2.1)

Compléter le diagramme énergétique à l'aide la liste suivante (on donne GE = Génératrice Électrique et HEA = Hélice et Axe) : *pertes (Pe)*, *énergie électrique (EE)*, *énergie mécanique (EM)*.



Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée.

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

Document réponse DR 3 : schéma simplifié anodisation (question C.3.1)

Compléter le schéma simplifié du montage en indiquant :

- ❖ les bornes (+) et (-) du générateur ;
- ❖ le sens conventionnel du courant, I ;
- ❖ le sens des électrons dans les fils ;
- ❖ le sens des ions en solution.

