

SESSION 2019

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

PHYSIQUE-CHIMIE

Sciences et Technologies de Laboratoire

Spécialité Biotechnologies

Temps alloué : 3 heures

Coefficient : 4

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

Ce sujet comporte 17 pages.

Les pages 16 et 17 sont à rendre avec la copie.

UN REFUGE AUTONOME EN ÉNERGIE

Après avoir randonné toute une journée en montagne, vous découvrez votre refuge. Quelle que soit la saison, été comme hiver, vous pourrez prendre une douche chaude et y trouver beaucoup de confort et de chaleur. Et pourtant, le refuge se trouve en un lieu complètement isolé !

Curieux, vous questionnez les propriétaires qui vous font visiter le site. Vous apprenez que l'énergie nécessaire au fonctionnement du refuge est produite sur place grâce aux énergies renouvelables. Le refuge est totalement autonome énergétiquement. Trop peu le sont de nos jours.

Le sujet comporte trois parties A, B et C, indépendantes entre elles. Vous respecterez la numérotation des questions et vous rendrez les documents réponses (pages 16 et 17) avec votre copie.

Partie A : la chaudière à gazéification (7,25 points)

Partie B : les panneaux solaires hybrides (6,25 points)

Partie C : les batteries chargées par énergie hydraulique (6,5 points)

PARTIE A : la chaudière à gazéification (7,25 points)

Une chaudière très performante, dite à gazéification, permet de fournir une partie du chauffage et de l'eau chaude du refuge.

Les fumées sont comprimées afin d'augmenter le rendement et d'élever la température de combustion à 1 600°C. Cette chaudière polycombustible, alimentée la plupart du temps au bois, est aussi utilisée pour incinérer les déchets du refuge. La haute température de combustion permet de brûler carton, papier et plastique ainsi réutilisés pour produire de l'énergie thermique.

A.1. Fonctionnement technique

La « gazéification » désigne une transformation thermochimique consistant à décomposer par chauffage un solide combustible carboné (charbon, biomasse) en présence de gaz dans le but d'obtenir un mélange gazeux combustible. La réaction de gazéification se passe dans des conditions de température très élevée (plus de 1 000°C). Le gaz de synthèse obtenu à la fin, appelé « syngas » (pour « synthetic gas »), est un mélange de deux gaz combustibles : le monoxyde de carbone (CO) et le dihydrogène (H₂).

Quatre étapes successives, fortement couplées, sont nécessaires. Elles sont décrites dans l'annexe A1 page 5.

A.1.1. D'après cette annexe A1, quelle étape du processus de gazéification est exothermique ?

A.1.2. Quel est son rôle ?

A.1.3. L'un des gaz de pyrolyse produit est le méthane (CH₄). Vous écrirez l'équation chimique traduisant la combustion complète de ce gaz.

A.1.4. En vous aidant de l'annexe A2 page 6, vous expliquerez l'intérêt de l'étape 1 du processus de gazéification.

Dans le refuge, dix randonneurs vont prendre une douche. Il faut brûler du bois dans la chaudière pour que tous puissent avoir de l'eau chaude.

Données :

Volume d'eau utilisé pour une douche en 5 min : $V = 65 \text{ L}$

Température de l'eau de la douche : $\theta_1 = 38,0 \text{ °C}$

Température de l'eau entrant dans la chaudière : $\theta_2 = 6,0 \text{ °C}$

Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg.L}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau : $C_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$

Énergie échangée par un corps lors d'une variation de température : $Q = m.c.\Delta\theta$

$1 \text{ W.h} = 3600 \text{ J}$

A.1.5. Quelle énergie (en joule) est nécessaire pour que 10 personnes puissent prendre une douche ?

A.1.6. Montrez que cette énergie a pour valeur 24 kW.h.

A.1.7. À l'aide du résultat de la question précédente et de l'annexe A3 page 6, vous déterminerez l'énergie nécessaire à la chaudière à bois de modèle G35 pour fournir l'eau chaude nécessaire à ces douches.

A.1.8. À partir des données de l'annexe A3, vous calculerez le temps nécessaire à cette même chaudière pour fournir une énergie égale à 24 kW.h.

A.1.9. À l'aide de l'annexe A3, vous déduirez la masse de bois nécessaire pour fournir cette énergie.

A.2. Structure et fonctionnement d'une sonde « Lambda »

Lors de la combustion dans la chaudière, l'apport du dioxygène de l'air est contrôlé en permanence par un capteur : la sonde « Lambda ».

Ce contrôle permet d'optimiser la combustion à n'importe quelle puissance.

Le rapport entre la quantité d'air réellement requise et les besoins théoriques en air s'appelle l'indice lambda (symbole : λ).

Un indice « $\lambda = 1$ » signifie l'arrivée à la chaudière d'une quantité d'air parfaitement adaptée à la combustion. En pratique, l'indice lambda varie entre 0,9 et 1,1 lorsque l'apport en air est correct.

La sonde « Lambda » se compose essentiellement d'un corps en céramique spéciale dont les surfaces présentent des électrodes en platine perméables aux gaz. La partie extérieure du corps en céramique baigne dans l'enceinte de la chaudière, sa partie intérieure baigne dans l'air atmosphérique.

Les teneurs en dioxygène de l'air sont mesurées des deux côtés des électrodes. La différence entre les deux teneurs engendre une tension électrique au niveau des électrodes. Cette tension oscille de façon alternative entre deux valeurs (minimale et maximale) lorsque la sonde a un apport correct en air.

A.2.1. Vous indiquerez quelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie de la sonde « Lambda ».

A.2.2. Du point de vue de l'apport en air, vous expliquerez en vous référant à l'annexe A4 page 7, ce que signifie un indice lambda trop faible ($\lambda < 0,9$).

A.2.3. La tension fournie par la sonde varie selon le graphique de l'annexe A4 page 7. Entre quelles valeurs varie la tension aux bornes de la sonde « Lambda » lorsque l'apport en air est correct ($0,9 < \lambda < 1,1$) ?

A.2.4. Vous complèterez le **document réponse DR1** page 16 que vous rendrez avec la copie en indiquant la grandeur physique, l'unité et l'échelle correspondant à l'axe vertical.

A.2.5. Vous calculerez la fréquence de cette tension.

A.2.6. Sur le **document réponse DR1** page 16, vous représenterez l'allure de la variation de la tension d'une sonde usagée, ayant une fréquence de régulation deux fois trop lente. Vous justifierez votre réponse.

ANNEXES DE LA PARTIE A :

1^{ère} étape : séchage de la matière pour produire de la vapeur d'eau.

Cette étape se déroule à des températures comprises entre 100°C et 160°C. Sous l'effet de la chaleur, l'eau contenue dans la matière organique s'évapore.

2^e étape : pyrolyse du bois (biomasse) pour obtenir du coke (résidus de carbone) et des gaz de pyrolyse.

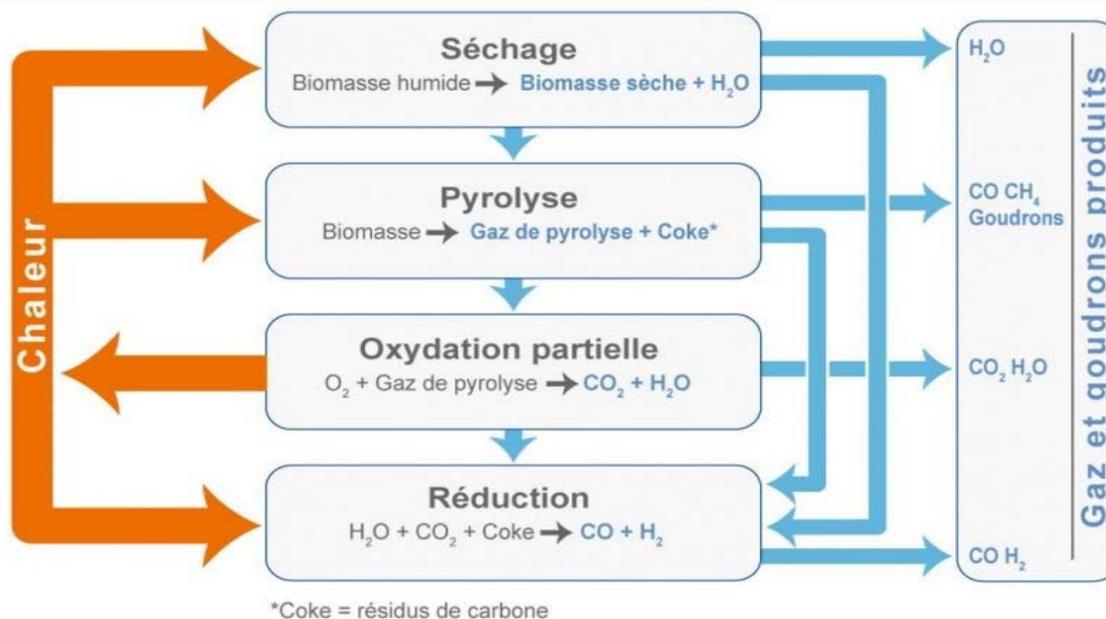
Cette étape sans dioxygène (anaérobie) se déroule à des températures situées entre 120°C et 600°C. En augmentant progressivement la température en l'absence de dioxygène, la matière séchée se décompose.

3^e étape : oxydation des gaz de pyrolyse pour générer une énergie thermique suffisante à la gazéification.

Cette étape se déroule **en présence de dioxygène** à des températures comprises entre 1 200°C et 1 500°C.

4^e étape : la réduction ou « gazéification » du carbone pour produire le syngas.

Cette étape se déroule à des températures comprises entre 800°C et 1 200°C. **En l'absence de dioxygène**, le coke obtenu lors de la phase de pyrolyse réduit la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone obtenus dans l'étape précédente respectivement en dihydrogène et en monoxyde de carbone pour former du « syngas », combustible comportant CO et H₂ en proportions variables.



Annexe A1 – Processus de gazéification

Le tableau suivant indique les pouvoirs calorifiques de différentes essences de bois à une teneur en eau de 20 %, soit un taux d'humidité de 25 % et en état anhydre (taux d'humidité de 0 %) :

Essence	Densité	Pouvoir calorifique indicatif à 20 % de teneur en eau (25 % de taux d'humidité)	État anhydre (taux d'humidité de 0 %)
	kg/m ³	kW.h/kg	kW.h/kg
Résineux			
Sapin	420	3,85	5,37
Pin	510	3,81	5,32
Mélèze	545	3,71	5,19
Moyenne	491,67	3,61	5,29
Feuillus			
Bouleau	580	3,75	5,24
Orme	620	3,67	5,13
Hêtre	650	3,45	4,87
Frêne	650	3,53	4,94
Chêne	630	3,52	4,93
Charme	720	3,54	4,95
Moyenne	641,67	3,58	5,01

<http://www.hbsoft.be/chauffage/bois.html>

Annexe A2 – Pouvoirs calorifiques

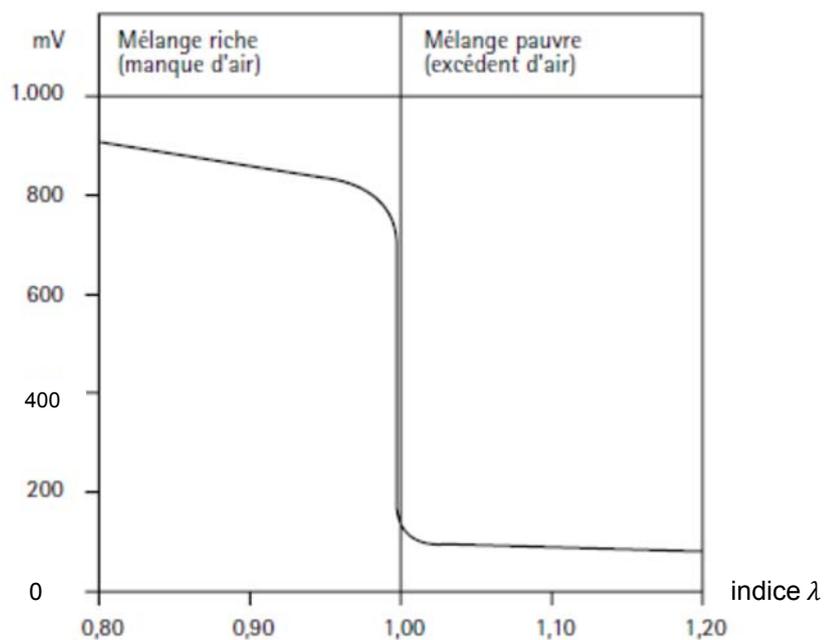
Données techniques pour les chaudières bois à gazéification

Modèle	kW	Poids	Consommation (kg/heure)	Rendement	Bûche	Tension	Dimension H/L/P	Volume foyer	PRIX TTC
G25	25 kW	350 kg	7,5 kg/h	85%	550 mm	230/50 V/Hz	1100/600/1150 mm	105 dm ³	3 004,81 €
G35	35 kW	390 kg	10,5 kg/h	85%	650 mm	230/50 V/Hz	1100/600/1250 mm	145 dm ³	3 418,14 €
G45	45 kW	420 kg	13,5 kg/h	85%	750 mm	230/50 V/Hz	1100/600/1350 mm	185 dm ³	3 859,47 €
G75	75 kW	650 kg	22,5 kg/h	85%	1000 mm	230/50 V/Hz	1350/750/1600 mm	350 dm ³	5 869,94 €

<http://www.bensun.fr/chaudiere-bois-gazeification.php>

Annexe A3 – Modèles de chaudières

Graphique indiquant la tension fournie par la sonde « Lambda » en fonction de l'indice lambda λ .



<http://www.beru.com>

Annexe A4 – Réponse d'une sonde « Lambda »

PARTIE B : les panneaux solaires hybrides (6,25 points)

La moitié du toit du refuge est recouverte de panneaux solaires hybrides permettant de produire de l'énergie thermique et de l'électricité.

Les panneaux photovoltaïques usuels produisent beaucoup plus d'énergie thermique (85%) que d'électricité (15%) quand ils sont exposés au soleil.

Leur rendement diminue lorsque leur température augmente.

Les panneaux hybrides, quant à eux, permettent d'utiliser l'énergie thermique dégagée par les cellules photovoltaïques pour chauffer l'eau du refuge et améliorer le rendement des cellules (gain potentiel de 5% à 15% par un refroidissement adapté).

B.1. Fonctionnement technique

L'annexe B1 page 11 vous présente la fiche commerciale du panneau DualSun.

Les capteurs photovoltaïques sont placés sur la couche supérieure du module. Ils sont reliés au réseau électrique local par différents équipements de régulation et de sécurité.

Les capteurs thermiques sont placés en sous-couche, afin de capter l'énergie thermique générée par le fonctionnement des capteurs photovoltaïques. Un fluide caloporteur les parcourt et transmet l'énergie thermique accumulée au ballon d'eau chaude.

B.1.1. Les panneaux réalisés en silicium cristallin sont plus chers à l'achat que ceux en silicium amorphe. En vous aidant des annexes B2 et B3 page 11, vous expliquerez si le surcoût engendré par l'utilisation de panneaux en silicium cristallin se justifie.

B.1.2. Est-ce que toute l'énergie solaire est convertie en électricité dans un panneau solaire DualSun ? Sinon, que devient le reste ?

B.1.3. Comment s'appelle le domaine du rayonnement solaire dont la longueur d'onde est immédiatement supérieure à 800 nm ?

B.1.4. Pour quelle longueur d'onde la densité d'énergie solaire est-elle maximale ?

B.1.5. Selon les annexes B1 et B3 page 11, pour quelle longueur d'onde la réponse du panneau DualSun est-elle la meilleure ?

B.2. Puissance et rendement du panneau solaire photovoltaïque

B.2.1. À l'aide de l'annexe B5 page 12, vous retrouverez par le calcul la valeur de la puissance nominale électrique d'un panneau solaire DualSun.

En moyenne, pendant une journée d'ensoleillement estival, la puissance du rayonnement solaire reçu à l'endroit où est situé le refuge est de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

À l'aide de l'annexe B5 :

B.2.2. Vous calculerez la superficie du panneau photovoltaïque en mètre carré.

B.2.3. Vous calculerez le rendement électrique de ce panneau et vérifierez qu'il est en accord avec les données.

La partie supérieure du panneau photovoltaïque est en fait réalisée de petites cellules assemblées les unes aux autres (annexe B1 page 11). La puissance maximale annoncée du panneau dépend donc de la puissance moyenne calculée à partir des cellules. On a effectué des mesures rassemblées sur le tableau de l'annexe B4 page 12.

<i>Données :</i>	Puissance moyenne	$P_{moy} = \frac{\sum P_{cellule}}{\text{nombre de mesures}}$
	Incertitude de mesure	$U_p = \frac{k \times \sigma_{n-1}}{\sqrt{\text{nombre de mesures}}}$
	Écart-type corrigé	$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum (m_k - \bar{m})^2}{n-1}}$

où m_k représente les mesures, \bar{m} la valeur moyenne et n le nombre de mesures.

$k = 3,50$ pour $n = 8$ mesures à 99 % de confiance

B.2.4. Vous calculerez la puissance moyenne des cellules.

B.2.5. Vous calculerez l'incertitude de mesure.

B.2.6. Vous en déduirez un encadrement de la puissance d'un panneau et la comparerez aux 250 W annoncés.

B.3. Centrale de surveillance

Afin de suivre la production, un boîtier informatisé fournit des informations aux résidents du chalet : tension, intensité, énergie stockée, ainsi que les informations de la mini-station météorologique placée sur le toit à proximité des panneaux. Il est équipé de capteurs et de convertisseurs.

B.3.1. Étude de convertisseurs : vous complèterez le **document réponse DR2** page 16 que vous rendrez aussi avec la copie avec les propositions suivantes :

grandeur analogique échantillonnée / grandeur numérique / grandeur analogique / suite de valeurs discrètes / succession continue de valeurs / suite discontinue de valeurs numériques.

B.3.2. La tension mesurée est-elle une grandeur numérique ou analogique ? Justifier votre réponse.

B.3.3. Sachant que le convertisseur mesure une tension de 0 à 15 V et qu'il numérise en 10 bits, quel sera le pas de mesure ?

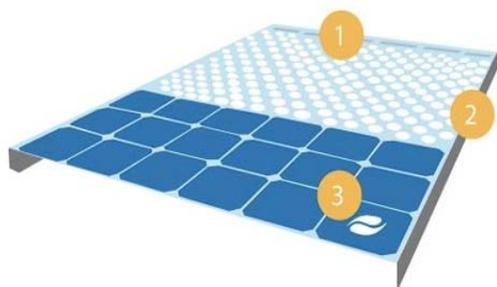
Données :

- Un bit ne peut prendre que deux valeurs : 0 ou 1, il correspond donc à deux valeurs possibles.
- D'une manière générale, à n bits correspondent : 2^n valeurs possibles

- Calcul du pas :
$$\text{pas} = \frac{\text{étendue de la grandeur physique du capteur}}{\text{nombre maximum de valeurs numériques correspondantes}}$$

ANNEXES DE LA PARTIE B :

Grâce à un design verticalement intégré des composantes photovoltaïques et thermiques en un seul et unique panneau (protégé par 2 brevets), DualSun est spécifiquement conçu pour une fabrication industrielle optimisée, le rendant **plus efficace, plus esthétique et moins cher que ses concurrents**.



Source : Dualsun.fr

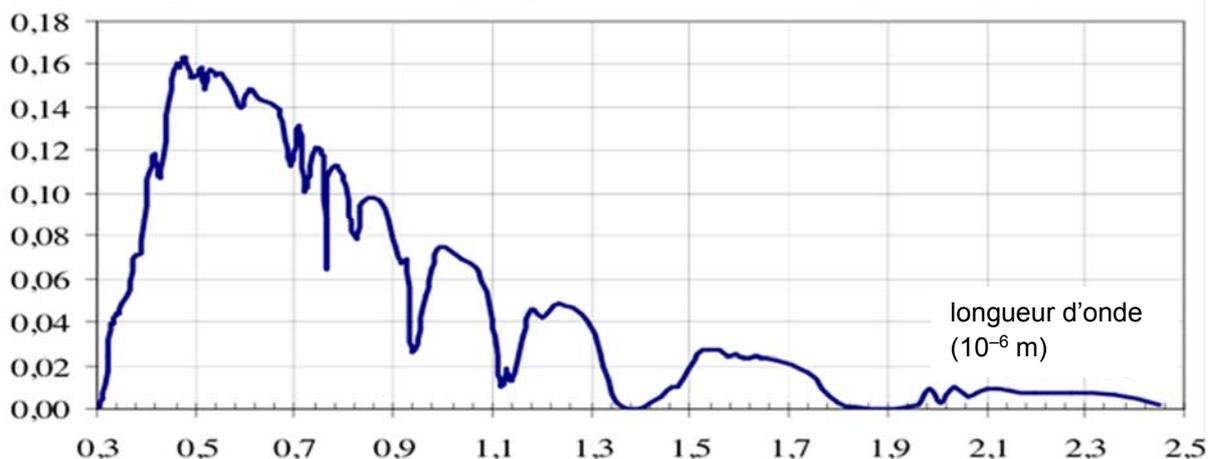
1. Échangeur thermique : complètement intégré dans le panneau, l'échangeur thermique permet un excellent transfert de chaleur entre la face avant photovoltaïque et la circulation d'eau.

2. Faible épaisseur : le panneau DualSun possède les dimensions standards d'un panneau photovoltaïque classique (60 cellules de 6 pouces).

3. Cellules solaires photovoltaïques : silicium cristallin, haut rendement. Les cellules solaires photovoltaïques sont refroidies par la circulation d'eau.

Annexe B1 – Fiche commerciale

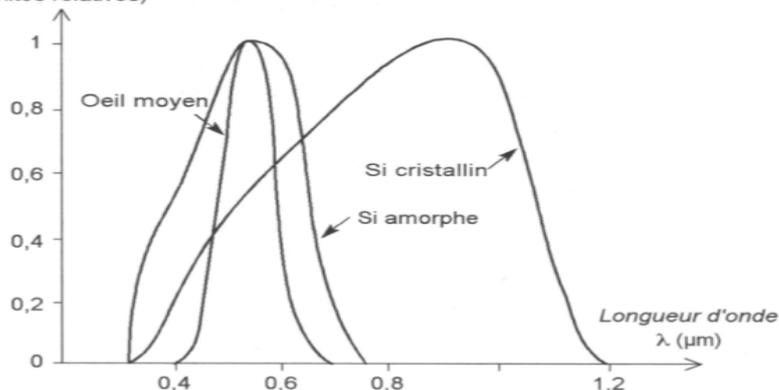
Spectre solaire énergétique normalisé: AM1.5 (W/cm².µm)



Source : www.cythelia.fr

Annexe B2 – Spectre solaire

Réponse spectrale (unités relatives)



Source : www.cythelia.fr

Annexe B3 – Réponse spectrale

Cellule	1	2	3	4	5	6	7	8
6 pouces n°								
Pmax (W)	4,20	4,25	4,12	4,27	4,31	4,35	4,30	4,19

Annexe B4 – Tableau de mesures

Caractéristiques physiques du panneau DualSun

Largeur	990 mm
Longueur	1660 mm
Épaisseur	40 mm
Poids à vide / rempli	30 kg / 31,7 kg
Couleur cadre / Feuille arrière	Noir / Noir

Caractéristiques photovoltaïques du panneau DualSun

Nombre de cellules	60
Type de cellules	Monocristallin – 6 pouces
Puissance nominale	250 W
Rendement du module PV	15,40%
Tolérance de mesure Pmpp	-3% / 3%
Tension à la puissance nominale	30,82 V
Intensité à la puissance nominale	8,14 A
Tension Circuit Ouvert (Vco)	38,44 V
Intensité Court-Circuit (Icc)	8,63 A
Perte de rendement / °C	0,3% / °C
NOCT	46°C
Connectiques	MC4 PLUS

Annexe B5 – Fiche technique du panneau DualSun

PARTIE C : le parc de batteries chargées par énergie hydraulique (6,5 points)

Le surplus d'électricité d'origine solaire produit sert à remonter de l'eau dans un bassin de stockage situé quelques dizaines de mètres plus haut que le refuge.

Cette eau va alimenter une microcentrale hydroélectrique qui prend le relais en l'absence de soleil (annexe C1 page 15). Cette solution permet d'avoir recours à un tout petit parc de batteries de 950 A.h jouant le rôle de tampon afin d'éviter de solliciter en permanence le système hydraulique et servant simplement à assurer l'alimentation pour l'électronique des appareils.

C.1. La microcentrale hydraulique

Données :

Le bassin de stockage se trouve à 120 m au-dessus de la turbine.

Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

Intensité de la pesanteur : $9,80 \text{ N.kg}^{-1}$

Pression atmosphérique : 980 hPa

Puissance mécanique P_m (W) associée à un couple de forces de moment C (N.m) en rotation à la vitesse angulaire ω (rad.s^{-1}): $P_m = \omega.C$

Principe fondamental de l'hydrostatique : $\Delta P = \rho.g.h$

C.1.1. À l'aide de l'annexe C1 page 15, vous complèterez le diagramme énergétique représenté sur le **document réponse DR3** page 17, que vous rendrez avec la copie, en utilisant les termes suivants : énergie mécanique, alternateur, énergie thermique, énergie cinétique, turbine, énergie électrique.

C.1.2. Une vanne est positionnée avant la turbine. Elle doit être assez résistante. Vous calculerez la valeur de la pression qu'elle doit supporter.

C.1.3. La vanne a pour effet de réduire la section de la conduite forcée. Vous expliquerez quelle est la conséquence de cet effet dans le cas d'un écoulement stationnaire et incompressible.

C.1.4. La puissance mécanique de la turbine est de 65 kW et le couple de forces s'exerçant sur la turbine a un moment égal à 960 N.m. Vous en déduirez la vitesse de rotation de la turbine en tours par minute.

C.2. Principe de fonctionnement d'une batterie Plomb Acide

Les batteries utilisées pour stocker l'énergie sont l'assemblage de plusieurs accumulateurs au plomb branchés en série. La valeur nominale de la tension d'une batterie est égale à 12 V.

Deux électrodes en plomb plongent dans une solution d'acide sulfurique. L'une des électrodes est recouverte d'oxyde de plomb ($\text{PbO}_{2(s)}$). Le fonctionnement met en jeu deux couples d'oxydoréduction dont l'un est : $\text{Pb}^{2+}_{(aq)} / \text{Pb}_{(s)}$.

Données :

Masse molaire atomique du plomb $M_{\text{Pb}} : 207,2 \text{ g.mol}^{-1}$

$Q = n_e \times \mathcal{F}$ avec constante de Faraday $\mathcal{F} = 96,5 \times 10^3 \text{ C.mol}^{-1}$; les unités utilisées sont celles du système international.

1 Ah = 3600 C

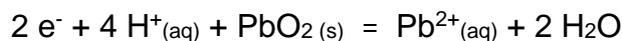
C.2.1. Lors de leur fonctionnement, les accumulateurs au plomb soit se chargent, soit se déchargent. Vous complèterez le tableau du **document réponse DR4** page 17, que vous rendrez avec la copie.

La décharge de la batterie est décrite sur l'annexe C2 page 15.

C.2.2. Vous écrirez la demi-équation électronique de la réaction ayant lieu à l'électrode de plomb pour l'élément chimique relatif au plomb.

C.2.3. Est-ce une oxydation ou une réduction ?

C.2.4. La deuxième demi-équation électronique en jeu dans la transformation est :



Déduisez le couple d'oxydoréduction intervenant.

On étudie la charge de la batterie.

C.2.5. Sur le **document réponse DR5** page 17, que vous rendrez avec la copie, vous représenterez le sens de déplacement des électrons dans les conducteurs électriques et le sens de déplacement des ions H^+ dans l'électrolyte.

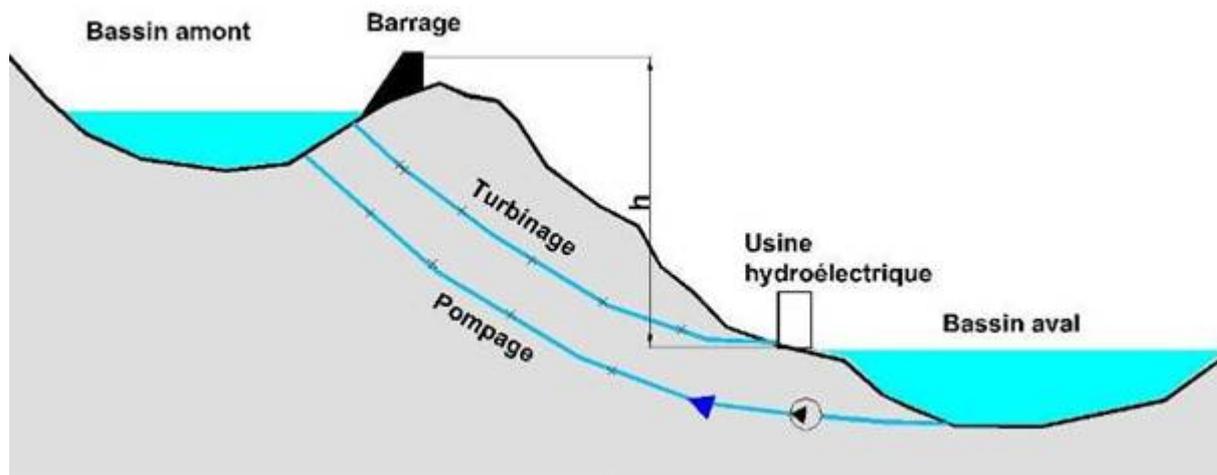
C.2.6. Vous écrirez l'équation chimique de la réaction lors de la recharge de la batterie.

C.2.7. Lorsque le parc de batteries est chargé, vous déterminerez pendant combien de temps on peut faire débiter un courant de 4,2 A.

C.2.8. Vous déterminerez quelle quantité de matière d'électrons est en jeu lors de la charge (ou décharge) totale du parc.

C.2.9. À l'aide de la demi-équation donnée en C.2.4., vous calculerez la masse de plomb intervenant lors de la charge (ou décharge) totale du parc de batteries.

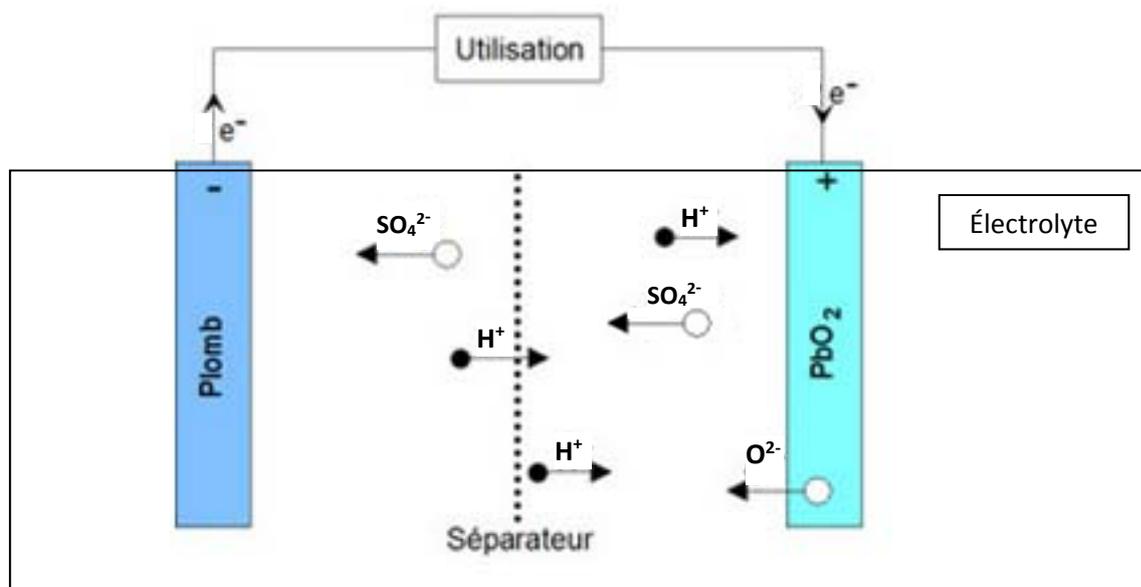
ANNEXES DE LA PARTIE C :



Source : riviere.info

Annexe C1 – Microcentrale hydraulique

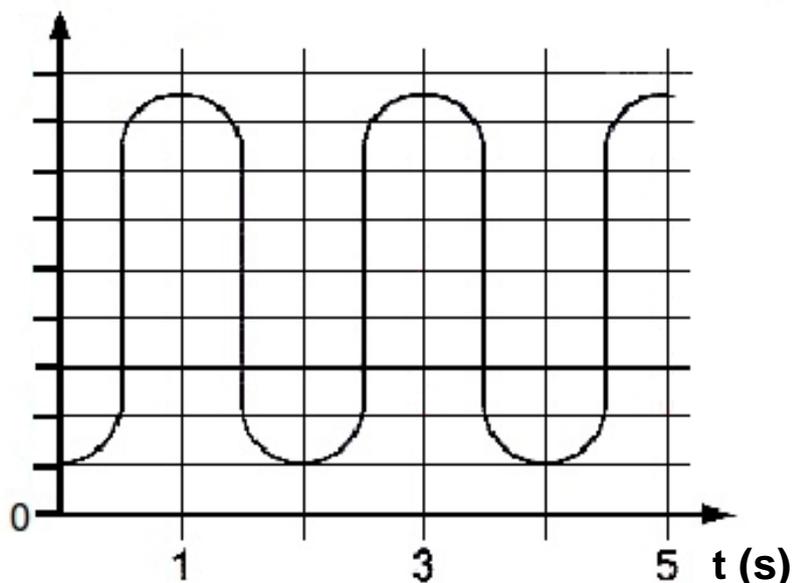
Décharge d'une batterie au plomb



Annexe C2 – Décharge d'une batterie

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE

Variation de la tension aux bornes de la sonde « Lambda » au cours de son bon fonctionnement.



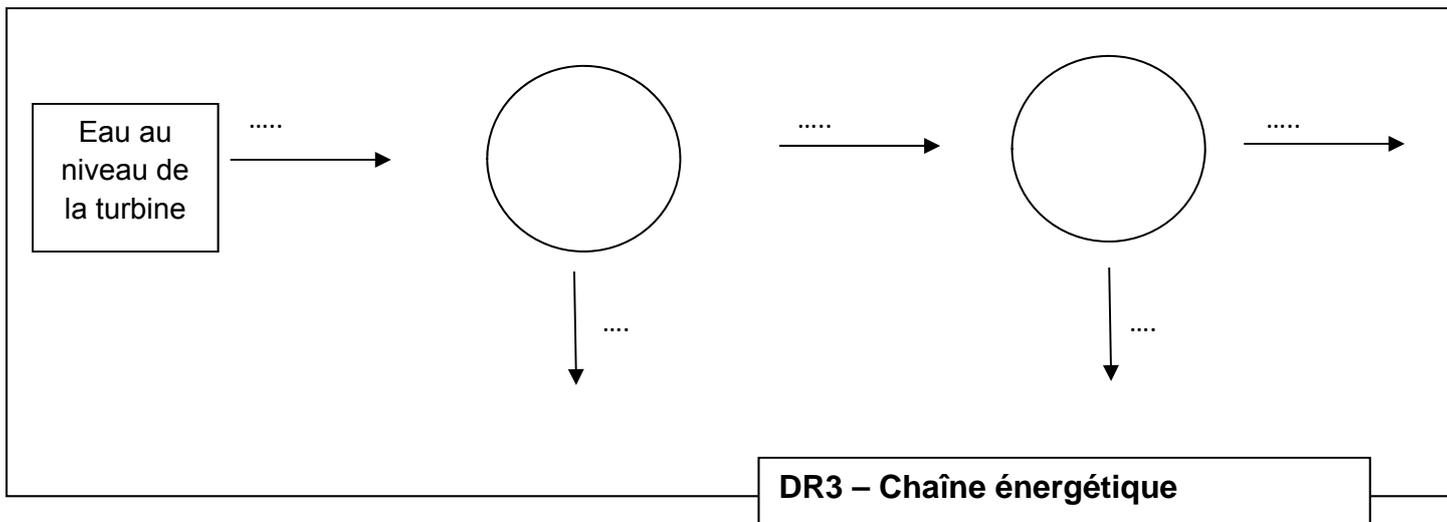
DR1 – Réponse de la sonde « Lambda »

<p>tension</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin-bottom: 10px; padding: 2px;">Titre A :</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 50px; margin-top: 10px; padding: 2px;">Définition :</div>	<p>tension</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin-bottom: 10px; padding: 2px;">Titre B :</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 50px; margin-top: 10px; padding: 2px;">Définition :</div>	<p>tension</p> <div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin-bottom: 10px; padding: 2px;">Titre C :</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 50px; margin-top: 10px; padding: 2px;">Définition :</div>
---	---	---

Source : ENS Lyon

DR2 – Analogique / numérique

DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE



	Charge de l'accumulateur	Décharge de l'accumulateur
Transformation chimique forcée ou spontanée		
Mode de fonctionnement électrique générateur ou récepteur		

DR4 – Fonctionnement d'un accumulateur

