

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

## SESSION 2018

Série STI2D  
Toutes spécialités

Série STL  
Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

<b>PHYSIQUE – CHIMIE</b>
--------------------------

**DURÉE : 3 HEURES**

**COEFFICIENT : 4**

*L'USAGE DE TOUT MODÈLE DE CALCULATRICE,  
AVEC OU SANS MODE EXAMEN, EST AUTORISÉ.*

**Ce sujet comporte 14 pages numérotées de la page 1/14 à la page 14/14.**

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

**La page 14/14 où figurent les documents réponses est à numéroté et à rendre avec la copie, même non complétée.**

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 la candidate ou le candidat.

# L'ÎLE DE LA RÉUNION FACE À SON AUTONOMIE ÉNERGÉTIQUE

Le réseau électrique réunionnais présente, par rapport à la métropole, une spécificité. En effet, son insularité empêche l'interconnexion avec les territoires extérieurs. La Réunion ne peut donc compter que sur elle-même.

Bien évidemment, l'acheminement sur place des énergies fossiles est coûteux. Une alternative réside dans l'exploitation de plus en plus importante des énergies renouvelables en tirant profit des atouts de l'île, notamment :

- l'ensoleillement propice aux centrales photovoltaïques ;
- le relief et la grande présence de l'eau qui permettent l'utilisation de centrales hydroélectriques ;
- l'agriculture, source d'une biomasse importante.



Ce sujet traite donc des solutions mises en place pour assurer l'autonomie énergétique et la stabilité du réseau électrique de La Réunion. Il comporte trois parties indépendantes.

## **PARTIE A – EXPLOITATION DE L'ENSOLEILLEMENT AVEC LE PROJET BARDZOUR**

## **PARTIE B – EXPLOITATION DU RELIEF DE L'ÎLE AVEC L'EXTENSION DE LA CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DE SAINTE ROSE**

## **PARTIE C – EXPLOITATION DE LA BIOMASSE AVEC LA BAGASSE ET LE BIOGAZ**

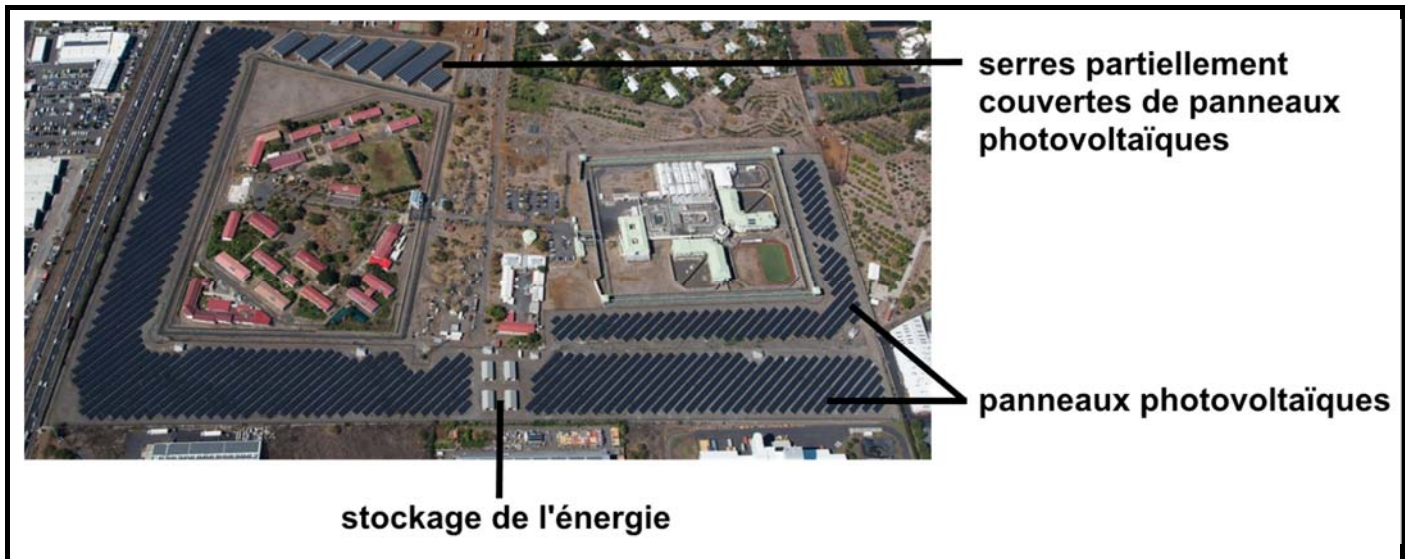
## PARTIE A – EXPLOITATION DE L'ENSOLEILLEMENT AVEC LE PROJET BARDZOUR

Le projet Bardzour\*, dans la ville du Port (au nord-ouest de La Réunion), est celui d'une centrale électrique solaire photovoltaïque implantée sur un centre pénitentiaire.

Les particularités de ce projet sont :

- ❖ la présence d'une solution de stockage de l'énergie produite ;
- ❖ le développement d'une agriculture sous serre afin de compenser la perte en terres nourricières causée par l'implantation de la centrale ;
- ❖ une dimension sociale avec des projets de réinsertion pour les détenus.

\*Bardzour : mot créole réunionnais signifiant « aube naissante ».



### A.1 Gestion de l'énergie sur la centrale

Lire les **documents ressources n°1** et **n°2** de la **page 6** et répondre aux questions suivantes.

**A.1.1** Compléter le **document réponse n°1** de la **page 14**, en précisant les types d'énergies mises en jeu, à partir des propositions suivantes :

« électrique » ; « thermique » ; « chimique » ; « de rayonnement ».

**A.1.2** Expliquer, en quelques lignes, le ou les inconvénient(s) d'une centrale électrique photovoltaïque équivalente à celle-ci mais ne disposant pas de solution de stockage de l'énergie.

**A.1.3** D'après le **document ressource n°2** de la **page 6**, donner les intervalles de temps de la journée pendant lesquels les batteries emmagasinent de l'énergie.

**A.1.4** D'après le **document ressource n°2** de la **page 6**, indiquer, en justifiant le choix, le bulletin météo pouvant correspondre au graphique donné, parmi les propositions suivantes :

- ❖ Bulletin n°1 : temps couvert.
- ❖ Bulletin n°2 : temps couvert, amélioration en fin de journée.
- ❖ Bulletin n°3 : journée ensoleillée avec quelques passages nuageux.
- ❖ Bulletin n°4 : beau temps.

## A.2 Panneaux solaires photovoltaïques

Les panneaux solaires installés sur le site sont des panneaux SUNPOWER 305.

**A.2.1** Les résultats des tests effectués par le fabricant de ce panneau sont donnés ci-dessous :

- ❖ Irradiance :  $I_r = 1\,000\text{ W.m}^{-2}$
- ❖ Puissance électrique maximale :  $P = 305\text{ W}$
- ❖ Rendement :  $\eta = 18,7\%$

Montrer que la surface de ce type de panneau est  $S = 1,63\text{ m}^2$ .

**A.2.2** On considère que chaque panneau photovoltaïque posé sur la toiture des serres est dans l'inclinaison optimale par rapport à l'horizontale ( $20^\circ$ ) et peut donc fournir une puissance électrique maximale  $P = 305\text{ W}$  pour une surface  $S = 1,63\text{ m}^2$ . À l'aide du **document ressource n°3** de la **page 7**, montrer que l'on peut effectivement obtenir une puissance maximale d'environ 0,60 MW sur la toiture des serres.

## A.3 Batteries

Sur le site, les batteries sont présentes sous la forme de modules 24 V – 80 A.h. Le schéma d'un module est donné sur le **document ressource n°4** de la **page 7**.

**A.3.1** Déterminer la tension,  $U_{\text{accu}}$ , présente aux bornes de chaque accumulateur d'un module.

**A.3.2** À l'aide d'une analyse dimensionnelle, exprimer l'énergie stockée,  $E$  en watt-heures (W.h), dans un module, en fonction de la tension,  $U$  en volts (V), et de la capacité,  $Q$  en ampère-heures (A.h).

**A.3.3** Montrer que l'énergie stockée dans un module est d'environ 1,9 kW.h.

On admet que le rayonnement solaire est tel que les panneaux photovoltaïques peuvent recharger les modules 8,0 h par jour en moyenne, et que, en moyenne, seule la moitié de la puissance maximale disponible est utilisée pour charger ces modules. On rappelle que la puissance maximale d'un panneau est  $P = 305\text{ W}$ .

**A.3.4** Combien de panneaux solaires photovoltaïques sont nécessaires pour recharger entièrement un seul module ?

Le **document ressource n°5** de la **page 7** présente le fonctionnement d'un accumulateur Li – Ion lors de sa charge.

**A.3.5** Écrire la réaction chimique globale de fonctionnement de l'accumulateur lors de la charge.

**A.3.6** Donner, en le justifiant, le nom de la transformation ayant lieu sur l'électrode en graphite (oxydation ou réduction).

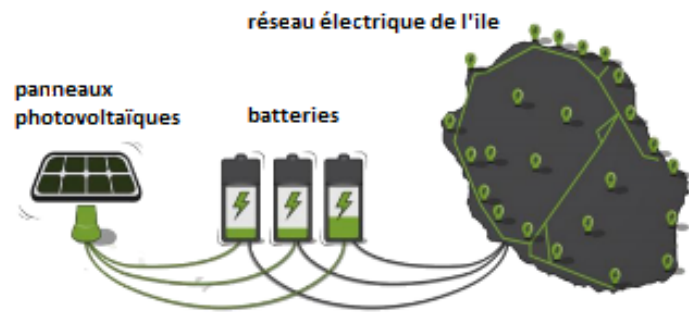
**A.3.7** Compléter le **document réponse n°2** de la **page 14** pour le fonctionnement **en décharge** d'un accumulateur :

- ❖ en indiquant le sens de circulation des électrons ;
- ❖ en indiquant le sens de circulation des ions  $\text{Li}^+$  ;
- ❖ en écrivant les demi-équations des réactions aux électrodes.

## ANNEXES PARTIE A

### Document ressource n°1 : objectif îles autonomes / Photovoltaïque + stockage

Les énergies renouvelables sont particulièrement adaptées aux environnements insulaires : les ressources en vent et soleil y sont en général très abondantes. Pour autant, l'intermittence de l'énergie solaire et éolienne obligeait jusqu'alors à limiter leur proportion dans le mix énergétique<sup>1</sup> afin de ne pas fragiliser l'équilibre du réseau électrique.



Aujourd'hui, avec les projets photovoltaïques couplés à des solutions de stockage, cette limite n'a plus lieu d'être. Les batteries, en absorbant le surplus d'électricité produite (écrêtage), ou au contraire en relâchant l'électricité stockée (lissage), permettent de réaliser la régulation de puissance : la centrale solaire injecte donc dans le réseau électrique un profil de production parfaitement stationnaire, dont le niveau aura été défini conjointement la veille avec l'opérateur et qui sera donc décorrélié des aléas climatiques.

<sup>1</sup> – Mix énergétique : ensemble des moyens de production d'énergie pour un territoire.

**Sources** : d'après <http://www.akuoenergy.com/Bardzour/Files/stockage.pdf>  
d'après [http://tecsol.blogspot.com/mon\\_weblog/2014/11/page/5/](http://tecsol.blogspot.com/mon_weblog/2014/11/page/5/)

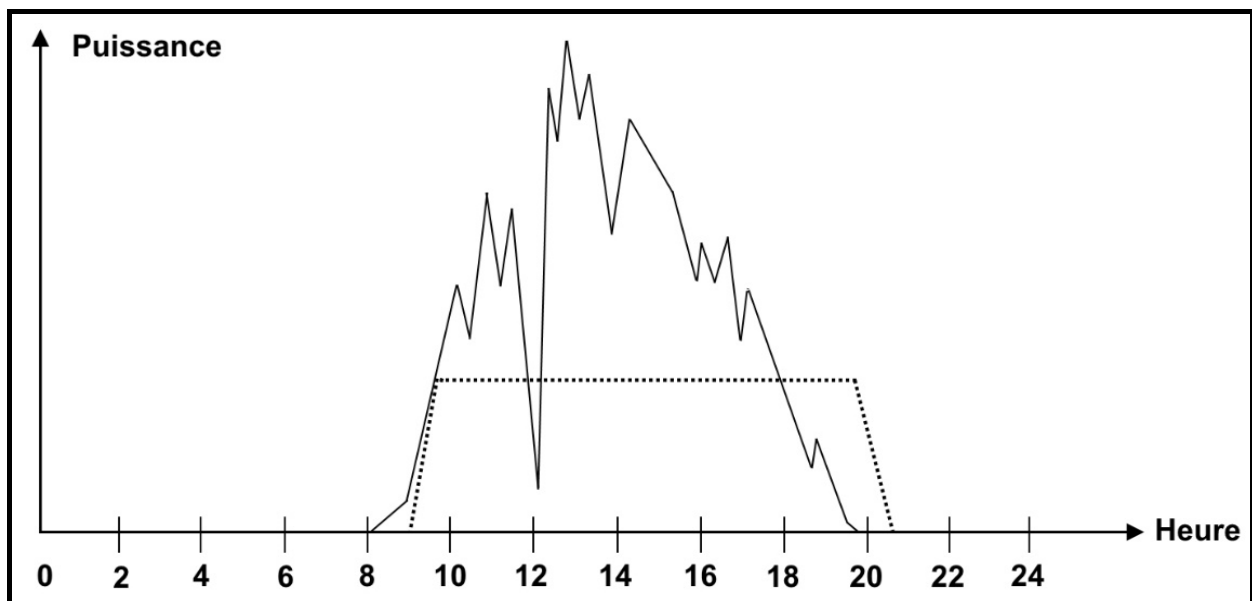
### Document ressource n°2 : exemple de relevé des puissances électriques

Le graphique ci-dessous donne un exemple d'évolution au cours de la journée de :

- ❖ la puissance produite par les panneaux photovoltaïques :  $P_{pv}$  (en trait plein)
- ❖ la puissance injectée sur le réseau électrique :  $P_{injectée}$  (en pointillés)

Le fonctionnement est le suivant :

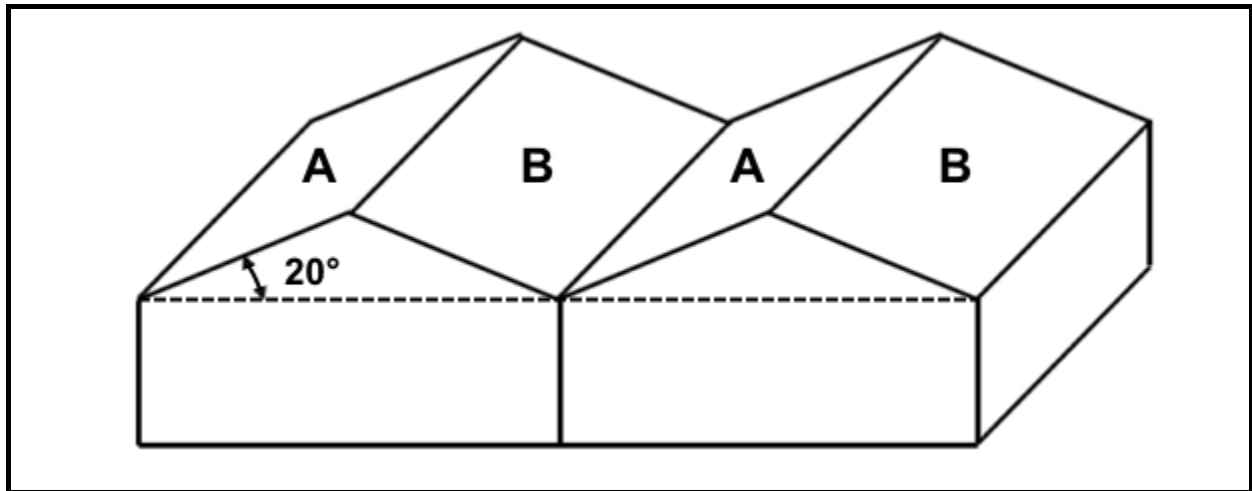
- ❖ lorsque  $P_{pv} > P_{injectée}$  alors le surplus de puissance est envoyé vers les batteries ;
- ❖ lorsque  $P_{pv} < P_{injectée}$  alors les batteries fournissent la puissance manquante.



**Source** : d'après <http://www.akuoenergy.com/Bardzour/Files/Dossier%20de%20presse.pdf>

### Document ressource n°3 : surface de toiture des serres

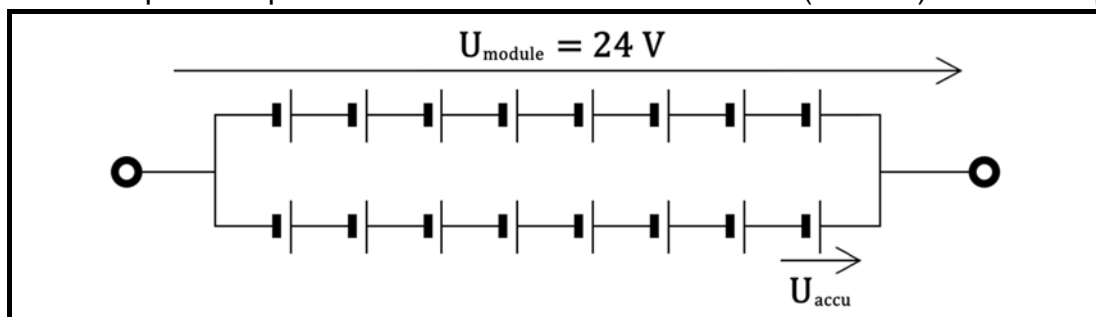
Le schéma ci-dessous représente un exemple de toiture de serre.



- ❖ La toiture est divisée en deux zones : zone A : avec panneaux ; zone B : sans panneau.
- ❖ La surface totale de toiture est donnée par la relation :  
$$S_{\text{toiture}} = \frac{S_{\text{sol}}}{\cos \alpha}$$
 où  $\alpha$  est l'angle d'inclinaison de la toiture par rapport à l'horizontale.
- ❖ La surface au sol est :  $S_{\text{sol}} = 6\,000\text{ m}^2$ .

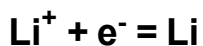
### Document ressource n°4 : module 24 V - 80 A.h

Le module est composé de plusieurs accumulateurs lithium – ion (Li – Ion) tous identiques.

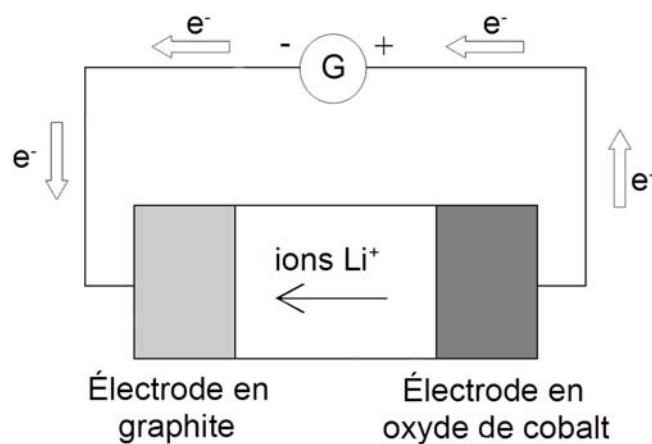


### Document ressource n°5 : fonctionnement d'un accumulateur Li-ion en charge

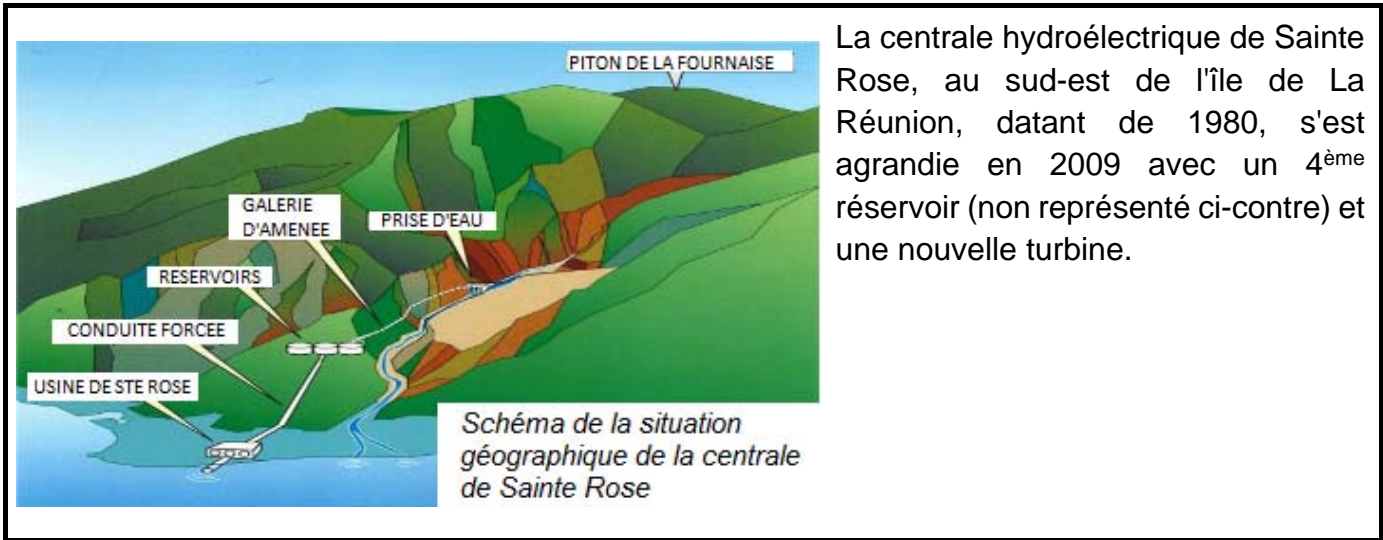
Sur l'électrode en graphite :



Sur l'électrode en oxyde de cobalt :



## PARTIE B – EXPLOITATION DU RELIEF DE L'ÎLE AVEC L'EXTENSION DE LA CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DE SAINTE ROSE



La centrale hydroélectrique de Sainte Rose, au sud-est de l'île de La Réunion, datant de 1980, s'est agrandie en 2009 avec un 4<sup>ème</sup> réservoir (non représenté ci-contre) et une nouvelle turbine.

La centrale EDF de la Rivière de l'Est à Sainte-Rose ne produit pas d'énergie hydroélectrique depuis le 4 octobre et jusqu'au 31 octobre 2009.  
 « Cet arrêt, le premier d'une telle durée depuis la mise en service de l'usine en 1980, permettra de raccorder à la conduite forcée le quatrième réservoir de 25 000 mètres cubes en construction, ainsi que la quatrième turbine de production », précise EDF.

Source : extrait d'un article du magazine en ligne zinfos974.com paru le jeudi 15 octobre 2009.

### B.1 Mise en service de l'extension de la centrale

**B.1.1** Calculer la durée maximale,  $\Delta t_{max}$ , nécessaire au remplissage du nouveau réservoir, sachant que le débit volumique,  $D_v$ , de la galerie d'aménée est de  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , et montrer que cette opération était largement possible pendant la période d'arrêt de la centrale.

Juste avant la mise en service de la nouvelle turbine, l'eau est amenée par la conduite forcée vers la vanne, alors fermée, située en amont de la turbine. À l'aide du **document ressource n°6** de la **page 10** et des données ci-dessous, répondre aux questions suivantes :

- Données :
- Principe fondamental de l'hydrostatique :  $\Delta p = \rho \times g \times h$
  - $\Delta p$  : différence de pression entre deux points d'un même fluide (Pa)
  - $\rho$  : masse volumique du fluide ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
  - $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
  - $h$  : hauteur séparant les deux points
  - Masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
  - Pression atmosphérique :  $p_{atm} = 1,00 \text{ bar}$  avec  $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

- B.1.2.** Pour lequel des points, **A** ou **B**, la pression est-elle la plus élevée ?
- B.1.3** Donner la pression au point **A** en pascals (Pa).
- B.1.4** Calculer alors la pression au point **B**. Commenter ce résultat sachant qu'on annonce une pression supérieure à 80 bar pour cette vanne.



La pression régnant en bas de la conduite forcée se traduit par une force pressante exercée sur la vanne (alors fermée).

**B.1.5** Montrer que l'intensité,  $F_R$ , de la résultante des forces de pression exercées par l'eau d'un côté de la vanne et par l'air de l'autre côté, est de l'ordre de  $10^6$  N en considérant que :

- ❖ la canalisation (conduite forcée) possède une section circulaire de diamètre 40,0 cm ;
- ❖ la pression de l'eau est  $p_{\text{eau}} = 8,6 \times 10^6$  Pa

Donnée :  $p = \frac{F}{S}$

$p$  : pression du fluide au repos (en Pa)

$F$  : force pressante exercée par le fluide au repos (en N)

$S$  : surface soumise à la pression du fluide (en  $m^2$ )

**B.1.6** Compléter le **document réponse n°3** de la **page 14** en représentant la résultante,  $\vec{F}_R$ , des forces pressantes exercées sur la vanne (échelle : 1 cm pour 500 kN).

## B.2 La turbine

Le **document ressource n°7** de la **page 10** schématise le fonctionnement de la turbine installée (turbine de type Pelton).

Dans une première approximation, on considérera que la vitesse de l'eau à la sortie de l'injecteur est telle que :  $v = \sqrt{2 \times g \times h}$

$v$  : vitesse de l'eau en  $m \cdot s^{-1}$  ;  $g = 9,81 m \cdot s^{-2}$  ;  $h = 870 m$  (hauteur d'eau)

**B.2.1** Calculer  $v$  dans la situation présente.

**B.2.2** La turbine Pelton est une turbine à action. Cela signifie que l'énergie cinétique de l'eau sortant de l'injecteur est totalement convertie en énergie mécanique de rotation.

Montrer, à l'aide des informations ci-dessous, que l'énergie mécanique de rotation,  $E_{\text{méca}}$ , transmise à la roue de la turbine pendant une durée de 1,0 s est d'environ  $1,7 \times 10^7$  J.

Données :

Débit volumique en sortie de l'injecteur :  $D_v = 2,00 m^3 \cdot s^{-1}$

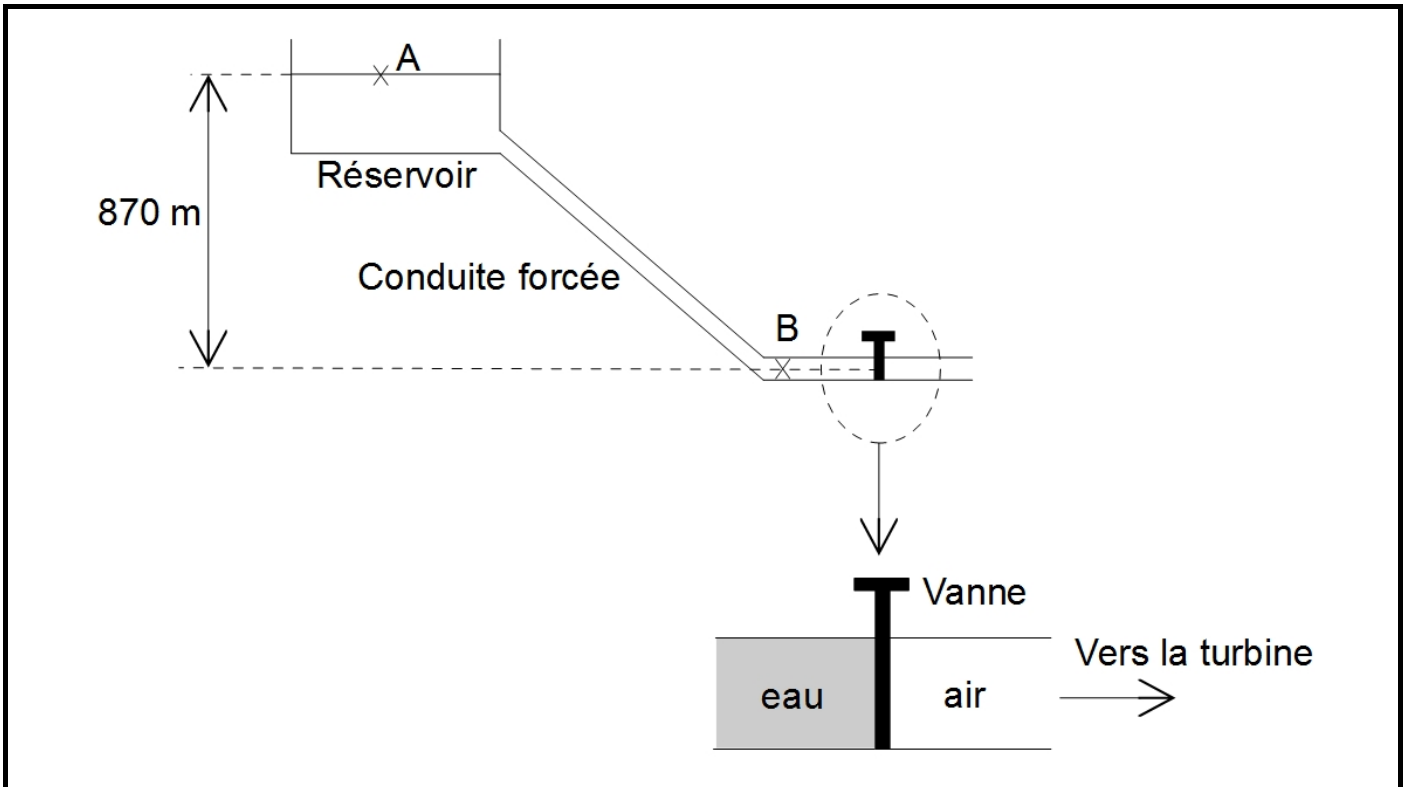
Masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 kg \cdot m^{-3}$

Conseils : commencer par déterminer la masse d'eau sortant de l'injecteur pendant une durée de 1,0 s. En déduire ensuite l'énergie cinétique,  $E_C$ , de cette masse d'eau.

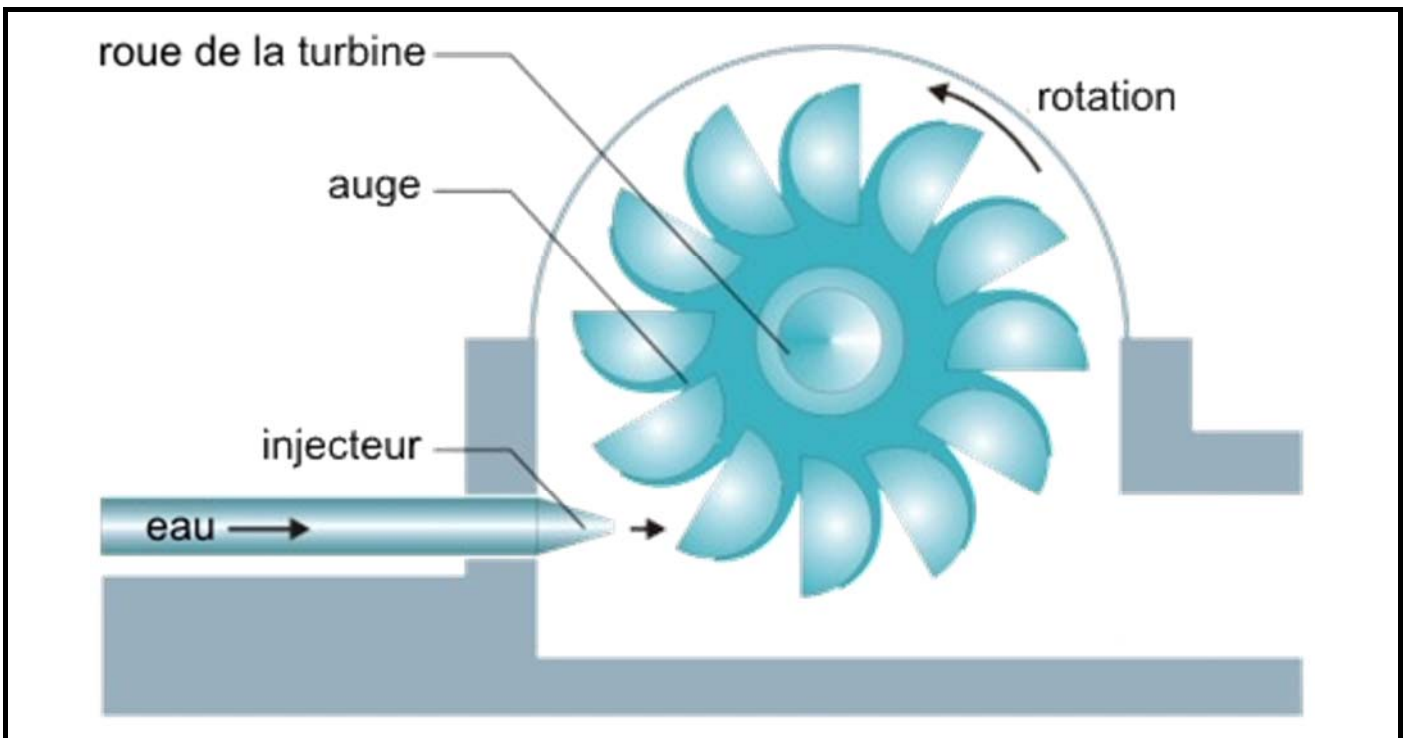
**B.2.3** En déduire la puissance mécanique,  $P_{\text{méca}}$ , développée par la roue de la turbine, puis la puissance électrique,  $P_{\text{élec}}$ , fournie si le rendement de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique est de 85 %. Commenter ces résultats, sachant que la puissance nominale d'une turbine est de 22 MW.

## ANNEXES PARTIE B

Document ressource n°6 : schéma de la situation de l'usine de Sainte Rose



Document ressource n°7 : schéma de principe d'une turbine Pelton



Source : <https://www.proteus-solutions.de/~Unternehmen/News-PermaLink:tM.F04!sM.NI41!Article.955579.asp>

## PARTIE C – EXPLOITATION DE LA BIOMASSE AVEC LA BAGASSE ET LE BIOGAZ

Plusieurs centrales électriques thermiques sont implantées sur le territoire de l'île de La Réunion. Elles ne brûlent pas uniquement du charbon, ou une autre énergie fossile. Elles utilisent également des ressources produites localement, la bagasse et le biogaz.

Données : 1 tonne = 1 t =  $1 \times 10^3$  kg      1 tera = 1 T =  $10^{12}$

Masses molaires atomiques :       $M_C = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$   
    $M_H = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$   
    $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

### C.1 La bagasse

La bagasse est le résidu fibreux de la canne à sucre après extraction du jus. Elle est disponible en grande quantité sur l'île de La Réunion.

La bagasse est composée principalement de cellulose et peut être utilisée comme combustible.

À l'aide du **document ressource n°8** de la **page 12**, répondre aux questions suivantes.

**C.1.1** Donner l(es) avantage(s) de l'utilisation de la bagasse comme combustible d'une centrale thermique par rapport à l'utilisation du charbon.

**C.1.2** La masse de bagasse produite par an sur l'île étant de  $5,69 \times 10^5$  t, calculer l'énergie,  $E_{\text{bagasse}}$ , disponible par la combustion de ce résidu fibreux.

**C.1.3** Comparer cette valeur à la production totale d'énergie sur l'île qui est de 2,40 TW.h, et commenter.

À l'aide des **documents ressources n°9** de la **page 12** et **n°10** de la **page 13**, répondre aux questions qui suivent.

**C.1.4** Nommer les changements d'état subis par l'eau au cours d'un cycle complet, en précisant dans quelle zone de la centrale ils ont lieu.

**C.1.5** Sachant que la pression de l'eau est maintenue constante à 120 bar, déterminer à quelle température (en °C) s'effectue le passage de l'état liquide à l'état vapeur dans la chaudière.

Donnée :  $0 \text{ °C} = 273 \text{ K}$ .

### C.2 Biogaz

**C.2.1** D'après le **document ressource n°11** de la **page 13**, citer le principal gaz issu de la fermentation de matières organiques.

**C.2.2** L'équation de la réaction de combustion complète du méthane dans le dioxygène est la suivante :  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Calculer la masse de dioxyde de carbone produite par la combustion d'une tonne de méthane. Le résultat final sera exprimé en tonnes, t.

Conseil : prendre soin de bien présenter la démarche suivie même si celle-ci n'aboutit pas.

**C.2.3** À l'aide du **document ressource n°11 page 13**, estimer alors l'ordre de grandeur de la masse de dioxyde de carbone produite par la combustion d'une tonne de biogaz.

## ANNEXES PARTIE C

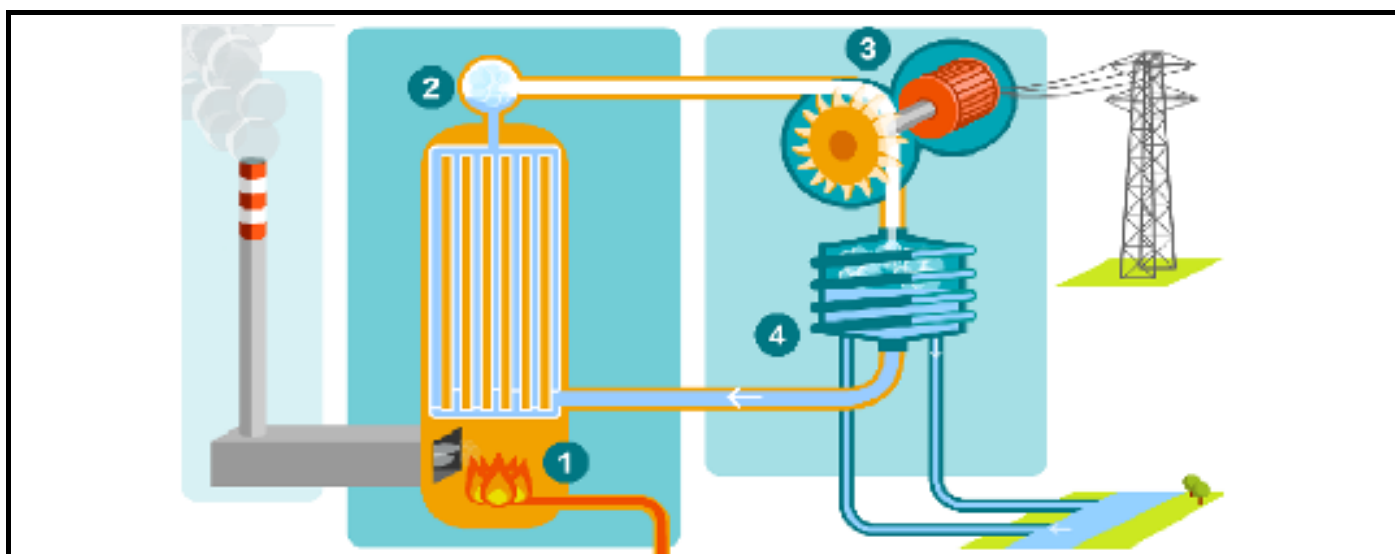
### Document ressource n°8 : produire de l'énergie avec la bagasse

On considère qu'une tonne de canne à sucre produit environ 300 kg de bagasse qui a un pouvoir calorifique de 7 900 kJ/kg, ce qui est inférieur à celui du bois sec (16 000 kJ/kg) dont le rythme de production est cependant plus lent.

En comparaison avec les énergies fossiles brûlées dans les usines de production d'énergie, la bagasse présente plusieurs intérêts : elle est dépourvue de dioxyde de soufre, elle résulte d'une autre production et sa combustion ne dégage que le CO<sub>2</sub> fixé dans la fibre de canne lors de sa croissance.

D'après : wikipedia.org

### Document ressource n°9 : principe de fonctionnement d'une centrale thermique



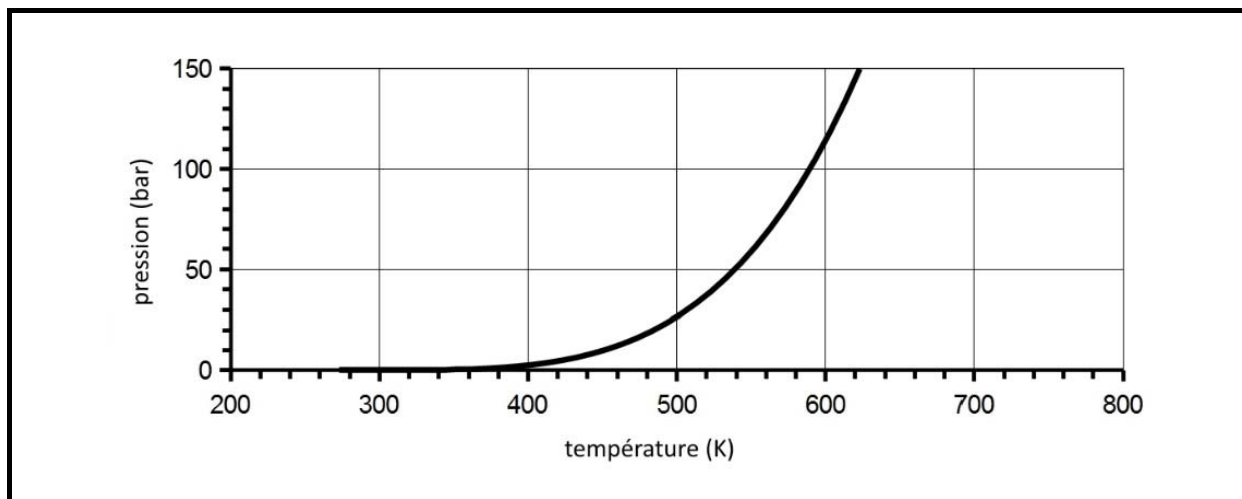
- 1 : un combustible brûle dans une chaudière en dégageant de la chaleur.
- 2 : la chaleur transforme l'eau de la chaudière en vapeur.
- 3 : la vapeur fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur. L'alternateur produit un courant électrique transporté dans les lignes.
- 4 : à la sortie de la turbine, la vapeur est transformée en eau grâce à un condenseur.

Source : <http://www.physagreg.fr/animations/animation-centrale-thermique.swf>

---

## Document ressource n°10 : courbe de vaporisation de l'eau

Variation de la pression (bar) en fonction de la température en kelvins (K) pour l'équilibre liquide-vapeur



---

## Document ressource n°11 : production et utilisation du biogaz

En absence de dioxygène, les matières organiques animales ou végétales peuvent fermenter. Le biogaz est le gaz produit par la fermentation. Le biogaz est essentiellement composé de méthane  $\text{CH}_4$  (environ 60 %), par conséquent ce phénomène de fermentation porte aussi le nom de méthanisation. Les autres gaz constitutifs du biogaz sont le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et du sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

La fermentation se produit soit spontanément dans les marais ou les décharges présentant des déchets organiques, soit de façon provoquée à l'aide de bactéries en milieu anaérobie (absence de dioxygène).

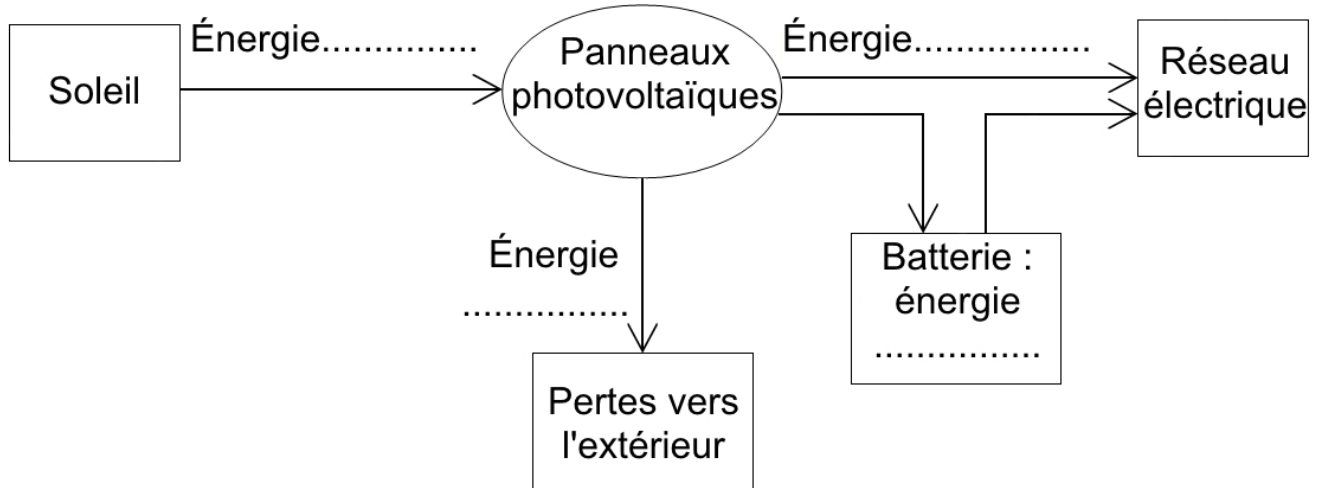
Actuellement il n'existe qu'une seule centrale de production d'électricité à l'aide de biogaz à La Réunion. Elle se situe à la déchetterie de la Rivière Saint-Étienne.

**Source** : d'après <http://www.cndp.fr/crdp-reunion/node/220>

**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 n°1 (question A.1.1)



Document réponse n°2 (question A.3.7)

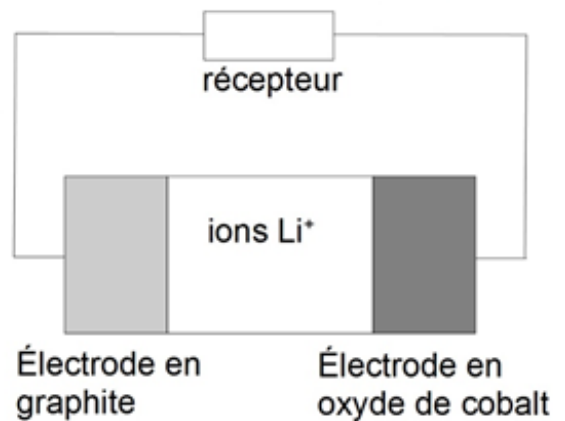
Fonctionnement d'un accumulateur Li-ion **en décharge**

Sur l'électrode en graphite :

..... = .....

Sur l'électrode en oxyde de cobalt :

..... = .....



Document réponse n°3 (question B.1.6)

échelle : 1 cm pour 500 kN

