

2E102 - Source d'énergie électrique et capteurs

ER1 - 1 HEURE - le 20/10/2016

Sans document ni calculatrice

N° étudiant :
Prénom :
Nom :

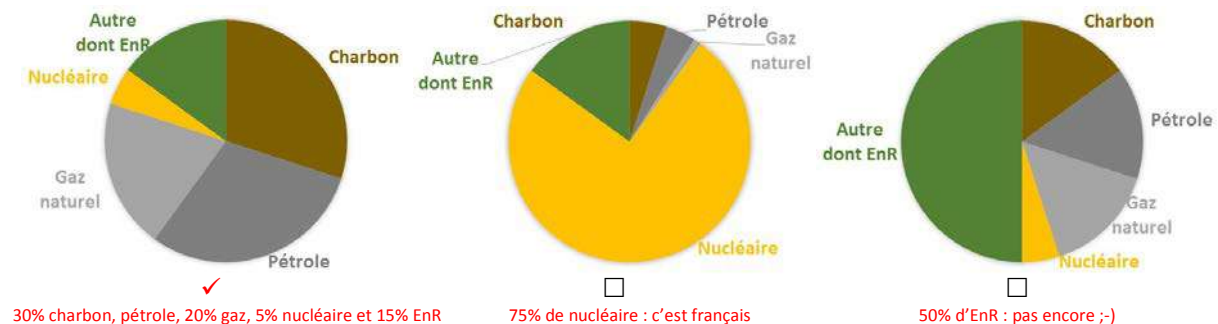
Le principe de notation associé à ce QCM consiste à attribuer deux points à une réponse juste et à soustraire un point pour une réponse fausse. L'absence de réponse se traduit par zéro. Une seule réponse par question. Pour être pris en compte, les résultats (autres que QCM) doivent être justifiés.

Les valeurs numériques des applications ont été arrondies pour faciliter les calculs.

Exercice 1 : Généralités (25 pts)

L'énergie mondiale.

a. Sélectionnez le diagramme représentant la répartition des sources d'énergie mondiales en 2016 : (2 pts)



b. L'énergie en question est de : (2 pts)

- ☐ l'énergie finale
☐ l'énergie active
☒ l'énergie primaire avant toute transformation

c. La production mondiale de cette énergie a été, en 2015 de : (2 pts)

- ☐ 13,7 ktep
☐ 13,7 Mtep
☒ 13,7 Gtep

d. Citez trois sources d'énergie fossile : (3 pts)

Charbon, Pétrole et Gaz

e. Citez trois sources d'énergie renouvelable : (3 pts)

Hydroélectrique, Eolien, Photovoltaïque, Géothermie, Biomasse, Solaire thermodynamique.....

f. La part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie dans le monde en 2015 était de l'ordre de : (2 pts)

- ☒ 20%
☐ 50%
☐ 75%

L'énergie électrique en France.

h. La consommation d'électricité a été de 545 TWh en France en 2015. Que vaut-elle en Joule : (2 pts)

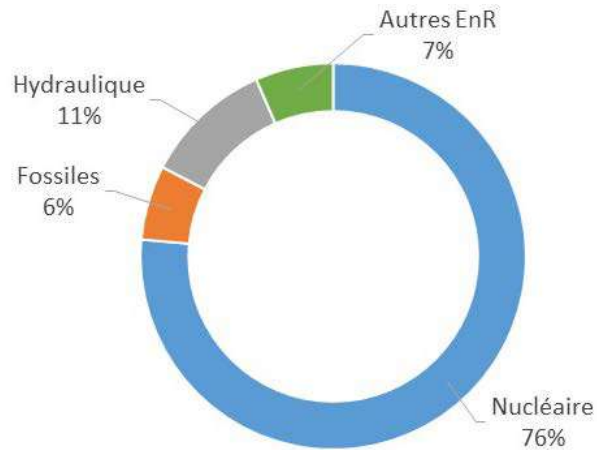
- ☐ 545 J
☒ $1,96 \cdot 10^{18}$ J 1 Wh = 3 600 J, la réponse est donc supérieure à $545 \cdot 10^{12}$ Wh
☐ $151,4 \cdot 10^{12}$ J

2E102 - Source d'énergie électrique et capteurs

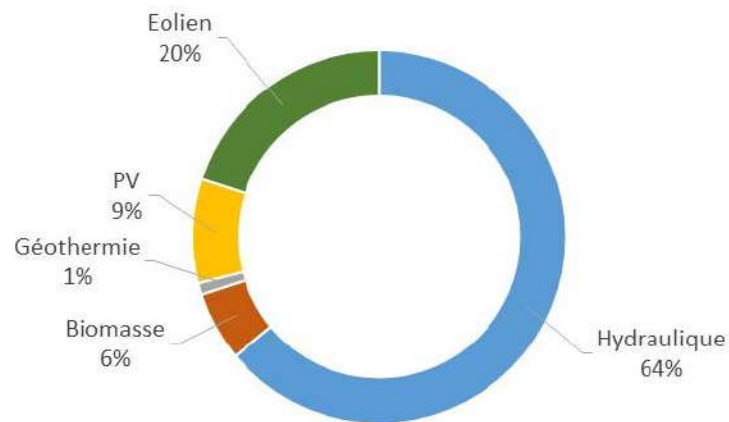
ER1 - 1 HEURE - le 20/10/2016

Sans document ni calculatrice

g. Complétez le diagramme ci-dessous, représentant le mix énergétique français en 2015 : (3 pts)



g. Complétez le diagramme ci-dessous, représentant la production d'électricité par source d'énergie renouvelable, en France en 2015 : (3 pts)



i. A votre avis, comment pourrait-on réduire de façon conséquente, les émissions de gaz à effet de serre, à l'échelle de la France et à l'échelle de la planète : (3 pts)

En France : déploiement massif d'EnR, de véhicules décarbonnés et de méthodes de stockage/utilisation du CO₂

Dans le monde : idem qu'en France avec en plus arrêt des usines au charbon, augmentation de la part de nucléaire dans la production d'électricité

.....

.....

.....

.....

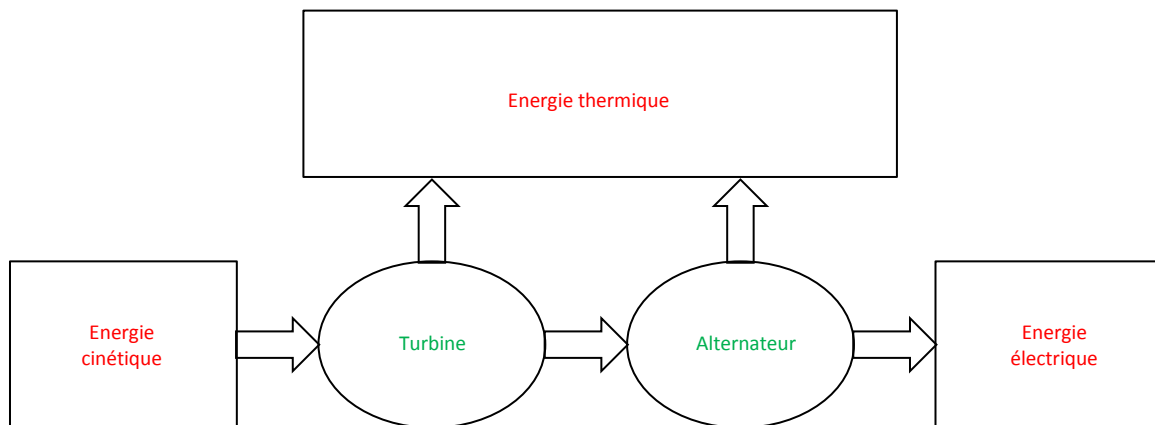
.....

.....

Exercice 2 : Centrale hydraulique (10 pts)

Une centrale hydraulique utilise l'énergie cinétique d'une chute d'eau pour produire de l'électricité.

a. Complétez le schéma ci-dessous représentant la chaîne énergétique de la centrale hydraulique : (4 pts)



b. Le rendement de la turbine est de 90%, celui de l'alternateur de 95%. Le rendement global de conversion de la centrale hydraulique est de : (2 pts)

- ☐ 95%
- ☐ 90%
- ✓ 85% $\eta = 0,9 \times 0,95$

c. A votre avis, quels sont les avantages et les inconvénients des centrales hydrauliques ? (4 pts)

Avantages : stocks pour l'irrigation, maîtrise des crues, pas d'émission de gaz à effet de serre, renouvelables, stables, fortes puissances, rendements élevés

Inconvénients : Enormes volumes d'eau en jeu, conditions hydrologiques et géologiques, accidents, terrains inondés

2E102 - Source d'énergie électrique et capteurs

Exercice 3 : Consommation électrique (40 points)

Une maison individuelle de surface habitable égale à 100 m^2 consomme $3,6 \cdot 10^{10} \text{ J}$ par an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

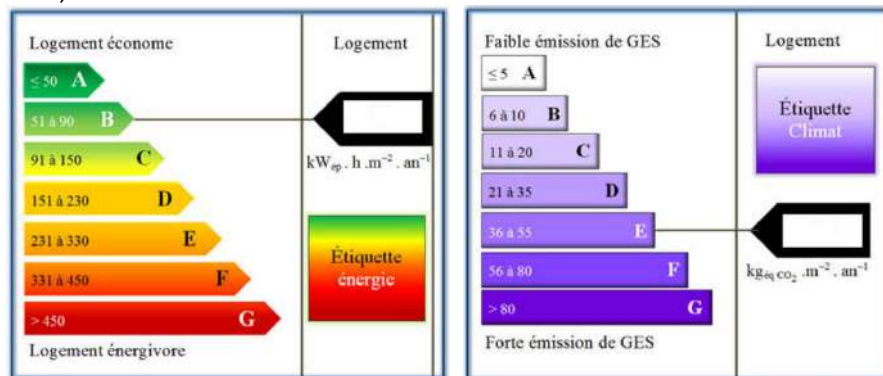
a. Convertissez l'énergie consommée en Wh. (2 pts)

$W_{\text{conso}} = 3,6 \cdot 10^{10} / 3\,600 = 10 \text{ MWh/an}$

b. Pourquoi préfère-t-on utiliser cette unité plutôt que le joule ? (2 pts)

Le joule représente une quantité d'énergie trop petite par rapport aux ordres de grandeur en jeu dans le domaine de l'énergie.

On souhaite calculer le classement énergétique de cette maison individuelle ainsi que celui relatif à l'émission de gaz à effet de serre, selon différents cas.



1^{er} cas : Tout électrique

c. Le rendement d'une centrale thermique classique est de l'ordre de : (2 pts)

- ☐ 20 %
☒ 40%
☐ 80%

d. En déduire l'énergie consommée par la centrale thermique classique pour produire 1 kWh d'électricité : (2 pts)

- ☐ 1 kWh
☒ 2,5 kWh $\eta = 40\%$ donc $1\text{kWh}/0,4 = 2,5\text{kWh}$
☐ 4 kWh

d. En déduire l'énergie consommée par la centrale thermique classique pour fournir l'électricité nécessaire au chauffage et à l'eau chaude sanitaire de la maison individuelle, pendant un an : (2 pts)

- ☐ 10 MWh/an
☒ 25 MWh/an
☐ 40 MWh/an

f. Expliquez les unités définissant la consommation d'une habitation (figure ci-dessus à gauche) (2 pts)

$\text{kW}_{\text{ep}} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$: kWh d'énergie primaire (ep = énergie primaire), par unité de surface et par an

2E102 - Source d'énergie électrique et capteurs

g. En déduire l'étiquette Énergie de cette maison. (3 pts)

25 MWh/an pour une surface de 100 m², ça correspond à 250 kWh/m²/an donc

Étiquette Énergie = E

.....

Le tableau ci-dessous donne l'équivalence entre l'émission de gaz à effet de serre des combustibles courants et la consommation d'énergie primaire :

	Electricité	Charbon	Fioul	Gaz
Emission de CO ₂ (g/kWh)	100	400	300	250

h. La masse de CO₂ obtenue sur un an : (2 pts)

- ☒ 25 kg/m²/an 250 kWh/m²/an donc $100 \times 250 = 25 \cdot 10^3$ g/m²/an
☐ 10 kg/m²/an
☐ 1 kg/m²/an

i. En déduire l'étiquette Climat de cette maison. (2 pts)

Étiquette Climat = D

.....

.....

2^{ème} cas : Chaudière au fioul

j. Donnez l'étiquette Énergie de cette maison (justifiez). (3 pts)

Pas de conversion électrique, toute l'énergie sert à chauffer donc $W = 10$ MWh/an donc 100 kWh/m²/an

Étiquette Énergie = C

.....

.....

.....

ik Donnez l'étiquette Climat de cette maison (justifiez). (3 pts)

$m_{CO_2} = 100 \times 300 = 30 \cdot 10^3$ g/m²/an

Étiquette Climat = D

.....

.....

l. Conclure. (4 pts)

Utiliser de l'électricité pour se chauffer est une aberration, le combustible est d'abord brûlé pour vaporiser de l'eau, le déplacement de l'eau fait tourner une turbine, qui, couplée à un alternateur va produire de l'électricité. Arrivée au domicile, l'électricité va produire de la chaleur par effet joule, par exemple. De nombreuses conversions qui provoquent de nombreuses pertes. L'étiquette Energie du « tout électrique » est forcément moins bonne que pour la chaudière au fioul

L'électricité nucléaire ne rejette pas de gaz à effet de serre alors que la combustion de pétrole rejette beaucoup de CO₂. En ce sens, le nucléaire est une énergie propre. L'étiquette Climat du « tout électrique » est donc meilleure que celle de la chaudière au fioul.

.....

m. L'électricité classique permettant d'alimenter cet écran arrive jusqu'aux prises électriques de la maison sous forme de : (2 pts)

- ☐ courant continu
☒ courant alternatif
☐ courant redressé

n. Pour réduire les pertes en ligne lors du transport de l'électricité en courant alternatif, il faut avoir : (2 pts)

- ☐ une tension aussi basse que possible
- ☒ une tension aussi élevée que possible
- ☐ un $\cos(\varphi)$ aussi petit que possible

o. Le transport du courant en régime triphasé par rapport au régime monophasé : (2 pts)

- ☐ nécessite le même volume total de conducteurs
- ☐ nécessite un volume total de conducteurs trois fois plus important
- ☒ peut se passer d'un conducteur de neutre si les charges sont parfaitement équilibrées

p. Les conditions de stabilité d'un réseau électrique à courant alternatif sont : (2 pts)

- ☐ l'égalité entre les puissances produite et consommée par les utilisateurs finaux
- ☐ l'égalité de la puissance active et de la puissance réactive
- ☒ l'égalité entre la puissance produite et la somme des puissances consommée par les utilisateurs finaux et perdue en ligne et dans les transformateurs par effet Joule

p. Citer le principal inconvénient de l'éolien et du photovoltaïque par rapport au réseau électrique. (3 pts)

L'intermittence de la production d'électricité.....
.....
.....

Exercice 4 : La chaleur du corps humain, source d'énergie (25 pts)

Une équipe de chercheurs du Korean Advanced Institute of Science and Technology a développé un générateur d'électricité qui fonctionne avec la chaleur corporelle. Très fin (environ 500 μm), léger (environ 0,13 g/cm^2) et particulièrement flexible, il peut simplement se coller sur la peau pour alimenter un petit appareil, comme une smartwatch. Ce générateur est composé de matériaux thermoélectriques de type N (Bi_2Te_3) et P (Sb_2Te_3) qui sont appliqués sur un verre spécifique. Le coefficient Seebeck de la jonction utilisée est de 140 $\mu\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$.



Soures : Sun Jin Kim et al., Energy Environ. Sci., 2014, 7, p. 1959

Le rendement énergétique de ce nouveau générateur, pour une taille de 10 cm par 10 cm, est estimé à environ 35 mW avec une différence de 20°C entre la peau humaine et l'air ambiant.

La batterie lithium-ion d'une smartwatch comme l'Apple Watch, a une capacité de 200 mAh sous 3,5 V.

a. Sur quel mécanisme de conversion s'appuie ce générateur ? (2 pts)

- ☒ Thermoélectricité
- ☐ Piézoélectricité
- ☐ Géothermie

b. Décrire succinctement le principe de fonctionnement de ce type de générateur. (4 pts)

Considérons une jonction entre deux matériaux de **pouvoirs thermoélectriques différents**. Imposons des températures différentes à chaque extrémité de la jonction. La différence de températures va provoquer un déplacement de charges et donc entraîner **une différence de potentiels proportionnelle à l'écart de température** aux bornes de la jonction. C'est l'effet **Seebeck**. Pour favoriser le déplacement des charges, la jonction est souvent constituée par un semi-conducteur dopé N collé à un semi-conducteur dopé P.

On peut associer plusieurs jonctions connectées électriquement en série et thermiquement en parallèle et alors, les pouvoirs thermoélectriques de chaque jonction vont s'additionner.

Cet effet est inversible : En imposant une différence de potentiels, on peut imposer une différence de température entre les extrémités d'une jonction. C'est l'effet Peltier.

c. Justifiez l'écart de température choisi. (2 pts)

Le corps étant à 37°C, il paraît judicieux de faire un premier dimensionnement avec une température ambiante de 17°C. Bien sûr, l'effet thermoélectrique par des capteurs sur le corps humain sera plus important en hiver qu'en été.

d. Quelle est la différence de potentiel engendrée par une cellule élémentaire ? (2 pts)

- ☐ 3,5 V
- ☐ 41,2 mV
- ☒ 2,8 mV $140 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 2,8 \text{ mV}$

e. Comme le montre la figure ci-dessus, le dispositif complet est fabriqué à partir de 10 systèmes associant plusieurs jonctions. A votre avis, comment sont associés ces 10 systèmes ? (2 pts)

- ☒ en série on a besoin d'une tension de 3,5 V, il faut donc associer de telle sorte que la tension augmente
- ☐ en parallèle
- ☐ 2 chaînes parallèles de 5 systèmes en série

f. Quelle doit être alors la différence de potentiels aux bornes de chaque système si on veut charger une smartwatch ? (2 pts)

- ☒ 350 mV $3,5 \text{ V} / 10 \text{ systèmes} = 0,35 \text{ V}$
- ☐ 410,2 mV
- ☐ 28 mV

g. Quel est le nombre de jonctions P-N pour chacun de ces 10 systèmes ? (2 pts)

- ☐ 10
- ☒ 125 $350 \text{ mV par système} / 2,8 \text{ mV par jonction} = 125 \text{ jonctions/système}$
- ☐ 40

h. On associe 10 bracelets tels que celui décrit ci-dessus afin d'obtenir une surface active de 10 cm par 10 cm. Comment doit-on les associer ? (2 pts)

- ☐ en série
- ☒ en parallèle la tension est correcte, on veut gagner en courant pour charger plus vite
- ☐ 2 chaînes parallèles de 5 systèmes en série

i. Quel courant pourra être généré dans ces conditions ? (2 pts)

- ☐ 35 mA
- ☒ 10 mA $35 \text{ mW} / 3,5 \text{ V} = 10 \text{ mA}$
- ☐ 200 mA

j. Combien de temps faudra-t-il pour charger la batterie de la smartwatch si son état de charge est à 60% ? (2 p)

- ☐ 4 heures
- ☒ 8 heures $0,4 \cdot 200 \text{ mAh} / 10 \text{ mA}$
- ☐ 12 heures

k. Conclure. (3 pts)

En considérant des journées où la montre est portée de 12 heures, la batterie sera continuellement chargée à plus de 60%. La nuit, la montre étant peu utilisée, elle ne devrait pas trop se décharger.

.....
.....
.....
.....

Exercice 5 : Autres sources d'énergie (20 pts)

Centrale éolienne :

a. Notons p la densité de l'air ($1,22 \text{ kg/m}^3$) et D le diamètre du rotor d'une éolienne (en m). Lorsque le diamètre du rotor est doublé, la puissance du vent arrivant en amont de l'éolienne est : (2 pts)

- ☐ divisée par 2
- ☐ multipliée par 2 **P est proportionnelle à la surface (D^2)**
- ☒ multipliée par 4 **P est proportionnelle à la surface (D^2)**

b. Lorsque la vitesse du vent arrivant en amont de l'éolienne est doublée, la puissance du vent arrivant sur le rotor est : (2 pts)

- ☐ multipliée par 2
- ☐ multipliée par 4
- ☒ multipliée par 8 **P est proportionnel à v^3**

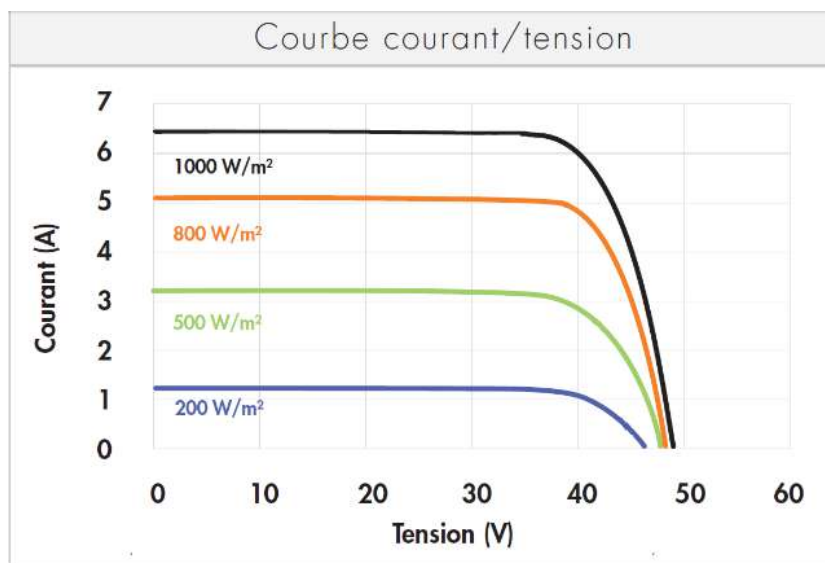
c. D'après la limite de Betz, le rendement maximum d'une éolienne est : (2 pts)

- ☐ 100%
- ☒ 59%
- ☐ 5%

d. Dans ce cas, la vitesse du vent en sortie de l'éolienne est : (2 pts)

- ☐ Nulle
- ☐ Trois fois plus grande que la vitesse du vent en amont de l'éolienne.
- ☒ Trois fois plus petite que la vitesse du vent en amont de l'éolienne.

Centrale photovoltaïque :



e. La caractéristique courant-tension du module photovoltaïque est représenté sur la figure ci-dessus. Quelle est la puissance nominale de ce module photovoltaïque ? (2 pts)

- ☐ 6,4 W_c
- ☐ 40 W_c
- ☒ 240 W_c

f. Indiquer quelles sont les valeurs des tension de circuit-ouvert, courant de court-circuit, tension à puissance maximale, courant à puissance maximale et puissance maximale, pour un éclairement de $1\,000 \text{ W.m}^{-2}$: (1 pts)

$V_{oc} = 48,8 \text{ V}$ $I_{sc} = 6,43 \text{ A}$

$V_{mpp} = 40,5 \text{ V}$ $I_{mpp} = 6,05 \text{ A}$

$P_{mpp} = 240 \text{ W}$

g. On branche une charge aux bornes du panneau photovoltaïque. Indiquez les valeurs des courant et tension générés dans les deux cas ci-dessous : (2 pts)

si $R = 0$: $V = 0V$ $I = 6,43A$

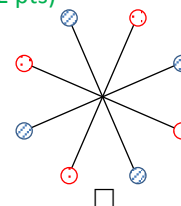
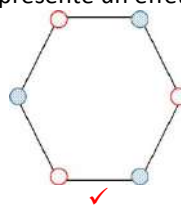
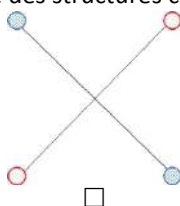
si $R = \infty$: $V = 48.8 V$ $I = 0A$

h. On souhaite extraire le maximum de puissance du module photovoltaïque ci-dessus. Quelle charge doit-on alors connecter, pour un éclairement de $1\,000\text{ W/m}^2$: (2 pts)

- ☐ $150\text{ m}\Omega$
- ☒ $6,7\ \Omega$
- ☐ $1\text{ M}\Omega$

Piézoélectricité :

i. Laquelle des structures cristallines suivantes présente un effet piézoélectrique ? (2 pts)



j. Le signal généré aux bornes d'une céramique piézoélectrique est : (2 pts)

- ☐ continu
- ☒ oscillant
- ☐ triphasé