

Exercice 01: « Extraction du gaz de schiste par électro-fracturation » -10 points

L'électro-fracturation est une méthode actuellement à l'étude pour remplacer la fracturation hydraulique et extraire le gaz de schiste.

Deux électrodes sont introduites dans une cavité de la roche, remplie d'eau. Une forte tension électrique, fournie par des condensateurs, est appliquée aux bornes des deux électrodes, ce qui provoque un arc électrique, accompagnée d'une « onde de pression » qui fracture la roche en s'y propageant.

Source : d'après www.senat.fr/rap/r12-640/r12-64020.html

L'objectif de cet exercice est d'étudier la charge et la décharge des condensateurs en se basant sur les données d'une expérimentation menée à l'université de Pau et des Pays de l'Adour.

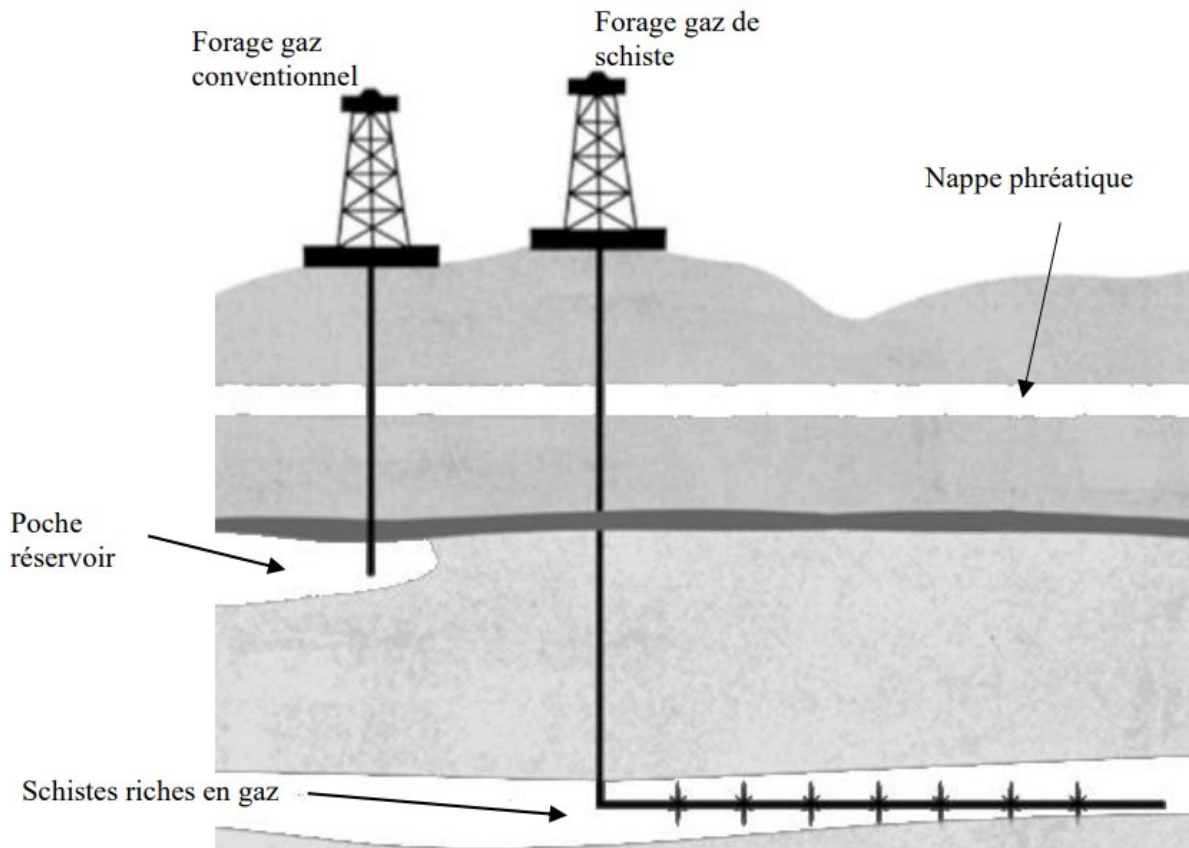


Figure 1 : Exploitation du gaz de schiste et du gaz conventionnel (source : choisir.com)

Données :

- L'énergie stockée par un condensateur peut être calculée avec la relation $W = \frac{1}{2} \times C \times u_C^2$ avec W : énergie stockée par le condensateur en joules (J) ;
 C : capacité du condensateur en farads (F) ;
 u_C : tension aux bornes du condensateur en volts (V).
- Le rendement énergétique η , en %, peut être calculé avec la relation $\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{consommée}}}$.

L'installation électrique permettant d'alimenter les électrodes peut être modélisée de façon simplifiée par un schéma électrique contenant (**figure 2**) :

- un interrupteur deux positions K ;
- une alimentation électrique de tension $E = 40 \text{ kV}$;
- une installation permettant d'intégrer de 1 à 6 condensateurs placés en parallèle, chacun de capacité $C = 200 \text{ nF}$, représentée par un condensateur équivalent de capacité C_{eq} ;
- un conducteur ohmique de résistance $R_1 = 160 \text{ k}\Omega$;
- le système {électrodes + eau} qui peut être modélisé par un conducteur ohmique de résistance $R_2 = 100 \Omega$.

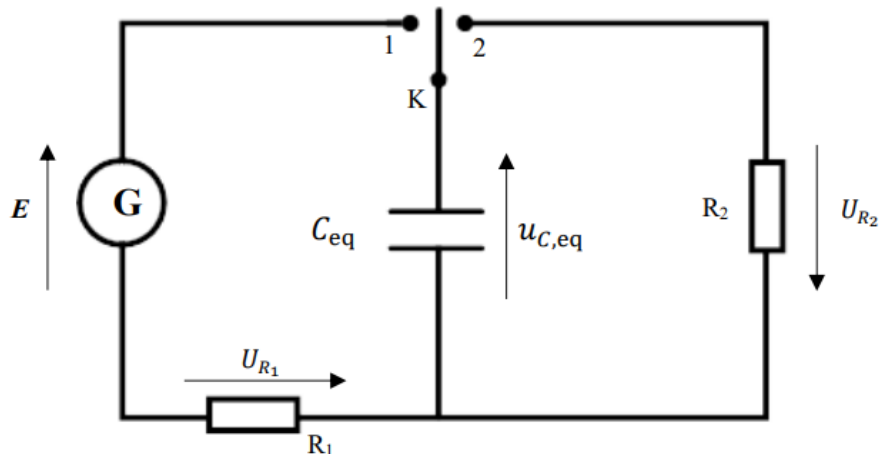


Figure 2 : schéma électrique simplifié de l'installation d'électro-fracturation

PARTIE A : Charge du condensateur équivalent

Dans cette partie, nous allons étudier la charge du condensateur équivalent de capacité C_{eq} pour déterminer l'énergie maximale stockée W_{max} . Le condensateur équivalent est initialement déchargé et l'on ferme l'interrupteur K en position 1 à l'instant $t = 0 \text{ s}$.

- A.1.** Établir l'expression liant la tension aux bornes du condensateur équivalent $u_{C,eq}$, celle aux bornes du conducteur ohmique u_{R_1} , et la tension aux bornes de l'alimentation E .
- A.2.** Établir l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension $u_{C,eq}$, aux bornes du condensateur équivalent lors de la charge.
- A.3.** Vérifier que la solution de cette équation différentielle s'écrit : $u_{C,eq}(t) = E \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau_{charge}}})$ et exprimer τ_{charge} en fonction de R_1 et C_{eq} .
- A.4.** Déterminer la capacité C_{eq} du condensateur équivalent. On détaillera le raisonnement et fera apparaître clairement une partie de la démarche sur la courbe 1 de **l'annexe à rendre avec la copie**.
- A.5.** En déduire le nombre de condensateurs de capacité $C = 200 \text{ nF}$ utilisés lors de l'expérimentation.
- A.6.** Déterminer l'énergie maximale W_{max} stockée dans le condensateur équivalent chargé.

PARTIE B : Décharge du condensateur équivalent

Avant l'apparition d'un arc électrique entre les deux électrodes, le condensateur équivalent est initialement chargé avec une tension $E = 40 \text{ kV}$, puis il subit une pré-décharge pendant une durée $\Delta t = 12 \text{ } \mu\text{s}$. On considérera pour la suite de l'exercice que $C_{eq} = 600 \text{ nF}$.

Durant cette pré-décharge, la tension aux bornes du condensateur équivalent évolue selon l'expression $u_{C,eq}(t) = E \times e^{-\frac{t}{R_2 C_{eq}}}$.

À $t = 0 \text{ s}$, on ferme l'interrupteur K en position 2.

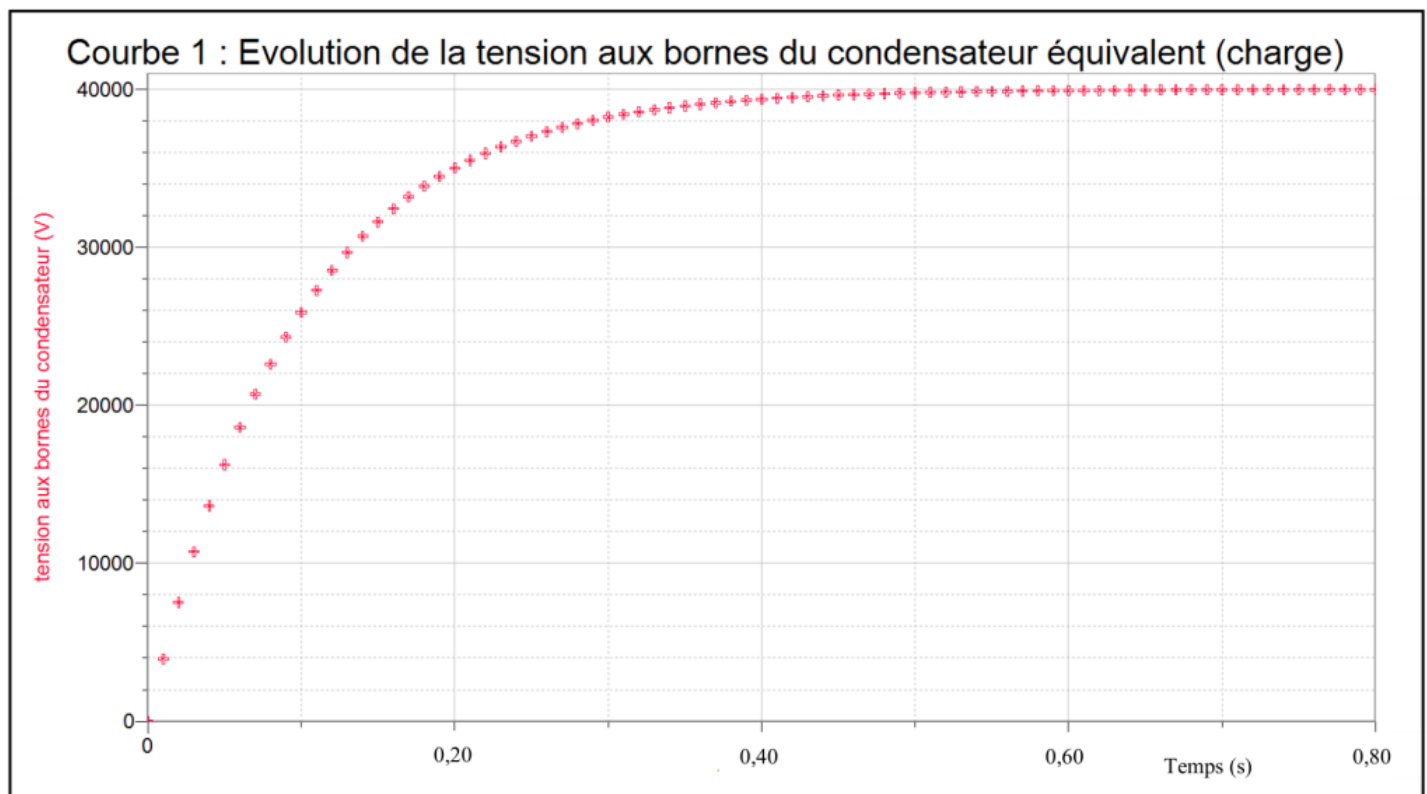
B.1. Déterminer la valeur de la tension $u_{C,eq}(t = \Delta t)$ aux bornes du condensateur équivalent à la fin de la pré-décharge.

B.2. En déduire la valeur de l'énergie restante W_{arc} dans le condensateur équivalent et disponible pour la création de l'arc électrique.

B.3. Calculer le rendement énergétique η de l'installation étudiée permettant la création de l'arc électrique. Commenter.

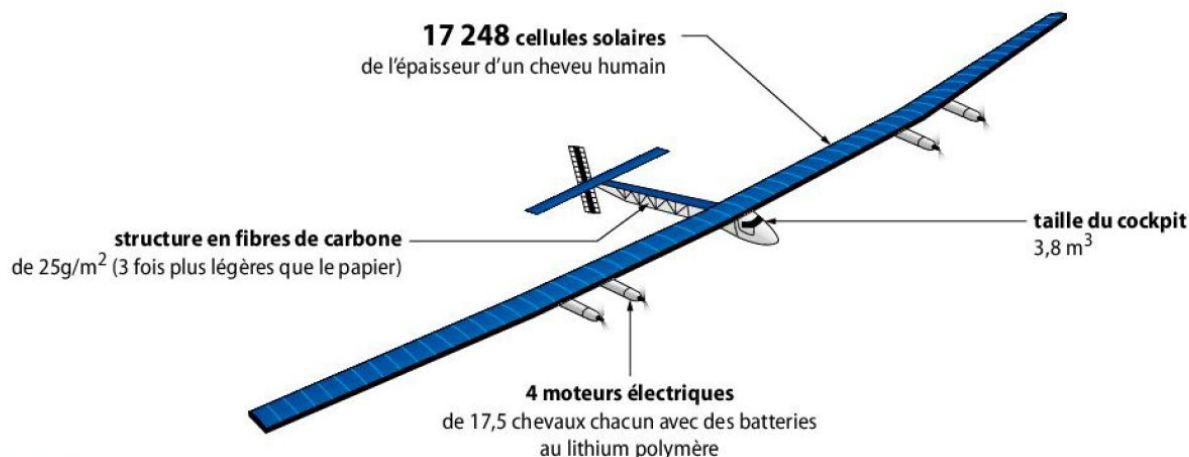
ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (même non complétée)

EXERCICE I : Charge du condensateur équivalent



Exercice 02: « L'avion solaire « *Solar Impulse* » : un challenge énergétique à relever » -10 points

L'avion solaire Solar Impulse est le résultat d'un projet ayant comme objectif de faire voler, lors d'un tour du monde, un avion à moteurs électriques uniquement alimentés par l'énergie solaire.

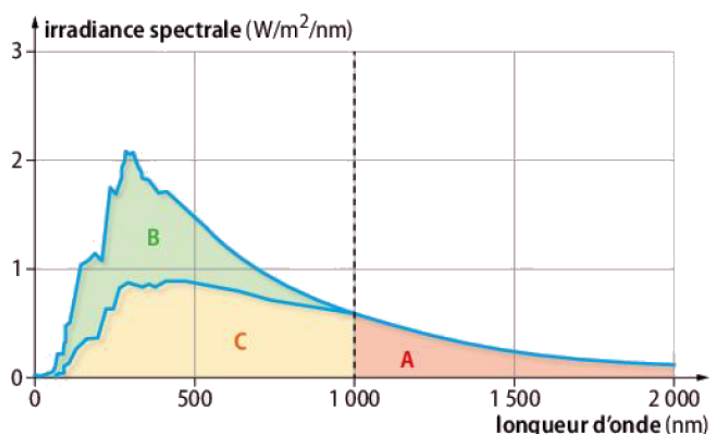


DOC 1 Caractéristiques de trois types de cellules photovoltaïques existantes

Type de matériaux de la cellule	Durabilité	Rendement typique en %	Rendement maximum en %	Coût de fabrication
Silicium mono cristallin	Supérieure à 20 ans	De 15 à 20	25	+++
Silicium poly cristallin	Supérieure à 20 ans	De 12 à 16	20	++
Silicium amorphe	20 ans	De 5 à 8	13	+

DOC 2 Les photons utiles de l'effet photoélectrique pour le silicium

Les photons ayant une énergie inférieure à E_g ne peuvent pas être utilisés par le silicium pour produire de l'énergie électrique est donc convertie en énergie thermique. L'énergie perdue par ces photons non-absorbés représente 23,5 % de l'énergie solaire. Les photons ayant une énergie supérieure à E_g peuvent eux déloger un électron utile, mais l'énergie excédentaire sera perdue elle aussi. Cet excès d'énergie représente quant à lui 33 % de l'énergie solaire. C'est ce que montre le schéma ci-contre. À ces pertes, s'ajoutent celles du facteur de forme, de la réflexion et de la surface des collecteurs



DONNÉES

- $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
- $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$
- $1 \text{ ch} = 735,5 \text{ W}$

Effet photoélectrique. Les théories actuelles associent à chaque onde électromagnétique du rayonnement solaire une particule appelée photon dont l'énergie est donnée par la relation de Planck :

$$E = h \cdot V = h \cdot c / \lambda$$

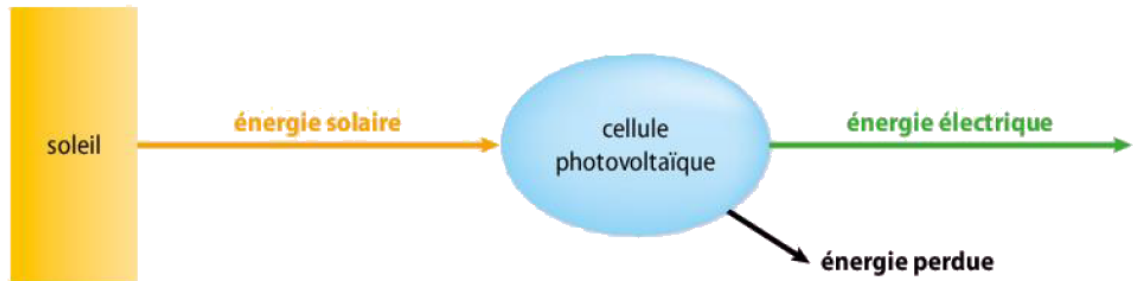
avec E : énergie du photon (en J) ;
 V : fréquence de l'onde électromagnétique (en Hz) ;
 c : célérité de la lumière dans le vide (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ;
 λ : longueur d'onde de l'onde électromagnétique (en m)

1. Étude du vol de jour

Le jour, l'avion est soumis à une puissance solaire surfacique moyenne de $1\,000\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

1. Calculer, en kW, la puissance solaire reçue par les $269,5\text{ m}^2$ de cellules solaires de l'avion.
2. Le diagramme des puissances d'une cellule solaire est présenté par le **document 3**.

DOC 3 Diagramme des puissances d'une cellule solaire



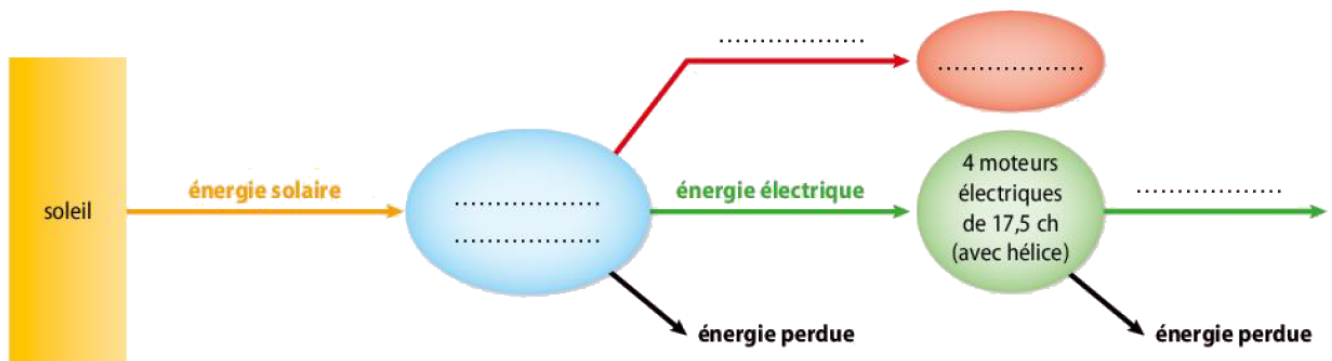
En tenant compte du rendement de 23 % qui est celui des cellules solaires, montrer que la puissance électrique que peuvent fournir les cellules solaires de l'avion est de 62,0 kW.

3. En justifiant la réponse, indiquer si cette puissance est suffisante pour alimenter les quatre moteurs fonctionnant à pleine puissance et ayant un rendement de 94 %.
4. L'énergie collectée par les cellules solaires est en partie stockée dans des batteries au lithium polymère, de masse totale de 633 kg et d'une densité énergétique de $260\text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$.

En admettant que 25 % de la puissance électrique produite par les cellules solaires est en moyenne utilisée pour la recharge des batteries, calculer la durée d'exposition solaire nécessaire pour recharger intégralement les batteries de l'avion.

5. Recopier et compléter le diagramme en énergie de l'avion solaire volant de jour du **document 4**.

DOC 4 Diagramme des énergies de l'avion solaire



2. Cellule photovoltaïque et effet photoélectrique

1. Expliquer pourquoi les concepteurs de l'avion *Solar Impulse* ont retenu les cellules en silicium monocristallin.
2. Le rendement de 23 % des cellules photovoltaïques de *Solar Impulse* est l'un des meilleurs rencontrés pour ce type de convertisseur d'énergie à l'heure actuelle. Ce rendement peut-il être qualifié de bon rendement d'énergie ? Justifier la réponse.
3. Seuls les photons dont l'énergie est supérieure à $E_g = 1,12\text{ eV}$ (appelée gap du silicium) peuvent libérer un électron qui participera au courant électrique délivré par la cellule photovoltaïque en silicium. Déterminer en nm la longueur d'onde de l'onde électromagnétique dont le photon a une énergie égale au gap du silicium.
4. Indiquer à quelle(s) zone(s) (A, B ou C) du **document 2** correspondent les photons potentiellement utiles à la production d'énergie électrique par le silicium ?