

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2020

Sciences et Technologies de l'Industrie
et du Développement Durable
et
Sciences et Technologies de Laboratoire
spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire

PHYSIQUE-CHIMIE

Épreuve du mercredi 24 juin 2020

Durée : 3 heures

Coefficient : 4

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

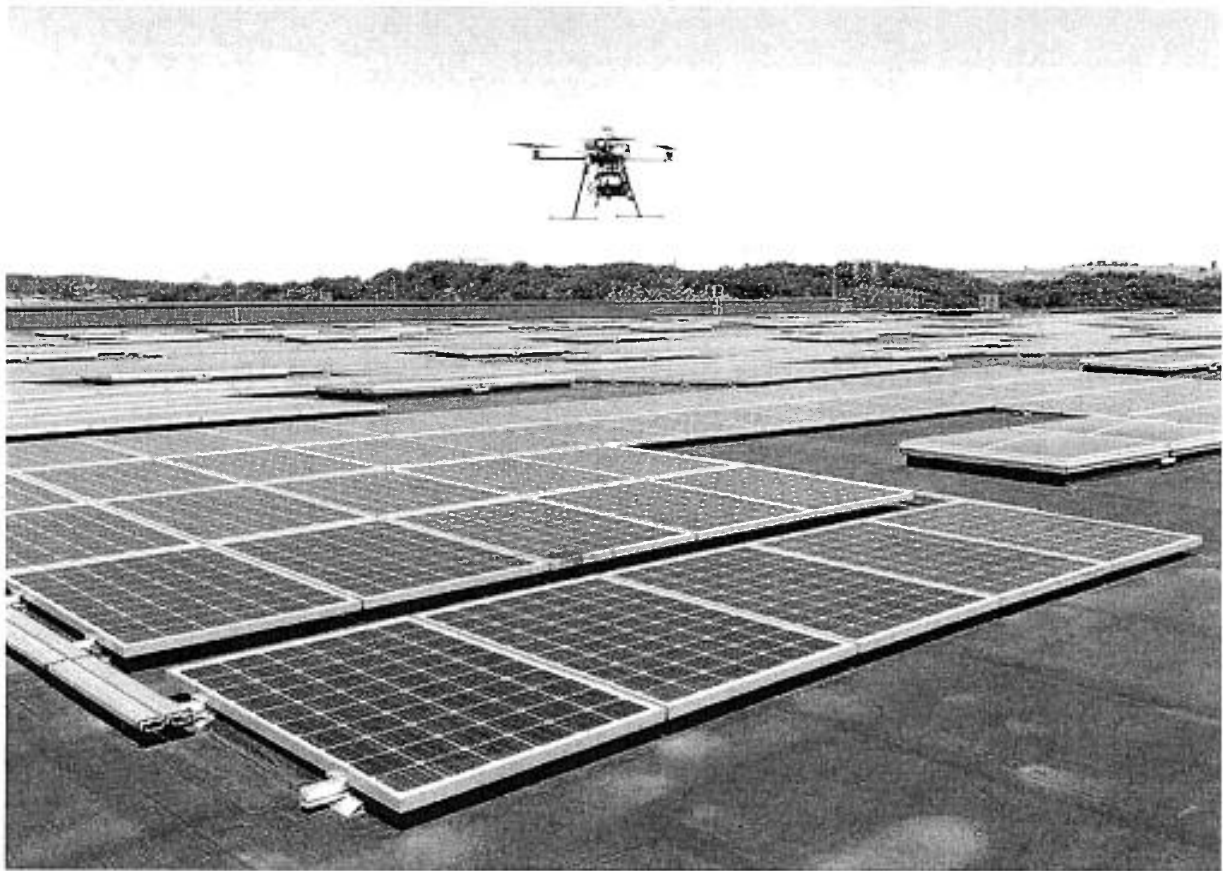
Les documents réponses de la page 12/12 sont à rendre impérativement avec la copie.

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

UN DRONE POUR LA MAINTENANCE D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

Certaines centrales solaires photovoltaïques couvrent une surface au sol de plusieurs dizaines d'hectares, soit une surface équivalente à plusieurs dizaines de terrain de football. Au fil du temps, des défauts dans le fonctionnement des panneaux solaires apparaissent et l'énergie électrique produite diminue pour un même ensoleillement. C'est pourquoi des techniciens inspectent régulièrement les panneaux solaires pour y repérer ces défauts. Des drones équipés d'une caméra thermique sont utilisés pour assurer la surveillance des panneaux solaires et réaliser la maintenance nécessaire.



<https://www.studioflytechnologie.fr/inspection-panneaux-solaires-drone-centrale-photovoltaïque/>

Le sujet se compose de 3 parties indépendantes les unes des autres :

PARTIE A : Implantation d'une centrale photovoltaïque (6,5 points).

PARTIE B : Étude du drone (6,5 points).

PARTIE C : Maintenance et entretien des panneaux (7 points).

Les documents à utiliser sont rassemblés en fin de chaque partie.

PARTIE A : Implantation d'une centrale photovoltaïque

La centrale photovoltaïque peut être une solution pour produire l'énergie électrique nécessaire aux agglomérations. L'objectif est d'estimer l'ordre de grandeur de la superficie d'une centrale photovoltaïque capable d'alimenter une ville de 250 000 foyers.

A.1. Exemple de la centrale photovoltaïque « La Menudelle »

Une centrale photovoltaïque permet de transformer l'énergie solaire reçue par les panneaux en énergie électrique avec un certain rendement. L'ordre de grandeur du rendement de la centrale « La Menudelle » va être estimé à partir de l'exploitation des **documents A1 et A2** ci-après.

A.1.1. Calculer la surface de l'ensemble des panneaux solaires installés dans cette centrale photovoltaïque.

Les panneaux de cette centrale sont fixes. Ils absorbent une énergie solaire qui dépend de leur orientation géographique (Nord, Sud, Est ou Ouest) et de leur inclinaison par rapport à l'horizontale.

A.1.2. Justifier l'orientation et l'inclinaison choisies pour installer les panneaux solaires de la centrale étudiée.

La région Provence-Alpes-Côte-d'Azur bénéficie d'un ensoleillement intéressant en termes de production d'énergie solaire. Les panneaux photovoltaïques du site « La Menudelle » reçoivent par mètre-carré, une énergie solaire de $1100 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ par an.

A.1.3. Vérifier que l'énergie solaire annuelle reçue par ces panneaux est de $120 \text{ GW}\cdot\text{h}$.

A.1.4. Compléter la chaîne énergétique du **document réponse 1** des panneaux photovoltaïques en indiquant le nom des différentes formes d'énergies.

A.1.5. Montrer que le rendement de ces panneaux solaires est de l'ordre de grandeur de 14 %.

A.2. Alimentation d'une ville par l'énergie solaire

En France, en 2012, le secteur résidentiel représentait approximativement 32 millions de foyers. L'exploitation des **documents A1 et A3** va permettre d'estimer la consommation d'une ville de 250 000 foyers et de connaître la surface de la centrale photovoltaïque nécessaire pour son alimentation électrique.

A.2.1. Déterminer la consommation d'énergie électrique annuelle en France en 2012.

A.2.2. Calculer la consommation d'énergie électrique dédiée au secteur résidentiel en France durant l'année 2012.

A.2.3. Vérifier que l'énergie électrique consommée en moyenne chaque année par un foyer est de l'ordre de $5,5 \text{ MW}\cdot\text{h}$.

A.2.4. Déterminer le nombre de centrales photovoltaïques identiques à celle de « La Menudelle » nécessaire à l'alimentation en énergie électrique d'une ville de 250 000 foyers.

- A.2.5. Montrer que la surface totale correspondant à cet ensemble de centrales photovoltaïques est de l'ordre de 2400 hectares.
- A.2.6. Exprimer en pourcentage, le rapport entre la surface au sol occupée par ces centrales photovoltaïques et la surface de cette ville estimée à 5 000 hectares. Conclure.














DOCUMENTS DE LA PARTIE A

Document A1

Une centrale photovoltaïque d'une puissance de 12 MW et de 29 hectares a été inaugurée ce 14 septembre 2012 près de l'ancienne décharge d'Entressen sur un site appelé « La Ménudelle ». Le site se positionne sur le territoire de la commune de Saint-Martin-de-Crau, près d'Arles. Trente millions d'euros ont été investis dans la réalisation de cette centrale photovoltaïque d'une puissance installée de 12 MW, capable de produire $16,8 \times 10^3$ MW·h par an, soit l'équivalent de la consommation électrique annuelle d'une petite ville. Elle comprend 150 000 panneaux orientés vers le sud et inclinés de 25° par rapport à l'horizontale. Chaque panneau a une longueur $L = 1,00$ m et une largeur $l = 0,70$ m.

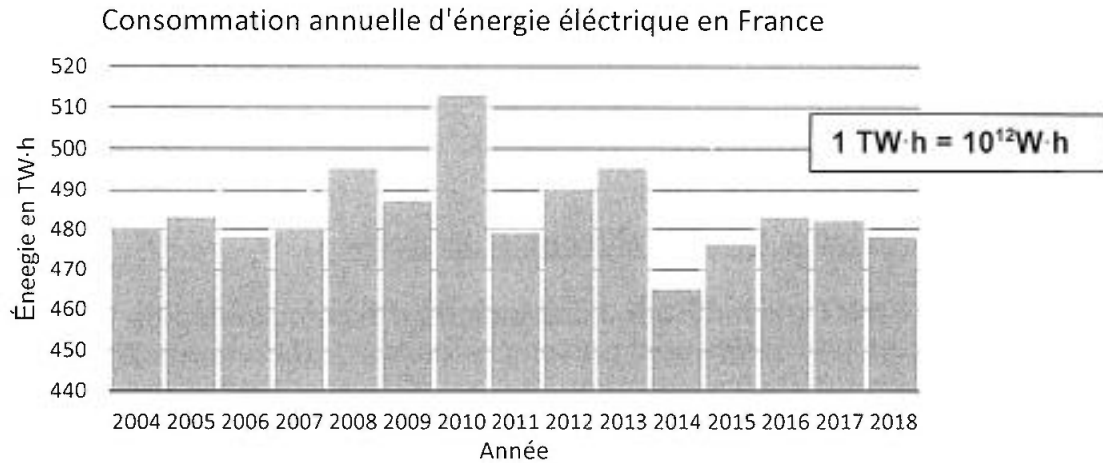
D'après : <https://www.usinenouvelle.com/article/edf-en-et-la-ville-de-marseille-inaugurent-une-centrale-solaire-a-saint-martin-de-crau.N182037> et de google earth (nombre de panneaux et surface utile)

Document A2 : Facteur de correction de l'énergie solaire reçue par un panneau photovoltaïque en fonction de l'orientation et de l'inclinaison choisies

| FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNEES | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| INCLINAISON \ ORIENTATION | |  0° |  30° |  60° |  90° |
| | |  |  |  |  |
| Est |  | 0,93 | 0,90 | 0,78 | 0,55 |
| Sud-Est |  | 0,93 | 0,96 | 0,88 | 0,66 |
| Sud |  | 0,93 | 1,00 | 0,91 | 0,68 |
| Sud-Ouest |  | 0,93 | 0,96 | 0,88 | 0,66 |
| Ouest |  | 0,93 | 0,90 | 0,78 | 0,55 |

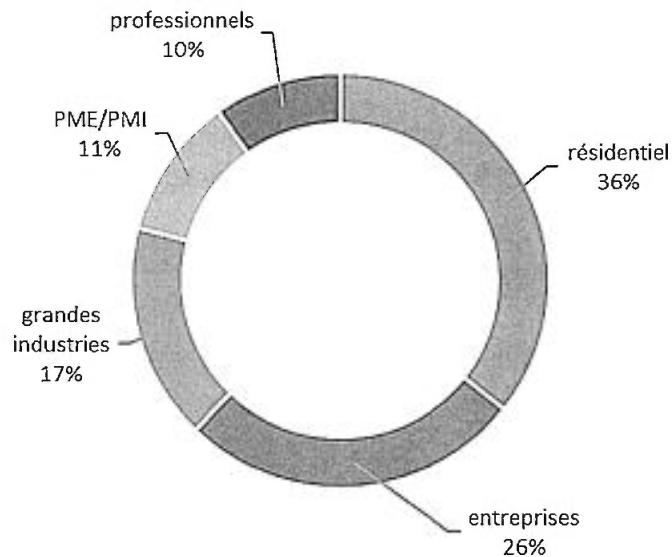
D'après <https://www.energies-nouvelles.net/>

Document A3 : Evolution de la consommation d'énergie électrique en France
(source RTE-France)



Répartition moyenne de la consommation d'énergie électrique par secteur d'activité en France

(Source RTE-France)



PARTIE B : ÉTUDE DU DRONE

Afin de réaliser la maintenance nécessaire, une surveillance de la centrale photovoltaïque est réalisée à partir d'un drone équipé d'une caméra thermique.

Le drone utilisé est équipé de 4 moteurs et présente une masse totale de 1,38 kg (hélices et batteries incluses). L'étude porte sur la batterie qui doit permettre une autonomie de 20 à 30 minutes du drone pour survoler l'ensemble de l'installation.

B.1 Caractéristiques de la batterie alimentant le drone

Le drone est alimenté par l'intermédiaire d'une batterie d'accumulateurs de type « PHANTOM 4 » dont les caractéristiques principales sont présentées dans les **documents B1 et B2**.

- B.1.1. Montrer que l'énergie stockée dans une batterie « PHANTOM 4 » est de l'ordre de 89 W·h.
- B.1.2. Calculer l'énergie massique de cette batterie sachant que l'unité de l'énergie massique est le $W \cdot h \cdot kg^{-1}$.
- B.1.3. Montrer que le résultat précédent est en accord avec les caractéristiques de la batterie « PHANTOM 4 ».
- B.1.4. Cette technologie est la plus couteuse de celles présentées dans le **document B2**. Justifier ce choix de type de batteries pour alimenter un drone.

B.2 Autonomie de la batterie du drone

On donne dans le **document réponse 2** la schématisation simplifiée de la batterie utilisée pour alimenter le drone.

- B.2.1. Compléter ce schéma en indiquant :
 - le sens de circulation du courant électrique.
 - le sens de circulation des électrons.

La masse de lithium présente dans cette batterie est estimée à 1,6 g.
Le lithium a une masse molaire $M_{Li} = 7,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- B.2.2. Montrer que la quantité de matière de lithium contenue dans cette batterie est $n_{Li} = 0,23 \text{ mol}$.
- B.2.3. Sur une des électrodes de la batterie, la réaction chimique qui se produit est représentée par l'équation chimique :



Indiquer si l'atome de lithium est oxydé ou réduit en justifiant votre réponse.
Indiquer à quelle électrode (positive ou négative) se déroule cette réaction chimique.

- B.2.4. Justifier qu'à chaque mole de Lithium réagissant dans la batterie, une mole d'électrons est libérée à l'électrode considérée.

- B.2.5.** À partir du raisonnement précédent, calculer la quantité d'électricité Q , exprimée en coulomb, que peut libérer 1,6 g de lithium.
Vérifier que l'ordre de grandeur de la quantité d'électricité stockée par la batterie est cohérent avec celui de la capacité de la batterie indiquée par le constructeur.
- B.2.6.** Sachant que l'intensité moyenne du courant électrique débité par la batterie en fonctionnement permanent est $I = 12$ A. Retrouver par calcul la durée d'utilisation possible du drone avec cette batterie.

B.3. Décollage du drone

L'étude porte sur les forces qui s'exercent sur le drone au moment du décollage.
L'accélération de pesanteur a une valeur $g = 9,81$ m·s⁻².

Au décollage, chaque moteur fournit une force ascensionnelle verticale de valeur $F = 4,1$ N.

La schématisation du drone avec ses quatre moteurs M1, M2, M3 et M4 et son centre de gravité G est représentée sur le **document réponse 3**.

- B.3.1.** Sur le **document réponse 3**, représenter en respectant l'échelle, le vecteur \vec{P} associé au poids s'exerçant sur le drone.
- B.3.2.** Sur le **document réponse 3**, représenter en respectant l'échelle, les 4 vecteurs \vec{F} associés respectivement à la force générée par chacun des quatre moteurs.
- B.3.3.** Les quatre moteurs permettent-ils au drone de décoller ?
Justifier votre réponse.

DOCUMENTS DE LA PARTIE B

Document B1 : BATTERIES « PHANTOM 4 »

Type : Lithium-ion-polymère Capacité : 5,87 A·h Tension : 15,2 V Masse : 439 g

Cette batterie permet au drone de voler pendant une durée de 30 minutes, mais il est ensuite nécessaire de laisser le drone au sol entre 20 et 24 minutes pour recharger la batterie.

Extrait de « Phantom 4 user's manuel »

Rappels d'électricité :

$$Q = I \times \Delta t = n_e \times F$$

$$1\text{A}\cdot\text{h} = 3600\text{ C}$$

Q : quantité d'électricité en coulomb (C).

n_e : quantité de matière d'électrons en mole (mol).

F : constante de Faraday : $F = 9,65 \times 10^4$ C·mol⁻¹.

Δt : durée en seconde (s).

I : intensité en ampère (A).

Document B2 : Caractéristiques de quelques batteries

| Type | W·h/kg | W·h/dm ³ |
|---|---------|---------------------|
| Pb/H ₂ SO ₄ /PBO ₂ Tubulaire | 30-40 | 70-100 |
| Cd/KOH/NiOOH | 40-60 | 120-160 |
| MH/NiOOH | 50-80 | 150-200 |
| H ₂ /NiOOH | 60-70 | 60-90 |
| Zn/AgO | 80-120 | 200-300 |
| Na/NiCl ₂ zébra | 80-120 | 140-150 |
| Li-ion-Polymère | 100-210 | 200-400 |

Extrait de https://www.gfp.asso.fr/wp-content/uploads/Fauvarque_JFF.pdf

PARTIE C : MAINTENANCE ET ENTRETIEN DES PANNEAUX

La télécommande du drone comporte un écran qui permet au technicien de visualiser en temps réel l'image transmise par la caméra infrarouge fixée sous le drone. Cette caméra permet de surveiller l'état des panneaux et d'établir un premier diagnostic en cas de problème.

C.1. Étude de la portée de la télécommande du drone

La télécommande et le drone communiquent par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques. Les caractéristiques de la télécommande et des ondes électromagnétiques sont présentées dans les documents C1 et C2.

- C.1.1. Calculer la longueur d'onde de l'onde électromagnétique utilisée pour la communication entre le drone et la télécommande.
- C.1.2. Indiquer le nom de la gamme de fréquence de ces ondes.
- C.1.3. Indiquer comment varie la valeur efficace du champ E au point où se trouve le drone lorsque la distance entre la télécommande et le drone augmente.

La valeur efficace minimale du champ électrique E_{min} des ondes électromagnétiques détectable par le récepteur du drone est $E_{min} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$.

- C.1.4. Calculer la distance maximale d_{max} correspondant à la portée de la télécommande.

Pour un confort optimal du pilotage du drone, les techniciens préconisent une zone de portée de la télécommande de l'ordre de 100 fois la surface à observer.

- C.1.5. Calculer la surface du disque représentant la zone de portée de la télécommande du drone.
En déduire si la portée de cette télécommande est suffisante pour assurer la maintenance du site occupant une surface de 29 hectares sachant que 1 hectare = 10^4 m^2 en respectant les recommandations des techniciens.
Justifier votre réponse.

C.2. Recherche des défauts des panneaux photovoltaïques par thermographie

La thermographie est basée sur le principe de la mesure des longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique émis par un corps à une température donnée. Dans l'étude suivante, la loi de Wien, rappelée ci-après, s'applique aux panneaux photovoltaïques utilisés.

| | | |
|-------------|--|---|
| Loi de Wien | $\lambda_{MAX} = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{T}$ | λ_{MAX} : longueur d'onde pour laquelle l'émission de lumière par le corps est maximale en (m). T : température du corps en kelvin (K). La relation entre la température T exprimée en kelvin et la température θ exprimée en degré Celsius est : $T = \theta + 273$ |
|-------------|--|---|

- C.2.1. La longueur d'onde du rayonnement émis par un panneau en fonctionnement normal et en bon état est voisine de $\lambda = 9,0 \text{ }\mu\text{m}$.
Montrer qu'un tel panneau présente une température de fonctionnement proche de 50°C .

Un défaut de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque entraîne une élévation anormale locale de la température de surface du panneau comme le **document C3** le précise.

L'élévation de température d'une partie du panneau entraîne une modification de sa production.

Une cellule photovoltaïque est considérée comme défectueuse si sa température de surface est supérieure de 12 °C par rapport à la température de surface d'un panneau en parfait état de marche.

C.2.2. À partir de quelle longueur d'onde mesurée par thermographie peut-on considérer qu'une cellule photovoltaïque d'un panneau est défectueuse ?

Le **document C4** présente les caractéristiques intensité-tension d'une cellule photovoltaïque à différentes températures. Les points A, B, C, D, E sont les points de fonctionnement qui correspondent à une puissance électrique fournie maximale.

C.2.3. Calculer la puissance maximale produite par une cellule photovoltaïque fonctionnant :

- à une température $\theta = 75$ °C,
- à une température $\theta = 50$ °C.

C.2.4. En admettant que toutes les cellules du panneau photovoltaïque ont une température de surface de 75°C, calculer en pourcentage, la chute de puissance électrique produite liée à l'augmentation de température de 50 à 75 °C des cellules. Justifier alors l'utilisation de la surveillance thermographique ?

C.3. Nettoyage des panneaux

Pour nettoyer les panneaux photovoltaïques de certaines tâches organiques, une solution d'éthanol dénaturé diluée à 8 % en volume est utilisée une fois par mois.

Les **documents C.5 et C.6** présentent les caractéristiques du produit utilisé.

C.3.1. Reproduire la formule de l'éthanol, entourer le groupe caractéristique porté par cette molécule et nommer la fonction correspondante.

C.3.2. Déterminer le volume d'éthanol industriel, considéré comme pur, à utiliser pour préparer un volume de 10 m³ de la solution diluée à 8 % en volume nécessaire au nettoyage des panneaux photovoltaïques chaque mois.

C.3.3. En déduire la masse d'éthanol industriel nécessaire chaque mois.
Rappel : masse volumique de l'eau : $\rho(\text{eau}) = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

DOCUMENTS DE LA PARTIE C

Document C1 : Caractéristique de la télécommande du drone

Puissance d'émission : 50 mW.
Fréquence d'émission : 2,4 GHz.

<https://www.studiosport.fr/radiocommande-dji-phantom-4-pro-adv-a12256.html>



Document C2 : Caractéristiques des ondes électromagnétiques

Célérité de la lumière $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Relation entre les grandeurs caractéristiques d'une onde : $\lambda = \frac{c}{\nu}$

avec

c : Célérité de l'onde en mètre par seconde ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

ν : fréquence de l'onde en hertz (Hz).

λ : longueur d'onde en mètre (m).

Valeur efficace du champ électrique E de l'onde électromagnétique en un point de mesure :

$$E = \frac{\sqrt{30 \times P_0}}{d}$$

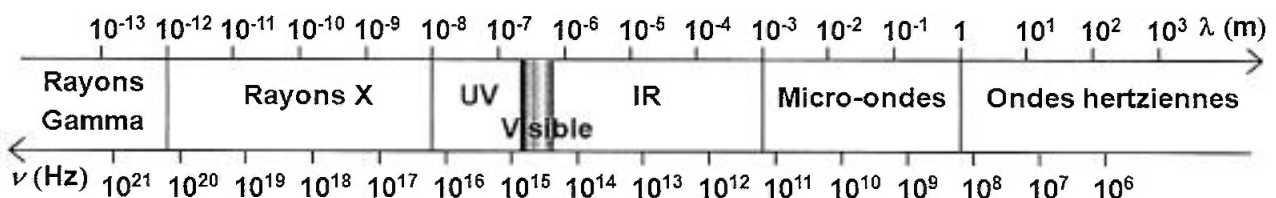
avec :

E : Valeur efficace du champ électrique en volt par mètre ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$).

P_0 : Puissance d'émission de la source en watt (W).

d : Distance entre la source et le point de mesure en mètre (m).

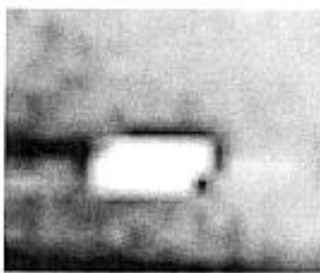
Spectre des ondes électromagnétiques



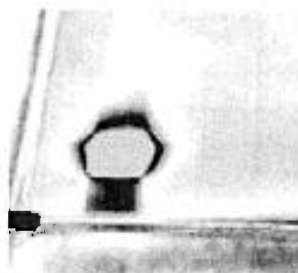
Document C3 : Exemples des images transmises par la caméra infrarouge pour différents défauts de fonctionnement d'un panneau solaire

D'après http://www.imagerie-centre.be/thermographie/protocole_thermographie_solaire.htm

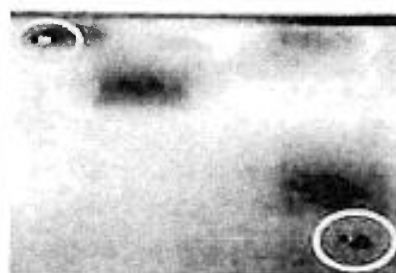
Impuretés, poches de gaz, défaut lors de la fabrication ou du placement



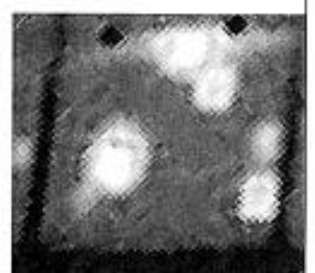
Cellule fissurée



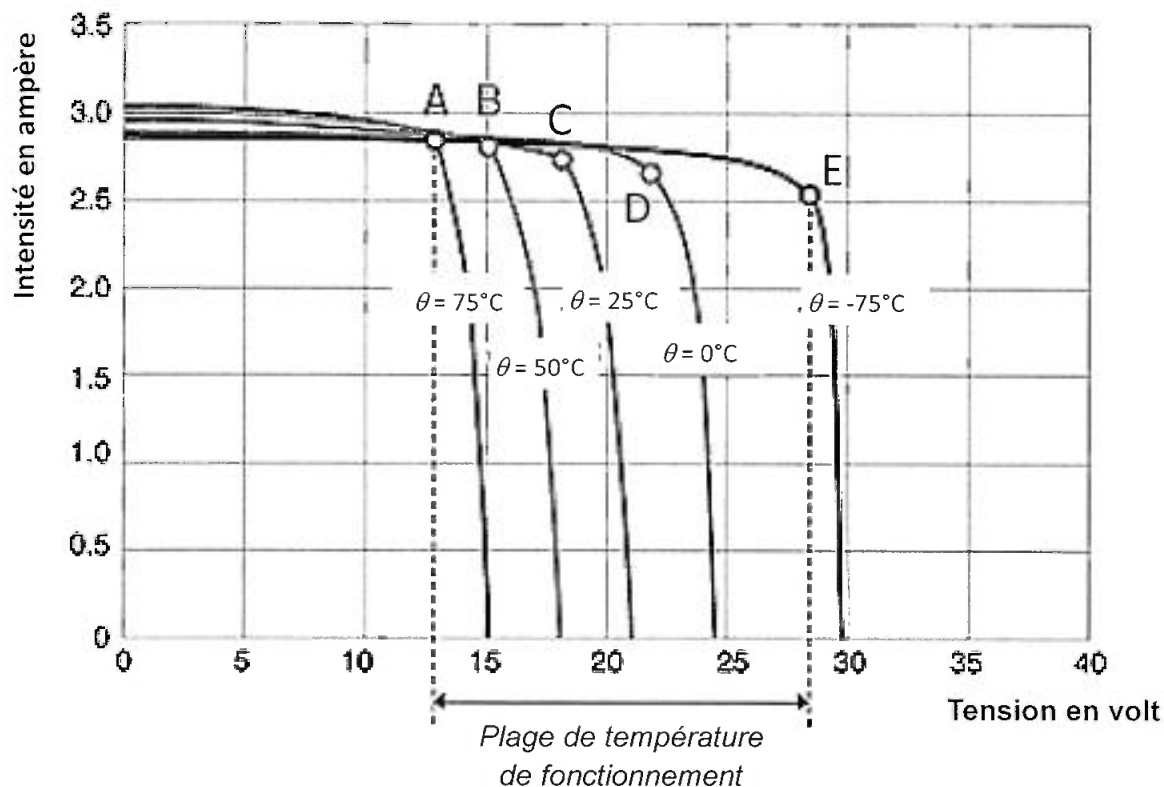
Pollution ou salissure locale



Problèmes de raccordement

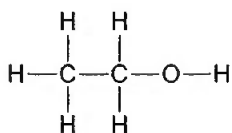


Document C4 : Caractéristiques Intensité-Tension d'une cellule photovoltaïque en fonction de la température pour un éclairement constant



<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16697#c20556+c20557>

Document C5 : Données physico-chimiques (extrait de la fiche INRS)



État physique : liquide

Masse molaire $M = 46,1\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Densité : $d = 0,789$

D'après : www.inrs.fr

Document C6 : Stockage de l'éthanol

Étiquetage des fûts de 1000L d'éthanol industriel

Ethanol
Éthanol
 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$



Gefahr - Danger



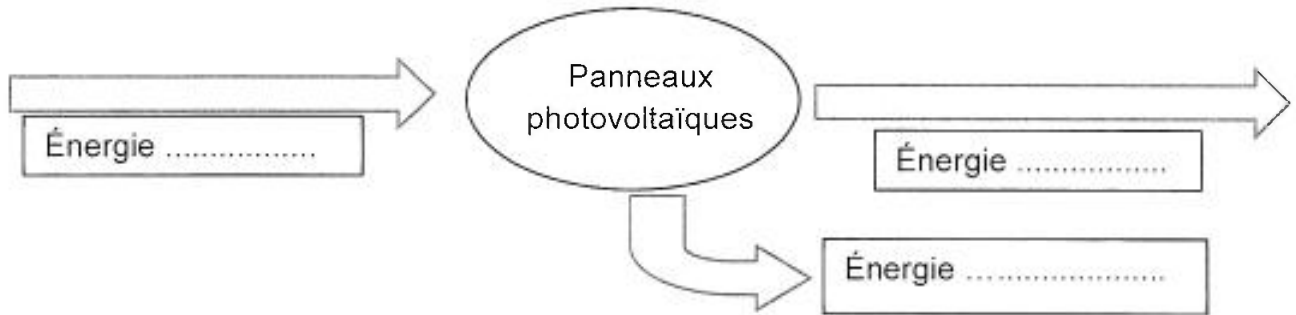
D'après : <http://www.dislaub.fr/>

Gefahrenhinweise/
Hazard Statements/Codes H
H225

Sicherheitshinweise/
Precautionary Statements/Codes P
P210-P233

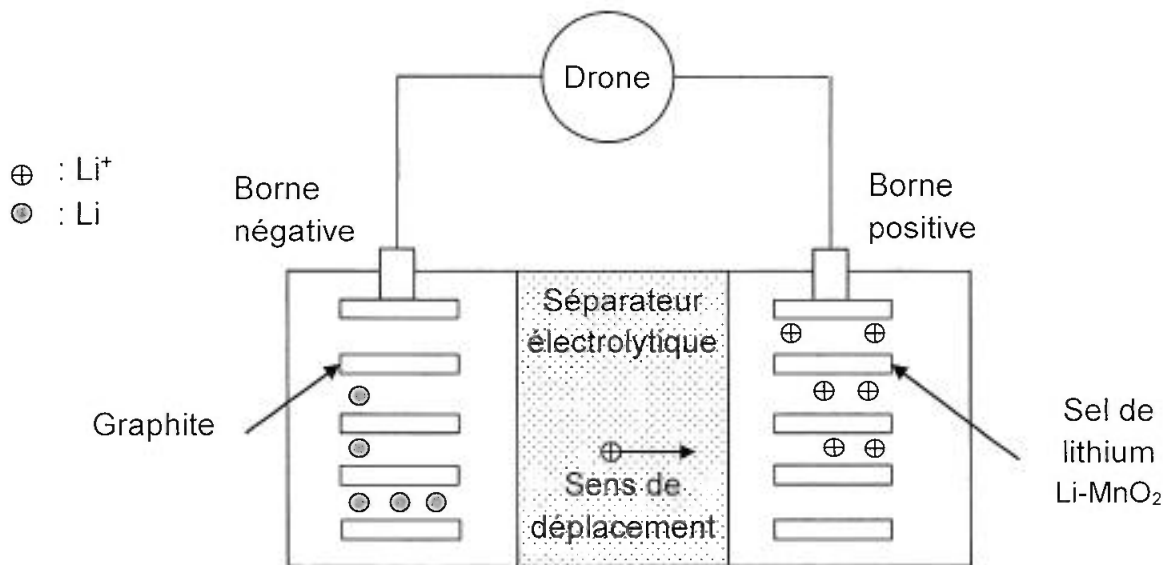
Document réponse 1

Chaîne énergétique des panneaux de la centrale photovoltaïque



Document réponse 2

Schématisation simplifiée de la batterie alimentant le drone



Document réponse 3

Schéma du drone

Échelle pour la représentation des forces : 1cm ⇔ 4 N

