



# Baccalauréat STI2D et STL

## SPCL

Epreuve de sciences physiques

Session septembre 2014  
Métropole

01/10/2014

[www.udppc.asso.fr](http://www.udppc.asso.fr)

**Corrigé**

## ÉTUDE DE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DE QUELQUES DISPOSITIFS

Pierre, lycéen et représentant des élèves d'un établissement, reçoit une invitation pour assister à la réunion du prochain conseil d'administration.

L'ordre du jour proposé est le suivant :

- A. Devenir de l'antenne-relais installée sur un bâtiment du lycée.
- B. Impact de l'installation de pompes à chaleur au lycée.
- C. Projet d'installation de panneaux photovoltaïques.

Un dossier accompagne chaque partie.

Ayant peu de connaissances scientifiques et techniques, Pierre s'adresse à vous pour obtenir des informations complémentaires et des explications.

### Partie A : l'antenne-relais

*Les annexes A1 à A6 sont à utiliser pour cette partie.*

Sur le toit, immédiatement au-dessus du quatrième et dernier étage, se trouve une antenne relais de téléphonie mobile constituée de trois modules émetteurs comme indiqué ci-contre.

Pour prévenir un débat sur l'installation de cette antenne, le chef d'établissement a demandé à l'opérateur de téléphonie mobile, propriétaire de cette station de base, de faire effectuer un relevé des niveaux de champs électromagnétiques sur le site.

L'opérateur a alors mandaté un organisme accrédité pour le contrôle afin d'effectuer des mesures suivant la méthodologie définie dans le protocole de l'Agence Nationale des FRéquences (ANFR).



<http://voisinage.comprendrechoisir.com/astuce/voir/137651/une-antenne-relais-trop-proche-est-elle-un-trouble-du-voisinage>

Les emplacements des points de mesure, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub> sont représentés sur l'annexe A1 et les mesures réalisées rassemblées dans l'annexe A2.

**A.1.** Quelques questions sur les ondes électromagnétiques.

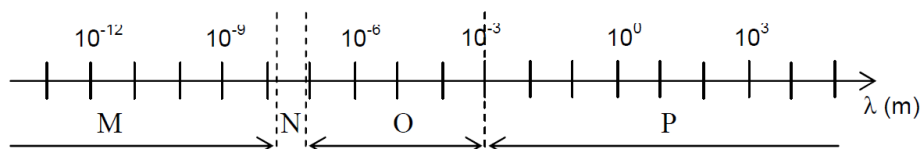
**A.1.1.** Quelle est la structure d'une onde électromagnétique ?

**Une onde électromagnétique est composée d'un champ magnétique et d'un champ électrique. Les deux champs sont perpendiculaires entre eux et à la direction de propagation.**

**A.1.2.** En téléphonie mobile, les ondes UMTS se propagent-elles dans l'air plus rapidement que les ondes GSM ? Justifiez votre réponse.

**Ce sont toutes les deux des ondes électromagnétiques, elles se propagent donc à la même vitesse.**

**A.1.3.** Sur l'échelle des longueurs d'onde donnée ci-dessous, dans quel domaine (M, N, O ou P) peut-on situer les ondes utilisées pour la communication, dont les fréquences extrêmes sont données dans l'annexe A2 ? Vous justifierez votre choix, sachant que la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide vaut  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



**L'annexe A2 indique que les fréquences utilisées vont de 100 kHz à 3 GHz.**

**Pour répondre à l'aide du document ci-dessus, il faut calculer les longueurs d'ondes correspondantes en m.**

**On a donc :**  $100 \text{ kHz} < f < 3 \text{ GHz}$

**Soit :**  $1,00 \cdot 10^5 \text{ Hz} < f < 3 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

**Or, on sait que la longueur d'onde  $\lambda = \frac{c}{f}$**

**Donc avec les valeurs de fréquences ci-dessus on a :**

$$\frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^9} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ m} < \lambda < \frac{3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^5} = 3 \cdot 10^3 \text{ m}$$

**Elles appartiennent au domaine P**

**A.2.** Pour analyser les données, Pierre a besoin d'informations complémentaires.

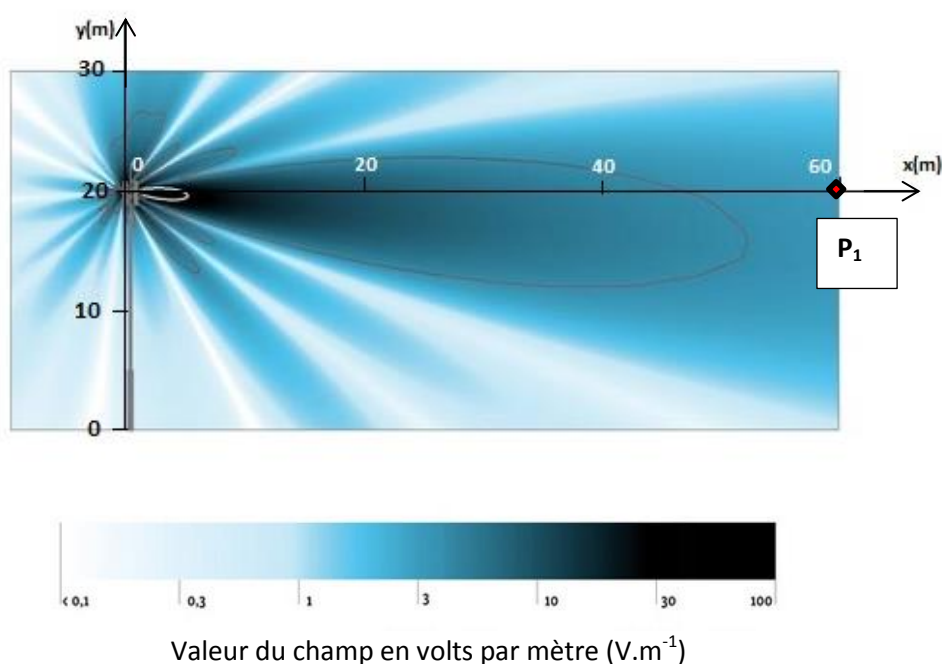
**A.2.1.** Compte tenu de l'unité des valeurs du tableau de l'annexe A2, à quel champ correspondent les mesures relevées par le technicien de l'organisme de contrôle pour évaluer le niveau d'exposition aux ondes ?

**Les valeurs sont données en volt par mètre ( $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ) donc il s'agit du champ électrique.**

**A.2.2.** Les trois modules de l'antenne relais, orientés à  $120^\circ$  les uns des autres, émettent dans les directions indiquées par des flèches sur le schéma de l'annexe A1. Chaque module rayonne comme indiqué dans l'annexe A3.

À partir de ces deux annexes, déterminer la valeur approximative du champ au point P1. On supposera que le rayonnement reçu en P1 provient d'un seul module émetteur. Justifiez votre réponse à l'aide du **document réponse DR1 à rendre avec la copie**.

**Document réponse DR1 : rayonnement d'un module de l'antenne relais**



D'après le document A1, Le point P<sub>1</sub> est situé à  $x = 60$  m de l'antenne.

D'après le document A3 que l'on retrouve dans le document réponse ci-dessus, compte tenu de la qualité du document, on peut estimer que l'on est dans une zone où le champ électrique est compris entre  $1$  et  $3 V.m^{-1}$ .

Ce résultat est-il en accord avec la mesure donnée en annexe A2 ? Justifier votre réponse.

L'annexe A2 nous donne une valeur de  $3 V.m^{-1}$ , le résultat ci-dessus est donc en accord avec la mesure.

**A.3.** Après avoir consulté les annexes A4, A5, A6 faisant partie du dossier remis aux membres du conseil d'administration, Pierre devra répondre aux deux questions suivantes :

- Les valeurs mesurées conformément au protocole de l'ANFR respectent-elles les limites fixées par le décret n°2002-775 du 3 mai 2002 issues de la recommandation du Conseil de l'Union européenne de 1999 ?

- Quels arguments scientifiques pouvez-vous apporter justifiant la reconduction ou la non reconduction de la convention d'installation de l'antenne relais sur le bâtiment C ?

**Les valeurs mesurées sont inférieures aux normes actuelles données dans le document A4. Cependant, l'Europe recommande de baisser ces normes à  $0,2 \text{ V.m}^{-1}$ . Les mesures étant supérieures à ces futures normes, il n'est peut-être pas judicieux de renouveler la convention.**

## Partie B : la chaufferie

*Les annexes B1 à B5 sont à utiliser pour cette partie.*

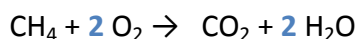
Jusqu'en 2008, le chauffage du lycée était exclusivement assuré par quatre chaudières à gaz délivrant une puissance totale de 5750 kW. En décembre 2008, deux pompes à chaleur (PAC) neuves, fournissant une puissance de 580 kW chacune, ont été installées et fonctionnent maintenant en appoint des chaudières.

Le conseil d'administration souhaite faire un bilan sur les économies réalisées et sur la réduction des émissions en dioxyde de carbone de la chaufferie consécutives à l'installation des deux PAC.

### B.1. Les chaudières à gaz

Le gaz de ville alimentant les chaudières est essentiellement constitué de méthane CH<sub>4</sub>. On se propose dans cette partie de calculer le volume de dioxyde de carbone dégagé par les chaudières à gaz en une année.

**B.1.1.** Écrire et équilibrer l'équation suivante de la combustion du méthane dans le dioxygène de l'air :



L'énergie fournie par les chaudières en une année vaut  $Q_{\text{ch}} = 1,84 \cdot 10^6 \text{ kW.h}$ .

**B.1.2.a.** À l'aide de l'annexe B1, calculer la quantité de matière  $n$  (en mol) de méthane consommée en une année.

Donnée :  $1 \text{ kW.h} = 3600 \text{ kJ}$

**D'après l'information ci-dessus, les chaudières fournissent  $Q_{\text{ch}} = 1,84 \cdot 10^6 \text{ kW.h}$ .**

**Soit  $Q_{\text{ch}} = 1,84 \cdot 10^6 \times 3600 = 6,624 \cdot 10^9 \text{ kJ}$ .**

**D'après l'annexe B1, le pouvoir calorifique du méthane est  $PC = 50,01 \text{ MJ.kg}^{-1} = 802,27 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . Donc 1 mol de méthane produit 802,27 kJ**

**Donc les chaudières consomment  $n = \frac{6,624 \cdot 10^9}{802,27} = 8,26 \cdot 10^6 \text{ mol}$  de méthane en un an.**

**B.1.2.b.** En déduire le volume  $V$  de dioxyde de carbone dégagé par la combustion, sachant que le volume d'une mole de gaz dans les conditions habituelles de température et de pression est de  $24 \text{ L.mol}^{-1}$  (à  $20 \text{ °C}$  et  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ).

**D'après l'équation de combustion du méthane donnée en B.1.1., la combustion de 1 mol de méthane produit 1 mol de dioxyde de carbone.**

D'après la réponse à la question précédente, on a donc libéré  $n = 8,26 \cdot 10^6$  mol de dioxyde de carbone.

Ce qui correspond à un volume  $V = n \times V_m = 8,26 \cdot 10^6 \times 24 = 1,98 \cdot 10^8$  L de dioxyde de carbone.

## B.2. Les deux pompes à chaleur

Une pompe à chaleur permet de transférer de l'énergie d'un milieu froid à un milieu chaud, alors que le transfert naturel se fait en sens inverse.

Elle peut aussi bien être utilisée pour chauffer un local que pour le climatiser.

Le schéma du principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur du lycée est donné dans l'annexe B2.

- De l'eau est prélevée dans la nappe phréatique grâce à une pompe à une température de  $14^\circ\text{C}$ . Elle traverse un échangeur thermique dans lequel elle transfère une partie de son énergie au fluide frigorigène de la pompe à chaleur, avant d'être rejetée dans le puits à la température de  $9^\circ\text{C}$ .
- Le fluide frigorigène circule en circuit fermé et subit des transformations en traversant quatre sous-ensembles : l'évaporateur, le compresseur, le condenseur et le détendeur. Le compresseur consomme une puissance électrique  $P_E = 192$  kW.
- La puissance  $P_{TH}$  transférée thermiquement par la pompe à chaleur au circuit de chauffage vaut 580 kW.

Pour caractériser les performances d'une pompe à chaleur, le constructeur donne la valeur de son Coefficient de Performance (COP) qui est le rapport de la puissance transférée thermiquement par la pompe sur la puissance électrique consommée par le compresseur.

### B.2.1. Valeur théorique du COP

Calculer la valeur du COP d'une pompe à chaleur du lycée.

Dans le calcul du COP n'est pas prise en compte la puissance fournie par l'eau de la nappe phréatique au fluide frigorigène, ce qui n'est pas le cas dans le calcul du rendement.

D'après le texte ci-dessus :

$$\text{COP} = \frac{\text{puissance transférée thermiquement par la pompe}}{\text{puissance électrique consommée par le compresseur}}$$

$$\text{Donc : COP} = \frac{P_{TH}}{P_E} = \frac{580}{192} = 3,02$$

### B.2.2. Valeur théorique du rendement

Le rendement de la pompe à chaleur correspond au rapport de la puissance transférée thermiquement par la pompe sur la puissance totale absorbée par la pompe.

On rappelle que l'énergie  $Q$  échangée lors d'un transfert thermique par un corps pur de masse  $m$ , de capacité thermique massique  $c_m$ , dont la température passe d'une valeur  $\theta_1$  à une température  $\theta_2$  s'exprime par :

$$Q = m \cdot c_m \cdot |\theta_2 - \theta_1| \text{ avec } Q \text{ en joules, } m \text{ en kg et } c_m \text{ en } \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Données complémentaires :

- débit de l'eau puisée dans la nappe phréatique :  $D = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- capacité thermique massique de l'eau :  $c_m = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$

**B.2.2.a.** Calculer l'énergie  $Q_1$  échangée par l'eau puisée dans la nappe phréatique avec le fluide frigorigène en une heure.

On a  $Q_1 = m \cdot c_m \cdot |\theta_2 - \theta_1|$  : pour faire le calcul, il faut trouver la valeur de  $m$ .

On nous donne le débit  $D = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  : en une heure on a puisé  $100 \text{ m}^3$  d'eau.

Or la masse volumique de l'eau est  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

$$m = \rho \times V = 1000 \times 100 = 10^5 \text{ kg}.$$

$$Q_1 = m \cdot c_m \cdot |\theta_2 - \theta_1| = 10^5 \times 4180 \times |(14 - 9)| = 2,09 \cdot 10^9 \text{ J}$$

**B.2.2.b.** En déduire la puissance  $P_1$  échangée par l'eau avec le fluide frigorigène.

$$\text{On sait que } Q_1 = P_1 \times t \text{ donc } P_1 = \frac{Q_1}{t} = \frac{2,09 \cdot 10^9}{3600} = 5,80 \cdot 10^5 \text{ W} = 580 \text{ kW}.$$

**B.2.2.c.** Montrer que le rendement d'une pompe à chaleur du lycée est de 0,75.

$$\text{Le rendement } \eta = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance consommée}} = \frac{580}{580 + 192} = 0,75.$$

### B.3. Ensemble de l'installation

À partir des données des années 2007 où les PAC n'étaient pas installées et 2011 où elles ont parfaitement fonctionnées sans interruption pour maintenance, on se propose de calculer les économies réalisées sur le coût de l'énergie et l'évolution des émissions de dioxyde de carbone.

Par ailleurs, d'après les données météorologiques, ces deux années correspondent à des besoins énergétiques comparables.

**B.3.1.** À l'aide de l'annexe B3, déterminer les économies réalisées sur le coût de l'énergie en 2011.

D'après cette annexe, le coût en 2007 était de  $2,66 \cdot 10^5 \text{ €}$ , en 2011, il était de  $2,13 \cdot 10^5 \text{ €}$ .

Ce qui fait une économie de  $2,66 \cdot 10^5 - 2,13 \cdot 10^5 = 5,3 \cdot 10^4 \text{ €}$

**B.3.2.** Comment les émissions de dioxyde de carbone de la chaufferie ont-elles évolué ? Justifiez votre réponse.

D'après cette même annexe, on est passé de  $5,92 \cdot 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$  à  $1,85 \cdot 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$  produit par la combustion du gaz.

On a diminué la consommation de gaz, donc diminué les émissions de dioxyde de carbone.

### B.4. Mesure de l'énergie fournie par la chaufferie

Les économies réalisées sont importantes mais inférieures à celles attendues, en raison d'un COP des pompes à chaleur souvent inférieur à 3.

En effet, on se rend compte que la puissance fournie par la PAC, c'est-à-dire reçue par le circuit de chauffage, est inférieure à 580 kW.

Cette mesure peut être vérifiée grâce à un « compteur de chaleur » (*appellation technique*) qui calcule la différence de température de l'eau entre la conduite aller et la conduite retour de l'installation de chauffage.

Des sondes sont utilisées pour mesurer les températures des installations de chauffage. Elles peuvent être installées directement dans le liquide caloporteur (sondes à immersion directe) ou fixées dans un « doigt de gant » (tube étanche, fermé à une extrémité, en matière conductrice de chaleur, servant à la séparation entre l'appareil de mesure de la température et le fluide à mesurer).

Sonde avec doigt de gant :



La sonde contient une résistance de platine  $R$  dont la valeur dépend de la température  $\theta$ . On s'intéresse dans les questions suivantes à la chaîne de mesure.

**B.4.1.** Quelle est la grandeur d'entrée et la grandeur de sortie du capteur contenu dans la sonde ?

**La grandeur d'entrée est une température, la grandeur de sortie est une résistance.**

**B.4.2.** D'après l'annexe B4, quelle est l'étendue de mesure du capteur ?

**D'après le document, le capteur mesure sur une plage allant de 0°C à 150°C (et même 160°C)**

**B.4.3.** Un groupe d'élèves du lycée a relevé la caractéristique de la sonde de température à partir de mesures effectuées au laboratoire de Physique (voir annexe B5).

**B.4.3.a.** Quel(s) appareil(s) de mesure a (ont) été nécessaire(s) pour mesurer la résistance de la sonde ?

**La mesure d'une résistance se fait avec un ohmmètre.**

**B.4.3.b.** On définit la sensibilité  $S$  de ce capteur par la relation :  $S = \frac{\Delta R}{\Delta \theta}$ . Déterminer la valeur de  $S$  à l'aide de l'annexe B5 et préciser son unité.

**D'après l'annexe B5,  $R = 720 \Omega$  quand  $\theta = 65^\circ\text{C}$  et  $R = 500 \Omega$  quand  $\theta = 0^\circ\text{C}$ .**

$$\text{Donc } S = \frac{\Delta R}{\Delta \theta} = \frac{720 - 500}{65 - 0} = 3,38 \Omega \cdot ^\circ\text{C}^{-1}.$$

**B.4.4.** Le capteur est traversé par un courant d'intensité constante  $I = 2,00 \text{ mA}$  ; la tension  $U$  à ses bornes dépend alors de la température.

Calculer la valeur  $U_{50}$  prise par la tension  $U$  pour la température  $\theta = 50^\circ\text{C}$ .

**Sur l'annexe B5, pour  $\theta = 50^\circ\text{C}$ , on mesure une résistance  $R_{50} = 660 \Omega$ .**

**La loi d'ohm nous donne :  $U_{50} = R_{50} \times I = 660 \times 2,00 \cdot 10^{-3} = 1,32 \text{ V}$**



- B.4.5.** La tension  $U$ , image de la température, est-elle une grandeur analogique ou numérique ? Justifier votre réponse.

La tension  $U$  peut prendre toutes les valeurs et pas seulement quelques valeurs discrètes, il s'agit donc d'une grandeur analogique.

## Partie C : panneaux solaires

Les annexes C1 à C3 sont à utiliser pour cette partie.

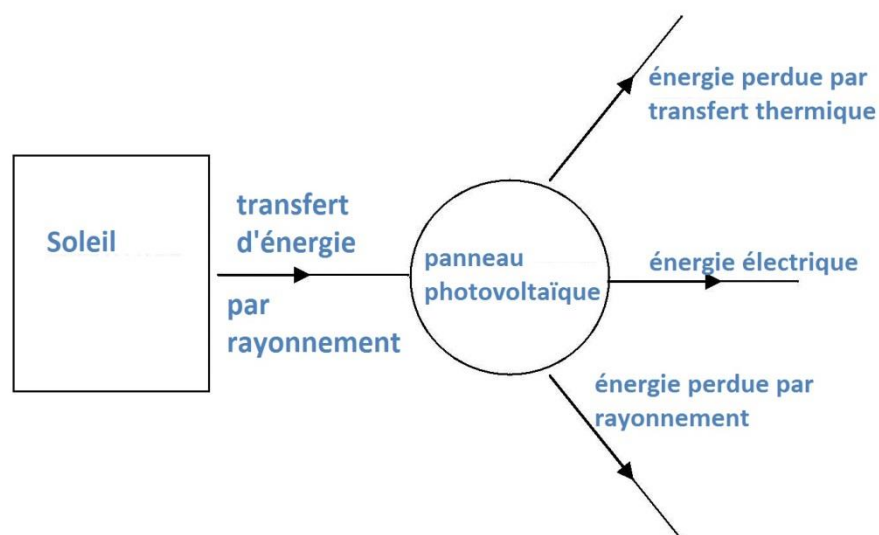
La consommation électrique due aux PAC s'est ajoutée à la consommation électrique domestique du lycée.

Afin de réduire la facture d'électricité, l'intendant du lycée souhaiterait faire installer des panneaux photovoltaïques sur le toit d'un bâtiment de surface  $S$  égale à  $250 \text{ m}^2$ . On précise que l'établissement en question est situé dans le nord-est de la France, avec un toit orienté sud-est d'inclinaison  $45^\circ$ .

Une première étude est confiée à un groupe d'élèves dans le cadre du « projet » de terminale. L'énergie produite par ces panneaux serait renvoyée sur le réseau électrique et donc rachetée par EDF. C'est aujourd'hui la solution la plus rentable puisque l'entreprise EDF rachète aux particuliers l'énergie plus chère qu'elle ne la vend.

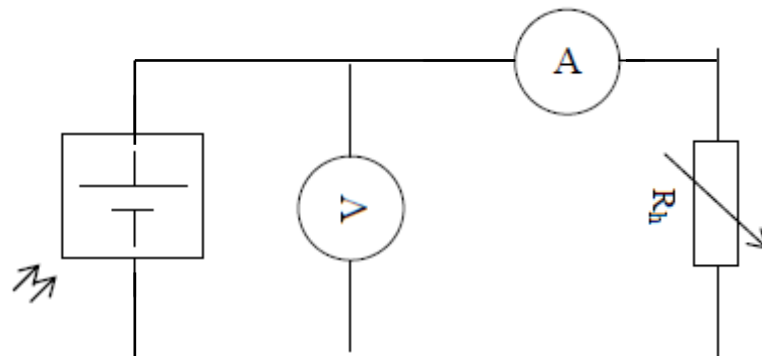
- C.1.** Afin de présenter le principe d'un panneau photovoltaïque, compléter le schéma de la chaîne énergétique du **document-réponse DR2 à rendre avec la copie** avec les expressions et mots suivants : panneau photovoltaïque, transfert d'énergie par rayonnement, énergie perdue par rayonnement, soleil, énergie électrique, énergie perdue par transfert thermique.

### Document réponse DR2 : chaîne énergétique d'un panneau photovoltaïque



- C.2.** Pour vérifier les performances des panneaux solaires vendus, le constructeur fournit le réseau de courbes de l'annexe C1.

**C.2.1.** Proposer un schéma de montage électrique pour tracer une des caractéristiques du panneau données sur l'annexe C1 en utilisant les appareils et les composants dont les symboles sont donnés dans l'annexe C2.



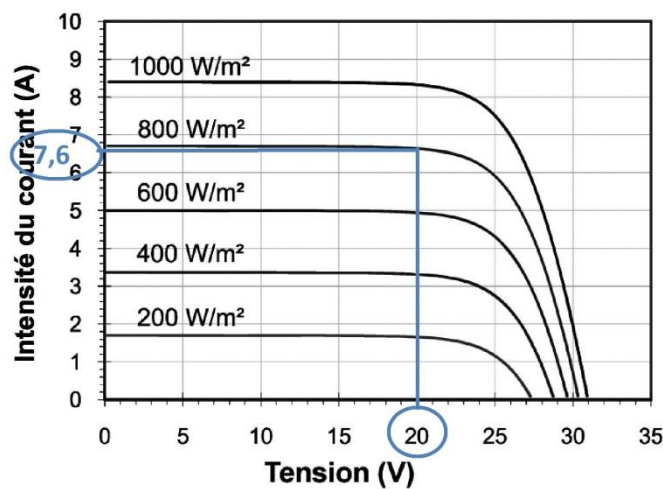
**C.2.2.** Préciser le protocole expérimental.

On éclaire le panneau avec une lampe.

On utilise un rhéostat (résistance variable) pour faire varier l'intensité dans le circuit que l'on mesure avec l'ampèremètre.

On mesure alors la tension aux bornes du panneau pour différentes valeurs d'intensité qui traverse le circuit.

**C.3.** À partir des courbes de l'annexe C1, pour une puissance surfacique reçue  $P_S$  de  $800 \text{ W.m}^{-2}$  et pour une tension  $U$  de  $20 \text{ V}$ , calculer le rendement d'un panneau photovoltaïque ayant une surface  $S$  de  $1,1 \text{ m}^2$ .



Avec un éclairage de  $800 \text{ W/m}^2$ , pour une tension  $U = 20 \text{ V}$ , on lit sur la courbe que  $I = 7,6 \text{ A}$ .

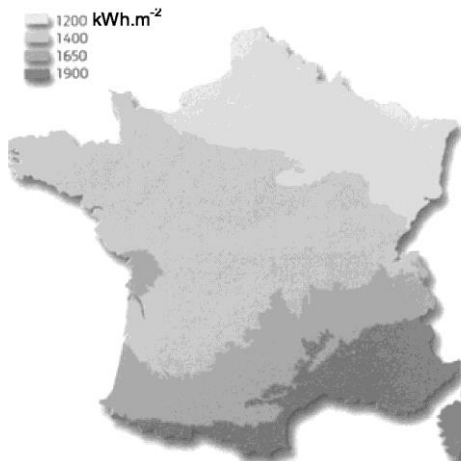
On a donc  $P_{\text{fournie}} = U \times I = 20 \times 7,6 = 152 \text{ W}$ .

Le panneau a une surface  $S = 1,1 \text{ m}^2$  et est éclairé avec une puissance surfacique  $P_S = 800 \text{ W.m}^{-2}$ .

On a :  $P_{\text{reçue}} = S \times P_S = 1,1 \times 800 = 880 \text{ W}$ .

Le rendement est alors  $\eta = \frac{P_{\text{fournie}}}{P_{\text{reçue}}} = \frac{152}{880} = 0,17$  soit 17%

**C.4.** En vous aidant de l'annexe C3, justifier que le gain annuel permis par cette installation s'élève à environ 9100 euros.



Le panneau est installé au nord-est, l'ensoleillement est donc de  $1200 \text{ kWh.m}^{-2}$ .

|                  | 0°   | 30°  | 45°  | 60°  | 90°  |
|------------------|------|------|------|------|------|
| <i>est</i>       | 0,85 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,55 |
| <i>sud-est</i>   | 0,85 | 0,95 | 0,93 | 0,85 | 0,65 |
| <i>sud</i>       | 0,85 | 1    | 1    | 0,93 | 0,75 |
| <i>sud-ouest</i> | 0,85 | 0,95 | 0,93 | 0,85 | 0,65 |
| <i>ouest</i>     | 0,85 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,55 |

Les panneaux sont orientés vers le sud-est avec une inclinaison de  $45^\circ$  : il faut donc corriger la valeur d'ensoleillement d'un facteur 0,93.

La valeur corrigée de l'éclairement est donc  $1200 \times 0,93 = 1116 \text{ kWh.m}^{-2}$ .

Il y a  $250 \text{ m}^2$  de panneaux.

L'énergie reçue par le soleil est donc  $E_{\text{reçue}} = 250 \times 1116 = 2,79.10^5 \text{ kW.h}$

Le rendement des panneaux est de 15% donc, ils fournissent donc une énergie :

$$E_{\text{fournie}} = 0,15 \times 2,79.10^5 = 4,18.10^4 \text{ kW.h}$$

L'annexe C3 indique qu'il faut également tenir compte d'un facteur correctif de 0,7 :

$$E_{\text{réelle}} = 0,7 \times E_{\text{fournie}} = 0,7 \times 4,18.10^4 = 2,93.10^4 \text{ kW.h}$$

Or 1 kW.h rapporte 0,31 €

Donc les panneaux rapportent :  $0,31 \times 2,93.10^4 = 9,1.10^3 \text{ €}$ .