

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
- Session 2014 -

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

Épreuve de PHYSIQUE-CHIMIE

EPREUVE DU VENDREDI 12 SEPTEMBRE 2014

Durée de l'épreuve : 3 heures
Coefficient : 4

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte **14** pages numérotées de 1/14 à 14/14.

Le document réponse page 14/14 est à rendre avec la copie.

L'usage d'une calculatrice 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

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>

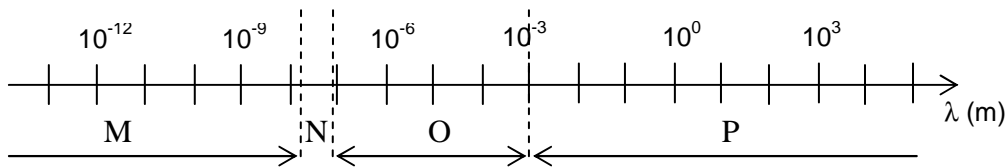
Les emplacements des points de mesure, P_1 , P_2 et P_3 sont représentés sur l'annexe A1 et les mesures réalisées rassemblées dans l'annexe A2.

A.1. Quelques questions sur les ondes électromagnétiques.

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

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

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 $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.



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 ?

A.2.2. Les trois modules de l'antenne relais, orientés à 120° 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 P_1 . On supposera que le rayonnement reçu en P_1 provient d'un seul module émetteur. Justifiez votre réponse à l'aide du **document réponse DR1 à rendre avec la copie**.

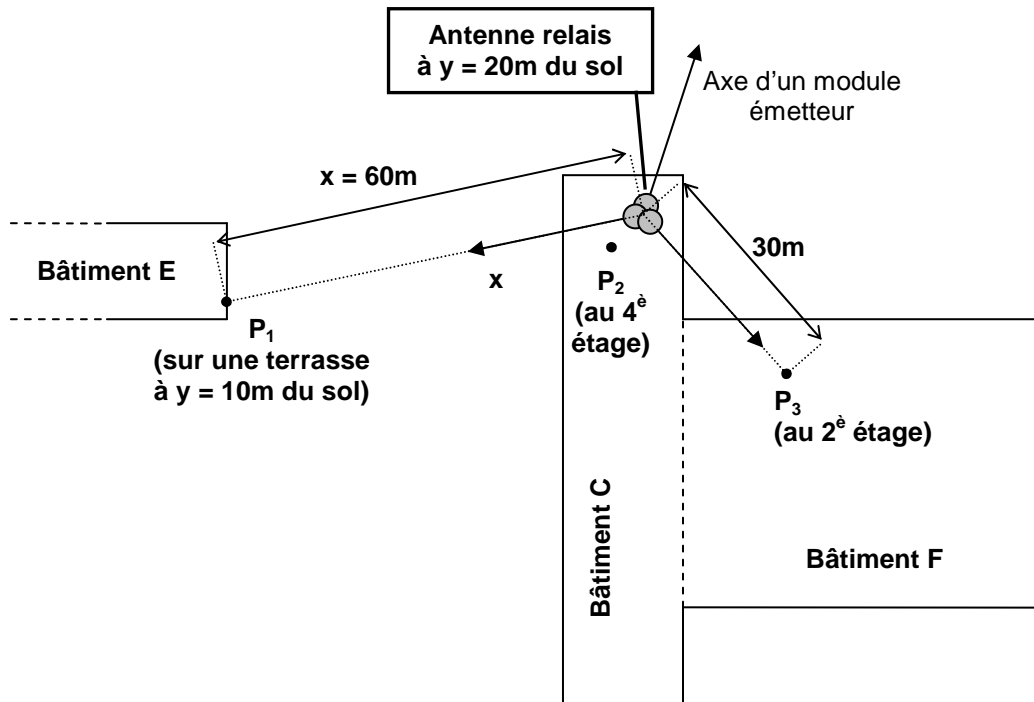
Ce résultat est-il en accord avec la mesure donnée en annexe A2 ? Justifier votre réponse.

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 issu es 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 ?

Annexes A

Annexe A1 : cartographie du site



Les endroits du lycée où les mesures ont été effectuées :

Point P₁ : sur la terrasse du bâtiment E à 10 m du sol.

Point P₂ : dans la salle du bâtiment C située sous l'antenne relais.

Point P₃ : dans une salle au deuxième étage du bâtiment F.

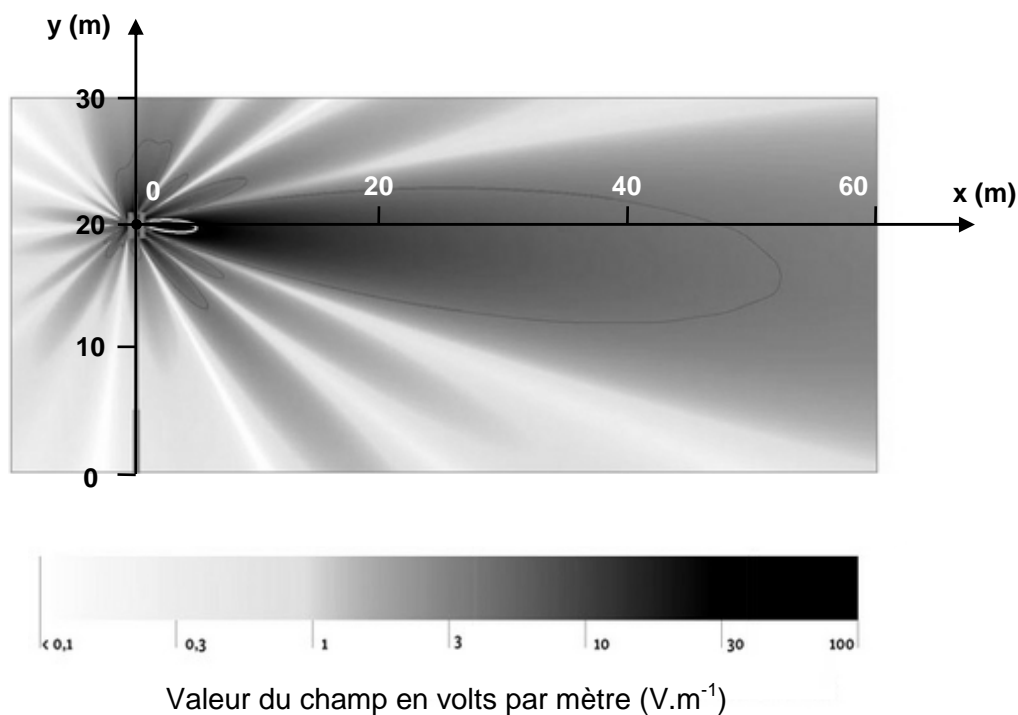
Annexe A2 : mesure de l'intensité du champ créé par une antenne relais en différents points

Résultats des mesures réalisées par une sonde isotropique large bande (la sonde isotropique large bande permet d'évaluer dans la bande de fréquence de l'appareil le niveau de champ sur le lieu de la mesure).

La bande de fréquence analysée est 100 kHz - 3 GHz. Dans cette bande sont comprises les principales émissions terrestres d'ondes électromagnétiques dues à l'activité humaine.

| | Niveau de champ mesuré sur la bande de fréquences 100 kHz – 3 GHz |
|-------------------------|---|
| Au point P ₁ | 3,00 V.m ⁻¹ |
| Au point P ₂ | 0,30 V.m ⁻¹ |
| Au point P ₃ | 0,10 V.m ⁻¹ |

Annexe A3 : rayonnement d'un module de l'antenne relais



Source : <http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01079/01086/01088/index.html?lang=fr>

Annexe A4 : seuils limites d'exposition à court terme pour différentes ondes électromagnétiques

| Bande de fréquences | Seuil limite d'exposition fixé par le décret de mai 2002 |
|--|--|
| Services de radiodiffusion et de télédiffusion (100 kHz – 830 MHz) | 28 $V.m^{-1}$ |
| GSM 900 à trafic maximal (880 – 960 MHz) | 41 $V.m^{-1}$ |
| Radars, DAB (960 – 1710 MHz) | 43 $V.m^{-1}$ |
| GSM 1800 à trafic maximal (1710 – 1880 MHz) | 58 $V.m^{-1}$ |
| DECT (1880 – 1900 MHz) | 60 $V.m^{-1}$ |
| UMTS à trafic maximal (1900 – 2200 MHz) | 61 $V.m^{-1}$ |
| Radars, BLR, FH (2200 – 3000 MHz) | 61 $V.m^{-1}$ |

**Annexe A5 : extrait fiche « Antennes-relais » du site <http://www.radiofrequences.gouv.fr>
(12 décembre 2011)**

Il est établi qu'une exposition aiguë de forte intensité aux champs électromagnétiques radiofréquences peut provoquer des effets thermiques, c'est-à-dire une augmentation de la température des tissus. C'est pour empêcher l'apparition de ces effets thermiques que des valeurs limites d'exposition ont été élaborées.

En l'état actuel des connaissances scientifiques, l'expertise nationale et internationale n'a pas identifié d'effets sanitaires à court ou à long terme, dus aux champs électromagnétiques émis par les antennes relais.

[...] Peut-on être hypersensible aux champs électromagnétiques ?

Ce terme est utilisé pour définir un ensemble de symptômes variés et non spécifiques à une pathologie particulière (maux de tête, nausées, rougeurs, picotements...) que certaines personnes attribuent à une exposition aux champs électromagnétiques. Toutefois, l'ANSES indique qu'en l'état actuel des connaissances, « aucune preuve scientifique d'une relation de causalité entre l'exposition aux radiofréquences et l'hypersensibilité électromagnétique n'a pu être apportée jusqu'à présent ».

**Annexe A6 : extrait de la résolution 1815 du Conseil de l'Europe
(texte adopté par la Commission permanente, agissant au nom de l'Assemblée, le 27 mai 2011)**

5. Concernant les normes ou les seuils relatifs aux émissions des champs électromagnétiques de tout type et de toute fréquence, l'Assemblée préconise l'application du principe «ALARA» (*as low as reasonably achievable*), c'est-à-dire du niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, prenant en compte non seulement les effets dits thermiques, mais aussi les effets athermiques ou biologiques des émissions ou rayonnements de champs électromagnétiques. De plus, le principe de précaution devrait s'appliquer lorsque l'évaluation scientifique ne permet pas de déterminer le risque avec suffisamment de certitude.

[...] l'Assemblée recommande aux États membres du Conseil de l'Europe :

[...] 8.2.1. de fixer un seuil de prévention pour les niveaux d'exposition à long terme aux micro-ondes en intérieur, conformément au principe de précaution, ne dépassant pas 0,6 volt par mètre, et de le ramener à moyen terme à 0,2 volt par mètre.

Partie B : la chaufferie

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

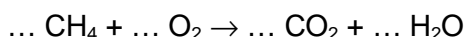
Jusqu'en 2008, le chauffage du lycée était exclusivement assuré par quatre chaudières à gaz délivrant une puissance totale de 5750 kW. En décembre 2008, deux pompes à chaleur (PAC) neuves, fournissant une puissance de 580 kW chacune, ont été installées et fonctionnent maintenant en appoint des chaudières.

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_4 . 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 $Q_{\text{ch}} = 1,84 \cdot 10^6$ 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 kW.h = 3600 kJ

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 $24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ (à 20°C et $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$).

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°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°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 $P_E = 192 \text{ kW}$.
- 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.

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 θ_1 à une température θ_2 s'exprime par :

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

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.

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

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

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

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 θ .

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 ?
- B.4.2. D'après l'annexe B4, quelle est l'étendue de mesure du capteur ?
- 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 ?
- 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.
- 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 $\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.
- B.4.5. La tension U , image de la température, est-elle une grandeur analogique ou numérique ? Justifier votre réponse.

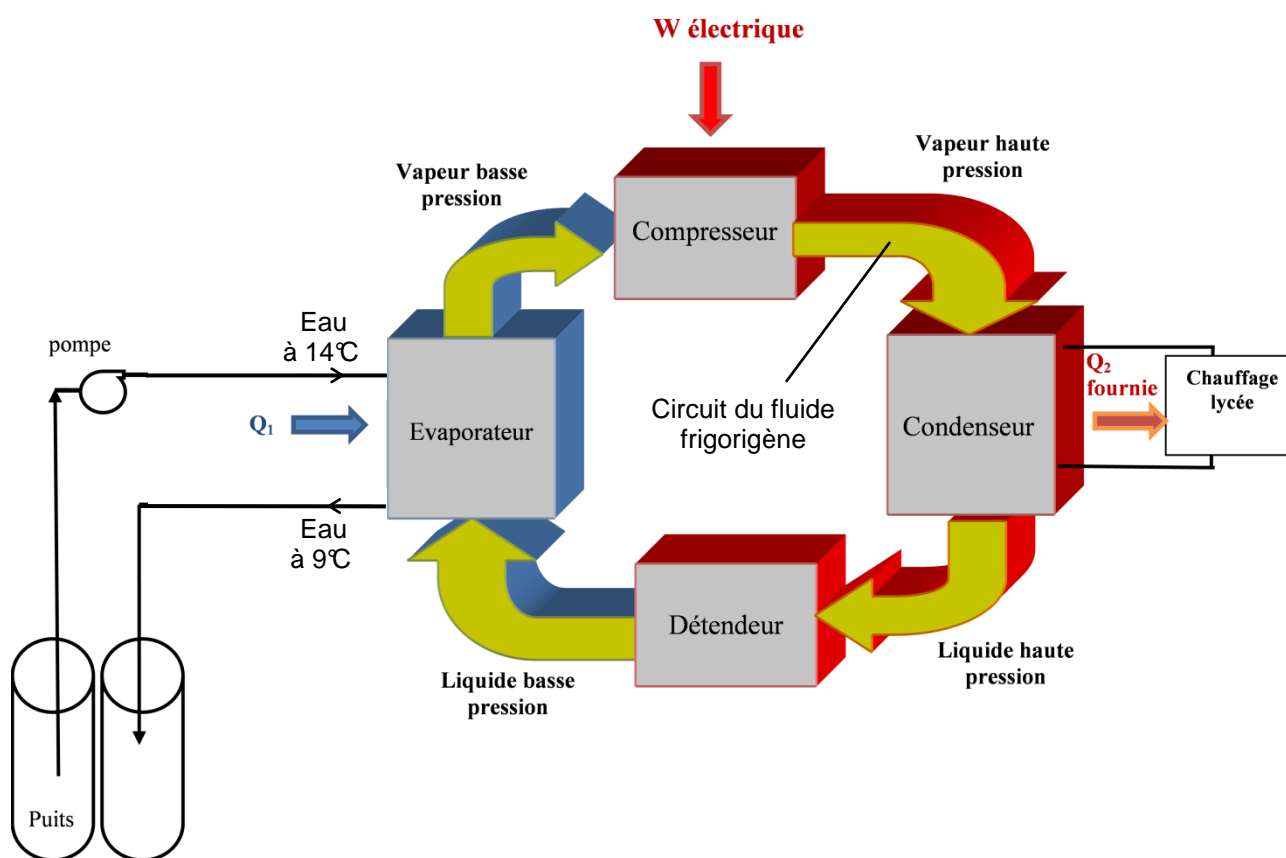
Annexes B

Annexe B1 : pouvoirs calorifiques de différents combustibles (origine : Wikipédia)

Rappel : le pouvoir calorifique ou (PC) d'un combustible (dans les conditions normales de température et de pression) est l'énergie qu'il libère lors d'une combustion avec le dioxygène.

| Carburant | PC (MJ.kg ⁻¹) | PC (kJ.mol ⁻¹) |
|-----------|---------------------------|----------------------------|
| Méthane | 50,01 | 802,27 |
| Propane | 46,353 | 2044,13 |
| Pentane | 45,357 | 3272,45 |

Annexe B2 : schéma de principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur du lycée



Nappe phréatique

Annexe B3 : relevé des consommations en gaz et électricité de la chaufferie de 2007 à 2011

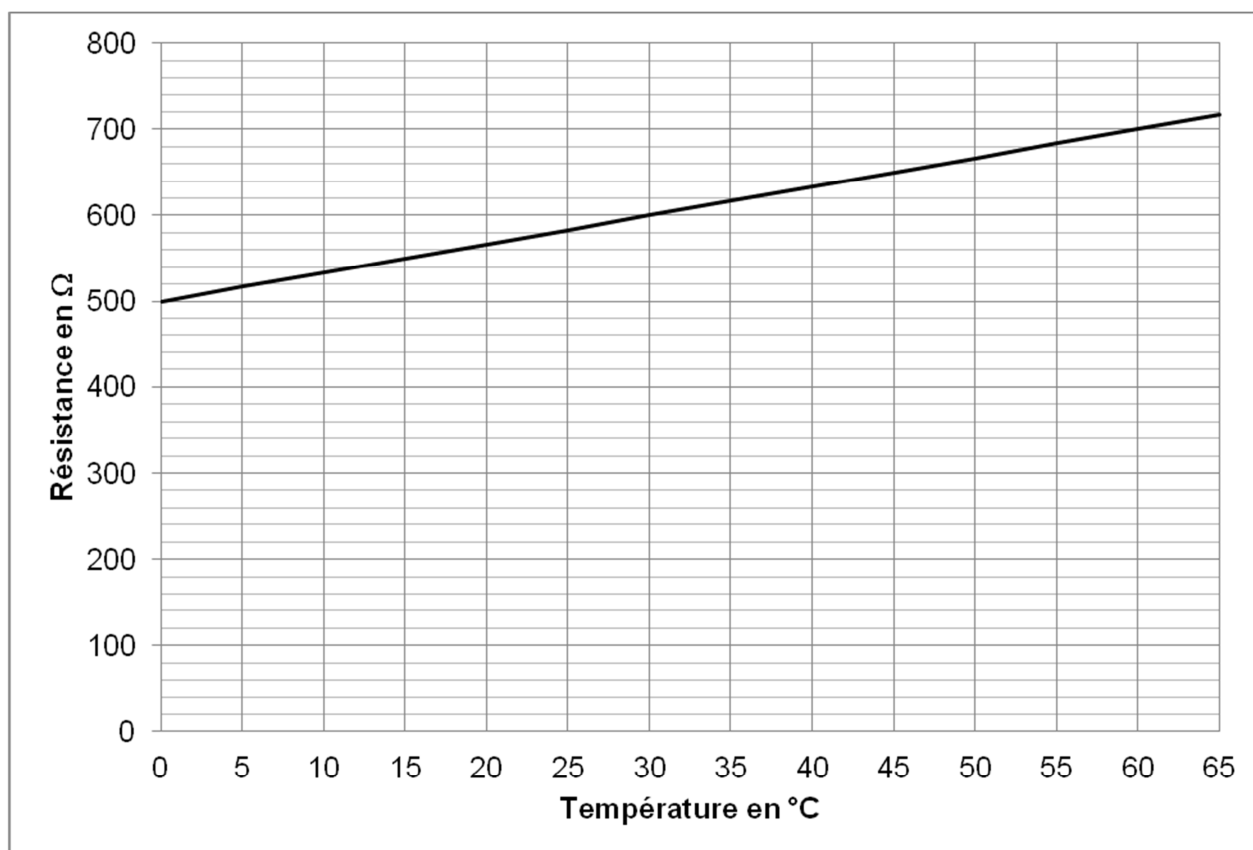
| Consommation chaufferie | | | |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| Année | | 2007 | 2011 |
| Consommation en kW.h | Gaz | $5,92 \cdot 10^6$ | $1,85 \cdot 10^6$ |
| | Électricité PAC | | $9,33 \cdot 10^5$ |
| Prix moyen du kW.h (en euros TTC) | Gaz | $4,49 \cdot 10^{-2}$ | $5,51 \cdot 10^{-2}$ |
| | Électricité PAC | | $1,19 \cdot 10^{-1}$ |
| Coût total (en euros TTC) | | $2,66 \cdot 10^5$ | $2,13 \cdot 10^5$ |

Annexe B4 : caractéristiques de sondes de différentes technologies

Données techniques

| | Sonde montée dans un doigt de gant | Sonde à immersion directe |
|---|--|---|
| Courte | Pt500 conforme à l'EN 60751 | |
| Temp. appairage | EN1434 | |
| Température du fluide | 0 à 150°C à court terme 160°C | |
| Température ambiante | -10...70°C | |
| Température de stockage et de transport | -25...70°C | |
| Temps de réponse $\tau_{0,5}$ | 5 s | 2 s |
| Fluide | Eau de chauffage | |
| Humidité | Condensation < 98% RF | |
| Niveau de pression | Doigt de gant | PN16 |
| Diamètre | ø5,8 mm | ø4/5,6 mm |
| Longueur du tube de capteur | 47 mm | > 27,5 mm |
| Câble silicone | 2 x 0,25 mm ² , 1,5 m, 3 m, 5 m et 10 m | 2 x 0,25 mm ² , 1,5 m et 3 m |
| Matériau du tube de capteur | AISI 304, W-no. 1.4301 | AISI 316 Ti, W-no. 1.4571 |
| Densité | IP65 | IP67 |

Annexe B5 : courbe d'étalonnage R(θ) du capteur



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 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° .

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.

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.

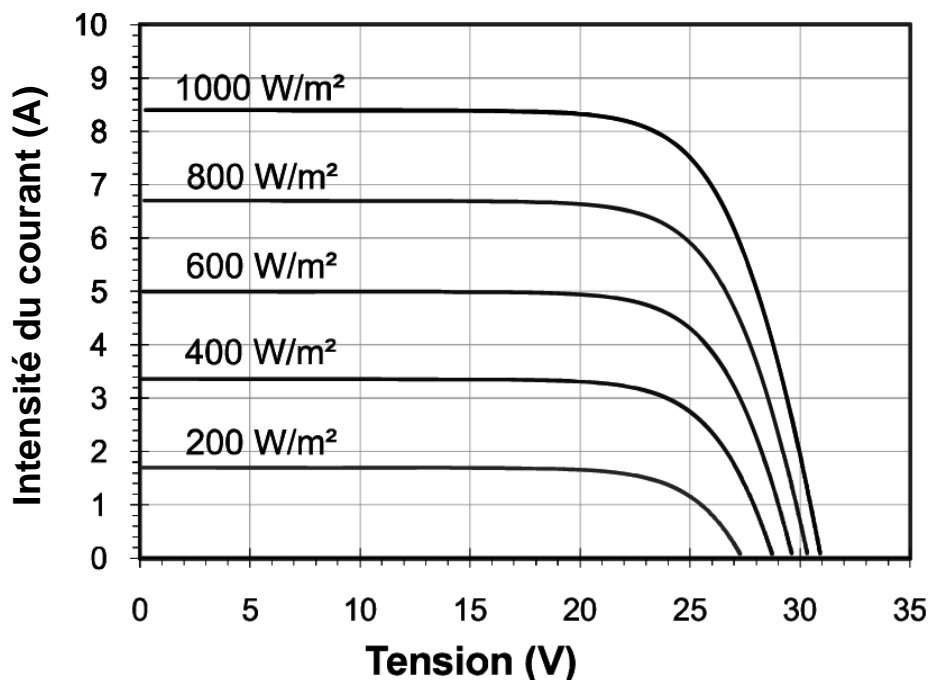
C.2.2. Préciser le protocole expérimental.

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

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

Annexes C

Annexe C1 : caractéristiques courant-tension d'un panneau solaire photovoltaïque de surface $1,1 \text{ m}^2$ pour plusieurs valeurs de la puissance surfacique reçue en W/m^2

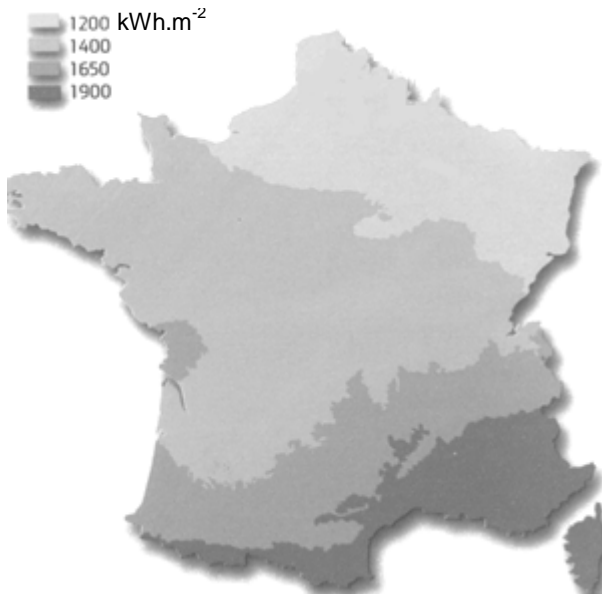


D'après devis Société : Qualit EnR

Annexe C2 : symboles des appareils et composants disponibles

| Noms | Symboles |
|------------------------|----------|
| Panneau photovoltaïque | |
| Rhéostat | |
| Ampèremètre | |
| Voltmètre | |

Annexe C3 : ensoleillement moyen annuel en kWh.m⁻² suivant les régions :



Carte représentant l'ensoleillement moyen reçu par un panneau solaire orienté de manière idéale.

D'après « science et vie », juin 2011

Correction due à l'inclinaison et à l'orientation :

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

Exemple : un capteur vertical fixé sur un mur ouest recevra 55 % de la puissance maximale qu'il était susceptible de recevoir.

Tarif de rachat :

Le tarif de rachat proposé par E.D.F. dans ce cas est de 0,31 euro le kW.h.

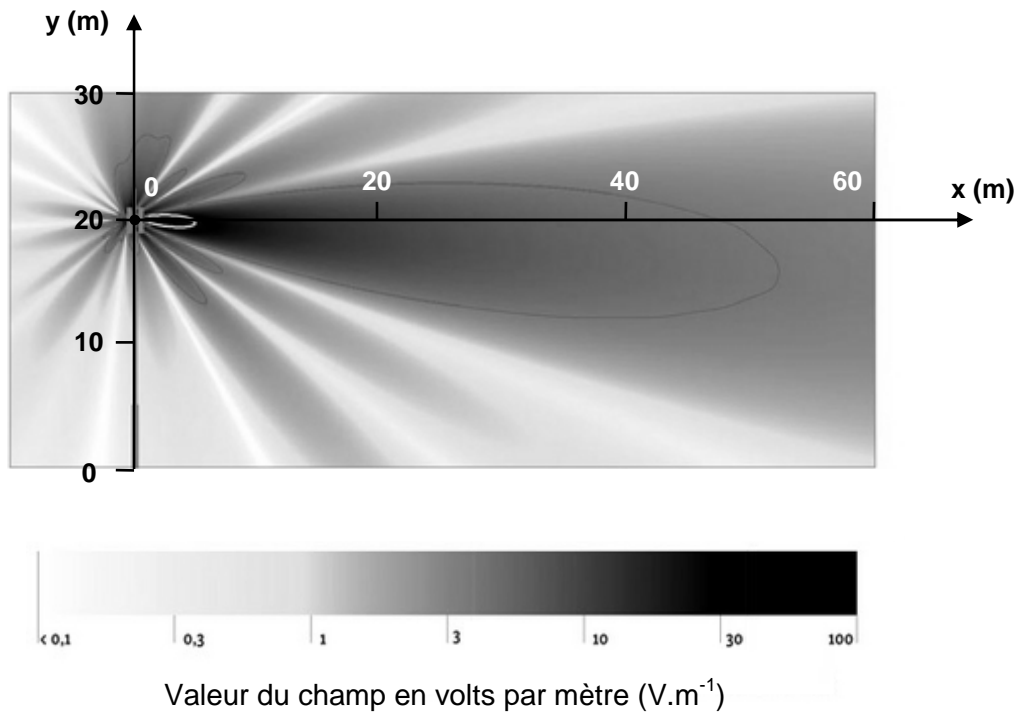
Rendement :

Cette étude se fait à partir de panneaux solaires réalisés avec du silicium polycristallin présentant un rendement théorique de 15%.

Mais ce rendement se dégrade avec la chaleur (l'intégration au bâti ne permet pas une bonne ventilation) et avec les pertes inhérentes à l'installation. Pour se rapprocher du rendement réel, on multiplie le rendement théorique par un coefficient de 0,7.

Document réponse à rendre avec la copie

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



Source : <http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01079/01086/01088/index.html?lang=fr>

Document réponse DR2 : chaîne énergétique d'un panneau photovoltaïque

