

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2017

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

EPREUVE DU JEUDI 22 JUIN 2017

Durée : 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 impérativement avec la copie.

L'usage de la 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.

La tour Elithis



(www.elithis.fr)

Située dans le centre-ville de Dijon, la tour Elithis permet d'accueillir, entre autres, des bureaux, un cabinet de radiologie, un restaurant. Elle est caractérisée par une grande surface vitrée en double vitrage et par un « bouclier solaire » sur sa façade sud. Le groupe Elithis est aujourd'hui une des rares sociétés à disposer d'un bâtiment à énergie positive répondant aux normes environnementales et aux performances énergétiques réellement mesurées. Le bâtiment est équipé, entre autres, d'une chaudière à granulés et de capteurs photovoltaïques.

Dans une première partie, nous étudierons les panneaux photovoltaïques placés sur le toit, puis dans la deuxième partie, quelques aspects concernant le laboratoire de radiologie (analyses médicales et hygiène des locaux). Dans une troisième partie, nous étudierons le fonctionnement de la chaudière permettant le chauffage de la tour.

Partie A : Étude des panneaux photovoltaïques de la tour Elithis (5 points)

La toiture est recouverte de 342 modules photovoltaïques, composés chacun de 60 cellules, intégrés à la couverture plane du bâtiment, qui assurent une production d'électricité. Celle-ci est entièrement revendue.

- A.1.** Compléter, sur le **document réponse DR1**, à rendre avec la copie, la chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque.
- A.2.** Les modules photovoltaïques utilisés sont des modules Tenesol de référence TE 2200 (**voir documents A1 et A2**). Placer sur le graphique du **document réponse DR2**, à rendre avec la copie, le point où la puissance délivrée par le module est maximale.
- A.3.** Calculer la puissance électrique maximale délivrée par l'ensemble des modules.
- A.4.** Déterminer la surface S de l'ensemble des modules de la toiture.
- A.5.** Montrer que le maximum de la puissance lumineuse totale reçue par la toiture est proche de 500 kW.
- A.6.** En déduire le rendement maximal de ce bouclier solaire.

En 2009, à l'issue de sa première année de fonctionnement, le directeur du groupe Elithis annonçait que les cellules solaires utilisées avaient donné entière satisfaction en produisant près de 96 % de l'énergie électrique attendue soit 78 000 kWh.

L'irradiation solaire annuelle globale horizontale (IGH) correspond à l'énergie solaire reçue en moyenne par une surface horizontale de 1 m^2 au cours d'une année complète. Elle dépend de la latitude et du climat. Le **document A3** permet de définir une valeur adaptée pour la ville de Dijon.

- A.7.** Après avoir indiqué la valeur de l'IGH que vous avez choisie, calculer le rendement moyen des cellules pour la première année de fonctionnement.
- A.8.** Donner au moins deux raisons qui expliquent que ce dernier est différent du rendement maximal calculé à la question A.6.

DOCUMENTS DE LA PARTIE A

Rendement d'un module photovoltaïque

- Le rendement η d'un module photovoltaïque est le quotient de la puissance électrique maximale P_{max} générée par le module par la puissance lumineuse P_{lum} qu'elle reçoit :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{lum}}$$

- $P_{lum} = E \times S$ où E est l'éclairement du module, exprimé en $W.m^{-2}$, S la surface d'un module, exprimée en m^2 .

Document A1 : Caractéristiques d'un module utilisé (d'après <http://www.solaris-store.com>)



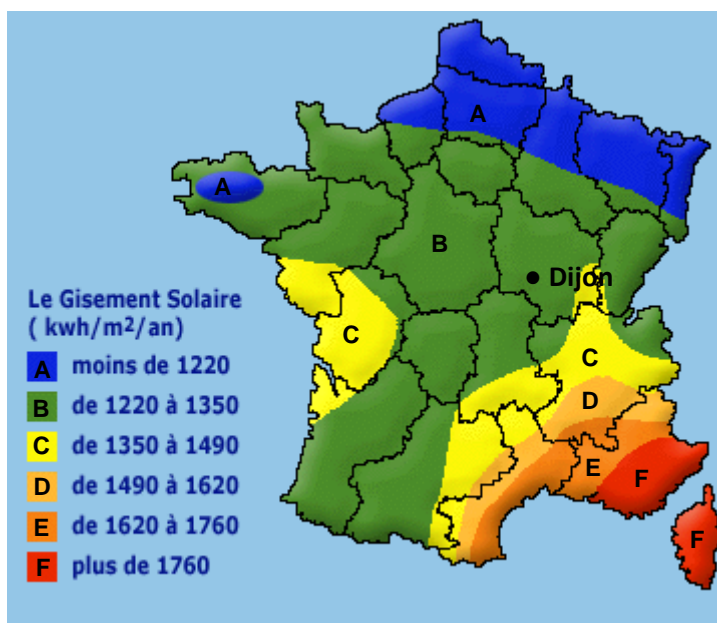
Mesures dans les conditions standards de qualifications des panneaux solaires : spectre AM1,5 (puissance incidente de $1000 W.m^{-2}$, température de $25^{\circ}C$)

Tension aux bornes du module à puissance maximale V_{pm} (V)	29,7
Intensité à puissance maximale I_{pm} (A)	7,5

Document A2 : Cellules d'un module photovoltaïque

Taille d'une cellule	156 mm x 156 mm
Nombre de cellules	60 cellules
Type de semi-conducteur	polycristallin

Document A3 : Carte d'ensoleillement en France



Partie B : Le laboratoire de radiologie de la tour Elithis (8 points)

Au 1^{er} étage de la tour Elithis se trouve un laboratoire de radiologie permettant de faire des examens médicaux.

B.1. Caractéristiques du dispositif d'analyses médicales

Le laboratoire permet aux patients d'obtenir un diagnostic médical à partir, entre autres, de radiographies et de scanners utilisant les rayons X. Le **document B1-a** donne des précisions sur les rayons X.

B.1.1. Calculer les valeurs de la fréquence ν et de la période T du rayonnement utilisé.

On rappelle la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

B.1.2. À l'aide du **document B1-b**, en déduire la valeur de l'énergie E des photons du rayonnement X utilisé.

En raison de cette énergie transportée, les rayons X sont des rayons dits « ionisants ». Ils sont dangereux pour la santé, mais tout est question de dose reçue. La dangerosité d'une dose délivrée aux différents tissus et organes du corps est mesurée en sievert (Sv). Le **document B1-c** indique les doses reçues par le patient lors d'un scanner aux rayons X. La limite d'exposition annuelle aux rayonnements X est fixée par la réglementation à 20 millisieverts (mSv) par an.

B.1.3. À l'aide du **document B1-c**, indiquer le nombre de scanners de la colonne lombaire autorisés annuellement.

B.1.4. Quelles précautions doivent prendre les manipulateurs radio ?

B.2. Alimentation en eau de la tour

On donne : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Masse volumique de l'eau : $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$

Variation de pression pour un liquide incompressible dans une canalisation de section constante $\Delta p = \rho g h$ (h : hauteur en mètre ; ρ : masse volumique en kg.m^{-3} ; g : intensité de la pesanteur en m.s^{-2})

Surface d'un disque : $S = \pi r^2$ (avec r le rayon du disque).

Le **document B2-c** correspond au schéma des robinets utilisés dans le laboratoire. Le débit volumique D_V de ces robinets lorsqu'ils sont complètement ouverts est de 12 L d'eau par minute.

B.2.1. En détaillant votre raisonnement, montrer que le débit volumique D_V est égal à $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

B.2.2. Calculer alors la vitesse v d'écoulement de l'eau à la sortie du robinet en m.s^{-1} .

On donne dans le **document B2-a**, un extrait d'une documentation expliquant comment parvenir à obtenir une certaine pression au niveau du robinet d'eau en l'absence de débit.

B.2.3. Expliquer la phrase « Il faut rappeler que 10 m de colonne d'eau sont équivalents à une pression de 1 bar » du **document B2-a**.

Le schéma simplifié des canalisations permettant d'alimenter en eau froide un robinet situé dans le laboratoire est donné dans le **document B2-b**. Un manomètre permet de déterminer la pression dans les canalisations qui alimentent le bâtiment. Au niveau du sol, il indique $P_0 = 3,4 \text{ bar}$.

B.2.4. Calculer la pression P_R au niveau du robinet du laboratoire en l'absence de débit. Est-elle convenable ?

B.2.5. La mise en place d'une pompe hydraulique pour l'alimentation en eau de l'ensemble des étages de la tour est-elle nécessaire ?

DOCUMENTS DE LA PARTIE B.1.

Document B1-a : Qu'est-ce qu'un rayon X ? (d'après <http://culturesciences.chimie.ens.fr>)

Les rayons X font partie des rayonnements électromagnétiques, au même titre que la lumière visible, l'ultra-violet, l'infra-rouge, les micro-ondes, les ondes radio ou les rayons gamma.

Une onde électromagnétique est modélisée par un champ électrique et un champ magnétique perpendiculaires oscillant en phase. Elle se propage dans le vide à la vitesse de la lumière.

Les ondes électromagnétiques sont classées et nommées par domaine en fonction de leur fréquence. Les mécanismes d'émission diffèrent et exigent des techniques différentes de détection.

On appelle rayons X les ondes électromagnétiques dont les fréquences sont comprises entre 10^{16} Hz et 10^{20} Hz. La longueur d'onde des rayons X utilisés est de 0,30 nm.

Document B1-b : Rappel sur l'énergie transportée par un photon

On rappelle que l'énergie E transportée par un photon est donnée par l'expression :

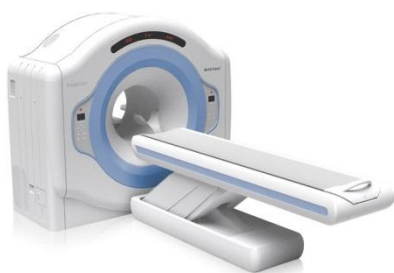
$$E = h \times \nu$$

avec : h : constante de Planck, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

ν : fréquence en hertz (Hz)

E en joule (J)

Document B1-c : Les doses pour des examens au scanner à rayons X (d'après <http://www.laradioactivite.com>)



<i>Partie du corps concernée par l'examen au scanner</i>	<i>Doses efficaces typiques reçues par le patient (en millisieverts)</i>
Bassin	9,4
Colonne lombaire	6,0
Abdomen	8,8
Poitrine	9,1
Colonne thoracique	7,8
Colonne cervicale	1,9
Tête	3,5

Les examens au scanner à rayons X, devenus courants en raison de la qualité des diagnostics qu'ils offrent, sont beaucoup plus irradiants que de simples radiographies à rayons X. Il faut donc recourir au scanner seulement lorsqu'il apporte une information plus précise que les diagnostics classiques.

Document B1-d : Les mesures préventives des risques des rayons X pour les travailleurs exposés (d'après <http://www.officiel-prevention.com>)

La prévention consiste à limiter la dose annuelle reçue à un très bas niveau et à éviter qu'une dose puisse excéder le seuil d'apparition des séquelles.

La protection contre le rayonnement X est donc impérative, tant par la prévention collective (vérification périodique des appareils, formation à leur utilisation, délimitation et signalisation des zones d'émission, écrans de protection...) que par la prévention individuelle (dosimétrie, surveillance médicale renforcée, port d'équipements de protection...).

Les principes généraux de la radioprotection reposent sur trois piliers :

- ✓ Les durées d'exposition
- ✓ Les distances de sécurité
- ✓ Les écrans de protection

DOCUMENTS DE LA PARTIE B.2.

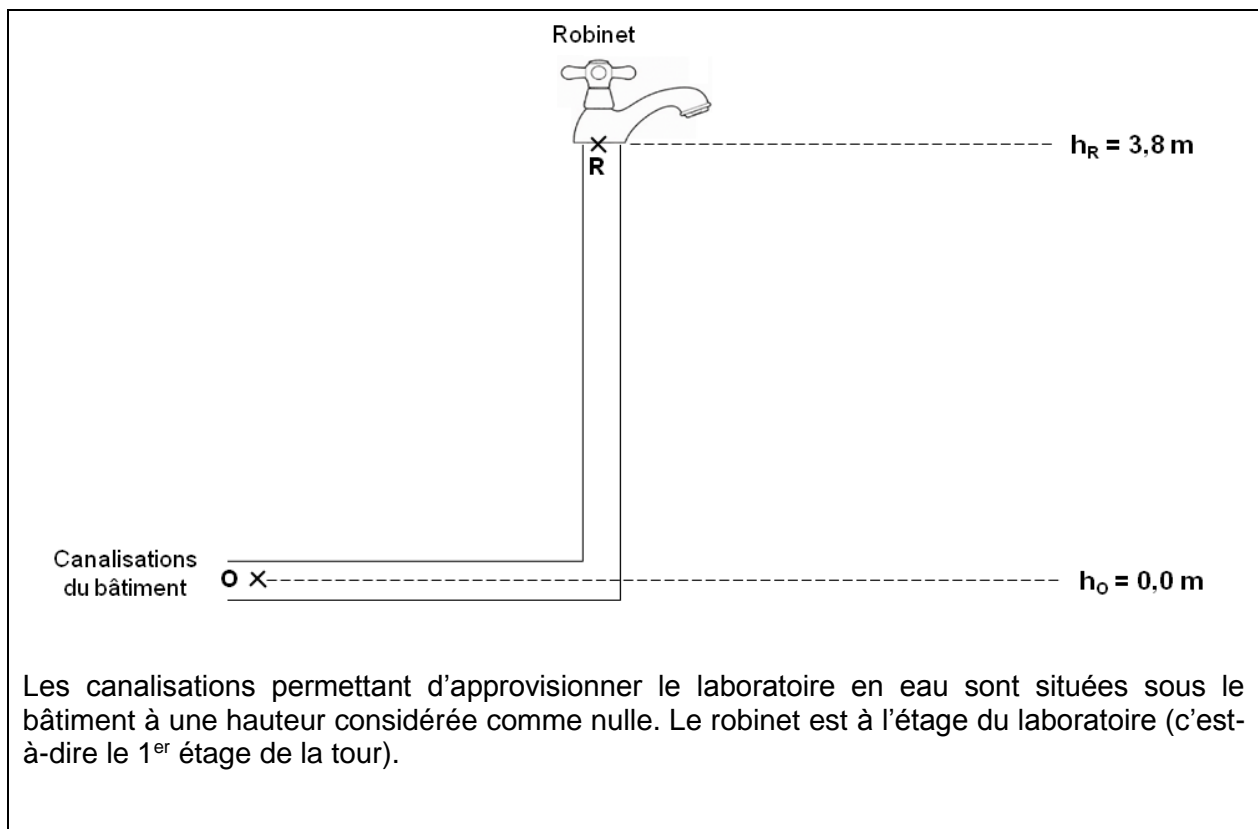
Document B2-a : Comment obtient-on de la pression au robinet ? (d'après <http://conseils-thermiques.org>)

« Au premier abord, on se dit qu'il y a sans doute une pompe (ou circulateur) qui met en permanence tout notre réseau d'eau intérieur sous pression. Vous aurez beau chercher cette pompe partout dans votre maison, vous ne la trouverez pas puisqu'elle n'existe pas! La pression de l'eau du robinet provient en réalité de la différence d'altitude entre le château d'eau qui vous alimente en eau et votre maison.

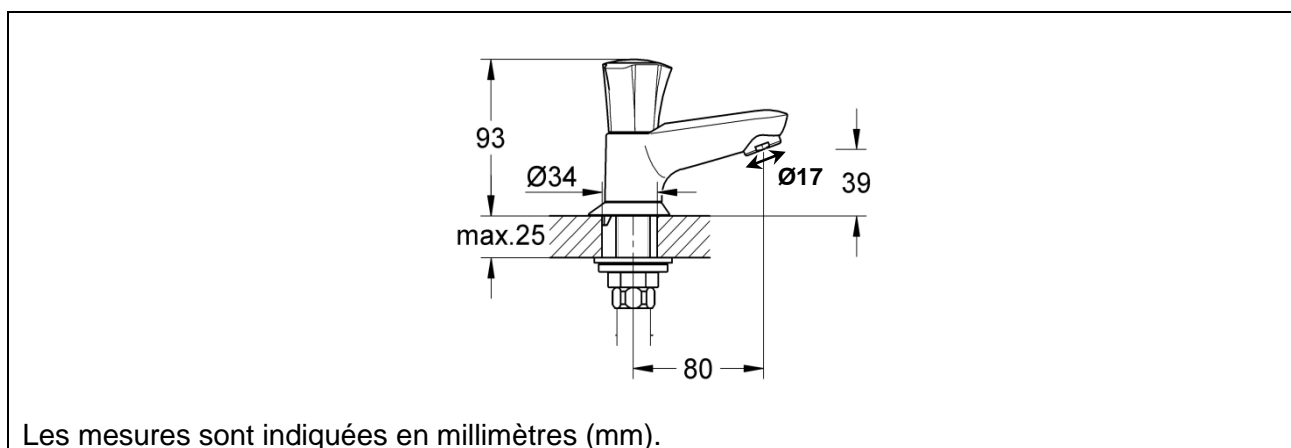
Il faut rappeler que 10 m de colonne d'eau sont équivalents à une pression de 1 bar. Un château d'eau de cinquante mètres de hauteur engendrera donc une pression supplémentaire d'environ 5 bar.

Les robinets et autres éléments de tuyauterie fonctionnent de façon optimale pour une pression de 3 bar à la sortie. Si la pression est sensiblement supérieure (> 4 bar), il sera mis en place un détendeur en tête des installations sanitaires pour limiter la pression. »

Document B2-b : Schéma simplifié de la canalisation d'approvisionnement en eau du laboratoire (sans souci d'échelle)



Document B2-c : Schéma des robinets utilisés au laboratoire



Partie C : Étude du système de chauffage de la tour Elithis (7 points)

Cette troisième partie a pour but d'étudier la technique de chauffage aux granulés de bois, appelés pellets, utilisée dans la chaudière de la tour Elithis. L'étude portera tout d'abord sur les besoins en chauffage et les performances énergétiques de la tour Elithis. Le fonctionnement de la chaudière à granulés et une amélioration possible seront abordés par la suite.

C.1. Consommation pour le chauffage de la Tour Elithis

On cherche à savoir si la tour Elithis répond à la norme du Grenelle de l'environnement 2012.

À l'aide des **documents C1 et C2** :

- C.1.1.** Relever les valeurs des consommations annuelles de chauffage prévues $E_{\text{prévue}}$ et réelle $E_{\text{réelle}}$. Expliquer pourquoi ces valeurs sont différentes.
- C.1.2.** La tour Elithis peut-elle être considérée comme un bâtiment «basse consommation» compte tenu du fait que le chauffage de la tour représente la presque totalité de sa consommation énergétique ?

C.2. Fonctionnement de la chaudière à granules de bois

Le pellet est assimilé à de la cellulose qui est un polymère. Pour simplifier, on ne considèrera que le motif de cellulose qui a pour formule $C_6H_{10}O_5$.

- C.2.1.** À l'aide des **documents C3 et C4**, justifier que le pouvoir calorifique du pellet de bois est voisin de $4,80 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- C.2.2.** En déduire la masse m minimale de cellulose, exprimée en kg, nécessaire pour assurer un apport annuel en énergie de $29 \text{ MW}\cdot\text{h}$ afin d'assurer le chauffage de la tour Elithis.
- C.2.3.** Le rendement de la chaudière à granulés étant de 93% , montrer que la masse réelle de cellulose à brûler est $m_{\text{réelle}} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$.
- C.2.4.** À l'aide du **document C4**, expliquer pourquoi le choix d'un bac de stockage de 12 m^3 est suffisant.

C.3. Amélioration de la chaudière

Certaines chaudières appelées chaudières à condensation récupèrent l'énergie libérée par la condensation de la vapeur d'eau formée lors de la combustion.

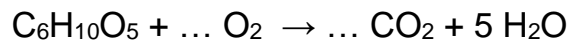
On donne : $1 \text{ W.h} = 3600 \text{ J}$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) = 162 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$\text{Enthalpie de liquéfaction de l'eau } L = 2,20 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$$

C.3.1. Recopier et compléter l'équation bilan ci-dessous de la combustion réalisée dans la chaudière à granulés.



C.3.2. En utilisant l'équation de réaction ci-dessus, montrer que la masse d'eau m_{eau} produite lors de la combustion complète de $6,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$ de cellulose est de $3,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

C.3.3. Calculer en J puis en kW.h, l'énergie libérée par la liquéfaction de cette masse d'eau.

C.3.4. Montrer que le dispositif de liquéfaction de la vapeur d'eau formée est une réelle amélioration des performances de la chaudière.

DOCUMENTS DE LA PARTIE C

Document C1 : Exigence thermique imposée par le Grenelle de l'environnement

Les nouvelles réglementations thermiques (RT) s'accordent avec le Grenelle de l'environnement :

Pour répondre aux normes thermiques d'un bâtiment dit « basse consommation », la réglementation thermique 2012 (RT 2012) impose à toute construction neuve une consommation énergétique maximale annuelle et par unité de surface de 50 kW.h.m⁻².

Remarque : la RT 2005 imposait une consommation énergétique maximale annuelle et par unité de surface de 130 kW.h.m⁻².

Document C2 : Bilan concernant le chauffage de la tour Elithis un an après son ouverture (d'après www.lemoniteur.fr - Publié le 20/04/10)

« Sachant que durant cette première année, le taux d'usage de la tour, avec 4-5 étages occupés sur 9, n'était que de 56 %, et faisant remarquer que cette première année de vie du bâtiment (...) est une année de « réglage », (...) le directeur du groupe (...) a présenté les résultats des mesures en insistant sur le fait qu'ils devraient s'améliorer »

« Une chose est sûre (...) [la tour Elithis est] largement au-dessus des exigences théoriques d'un bâtiment basse consommation. »

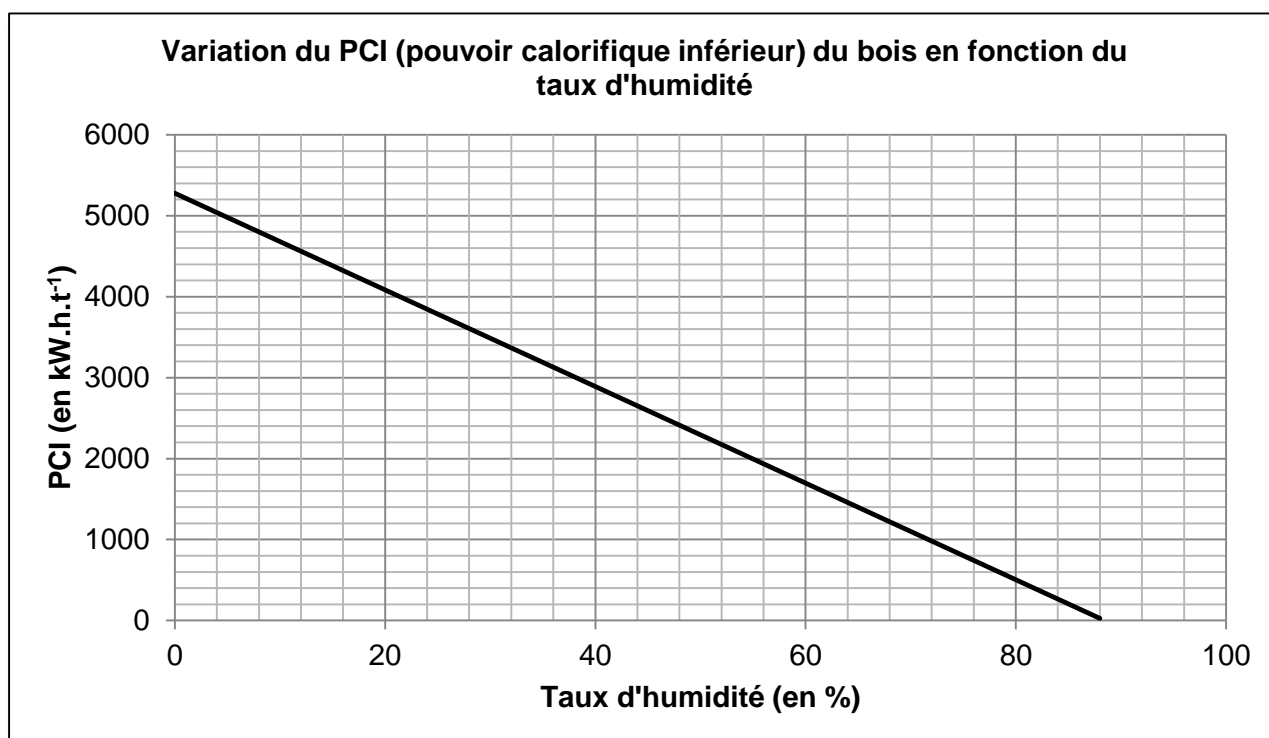
« Pour réaliser les calculs de la simulation thermique du bâtiment, les ingénieurs (...) ont pris l'hypothèse (...) d'une température intérieure de 20°C. Au quotidien, les collaborateurs (...) ont réclamé de chauffer plus que prévu. La température de confort d'hiver mesurée sur la première année d'exploitation, a été en réalité de 22°C. »

« Cette différence de 2°C, entre théorie et pratique, a été la principale cause du triplement de la consommation évaluée lors des simulations. »

Données chiffrées concernant la Tour Elithis

Surface du bâtiment	4900 m ²
Surface réellement occupée	2744 m ²
Consommation annuelle prévue en chauffage	9055 kW.h
Consommation annuelle réelle en chauffage	28935 kW.h
Température à maintenir	22°C

Document C3 : Variations du pouvoir calorifique du bois (en kW.h.t⁻¹) en fonction de son taux d'humidité



Document C4 : Carte d'identité du pellet de bois ou granulé de bois (d'après www.propellet.fr)

Nom : Pellet

Profession : Biocombustible moderne

Né (e) le : années 1970

Lieu : France

Description : petit cylindre de sciure de bois compressée sans aucun agent de liaison (la lignine et les résines naturellement contenues dans le bois en assurent la cohésion)

Diamètre : 6 à 8 mm

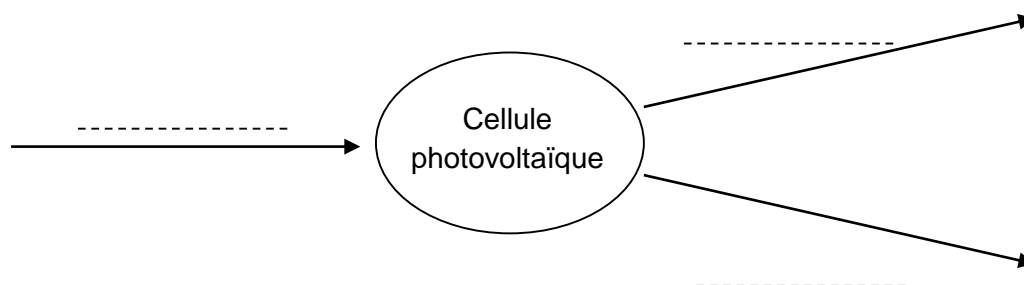
Longueur : environ 3 cm

Taux d'humidité : 8 %

Masse volumique : $\rho = 650 \text{ kg/m}^3$

Taux de cendre : inférieur à 0,7 %

DR1 : Chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque



DR2

Courbe de l'intensité en fonction de la tension pour un éclairement de $1,00 \text{ kW.m}^{-2}$ à 25°C

