

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2015

## PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement de Spécialité

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 8

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

## EXERCICE I : CONSTRUCTION D'UNE MAISON PASSIVE (7 points)

Sensibles à la nécessaire réduction des émissions des gaz à effet de serre autant qu'à l'économie financière réalisée, les particuliers désireux de faire construire leur maison d'habitation s'orientent de plus en plus vers l'écoconstruction.

Pour maîtriser au mieux la dépense énergétique, plusieurs points de vigilance sont à considérer : l'isolation, la ventilation, la qualité des ouvertures et la maîtrise des ponts thermiques (endroits du bâtiment où la chaleur s'échappe le plus vite).

### 1. Isolation et chauffage

L'étude porte sur une maison, sans étage et de surface habitable  $68 \text{ m}^2$ , dont l'isolation du sol, des murs extérieurs et des combles (espaces sous la toiture) est prévue selon les données du tableau suivant :

	Surface (m <sup>2</sup> )	Matériaux	Épaisseur (cm)	Conductivité thermique $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Résistance thermique (S.I)
Sol	70	mortier chaux	25	0,17	0,021
Vitres	15	triple vitrage verre/air	3,6	0,023	0,10
Combles (espaces sous la toiture)	79	gypse/cellulose	1,3	0,35	0,053
		granulé de chanvre	20	0,048	
Murs extérieurs	85	enduit plâtre	1,5	0,50	
		briques plâtrières	5,0	0,80	
		panneaux liège expansé	6,0	0,040	
		brique creuse standard	20	0,60	
		enduit chaux/sable	2,5	1,05	

### Définition d'une maison passive

On dit d'une maison qu'elle est passive lorsque ses besoins en chauffage sont inférieurs à 15 kWh par m<sup>2</sup> habitable et par an contre 250 à 300 kWh par m<sup>2</sup> habitable et par an en moyenne pour les besoins en chauffage d'un bâtiment classique.

1 kWh correspond à 3,6 MJ.

D'après le site <http://fr.ekopédia.org>

## Résistance thermique d'une paroi d'isolation

La résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi plane a pour expression :  $R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$  où  $e$  est l'épaisseur du matériau (m),  $\lambda$  la conductivité thermique caractérisant le matériau ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ) et  $S$  la surface de la paroi ( $m^2$ ).

En pratique, une paroi est constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseur et de conductivité différentes. Dans ce cas, les résistances thermiques de chaque couche s'additionnent.

## Flux thermique

Le flux thermique  $\Phi$  exprimé en watt (W), est l'énergie transférée à travers une paroi par unité de temps.

Son expression est :  $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$  où  $Q$  est l'énergie thermique (J) et  $\Delta t$  le temps (s).

Lorsque les températures extérieure  $T_e$  et intérieure  $T_i$  sont constantes au cours du temps, avec  $T_i > T_e$ , le flux thermique peut s'exprimer aussi par :  $\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$  où  $R_{th}$  est la résistance thermique de la paroi considérée.

- 1.1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité d'une résistance thermique.
- 1.2. Pour une surface donnée à isoler, expliquer qualitativement dans quel sens doivent évoluer les caractéristiques d'une paroi pour augmenter l'isolation de l'habitation.
- 1.3. Calculer la résistance thermique des murs extérieurs  $R_m$ , en précisant l'unité.
- 1.4. Pour obtenir une résistance thermique identique à celle des combles, quelle devrait être la valeur de l'épaisseur d'une couche de laine de verre de conductivité thermique  $\lambda_v = 0,038 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$  ?  
On suppose que l'on utilise uniquement ce matériau.
- 1.5. Dans la région où est prévue la construction de la maison, la température moyenne du sol en hiver est d'environ  $10^\circ C$  et celle de l'air extérieur,  $4^\circ C$ .  
Un poêle à bois maintient la température intérieure de la maison constante à  $T_i = 19^\circ C$ .  
Pendant une journée, les valeurs des transferts thermiques sont alors :
  - pour les murs extérieurs :  $Q_m = 56 MJ$  ;
  - pour les vitres :  $Q_v$  ;
  - pour le sol :  $Q_s = 37 MJ$  ;
  - pour les combles :  $Q_c = 24 MJ$ .

- 1.5.1. Préciser le sens dans lequel s'effectuent les transferts thermiques.

1.5.2. Calculer  $Q_v$  ; en déduire la valeur de la chaleur fournie par un poêle à bois pendant une journée.

1.6. Dans ces conditions, si, par an, la période de chauffage dure 100 jours, peut-on considérer la maison comme passive ?

## 2. Incident sur le chantier

Une grue soulève un sac de sable. Le câble cède lorsque le sac est à une hauteur  $h$  par rapport au sol. Le sac tombe alors en chute libre avec une vitesse initiale supposée nulle. Au même moment un technicien, équipé des protections réglementaires et situé à une distance  $d$  du point de chute du sac, se déplace à vitesse constante en direction du point d'impact du sac avec le sol.

Le sac et le technicien sont repérés par leurs centres respectifs.

Le référentiel terrestre est supposé galiléen et on lui associe le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  :

O point d'impact du sac de sable avec le sol,  $\vec{i}$  horizontal et  $\vec{j}$  vertical vers le haut.

Le technicien se déplace donc parallèlement avec l'axe des x.

### Données :

- intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$  ;
- hauteur initiale du centre du sac de sable :  $h = 6,2 \text{ m}$  ;
- distance initiale entre le technicien et le point de chute du sac de sable :  $d = 2,5 \text{ m}$  ;
- vitesse de déplacement du technicien :  $v_{\text{tech}} = 1,1 \text{ m.s}^{-1}$ .

2.1. Faire un schéma de la situation initiale sans souci d'échelle en représentant notamment le vecteur vitesse associé au déplacement du technicien ainsi que les distances  $h$  et  $d$ .

2.2. Montrer que, selon l'axe vertical, l'équation horaire du mouvement du centre du sac de sable est :

$$y_s = - 4,9 t^2 + 6,2 \quad \text{avec } y_s \text{ en mètre et } t \text{ en seconde.}$$

2.3. Cette situation entraîne-t-elle un risque d'accident corporel sur le chantier pour le technicien ?

*Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution.*

*Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.*

## EXERCICE II : UNE PISCINE NATURELLE CHAUFFÉE (8 points)

Les piscines naturelles ont une structure de construction habituelle mais, contrairement aux piscines classiques, l'eau ne subit pas de traitement chimique. Le système de filtration est assuré par une zone réservée à la végétation, dont la surface est au moins égale à la zone de baignade pour un meilleur équilibre écologique.

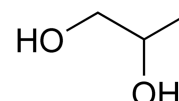
D'après le site [www.piscine.comprendrechoisir.com](http://www.piscine.comprendrechoisir.com)



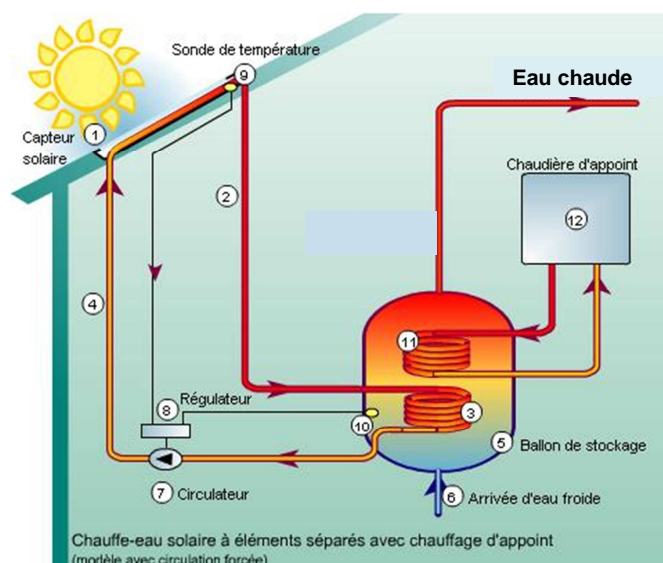
### 1. Étude du fluide caloporteur d'un chauffe-eau solaire

La baignade est plus confortable si l'eau de la piscine est chauffée. L'une des solutions possibles est d'installer un chauffe-eau solaire, système qui permet de produire de l'eau chaude grâce à l'énergie solaire.

Le fluide caloporteur qui circule dans le capteur solaire est un mélange d'eau et de mono propylène glycol ; c'est un antigel, dont le nom en nomenclature officielle est propane-1,2-diol et dont la formule topologique est la suivante :



### Schéma de fonctionnement du chauffe-eau solaire



D'après le site [www.vertener.fr](http://www.vertener.fr)

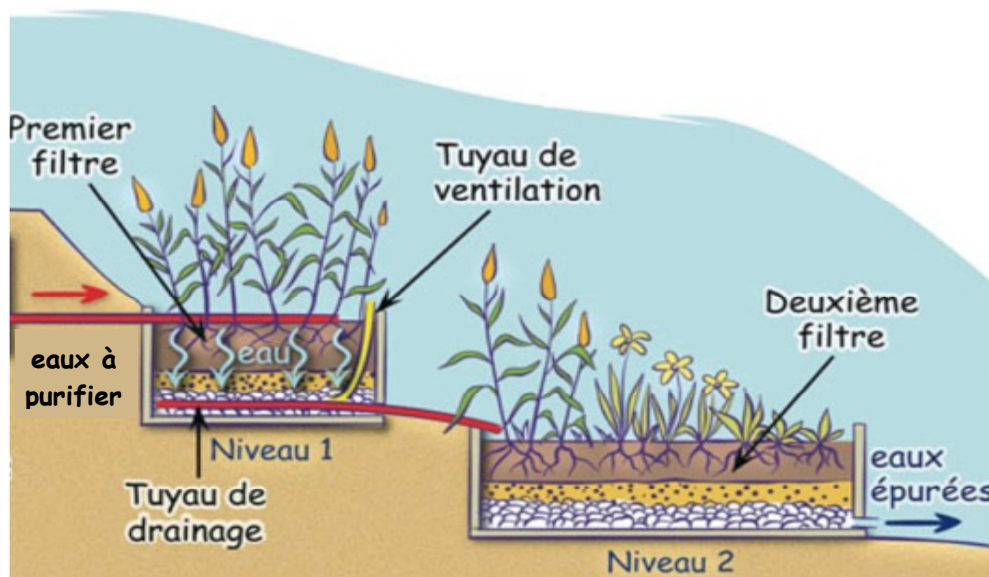
- 1.1. Quel est le mode principal de transfert thermique mis en jeu entre le capteur solaire (1) et le milieu extérieur ?  
En déduire la fonction de la chaudière d'appoint.
- 1.2. Quel est l'intérêt pour le chauffe-eau solaire d'intégrer du mono propylène glycol dans la composition du fluide caloporteur ?

- 1.3. Justifier le nom donné, en nomenclature officielle, au mono propylène glycol.
- 1.4. Justifier le fait que la molécule de mono propylène glycol possède plusieurs stéréoisomères.  
Donner la représentation de Cram de ces stéréoisomères et préciser le type de stéréoisomérisation qui les lie. Ces stéréoisomères sont-ils chiraux ?  
Comment réaliser un mélange racémique ?
- 1.5. Déterminer le nombre de signaux que cette molécule présenterait en spectroscopie RMN du proton, ainsi que la multiplicité de ces signaux.  
On admettra que les protons des groupes –OH donnent le même signal et ne se couplent pas avec les autres protons de la molécule.

## 2. Traitement de l'eau de la piscine

La technique de traitement de l'eau d'une piscine naturelle utilise les bactéries présentes dans le système racinaire des plantes pour épurer l'eau ; il s'agit d'une phyto-épuration. Les espèces végétales sont ainsi soigneusement sélectionnées pour absorber des polluants tels que les ions nitrate et phosphate. Une pompe de circulation assure le déplacement de l'eau à travers la zone de filtration naturelle.

### Schéma d'un système de phyto-épuration



D'après le site [www.bleu-vert.fr](http://www.bleu-vert.fr)

On se propose de tester l'efficacité d'un système de phyto-épuration de ce type, en réalisant un dosage de l'azote total de la matière organique contenue dans les eaux épurées à la sortie du dernier bassin.

On prélève un échantillon d'eau de volume  $V_{ech} = 20,0 \text{ mL}$  à la sortie du dernier bassin et on met en œuvre le protocole de dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl. Le volume d'acide chlorhydrique versé à l'équivalence est  $V_E = 10,3 \text{ mL}$ .

## Protocole simplifié de dosage de l'azote total Kjeldahl

### Minéralisation :

La transformation chimique se fait à une température de 421°C en présence de sulfate de cuivre avec un excès d'acide sulfurique. L'azote contenu dans la matière organique est dégradé sous forme d'ions ammonium  $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ .

### Distillation :

Un excès de soude est introduit dans le mélange obtenu après minéralisation pour amener le pH de la solution à 12 et transformer les ions ammonium  $\text{NH}_4^+(\text{aq})$  en molécules d'ammoniac  $\text{NH}_3(\text{aq})$ , qui sont entraînées par la vapeur d'eau lors d'une distillation.

### Titration :

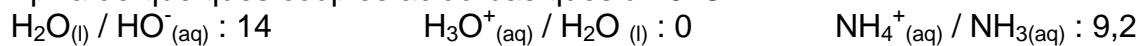
Le titrage de l'ammoniac  $\text{NH}_3(\text{aq})$  présent dans le distillat est réalisé par une solution d'acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ ), de concentration molaire  $C_{\text{ac}}$  égale à  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ , jusqu'au virage d'un indicateur coloré bien choisi.

## Données

- Numéros et masses molaires atomiques de quelques atomes :

	H	N	O
Z	1	7	8
M (g.mol <sup>-1</sup> )	1,0	14	16

- pKa de quelques couples acido-basiques à 25 °C :



- Zones de virage de quelques indicateurs colorés :

Indicateur	pKa	Couleur acide	Zone de virage	Couleur basique
Orange de méthyle	3,7	rouge	3,2 – 4,4	jaune
Vert de bromocrésol	4,7	jaune	3,8 – 5,4	bleu
Rouge de méthyle	5,1	jaune	4,8 – 6,0	rouge
Bleu de bromothymol	7,0	jaune	6,0 – 7,6	bleu
Rouge de phénol	7,9	jaune	6,8 – 8,4	rouge
Phénolphthaléine	9,4	incolore	8,2 -10,0	violet

- Normes européennes de rejets pour les eaux résiduaires :

Matière en suspension (MES) < 35 mg.L<sup>-1</sup>

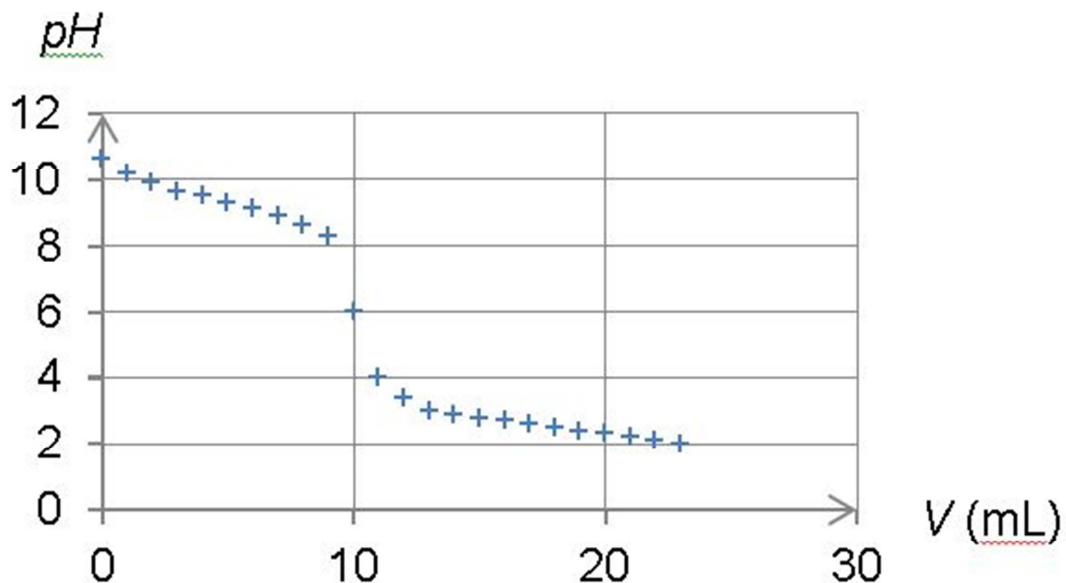
Demande chimique en oxygène (DCO) < 125 mg d'oxygène dissous

Demande biologique en oxygène sous 5 jours (DBO5) < 25 mg d'oxygène dissous au bout de 5 jours

L'azote total Kjeldahl (NtK) : masse totale d'azote N < 20 mg.L<sup>-1</sup>

D'après le site [www.recycleau.fr](http://www.recycleau.fr)

- 2.1. Quelle propriété les transformations chimiques mises en jeu dans la méthode de Kjeldahl doivent-elles toutes avoir pour que l'on puisse doser l'intégralité de l'azote présent dans l'échantillon ?
- 2.2. Justifier le fait que  $\text{NH}_4^+(\text{aq})$  et  $\text{NH}_3(\text{aq})$  forment un couple acide-base et préciser quelle est la forme acide et quelle est la forme basique.
- 2.3. Lors de l'étape de distillation du protocole simplifié de dosage de l'azote total Kjeldahl, pourquoi un pH égal à 8 pourrait-il ne pas convenir ?
- 2.4. Le suivi pHmétrique du titrage de l'ammoniac par l'acide chlorhydrique dans des conditions analogues, conduit au tracé du graphe représenté ci-dessous.



- 2.4.1. Quelle est l'espèce majoritaire dans le bécher au début du titrage ?  
Même question à la fin du titrage.
- 2.4.2. En déduire l'équation de la réaction chimique support du titrage.
- 2.4.3. Citer un indicateur coloré à utiliser dans la méthode de Kjeldahl.  
Justifier.
- 2.5. L'eau résiduaire est-elle conforme aux normes européennes en ce qui concerne l'azote total Kjeldahl ?

*Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution.*



**EXERCICE III : AUTONOMIE ÉLECTRIQUE D'UNE MAISON PASSIVE (5 points)**

Les panneaux solaires constituent la seule source d'énergie renouvelable utilisable en milieu urbain ou périurbain. Dans le cas d'une maison passive, particulièrement peu énergivore, ils peuvent aller jusqu'à assurer l'autonomie énergétique de l'habitation.

**Question préalable :**

Évaluer la puissance de crête d'un panneau photovoltaïque de surface  $12 \text{ m}^2$  puis déterminer son rendement dans le cas où la puissance lumineuse reçue par unité de surface est de  $600 \text{ W/m}^2$ .

**Problème**

Une maison passive dont la surface de toiture est de  $100 \text{ m}^2$  est en construction à Brest. Ses besoins en énergie primaire totale, électroménager inclus, sont évalués à  $8400 \text{ kWh}$  par an.

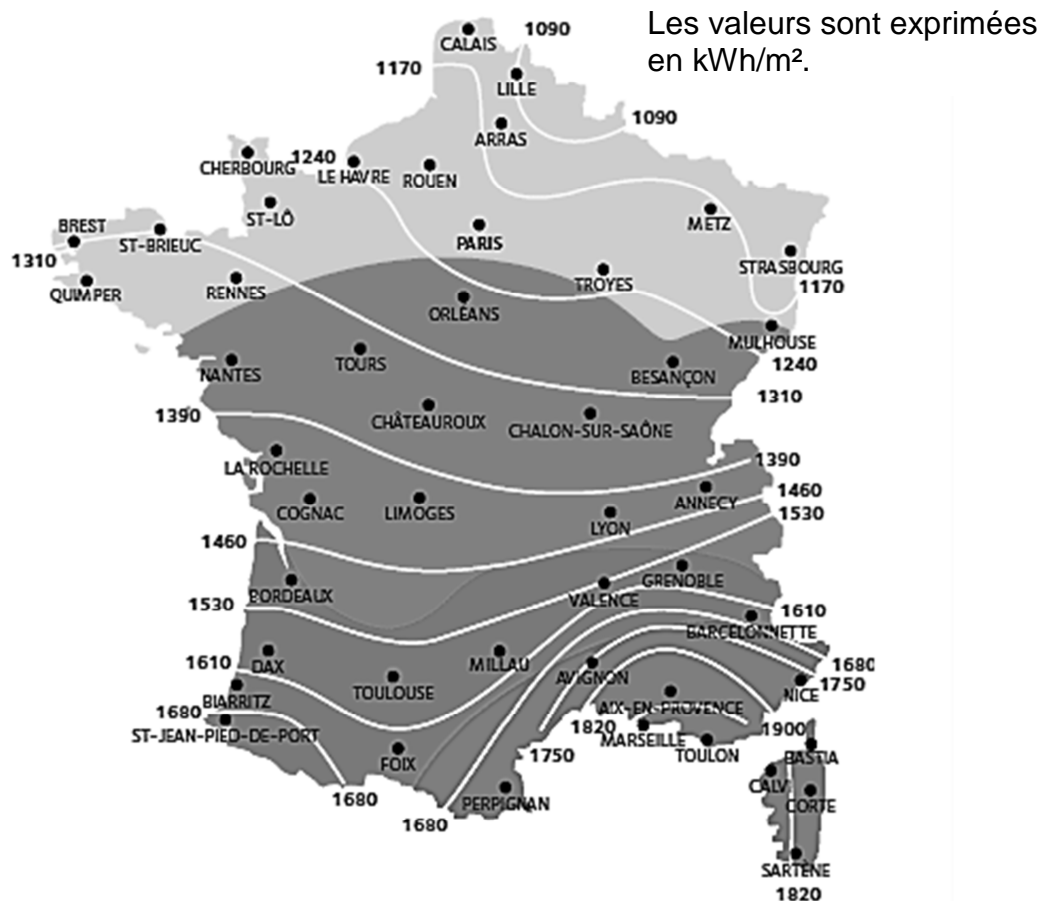
L'installation de panneaux photovoltaïques sur le toit permettrait-elle de couvrir les besoins en énergie de cette habitation ?

*L'analyse des données ainsi que la démarche suivie sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.*

*Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.*

## Ensoleillement annuel moyen en France

En France, l'ensoleillement annuel moyen sur une surface orientée au sud, selon une inclinaison égale à la latitude, représente 1390 kWh/m<sup>2</sup>.



D'après le site [www.xpair.com](http://www.xpair.com)

## Données météorologiques à Brest (valeurs moyennes annuelles)

Température minimale	Température maximale	Hauteur de précipitations	Nombre de jours avec précipitations	Durée d'ensoleillement
8,3°C	14,8°C	1210 mm	159 j	1530 h

D'après le site [www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com)

## Puissance et énergie

Puissance électrique  $P$ , exprimée en W :

$P = U \times I$  où  $U$  est la tension électrique (V) et  $I$ , l'intensité du courant (A).

Le kilowattheure est une unité d'énergie couramment utilisée. On a  $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ J}$ .

## Panneaux photovoltaïques

Un panneau solaire photovoltaïque est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques à base de silicium.

Pour alimenter le réseau en électricité, il faut y associer un onduleur qui convertit le courant continu en courant alternatif.

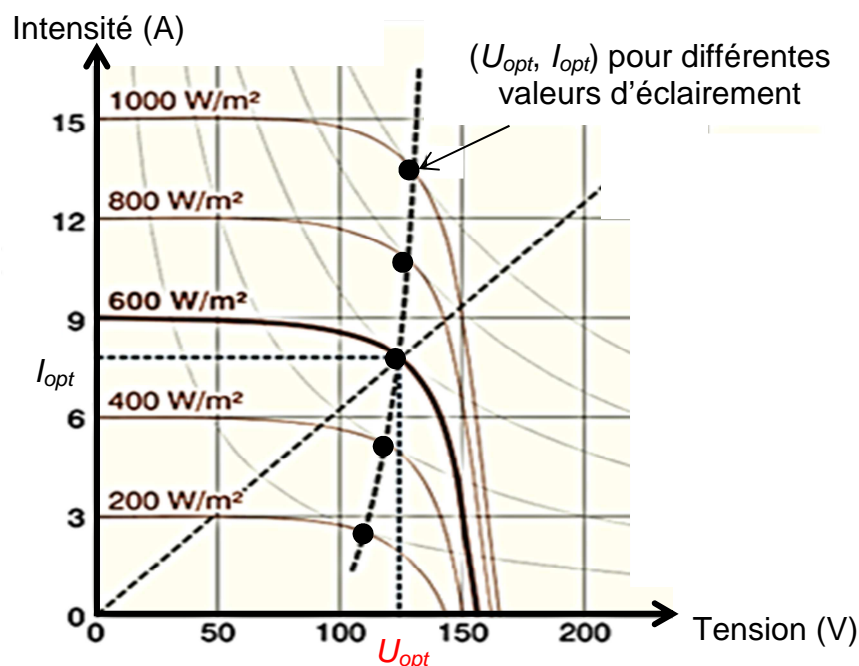
Deux grandeurs physiques sont définies pour comparer l'efficacité des panneaux :

- la puissance crête, puissance électrique maximale délivrée par le panneau dans ses conditions optimales de fonctionnement ;
- le rendement, rapport de la puissance crête sur la puissance lumineuse reçue par le panneau.

D'après les sites [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com) et [www.dictionnaire-environnement.com](http://www.dictionnaire-environnement.com)

## Caractéristique intensité-tension d'un panneau photovoltaïque d'une surface de $12 \text{ m}^2$

Le diagramme suivant permet de repérer, pour des valeurs de la puissance lumineuse reçue par unité de surface variant entre  $200$  et  $1000 \text{ W/m}^2$ , les valeurs  $I_{opt}$  et  $U_{opt}$  de l'intensité et de la tension dans les conditions optimales de fonctionnement du panneau photovoltaïque, correspondant à une puissance électrique délivrée maximale.



D'après le site [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)