






## Chapitre 2 : Le rayonnement solaire



<http://perramondphysique.e-monsite.com/>

Découvrir	<p>Les Ressources :</p> <p><u>Q1</u> : Le soleil, source d'énergie </p> <p><u>Q2</u> : Énergie solaire reçue par la Terre </p>								
S'entraîner	<p>Exercices :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex1</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex 5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex 2</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex 6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex3</td> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex 7</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="radio"/> Ex 4</td> <td></td> </tr> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">   </div> <p>Apprendre le cours et réviser avec : Quizlet                  Voir sur le site </p>	<input type="radio"/> Ex1	<input type="radio"/> Ex 5	<input type="radio"/> Ex 2	<input type="radio"/> Ex 6	<input type="radio"/> Ex3	<input type="radio"/> Ex 7	<input type="radio"/> Ex 4	
<input type="radio"/> Ex1	<input type="radio"/> Ex 5								
<input type="radio"/> Ex 2	<input type="radio"/> Ex 6								
<input type="radio"/> Ex3	<input type="radio"/> Ex 7								
<input type="radio"/> Ex 4									
S'auto-évaluer	<p>Les savoirs :</p> <div style="text-align: right;"><input checked="" type="checkbox"/></div> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ L'énergie dégagée par les réactions de fusion de l'hydrogène qui se produisent dans les étoiles les maintient à une température très élevée.</li> <li>○ Du fait de l'équivalence masse-énergie (relation d'Einstein), ces réactions s'accompagnent d'une diminution de la masse solaire au cours du temps.</li> <li>○ Comme tous les corps matériels, les étoiles et le Soleil émettent des ondes électromagnétiques et donc perdent de l'énergie par rayonnement.</li> <li>○ Le spectre du rayonnement émis par la surface (modélisé par un spectre de corps noir) dépend seulement de la température de surface de l'étoile.</li> <li>○ La longueur d'onde d'émission maximale est inversement proportionnelle à la température absolue de la surface de l'étoile (loi de Wien).</li> <li>○ La puissance émise par unité de surface est proportionnelle à la puissance quatrième de la température (loi de Stefan).</li> <li>○ La puissance radiative reçue du Soleil par une surface plane est proportionnelle à l'aire de la surface et dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.</li> <li>○ De ce fait, la puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend :                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- de l'heure (variation diurne) ;</li> <li>- du moment de l'année (variation saisonnière) ;</li> <li>- de la latitude (zonation climatique).</li> </ul> </li> </ul> <p>Les savoirs faire :</p> <div style="text-align: right;"><input checked="" type="checkbox"/></div> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Déterminer la masse solaire transformée chaque seconde en énergie à partir de la donnée de la puissance rayonnée par le Soleil.</li> <li>○ À partir d'une représentation graphique du spectre d'émission du corps noir à une température donnée, déterminer la longueur d'onde d'émission maximale.</li> <li>○ Appliquer la loi de Wien pour déterminer la température de surface d'une étoile à partir de la longueur d'onde d'émission maximale.</li> </ul>								

## Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

- |  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>○ Sur un schéma, identifier les configurations pour lesquelles la puissance reçue par une surface est maximale ou minimale.</li><li>○ Analyser, interpréter et représenter graphiquement des données de températures.</li><li>○ Calculer des moyennes temporelles de températures. Comparer des distributions temporelles de températures.</li><li>○ Étudier des effets liés à l'exposition des êtres humains au rayonnement solaire.</li></ul> |
|--|---|

## Chapitre 2 : Le rayonnement solaire



### I- Le soleil, siège de réactions de fusion nucléaire

Le Soleil est le siège de réactions de fusion nucléaire qui consomment deux noyaux d'hydrogène pour produire un noyau d'hélium.

Cette réaction s'accompagne de la libération d'une très grande quantité d'énergie. Elle permet au Soleil de conserver des températures très élevées.



**Exemple :** la température à la surface du Soleil est d'environ 5700 °C mais elle peut atteindre plusieurs millions de degrés au centre de l'Étoile.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, les physiciens Henri Poincaré et Albert Einstein établissent une équivalence entre la masse et l'énergie :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

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

$\Delta E$  : Énergie libérée (ou consommée) en Joule (J)

$\Delta m$  : masse consommée (ou libérée) en kg

$c$  : célérité de la lumière dans le vide en  $\text{m.s}^{-1}$

D'après la relation mathématique, on constate que l'énergie et la masse sont des grandeurs proportionnelles.

L'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire s'accompagne donc d'une diminution de la masse du Soleil au cours du temps.

**Exemple :** La fusion des noyaux d'hydrogène dans le Soleil produit une puissance rayonnée d'environ  $4.10^{26} \text{ W}$ . Cette puissance émise, s'accompagne donc toutes les secondes d'une diminution  $\Delta m$  de la masse du Soleil :

**Rappel :** La puissance correspond à la quantité d'énergie par unité de temps :

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

Remplaçons  $\Delta E$  par son expression :

$$\Delta m \cdot c^2 = P \cdot \Delta t$$

Donc

$$\Delta m = \frac{P \cdot \Delta t}{c^2}$$

$$P = 4.10^{26} \text{ W}$$

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

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

$$\Delta m = \frac{4.10^{26} \times 1}{(3.10^8)^2} \approx 4.10^9 \text{ kg}$$

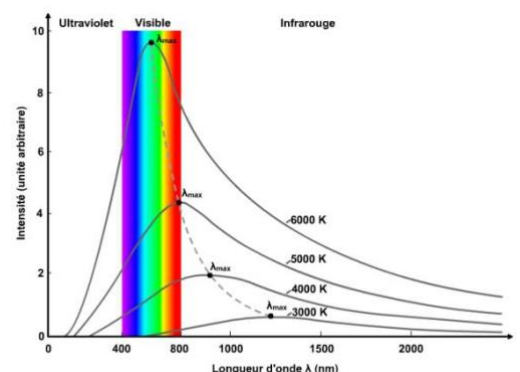
Ainsi, le Soleil perd une masse de 4 millions de tonnes par seconde.

### II- Le soleil, source d'ondes électromagnétiques

#### 1- Le modèle du corps noir

Le Soleil émet des rayonnements sur la totalité du spectre électromagnétique. Ces rayonnements sont étudiés à partir des spectres représentant l'énergie rayonnée par le Soleil en fonction de la longueur d'onde.

L'analyse de ces profils spectraux est réalisée dans le cadre du modèle du corps noir qui indique que l'allure des spectres ne dépend que de la température.



## Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

Dans le cadre du modèle du corps noir, le spectre du rayonnement émis par le Soleil dépend uniquement de la valeur de la température à sa surface.

### 2- Les propriétés du spectre du corps noir

#### a) La loi de Wien :

Tous les spectres présentent un maximum d'énergie rayonné pour une certaine valeur  $\lambda_{\max}$  de la longueur d'onde. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le physicien allemand Willem Wien montra la relation suivante :

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{Constante}$$

Où T est la température exprimée en Kelvin ( $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$ )

La valeur expérimentale de cette constante est de  $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$

Dans le cadre du modèle du corps noir, la température de la surface du Soleil est inversement proportionnelle à la longueur d'onde d'émission maximale  $\lambda_{\max}$  :

$$T = \frac{\text{Constante}}{\lambda_{\max}}$$

**Exemple :** La température de surface du Soleil est d'environ 6000 K. Déterminons sa longueur d'onde maximale  $\lambda_{\max}$  émise :

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{Constante}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\text{Constante}}{T}$$

T = 6000 K

Constante =  $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$

$$\lambda_{\max} = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3}}{6000} = 4,890 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$
$$= 489,0 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 489,0 \text{ nm}$$

Rappel :  $1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

La longueur d'onde maximale  $\lambda_{\max}$  émise par la surface du Soleil est d'environ 500 nm.

#### a) La loi de Stefan :

Dans le cadre du modèle du corps noir, La puissance émise par unité de surface est proportionnelle à la puissance quatrième de la température :

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$$

Où T est la température exprimée en Kelvin ( $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$ )

et P la puissance en  $\text{W.m}^{-2}$

**Exemple :** La température de surface du Soleil est d'environ 6000 K. Déterminons P sa puissance surfacique émise :

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$$

T = 6000 K

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 6000^4 = 7,35 \cdot 10^7 \text{ W.m}^{-2}$$

La puissance surfacique émise par la surface du Soleil est d'environ  $7,35 \cdot 10^7 \text{ W.m}^{-2}$ .

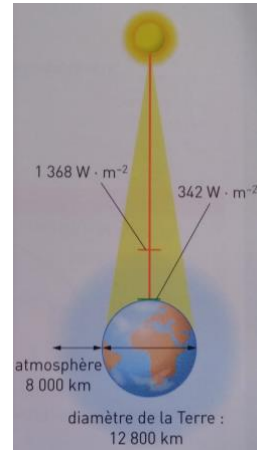
## 1- Répartition de l'énergie solaire sur la Terre

### 1- Constante solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre est évaluée par la constante solaire. La constante solaire est la puissance que reçoit une surface plane de la Terre perpendiculaire aux rayons du Soleil et de surface  $1 \text{ m}^2$ .

Elle s'exprime en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  et vaut  $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Pour une surface plane perpendiculaire aux rayons du Soleil, la puissance solaire reçue est proportionnelle à l'aire de la surface.



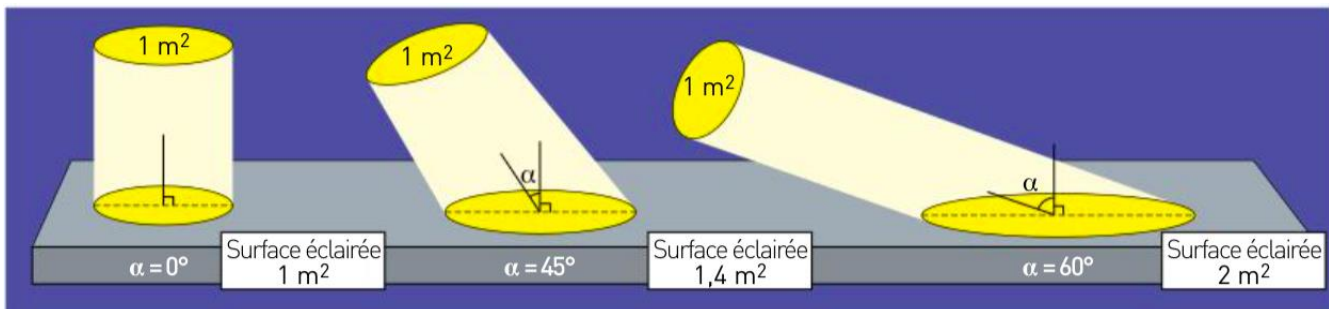
### 2- Mouvements de la Terre et inégale répartition de l'énergie

La Terre est animée de deux mouvements appelés révolution et rotation :

- La révolution correspond au déplacement de la Terre autour du Soleil. Ce mouvement se fait dans un plan appelé dans le plan écliptique.
- La rotation de la Terre sur elle-même se fait autour d'un axe qui joindrait les pôles Nord et Sud. Cet axe est incliné par rapport au plan de l'écliptique.

Ces deux mouvements modifient l'angle avec lequel le rayonnement solaire atteint la surface de la Terre et donc la quantité d'énergie qu'elle reçoit.

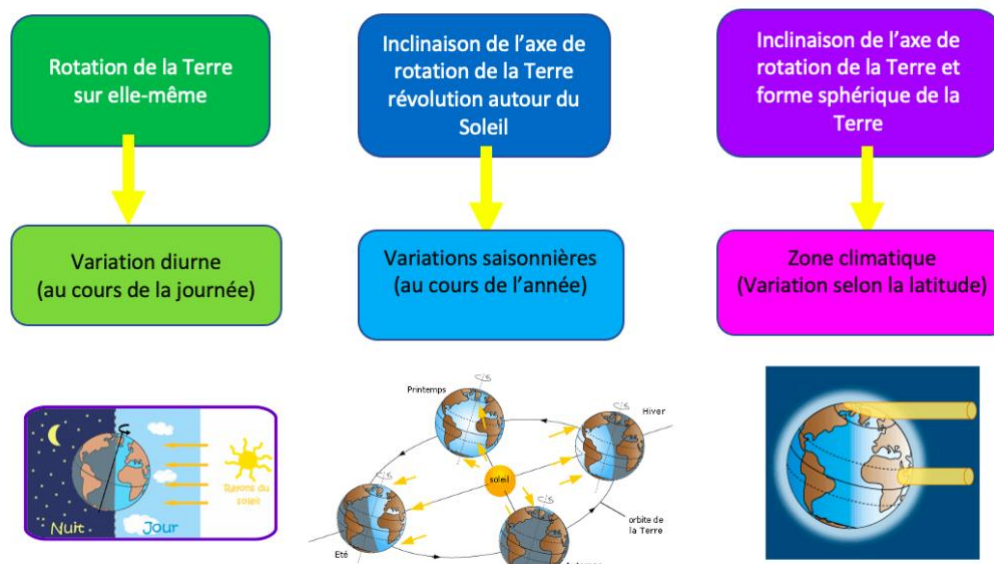
La puissance reçue du Soleil dépend de l'angle entre la normale de la surface et la direction du Soleil. Cette configuration explique les variations de températures, de saisons et de climat que l'on observe sur Terre.



### 3- Conséquences de l'inégale répartition de l'énergie

La puissance reçue du Soleil par unité de surface dépend du moment de la journée, du jour de l'année (saison) et de l'emplacement sur Terre (latitude).

Les différents phénomènes expliquent la variation de la puissance solaire reçue :



#### 4- Les conséquences sur les êtres humains

L'énergie solaire reçue sur terre a des effets variés sur les êtres humains, certains positifs et d'autres négatifs, qui imposent de se protéger.

Le rayonnement solaire favorise la production de vitamine D, qui est essentielle pour la santé. Il peut également avoir des effets bénéfiques sur l'humeur, en stimulant la production d'hormones.

D'autre part, une exposition excessive au soleil peut endommager la peau et augmenter le risque de cancer, tandis qu'une exposition prolongée peut entraîner une déshydratation par exemple.

## Activités et Exercices :

### Activité documentaire en puzzle : Les conséquences du rayonnement solaire sur la santé humaine.

Dossier à télécharger.

#### TEMPS 1 : DECOUVERTE

Former les groupes proposés.

Chaque groupe aura un dossier attribué à étudier.

Prendre connaissance des documents, discuter ensemble et travailler les pistes de réflexion proposées. Chacun doit prendre des notes et se rendre « expert » du dossier car il sera ensuite seul pour en parler.

#### TEMPS 2 : PRESENTATION

Reformer des équipes de 4 avec un membre « expert » de chaque dossier. Chaque expert présente aux autres son dossier.

#### TEMPS 3 : PRODUCTION FINALE

Réaliser ensuite une affiche avec Canva mettant en évidence les dangers et les bienfaits du Soleil pour la santé humaine. Penser à relier les différentes informations relevées dans chaque dossier et à réinvestir les informations issues du chapitre pour apporter des explications.

### Exercice 1 :

1- Le domaine spectral du visible est :

- de 150 nm à 380 nm
- de 400 nm à 800 nm
- de 750 nm à 900 nm

2- Pour passer de nm (nanomètre) à m (mètre), il faut multiplier par :

- $10^9$
- $10^{-6}$
- $10^{-9}$

3- D'après la loi de Wien, lorsque la température de surface d'une étoile augmente, sa longueur d'onde maximale d'émission lumineuse :

- augmente
- diminue
- reste la même

4- La relation entre la puissance et l'énergie s'écrit :



5- Au cours de leur évolution, les étoiles :

- libèrent de l'énergie par rayonnement
- gagnent de l'énergie par rayonnement
- ont une énergie qui ne varie pas

## Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

6- Dans le cœur des étoiles, les réactions qui libèrent de l'énergie sont des :

- réactions de fission nucléaire
- réactions de fusion nucléaire
- réactions chimiques

7- La relation d'Einstein s'écrit :

- $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$
- $\Delta E = \Delta m^2 \cdot c$
- $\Delta E = \Delta m \cdot c$

8- Sous l'effet de son rayonnement électromagnétique, la masse du Soleil :

- augmente
- diminue
- ne varie pas

9- Une exposition importante au Soleil est dangereuse pour l'être humain car elle augmente les risques de:

- synthétiser de la vitamine D.
- lésions de l'ADN par les rayons ultraviolets.
- lésions de l'ADN par les rayons infrarouges.

10- D'après la loi de Stefan-Boltzmann, plus la température de surface est élevée plus:

- la puissance surfacique émise est élevée.
- l'énergie reçue par le corps noir est élevée.
- la longueur d'onde du maximum d'émission est élevée.

### Exercice 2 :

- 1- Calculer  $T$  en  $^{\circ}\text{C}$  lorsque  $\lambda_{\text{max}} = 680 \text{ nm}$ .
- 2- Calculer  $\lambda_{\text{max}}$  en  $\text{nm}$  lorsque  $T = 8000 \text{ K}$ .



#### DONNÉES

1. Loi de Wien:

$$T = \frac{\alpha}{\lambda_m} \text{ avec } \alpha = 2,90 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}.$$

2. Relation entre température absolue  $T$  et température  $\theta$ :

$$T (\text{K}) = \theta (^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

### Exercice 3 :

- 1- La Terre a une température de surface de  $288 \text{ K}$ . Calculer la puissance surfacique émise par la Terre.
- 2- Mars a une température de surface de  $-63 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Calculer la puissance surfacique émise par Mars.
- 3- Rigel est une supergéante bleue 40 000 fois plus lumineuse que le Soleil. Elle émet une puissance surfacique  $P_s = 5,7 \cdot 10^8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Calculer la température de cette étoile.

### Exercice 4 :

Proxima du Centaure est l'étoile la plus proche du système solaire. Cette étoile, beaucoup plus petite et plus froide que notre soleil, rayonne une puissance d'environ  $6,910^{23} \text{ W}$ .

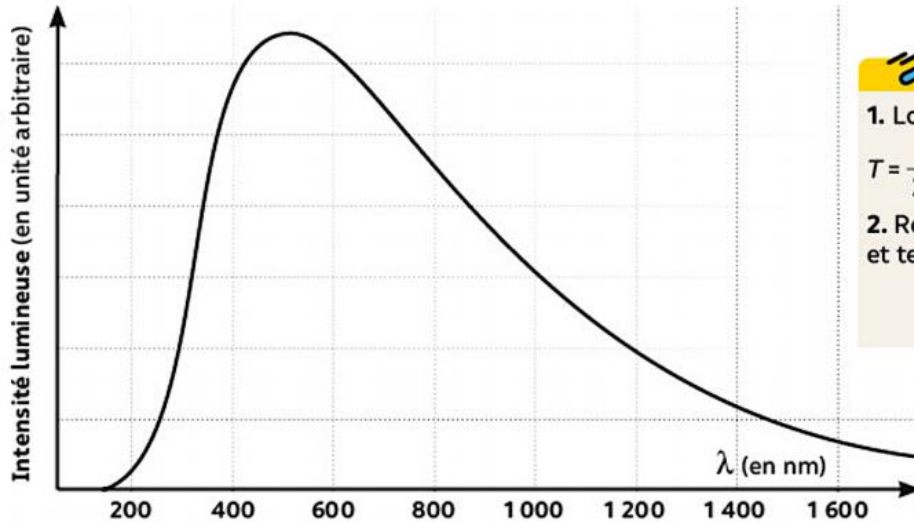
- 1- Calculer l'énergie rayonnée chaque seconde par Proxima du Centaur (en joules).
- 2- A l'aide de la relation d'Einstein, calculer la masse équivalente perdue chaque seconde par Proxima du Centaur.

### Exercice 5 :



## Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

Certains satellites, équipés de spectromètres, ont permis d'obtenir le spectre du rayonnement émis par le Soleil. La représentation graphique ci-dessous correspond à l'intensité lumineuse en fonction de la longueur d'onde du rayonnement :



### DONNÉES

1. Loi de Wien :

$$T = \frac{\alpha}{\lambda_m} \text{ avec } \alpha = 2,90 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}.$$

2. Relation entre température absolue  $T$  et température  $\theta$  :

$$T (\text{K}) = \theta (^\circ\text{C}) + 273,15$$

Déterminer la température de surface du Soleil en degrés Celsius en expliquant votre démarche

### Exercice 5 :

Le Soleil, principalement constitué d'hydrogène, a une masse de  $2 \cdot 10^{30}$  kg. On estime qu'une fraction de 10 % de cette masse, située au cœur du Soleil, peut subir la fusion nucléaire qui transforme l'hydrogène en hélium. Ainsi, chaque seconde, 596 millions de tonnes de noyaux d'hélium sont formés dans le cœur du Soleil. La puissance rayonnée par le Soleil est  $P = 3,84 \cdot 10^{26}$  W.

- 1- Rappeler la relation qui lie la puissance  $P$  à l'énergie  $E$  rayonnée par le Soleil pendant la durée  $\Delta t$ .
- 2- En déduire la valeur de l'énergie rayonnée par le Soleil en une seconde.

On souhaite calculer la masse que perd le soleil chaque seconde :

- 3- Rappeler la relation d'Einstein liant l'énergie rayonnée  $E$  par le Soleil à la variation de masse  $\Delta m$  du Soleil.
- 4- Calculer la variation de masse  $\Delta m$  du Soleil en une seconde. Rappel :  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.
- 5- Calculer la masse d'hydrogène transformée chaque seconde en hélium dans le Soleil.
- 6- En supposant que le Soleil « s'éteindra » lorsque tout l'hydrogène situé en son cœur aura été consommé dans les réactions de fusion nucléaires, donner une estimation de la durée de vie du Soleil.

### Exercice 7 :

La puissance solaire reçue par unité de surface terrestre dépend de l'heure, du moment de l'année, de la latitude.

Présenter les caractéristiques du globe terrestre permettant d'expliquer les variations de la puissance solaire reçue par unité de surface et ses conséquences.

Votre réponse sera présentée sous la forme d'un tableau consignait les caractéristiques du globe et ses conséquences sur la répartition de l'énergie solaire à la surface de la terre.

### Exercice 8 :

D'après le site :

<https://www.annuaire-mairie.fr/ensoleillement-bollene.html>

Voici les Données mensuelles d'ensoleillement à Bollène :

	Radiation	Inclinaison	Température moyenne
Janvier	3,10 kW/m <sup>2</sup>	66°	6.4°C

## Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

	Radiation	Inclinaison	Température moyenne
<b>Février</b>	4,50 kW /m <sup>2</sup>	59°	6.5°C
<b>Mars</b>	5,86 kW /m <sup>2</sup>	47°	9.8°C
<b>Avril</b>	5,99 kW /m <sup>2</sup>	32°	12.8°C
<b>Mai</b>	6,39 kW /m <sup>2</sup>	19°	16.6°C
<b>Juin</b>	6,83 kW /m <sup>2</sup>	11°	20.1°C
<b>Juillet</b>	7,12 kW /m <sup>2</sup>	14°	22.3°C
<b>Août</b>	6,81 kWh/m <sup>2</sup>	26°	22.1°C
<b>Septembre</b>	6,21 kWh/m <sup>2</sup>	42°	18.5°C
<b>Octobre</b>	4,62 kWh/m <sup>2</sup>	54°	15.5°C
<b>Novembre</b>	3,23 kWh/m <sup>2</sup>	63°	10.9°C
<b>Décembre</b>	2,76 kWh/m <sup>2</sup>	68°	7.6°C

- 1- Calculer la température moyenne annuelle à Bollène.
- 2- Représenter les données de la température en utilisant un diagramme barre.
- 3- Quelle grandeur est donnée dans la colonne « Radiation » ?
- 4- Quelle relation y a-t-il entre les valeurs de « radiations » et de températures ?