



## Exercices de la séquence n°6

**Produire des ondes électromagnétiques**

## Ondes électromagnétiques, rayonnement thermique et photons

**EXERCICE 1 : Vrai ou Faux ?**

Pour chacune des affirmations suivantes : indiquer si elle est vraie ou fausse et, dans ce dernier cas, la corriger.

1. Les ondes utilisées en radiophonie ont des longueurs d'ondes très petites.
2. L'énergie d'un photon de fréquence  $f$  a pour expression  $E = h \times f$ .
3. L'énergie d'un photon augmente avec la longueur d'onde.
4. La longueur d'onde dans le vide d'un photon d'énergie  $E = 9,9 \times 10^{-19}$  J est  $\lambda = 2,0 \times 10^{-7}$  m.
5. L'énergie d'un photon de fréquence  $f = 2,5 \times 10^{19}$  Hz est  $E = 3,0 \times 10^5$  eV.
6. La longueur d'onde  $\lambda = 400$  nm correspond à la couleur rouge.
7. Les ondes radio se propagent moins vite dans le vide que les rayons  $\gamma$  (gamma).
8. La fréquence des rayonnements IR est plus grande que celle des rayons X.

**EXERCICE 2 : quelques ondes électromagnétiques**

**Complétez** le tableau ci-dessous en précisant le domaine d'utilisation : radiodiffusion ; chauffage par IR ; lampes UV ; visible ; radioscopie par rayons X ; radiothérapie par rayons gamma.

$\lambda$ (m)	$f$ (Hz)	Domaine d'utilisation
$6 \times 10^{-7}$		
	$3 \times 10^{22}$	
	$1 \times 10^{14}$	
$1 \times 10^{-10}$		

**EXERCICE 3 : à propos de la seconde**

La seconde est l'une des sept unités de base du Système International (SI). Au XIXe siècle, elle a été définie par rapport à la rotation de la Terre sur elle-même. Quelques décennies plus tard, cette définition n'était plus assez précise.

Depuis 1967, la seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux d'énergie de l'atome de césium 133. Il en résulte que la fréquence de cette radiation est :

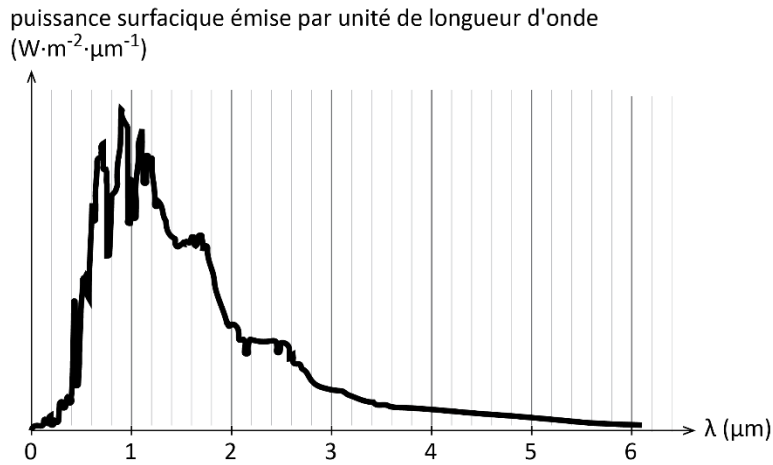
$$f = 9,192\,631\,770 \text{ GHz}$$

1. Calculer la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation de fréquence  $f$  correspondant à la transition entre ces deux niveaux d'énergie du césium 133.
2. Dans quel domaine du spectre des ondes électromagnétiques cette radiation se situe-t-elle ?
3. Calculer l'énergie du photon associé à cette radiation.



### EXERCICE 4 : la température de Proxima du Centaure

Proxima du Centaure est l'étoile la plus proche du Soleil bien qu'elle en soit éloignée de plus de 40 000 milliards de kilomètres ! De par sa couleur et sa température, Proxima du Centaure fait partie des étoiles dites de type M. Son spectre d'émission est le suivant :



- On donne la loi de Wien, reliant la température de surface d'un corps et la longueur d'onde de son maximum d'absorption :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

Exploiter cette loi et le document 1 pour calculer la température à la surface de Proxima du Centaure.

- Proxima du Centaure satisfait le modèle du corps noir. La loi de Stefan-Boltzmann s'écrit alors :

$$\mathcal{P} = S\sigma T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

$S$  étant l'aire de la surface extérieure de l'étoile. En déduire la puissance surfacique rayonnée par Proxima du Centaure.

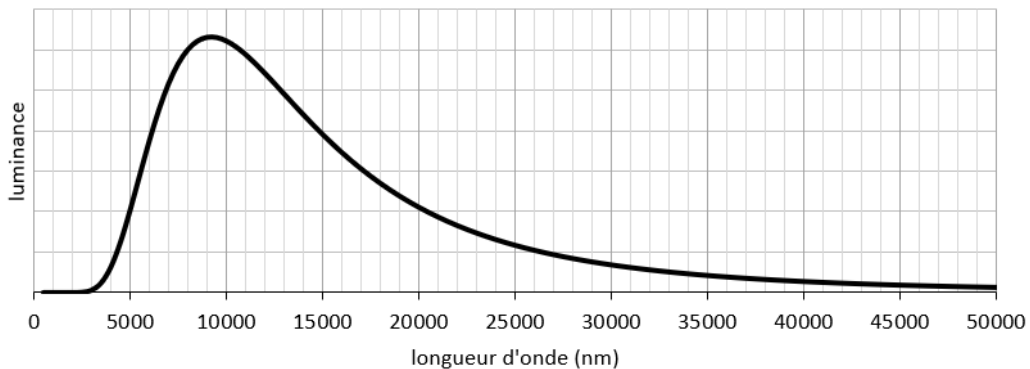
**Donnée :** la puissance surfacique est le quotient  $p_s = \mathcal{P}/S$

### EXERCICE 5 : rayonnement par le corps humain

Dans cet exercice, on modélise le corps humain comme un corps noir de température homogène  $T$ .

- Rappeler la valeur de la température du corps humain et exprimer sa valeur  $T$  en kelvin.
- À l'aide de la loi de Wien, calculer la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission par le corps humain. À quel domaine des ondes électromagnétiques correspond cette longueur d'onde ?
- Vérifier le résultat précédent à l'aide du spectre d'émission donné ci-dessous.

Spectre d'émission d'un corps noir de température 315 K





## EXERCICE 6 : les braises du barbecue

Le charbon de bois utilisé dans les barbecues satisfait le modèle du corps noir avec une bonne approximation. À la température ambiante, le maximum d'émission se situe dans l'infrarouge.

1. Quelle température doit-il atteindre pour que la longueur d'onde de son maximum d'émission corresponde au rouge ( $\lambda = 800 \text{ nm}$ ) ?
2. Pourquoi, lorsque les braises se mettent à briller, les voit-on de couleur orangée et non pas rouge ?

## EXERCICE 7 : l'univers du térahertz (extrait du bac S, session 2017)

Chacun connaît les rayons X, mais il existe aussi des rayons T.

Découverts depuis plus d'un siècle, les rayonnements térahertz ou rayons T sont restés longtemps une portion inexplorée du spectre électromagnétique. Il était en effet difficile de les détecter et de les produire.

Grâce aux avancées récentes de la technologie, ils connaissent aujourd'hui un engouement certain dans le domaine de l'imagerie médicale, la sécurité, la télécommunication à très haut débit, etc.

**Données :**

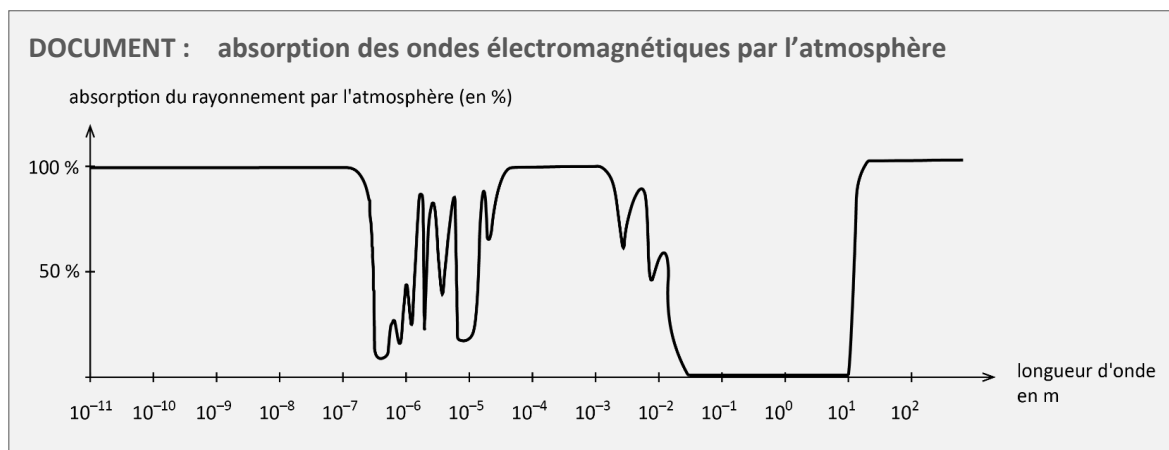
- Les fréquences des rayons térahertz sont comprises entre 0,1 THz et 30 THz.
- $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$

### 1<sup>ère</sup> partie : térahertz et scanner

1. Calculer l'énergie en eV :
  - d'un photon associé à un rayonnement X de fréquence égale à  $1,0 \times 10^{17} \text{ Hz}$  ;
  - d'un photon associé à un rayonnement T de fréquence égale à 1,5 THz.
2. Comparer l'impact sur les organismes vivants d'un scanner à rayons X et d'un scanner à rayons T. Justifier la réponse.

### 2<sup>nde</sup> partie : térahertz et étude de l'Univers

D'après les modèles construits par les chercheurs en astrophysique, la naissance de l'Univers s'est accompagnée de l'émission d'un intense rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement nous parvient, atténué, après avoir cheminé des milliards d'années dans l'espace. Provenant de toutes les directions de l'Univers, ce « rayonnement fossile » apparaît homogène et se comporte comme le rayonnement d'un corps noir à la température de 3 kelvins.



3. Montrer que le « rayonnement fossile » peut être considéré comme un rayonnement térahertz.
4. Le rayonnement fossile peut-il être directement étudié avec des instruments au sol ou nécessite-t-il l'utilisation d'un satellite ? Justifier votre réponse.



# Grandeurs énergétiques et photométriques



## EXERCICE 8 : puissance, flux et éclairement énergétiques

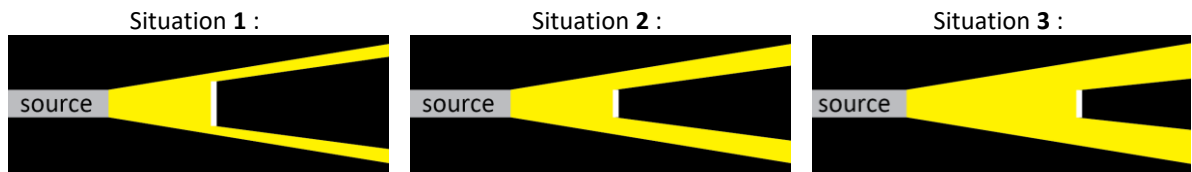
### 1. Flux et puissance : une distinction pas toujours utile

Une source de lumière émet un faisceau conique. Un capteur plan intercepte ce faisceau. On place ce capteur de trois manières différentes et on cherche, dans chaque situation, à comparer la puissance rayonnée  $\mathcal{P}$  et le flux énergétique  $\phi_{\text{en}}$  reçu par le capteur. Cocher les cases correspondant à des affirmations justes.

Situations		$\phi_{\text{en}} < \mathcal{P}$	$\phi_{\text{en}} = \mathcal{P}$	$\phi_{\text{en}} > \mathcal{P}$
Situation 1 :				
Situation 2 :				
Situation 3 :				

### 2. Flux et éclaircements énergétiques : cas d'une source classique

On envisage les trois situations suivantes :



Les flux énergétiques reçus dans ces trois situations sont notés  $\phi_{\text{en}1}$ ,  $\phi_{\text{en}2}$  et  $\phi_{\text{en}3}$ .

Les éclaircements énergétiques sont notés  $E_{\text{en}1}$ ,  $E_{\text{en}2}$  et  $E_{\text{en}3}$ .

Compléter les expressions suivantes avec les symboles « < », « = » ou « > » :

$$\begin{aligned} \phi_{\text{en}1} &\dots\dots \phi_{\text{en}2} \dots\dots \phi_{\text{en}3} \\ E_{\text{en}1} &\dots\dots E_{\text{en}2} \dots\dots E_{\text{en}3} \end{aligned}$$

### 3. Flux et éclaircements énergétiques : cas d'une source laser

On modélise un faisceau laser comme un faisceau cylindrique : tous les rayons de lumière émis sont parallèles entre eux (il s'agit d'une approximation).

Dans les trois situations suivantes, les flux et éclaircements énergétiques sont notés comme dans la partie précédente :



Compléter les expressions suivantes avec les symboles « < », « = » ou « > » :

$$\begin{aligned} \phi_{\text{en}1} &\dots\dots \phi_{\text{en}2} \dots\dots \phi_{\text{en}3} \\ E_{\text{en}1} &\dots\dots E_{\text{en}2} \dots\dots E_{\text{en}3} \end{aligned}$$



## EXERCICE 9 : panneaux solaires

On trouve cette information sur le site internet de la mairie de Lyon : « ensoleillement moyen annuel : 4,23 kWh par m<sup>2</sup> et par jour. ».

1. À quelle grandeur physique correspond la notion d'ensoleillement ?
2. On dispose de panneaux photovoltaïques de rendement  $\eta = 15\%$ . Quelle superficie doit avoir un panneau solaire pour produire 10 kWh par jour en moyenne (soit environ un quart de la consommation moyenne d'un foyer français) ?

## EXERCICE 10 : étude du faisceau laser pour usinage (extrait BTS)

Un « laser à CO<sub>2</sub> » possède les caractéristiques suivantes :

- diamètre du faisceau cylindrique émis :  $d = 4 \text{ mm}$  ;
- longueur d'onde  $\lambda = 10,6 \text{ }\mu\text{m}$  dans le vide ;
- puissance rayonnée  $\mathcal{P}_{\text{ray}} = 60 \text{ W}$ .

Il est utilisé pour percer une plaque d'acier. Avant de frapper la plaque métallique, le faisceau traverse un système optique de concentration (système afocal) qui diminue sa section.

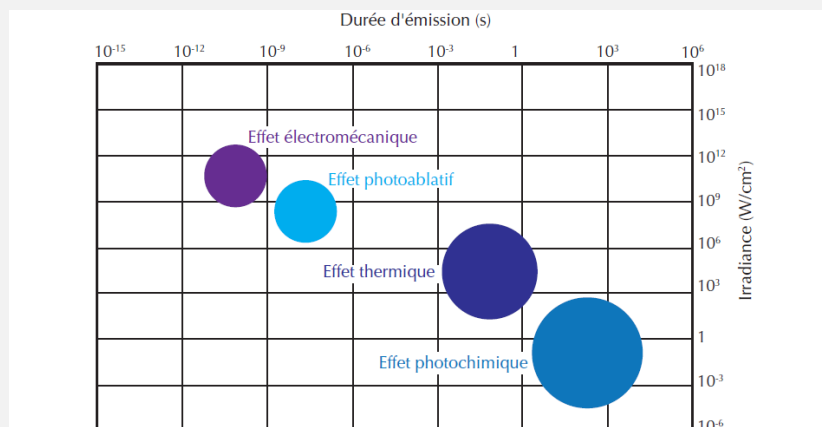
1. Calculer la fréquence du rayonnement émis par le laser.
2. Déterminer l'éclairement énergétique  $E_{\text{én}}$  de ce faisceau, donner le résultat en  $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ .
3. Le laser consomme une puissance électrique  $\mathcal{P}_{\text{elec}} = 1 \text{ kW}$ . Calculer son rendement.

## EXERCICE 11 : photon et laser

Un laser utilisé en chirurgie émet un rayonnement monochromatique, de longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 810 \text{ nm}$ . La puissance du faisceau émis vaut 10 W, son diamètre vaut 1 mm et la durée de tir est réglable de 0,01 s à 10 s.

### DOCUMENT : laser et conséquences médicales

Le diagramme ci-dessous résume les différents effets obtenus avec les lasers sur les tissus biologiques, en fonction de la durée d'émission du laser et de l'irradiance (*S. Mordon, 2010*)

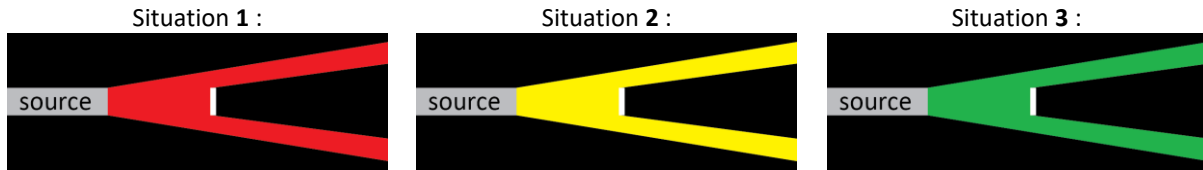


**Donnée** : le mot « irradiance » est synonyme de « éclairement énergétique ».

1. Déterminer l'irradiance  $\mathcal{J}$  en  $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$  de ce laser.
2. En déduire son effet sur les tissus biologiques.
3. Quelle est la fréquence de la radiation émise par le laser, à quel domaine des ondes électromagnétiques appartient-elle ?
4. Déterminer le flux lumineux reçu par les tissus. Ce résultat est-il en accord avec la réponse précédente ?
5. Quelle est l'énergie d'un photon de cette radiation ? Exprimer le résultat en joules puis en eV.

## EXERCICE 12 : éclairements énergétique et lumineux

On envisage les trois situations suivantes, dans lesquelles les sources utilisées émettent un faisceau de même puissance :



Les éclairements énergétiques sont notés  $E_{en1}$ ,  $E_{en2}$  et  $E_{en3}$  et les éclairements lumineux  $E_{lum1}$ ,  $E_{lum2}$  et  $E_{lum3}$

Compléter les expressions suivantes avec les symboles « < », « = » ou « > » :

$$E_{en1} \dots\dots E_{en2} \dots\dots E_{en3}$$

$$E_{lum1} \dots\dots E_{lum2} \dots\dots E_{lum3}$$

## EXERCICE 13 : choix des LED pour une guirlande de Noël

Une guirlande de Noël est équipée de deux sortes de LED : des LED rouges émettant un rayonnement de longueur d'onde 650 nm et des LED vertes émettant un rayonnement de longueur d'onde 532 nm.

Les LED rouges portent la mention : « 1,5 W = 100 lumen ».

- Vérifier par un calcul que la mention « 1,5 W = 100 lumen » est à peu près juste... et écrire une phrase scientifiquement correcte pour donner cette information sans ce signe « = » scientifiquement peu rigoureux.
- On veut que les deux couleurs, dans la guirlande, aient le même éclat. Les LED rouges doivent-elles respecter 1,5 W, 100 lumen ou les deux à la fois ?
- Calculer la grandeur encore inconnue concernant les LED vertes, assurant qu'elles auront le même éclat que les rouges.

## EXERCICE 14 : choix d'une lampe pour éclairer un local

Un local, dans une entreprise, est éclairé par une lampe unique 10 h par jour et 5 jours sur 7. Il faut que le point le plus éloigné de la source ait un éclairage d'au moins 50 lux.

La lampe est au plafond et le point le plus éloigné se trouve à 4 m de la lampe. On suppose que le rayonnement émis est hémisphérique. Le choix de la lampe se fait parmi celles mentionnées dans ce tableau :

BULB \ BRIGHTNESS	450 lumens	800 lumens	1100 lumens	1600 lumens	2600 lumens	5800 lumens
LED	6W	9-10W	13W	16-18W	24W special high voltage lamps	45W
CFL	8-9W	13-14W	18-19W	23W	40W	85W
Regular Incandescent	40W	60W	75W	100W	150W	300W
Halogen	29W	43W	53W	72W	150W	300W

- Identifier, parmi celles proposées dans le tableau ci-dessus, les quatre modèles de lampe qui conviennent pour l'éclairage de ce local.  
Donnée : aire d'une sphère de rayon  $R$  :  $S = 4\pi R^2$
- En admettant que les indications en W correspondent à des puissances électriques consommées, estimer le coût annuel de l'éclairage de ce local pour les quatre modèles de lampe choisis.  
Donnée : tarif EDF pour les professionnels : 0,1464 € / kWh.