EXERCICE III : DES ALTERNATIVES AUX LAMPES À INCANDESCENCE (5 points)



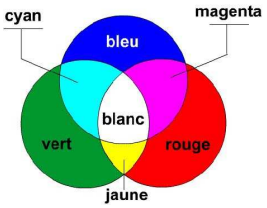
20% de la consommation d'énergie électrique mondiale sont consacrés à l'éclairage. Ainsi, depuis 2012, l'Union Européenne réglemente la vente des lampes à incandescence.
L'objectif de cet exercice est de justifier cette réglementation et d'étudier des alternatives possibles aux lampes à incandescence.

Données :

- constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J.s ;
- 1 eV = $1{,}602\times10^{-19}$ J ;
- La valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est supposée connue par le candidat ;
- correspondance entre longueurs d'onde et couleurs

Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
400-446 nm	446-500 nm	500-578 nm	578-592 nm	592-620 nm	620-750 nm

- Synthèse additive des couleurs



Lampes à incandescence

Dans une lampe à incandescence, le passage d'un courant électrique échauffe un filament à une température de l'ordre de 3000 K. Ce filament émet alors un rayonnement électromagnétique continu appelé rayonnement thermique (figure 1).

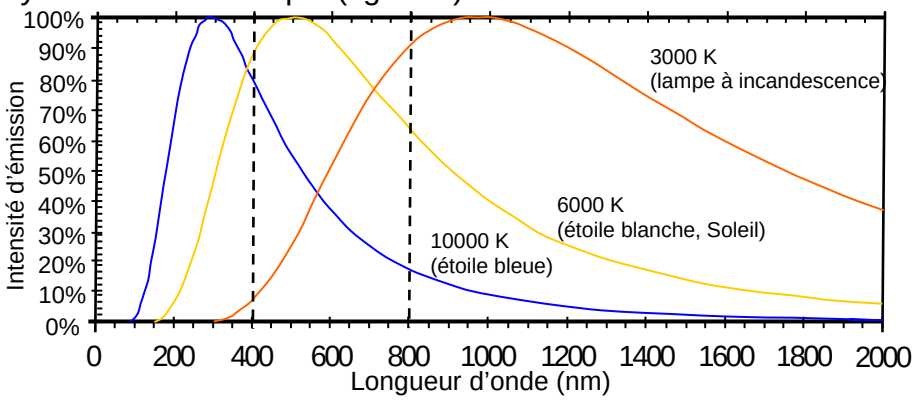


Figure 1. Spectre d'émission d'un corps chauffé pour différentes températures.

D'après : www.astrosurf.com

Diodes électroluminescentes (DEL)

Une DEL est un composant électronique constitué à partir de semi-conducteurs. Elle émet une lumière quasi monochromatique lorsqu'elle est traversée par un courant électrique. L'énergie des photons émis est déterminée par la nature du matériau semi-conducteur qui la constitue ; des exemples sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Semi-conducteur	GaSb	GaAs	AlGaAs	GaP	InGaN
Énergie des photons émis (eV)	0,68	1,43	1,77	2,25	2,67

Efficacité lumineuse

L'efficacité lumineuse d'une source est le rapport entre la puissance lumineuse reçue par l'œil, exprimée en lumen (lm), et la puissance électrique consommée par la source qui s'exprime en watt.

Sources commercialisées	Efficacité lumineuse typique
Lampe à incandescence	10 $lm.W^{-1}$
Lampe blanche à « DEL avec luminophore » ou à « DEL multiples »	150 $lm.W^{-1}$

Lampes blanches à DEL multiples ou à DEL avec luminophore

Deux techniques sont utilisées pour obtenir une lampe blanche à partir de diodes électroluminescentes.

Une première consiste à associer des DEL de couleurs différentes.

Une deuxième consiste à recouvrir une DEL d'un luminophore. Dans ce cas, une partie des photons émis par la DEL excite les molécules du luminophore. Lors de leur désexcitation, ces molécules émettent alors de la lumière dans une large gamme de longueurs d'onde. Le YAG (Grenat d'Yttrium et d'Aluminium) peut être employé comme luminophore (figure 2).

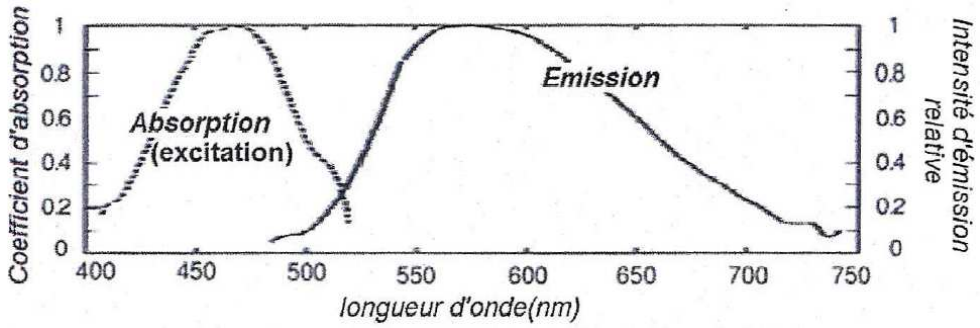


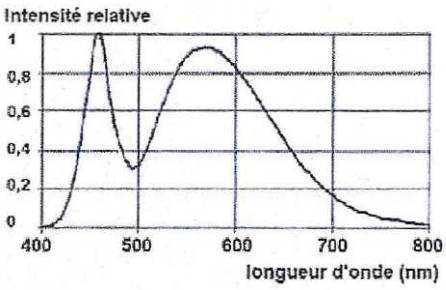
Figure 2. Spectre d'absorption et d'émission du YAG.

D'après Mirhosseini and al, OSApublishing

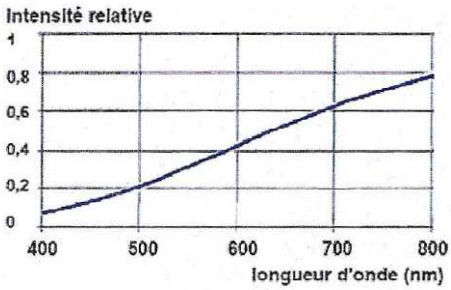
Questions préliminaires

1. Calculer la puissance électrique nécessaire à une lampe blanche à DEL avec luminophore pour fournir la même puissance lumineuse qu'une lampe à incandescence d'une puissance électrique de 60 W. Montrer que le pourcentage d'économie réalisée est de l'ordre de 93 %.

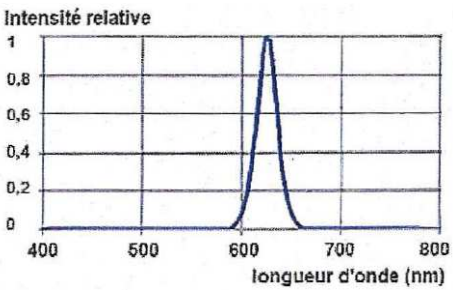
2. Associer chacun des spectres d'émission suivants à celui d'une lampe à incandescence dont le filament a une température de l'ordre de 3000 K, à celui d'une DEL ou à celui d'une lampe blanche à DEL bleue avec luminophore. Justifier.



Spectre 1



Spectre 2



Spectre 3

Problème

On souhaite remplacer une lampe à incandescence destinée à l'éclairage domestique en utilisant au moins deux constituants parmi les suivants :

- le YAG ;
- une ou plusieurs DEL décrites précédemment.

Il existe deux solutions de remplacement utilisant deux techniques différentes. Indiquer les constituants à utiliser pour fabriquer chacune des deux lampes. Justifier par des calculs numériques le choix des semi-conducteurs à employer.

Toutes les initiatives du candidat seront valorisées. La démarche suivie nécessite d'être correctement présentée. Les calculs numériques seront menés à leur terme avec rigueur.