

UNE LED BLANCHE

Doc 1 :

Une des manières de créer des diodes électroluminescentes (DEL ou LED en anglais) blanches consiste à utiliser un matériau phosphorescent pour convertir, en partie, la lumière (quasi-)monochromatique d'une LED bleue (ou UV) en lumière blanche à large spectre, à la manière d'une lampe fluorescente. http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode

Doc 2 :

Sous l'effet d'une excitation lumineuse, un matériau peut absorber de l'énergie conduisant à la promotion d'un électron d'un état fondamental vers un état excité. Le retour à l'état fondamental s'effectue soit via un échauffement local du matériau (transfert non radiatif), soit via l'émission de photons sous forme de radiations lumineuses (transfert radiatif).

<http://www.cnrs-imm.fr/index.php/fr/themes-de-recherche-miops/materiaux-pour-loptique/56-materiaux-phosphorescents-et-les-diodes-blanches>

Doc 3 :

Différences entre « fluorescence » et « phosphorescence »

Une espèce fluorescence ou phosphorescente possède la propriété d'absorber de l'énergie lumineuse (lumière d'excitation) et de la restituer, en partie, sous forme de lumière visible. Une fois l'énergie du photon absorbée, l'espèce chimique se trouve alors dans un état électroniquement excité. Le retour à l'état fondamental se traduit par une suite de pertes d'énergie par les électrons qui ont été excités et qui retournent à des niveaux d'énergie plus bas, avec généralement un transfert d'énergie non radiatif suivi d'un transfert d'énergie radiatif.

La fluorescence est caractérisée par l'émission d'un photon de manière très rapide. Cette rapidité s'explique par le fait que l'émission respecte une des règles de sélection de l'émission de photons de la mécanique quantique.

On nomme phosphorescence le phénomène observé lorsqu'une matière continue à émettre de la lumière après avoir cessé d'être éclairée. Le fait que, pour la phosphorescence, cela se passe lentement, relève aussi du domaine de la mécanique quantique : le retour des électrons à leur état habituel concerne un passage « normalement » interdit.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphorescence>

Doc 4 :

Le principe de certaines LEDs blanches est simple : il s'agit d'exciter à l'aide d'une radiation « bleue », un phosphore qui (par phosphorescence) va ensuite produire une émission sous forme de radiations lumineuses. Seule une partie de l'émission bleue est absorbée par le phosphore de telle sorte que se superposent les 2 émissions en sortie de la LED blanche, donnant l'impression d'une lumière blanche.

<http://www.led-fr.net/leds-blanches-technologies-a-phosphores-laurent-massol-003b.htm>

Doc 5 :

La plupart des LEDs blanches utilisent un phosphore unique (YAG : Ce^{3+}). Le spectre de la lumière émise a une forme très caractéristique, composée de 2 émissions dont une est généralement bleue. (voir Fig. 1).

Ces dernières années, les fabricants de LEDs ont ajouté d'autres phosphores au premier phosphore utilisé, afin d'atteindre de meilleur rendu colorimétrique, ainsi que des blancs plus chauds. (voir Fig. 2)

Ainsi, Osram a été parmi les premiers fabricants à utiliser cette méthode et donc à proposer des LEDs s'approchant plus de la lumière blanche émise par une lampe à incandescence (blanc chaud) que des lumières blanches « bleutée » des premières LEDs blanches.

<http://www.led-fr.net/leds-blanches-technologies-a-phosphores-laurent-massol-004.htm>

Doc 6 :

La température de couleur d'une source correspond à la température du corps noir pour que celui-ci ait un spectre d'émission superposable à celui de la source de lumière dont on veut déterminer la température de couleur.

Ainsi la température de couleur ne peut se définir réellement que pour une source de lumière à spectre continu.

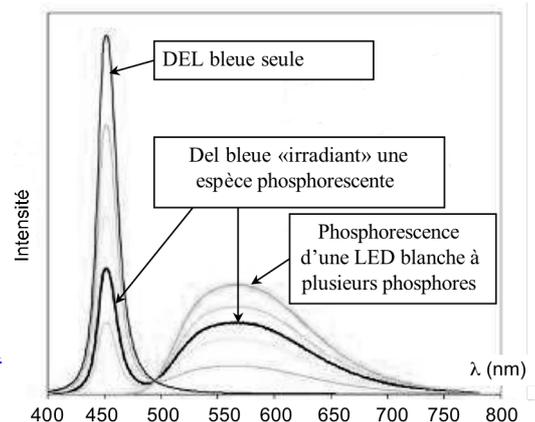
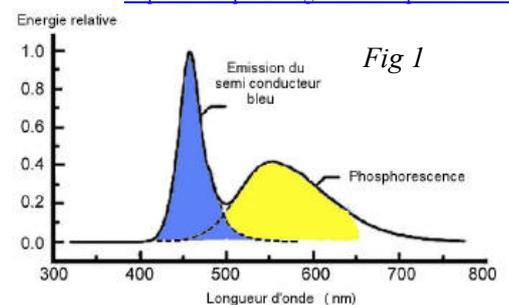
Il faut noter que plus la température de couleur en Kelvin d'un objet augmente, plus celle-ci est "froide" à l'œil (teintes bleutées) et inversement. La lumière d'une bougie est dans l'imaginaire associé à une teinte chaude (jaune, orange, rouge), alors que sa température est finalement faible.

<http://www.focus-numerique.com/test-1317/glossaire-temperature-des-couleurs-explications-presentation-caracteristiques-1.html>

Données : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Loi de Wien : $\lambda_{\text{max}} = \frac{\sigma_w}{T}$, où σ_w est une constante égale à $2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K}$ ou $2,898 \times 10^6 \text{ nm.K}$

Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$



Nom :

Prénom :

Classe : 1^{ère} S ...

Date : . . .

--	--

Durée 55 mn (55 pts ramenés à une note sur 20)

*La totalité du sujet sera rendu avec la copie. Vous devez répondre directement sur cet énoncé.
Une feuille de brouillon est disponible ci-dessous.*

Feuille de brouillon

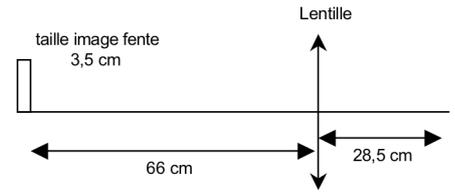
1) Comme lors du TP, pour obtenir un spectre, on cherche d'abord à obtenir l'image d'une fente (de taille AB, où A est la position de repérage sur l'axe optique par rapport au centre optique O de la lentille).

Cette fente, se comportant comme un objet lumineux, est située à 28,5 cm d'une lentille convergente, son image nette, récupérée sur un écran, est située à 66 cm de la lentille.

Quelle est la vergence de la lentille utilisée ? 2,0 δ 5,0 δ

1) a) Cochez la case qui vous semble correspondre à la réponse correcte.

1) b) Réaliser ensuite un calcul permettant de justifier votre choix.



On peut obtenir le spectre de 2 manières différentes : sur un écran de papier, sur un écran d'ordinateur.

Dans le premier cas, l'œil est le capteur, dans le second : c'est un capteur CCD.

2) L'œil comme capteur : après interposition d'un réseau de 530 traits/ mm entre la lentille et l'écran, on observe, sur l'écran de papier, deux spectres symétriques par rapport à l'image de la fente. Chaque spectre est constitué de 2 bandes colorées séparées par une bande de couleur noire : on observe donc un spectre continu avec une bande noire. On admettra, comme en TP, que la longueur d'onde d'une couleur est proportionnelle à la distance qui sépare l'image de la fente « lumineuse » de la couleur désirée.

2) a) Complétez le tableau suivant, en remplissant les cases vides. On ne demande aucune justification.

Distance par rapport à la raie centrale (image de la fente éclairée par la DEL blanche) et valeurs des longueurs d'onde correspondantes

référence LASER						
Couleur	Vert	violet (extrême)		bande de couleur noire		rouge (extrême)
Distance d* (cm)	12,1	9,5	10,5			15,5
λ (nm)	532	418			484	681

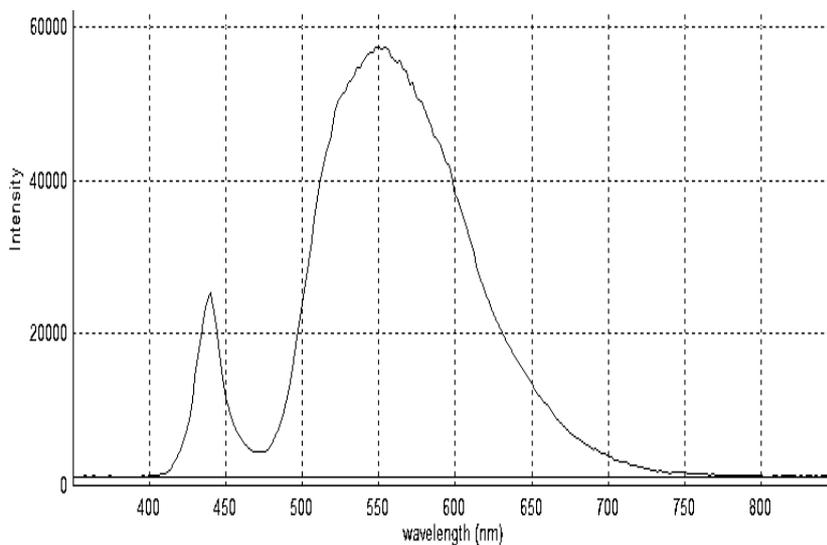
*mesurée par rapport à l'image de la fente

2) b) Coloriez le bandeau en dessous de la figure 3. Ce bandeau coloré représente le spectre visualisé sur l'écran de papier, en tenant compte des valeurs de longueurs d'onde affichées sur l'axe horizontal (du profil spectral) affiché sur la Fig 3 .

3) Utilisation d'un capteur CCD : on observe sur un écran d'ordinateur le profil spectral suivant.

Les intensités lumineuses (Intensity) visualisées en ordonnée sont exprimées dans une unité arbitraire propre au spectrophotomètre à fibre optique utilisé (connecté à l'ordinateur).

Fig 3



Bandeau à colorier



Le capteur CCD apparaît plus sensible aux couleurs que l'œil de l'expérimentateur.

3) a) Situez, sur le profil spectral (Fig 3), à l'aide d'un trait horizontal le niveau d'intensité (détecté par le capteur CCD) qu'il est nécessaire d'atteindre pour que l'œil puisse commencer à distinguer les couleurs.

3) b) Donnez, sans unité, la valeur approximative de ce niveau d'intensité : I = ...

Exercice 2 : Interprétation des émissions dans le cas d'une lampe à LEDs blanches aux phosphores.

1) En se référant au profil spectral de la lampe DELs blanches expérimentalement étudiée (voir Fig 3)

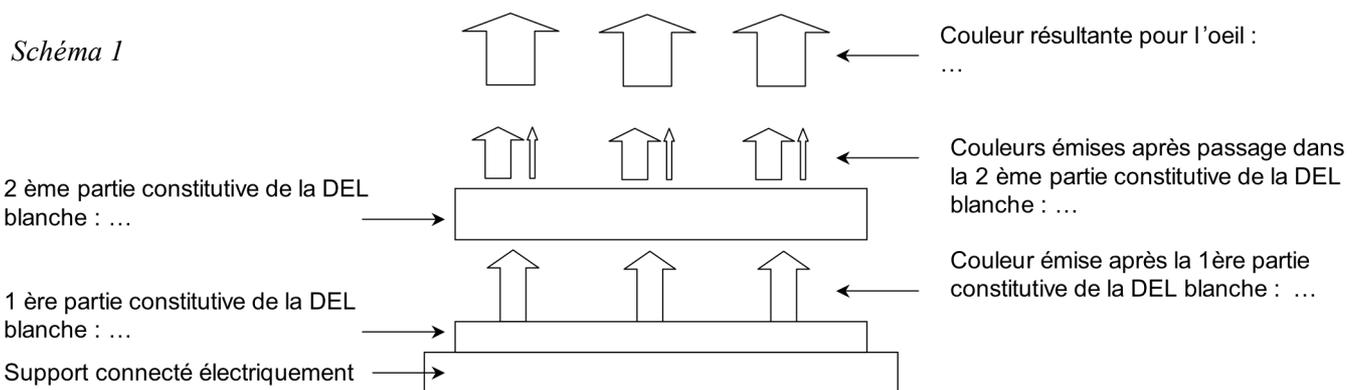
1) a) Déterminez les 2 longueurs d'onde correspondantes aux 2 maximums d'intensité lumineuse émise ainsi que les 2 couleurs correspondantes à ces 2 longueurs d'onde.

1) b) En fait, la partie du spectre correspondant à la phosphorescence est à large bande et n'émet pas qu'une seule radiation monochromatique. Donnez la couleur résultante que verrait un oeil normal pour une émission correspondant uniquement à cette bande (due à la phosphorescence) dans le cas de la Fig 3. Argumentez.

2) a) Expliquez, pourquoi, dans le profil spectral de la LED blanche, lorsqu'on augmente la quantité de « phosphores », l'intensité lumineuse relative à la couleur « bleue » diminue, alors que celles relatives à d'autres couleurs augmentent.

On précisera le(s) document(s) utilisé(s) pour répondre à cette question.

2) b) Complétez le schéma 1 ci-dessous, qui résume le fonctionnement simplifié d'une DEL blanche à phosphores (voir fonctionnement décrit dans les documents) en complétant les légendes.



Bonus : si on colorie de la bonne couleur les différentes flèches !

3) On s'intéresse au phénomène de phosphorescence :

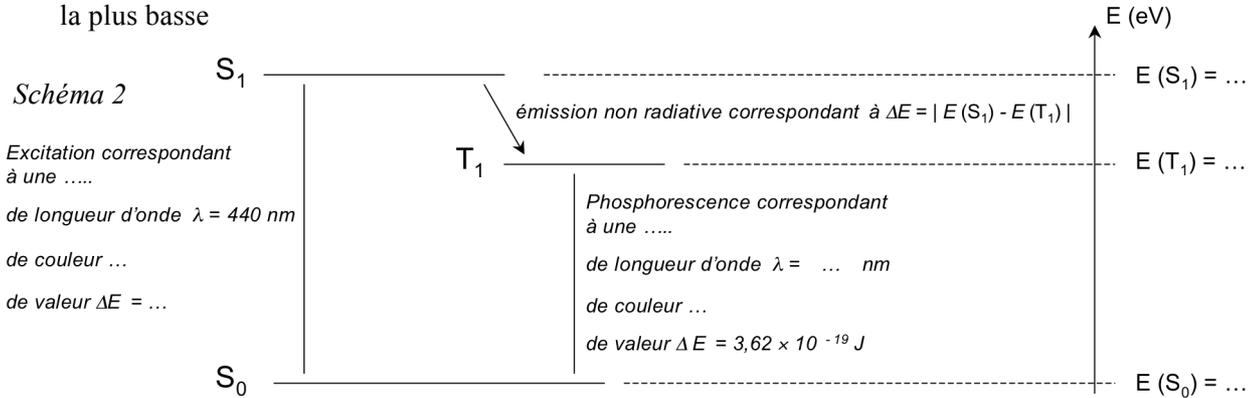
Le but ici est de compléter le diagramme de transfert d'énergie simplifié correspondant (voir schéma 2) et de remplir les parties en pointillés (...)

3) a) Quelle est la variation d'énergie ΔE mise en jeu pour une émission (due à la 1ère partie constitutive d'une DEL blanche) correspondant à une longueur d'onde, de valeur : $\lambda = 440 \text{ nm}$?

Dans le cas de la phosphorescence du YAG utilisé dans une LED blanche, on peut simplifier le diagramme avec 3 niveaux d'énergies : S_0 , S_1 et T_1 .

Pour chaque passage d'un niveau énergétique à un autre :

- 3) b) notez s'il s'agit d'une émission ou d'une absorption
- 3) c) complétez les traits verticaux de manière à montrer par une flèche bien orientée la transition concernée (du niveau initial au niveau final)
- 3) d) donnez la longueur d'onde de la radiation lumineuse correspondante
- 3) e) donnez la couleur de la radiation lumineuse correspondante
- 3) f) donnez la valeur de la variation d'énergies correspondante en Joules
- 3) g) donnez la valeur de l'énergie de chaque niveau, en électro-Volts, en considérant la référence au niveau d'énergie la plus basse



On réalisera le(s) calcul(s) nécessaire(s) ci-dessous :

Doc 7 :

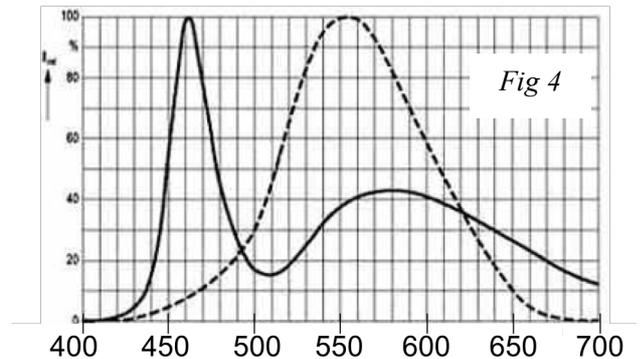
Figure 4 : Spectre lumineux d'une LED blanche à phosphores et réponse physiologique de l'œil (en pointillé).

La phosphorescence correspond approximativement à la réponse de l'œil, tandis que la lumière bleue est fortement atténuée par l'œil.

Source : OSRAM Opto Semiconductors.

http://www.speleo-lausanne.ch/08_Techniques/Leds/Leds-page02.htm

- 4) a) En utilisant la loi de Wien, déterminez, pour l'œil humain, la température de couleur idéale $T_{(idéale)}$ d'une source lumineuse qui se comporterait comme un corps noir.



- 4) b) La DEL blanche étudiée expérimentalement (Fig 3) est elle mieux adaptée pour l'œil humain que celle dont le profil spectral est montré Fig 4 ? Argumentez.

Correction : Enoncé 1 format A4, séparé de la feuille réponse format A3 (réduction de 2*2 pages). Les élèves éteignent leur portable qu'ils mettent dans leur sac, déposent celui-ci près du prof. La feuille de brouillon sera la 1^{ère} page de la feuille A3. Ils ont droit à leur stylo, crayons de couleur et calculatrice. Les voisins ont un sujet différent afin d'éviter les tentations de pompage. Si un élève répond à une question qui n'est pas sur son sujet : zéro : les prévenir. **Lecture des doc (non pris en compte pour la notation) : 3 mn prof 6 mn élève. Ensuite chaque mn élève correspond à 1pt, soit 55 mn (55 pts, ramené sur 20 à la fin), permet aux élèves de savoir s'ils sont dans les temps. Le leur dire.**

Exercice 1 : Obtention du spectre d'émission d'une lampe à LEDs blanches. (page / 17)

1) (4 pts) 2 mn Quelle est la vergence de la lentille utilisée ?

1) a) (sur 0,5) Cochez la case qui vous semble correspondre à la réponse correcte. 5,0 δ Choix (0,5)

1) b) (sur 3,5) Réaliser ensuite un calcul permettant de justifier votre choix. On utilise la loi de conjugaison (+ 0,25) :

$$C = -1 / \frac{OA}{OA'} + 1 / \frac{OA'}{OA} \quad (1) \quad (\text{pas de valeur algébrique } 0,5) \quad \text{si seulement } C = -1 / \frac{OF'}{OF} \quad (0,5 \text{ et si pas de valeur algébrique } 0,25)$$

$$C = -1 / (-0,285) + 1 / 0,66 = 3,51 + 1,51 = 5,0 \delta \quad (1) \quad \text{si pas d'unité } (0,25 \text{ seulement})$$

2) (9 pts) 4 mn

2) a) (sur 4) Complétez le tableau suivant, en remplissant les cases vides. On ne demande aucune justification. (4 * 1 par case à remplir) 2 mn

Lampe DEL	référence LASER					
Couleur	Vert	violet (extrême)	bleu	bande de couleur noire	bleu	rouge (extrême)
Distance * (cm)	12,1	9,5	10,5		11	15,5
λ (nm)	532	418	462		484	681

2) b) Coloriez le bandeau de la figure 3.. (sur 5) 2 mn Limites 418, 462, 484 et 681 nm placées (4*0,25)

Changement de couleur tous les 50 nm couleurs (1,5) Couleurs placées sur bandeau : (10*0,25)

(UV ou)Noir, Violet, Bleu, Noir, Bleu, Vert, Jaune, Orange, Rouge , Noir (ou IR)

3) (4 pts) 2 mn

3) a) Situez, sur le profil spectral (Fig 3), à l'aide d'un trait horizontal le niveau d'intensité (détecté par le capteur CCD) (2)

3) b) Donnez, sans unité, la valeur approximative de ce niveau d'intensité : $I = 0,5 * 2000 / 2,0 = 5000$ (4000 à 6000 accepté) (2)

Ex 2 : Emissions de la LED blanche aux phosphores. (page / 20)

1) (7 pts) 3 mn

1) a) (sur 3) Valeurs des 2 longueurs d'onde correspondantes aux 2 maximums d'intensité lumineuse émise (Fig 3) et couleurs correspondantes à ces 2 longueurs d'onde : λ (violet) = 440 nm et λ (vert/jaune) = 550 nm (2 couleurs + 2 valeurs = 4*0,75)

1) b) (sur 4) En fait, la partie du spectre correspondant à la phosphorescence est à large bande. Donnez la couleur résultante que verrait un œil normal pour une émission correspondant uniquement à cette bande. Argumentez. La partie du spectre correspondant à la phosphorescence est une large bande couvrant de manière continue toutes les longueurs d'onde exceptées celle du violet/bleu (2), l'œil verra la couleur complémentaire soit jaune. (2)

2) (7,5 pts) 3,5 mn

2) a) (sur 5) (soit 10*0,5) D'après le doc 4 (0,5), une partie de l'émission bleue (0,5) est absorbée (0,5) par le phosphore (0,5) D'après la fig présente sur le doc 5 (0,5), on remarque que plus la quantité de (plusieurs) phosphore présente augmente (0,5), plus l'émission due à la phosphorescence augmente (0,5), plus l'absorption dans le bleu est prononcée (0,5) avec pour effet de diminuer (0,5) l'intensité lumineuse émise par la DEL bleue par rapport à l'intensité lumineuse que la DEL bleue émettrait si elle était seule. (0,5)

2) b) (sur 2,5) Complétez le schéma 1 ci-dessous, qui résume le fonctionnement simplifié d'une DEL blanche à phosphores (voir fonctionnement décrit dans les documents). (soit 5*0,5) Bonus coloriage + (0,25*3)

3) a) (5,5 pts) 2 mn Variation d'énergie ΔE mise en jeu pour l'émission de la DEL bleue de longueur d'onde : $\lambda = 440$ nm

$$\Delta E = hc / \lambda \quad (1)$$

$$= (6,63 * 10^{-34} * 3,00 * 10^8) / (4,40 * 10^{-7}) \quad (3*1)$$

$$= 4,52 * 10^{-19} \text{ J} \quad (1 + 0,5) \text{ si pas d'unité } (0,25 \text{ seulement})$$

3) b) à 3) g) (10 pts) 4 mn (page / 18)

Diagramme d'énergies (sur 8,75) pour chaque ... rempli (soit 11*0,75)

calcul (sur 1,25) $\lambda = hc / \Delta E$

$$\lambda = (6,63 * 10^{-34} * 3,00 * 10^8) / 3,62 * 10^{-19} \quad 0,25$$

$$\lambda = 5,52 * 10^{-7} \text{ m} = 550 \text{ nm} \quad 0,25$$

$$\Delta E = 4,52 * 10^{-19} / 1,60 * 10^{-19}$$

$$0,5 = 2,82 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 3,62 * 10^{-19} / 1,60 * 10^{-19}$$

$$0,25 = 2,26 \text{ eV}$$

4) (8 pts) 3 mn

4) a) (sur 4)

En utilisant la loi de Wien, température de

couleur idéale $T_{(\text{idéale})}$ pour l'œil humain, $T_{(\text{idéale})} = \sigma / \lambda \max \quad (1) = 2,898.10^6 / 555 \quad (2 : \text{relation adéquate suivant unité + valeur})$

$$T_{(\text{idéale})} = 5,37 * 10^3 \text{ K} \quad (1) \text{ correct aussi pour } 550 \text{ nm} \quad T_{(\text{idéale})} = 2,898.10^6 / 550 \quad (2) = 5,27 * 10^3 \text{ K}$$

4) b) (sur 4) La DEL blanche étudiée Fig 3 paraît mieux adaptée pour l'œil humain que celle dont le profil spectral est montré Fig 4 (1)

En effet, le profil spectral (Fig 3) possède un profil quasiment superposable (1) à celui de la réponse physiologique de l'œil (1),

alors que celui de la DEL blanche de la Fig 4 a un maximum plus décalé vers l'orange (et non vers le jaune) (1).

De plus, l'émission du bleu est trop importante, on obtiendra avec cette DEL blanche un blanc plus bleuté. (1)

