

Comment estimer la valeur de la constante fondamentale de Planck ?

Préambule

Extrait du programme d'enseignement spécifique de physique-chimie de la série scientifique en classe terminale ([Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011](#))

Énergie, matière et rayonnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Transferts quantiques d'énergie Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse.</p> <p>[...] Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.</p>	<p>Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie).</p> <p>[...] Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.</p>
<p>Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.</p> <p>[...]</p>	<p>Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.</p> <p>[...]</p>

1. Le principe

Un document à analyser permet dans une première partie de comprendre le mécanisme d'émission de lumière au sein d'une DEL. On aboutit à l'établissement de la relation : $e \times U = h \times C / \lambda$.

On demande ensuite à l'élève de proposer et mettre en œuvre un protocole pour mesurer la tension de seuil d'une diode.

La troisième partie est réalisée expérimentalement par le professeur si l'on dispose d'un spectromètre numérique. Cette partie est facultative et peut être remplacée par les données constructeurs seules.

La dernière partie fait la synthèse de l'ensemble de la séance, le tracé du graphique $U=f(1/\lambda)$ permet de déduire une estimation de la constante de Planck.

Matériel :

générateur de tension continue réglable, résistances de protection, multimètres, diodes bleue, verte, jaune, orange, rouge..., logiciel de traitement graphique ou papier millimétré, spectromètre numérique pour mesurer la longueur d'onde des DEL.

Mots clefs :

tension de seuil, émission de lumière, diode électroluminescente (DEL, LED), photon, constante de Planck.

Prérequis :

- Énergie transportée par un photon.
- Relation fréquence/longueur d'onde.
- Dualité onde-particule
- La physique des DELs :
- Comment estimer la valeur de la constante fondamentale de Planck ?

Source : www.ac-paris.fr/portail/jcms/piapp1_59019/disciplines-physique-chimie-portail

2. La situation théorique

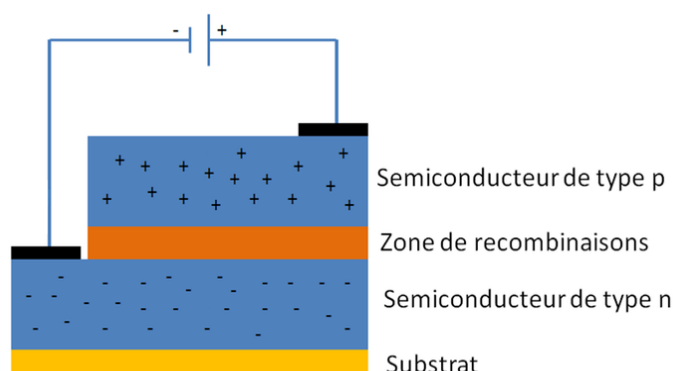
Les diodes électroluminescentes (DEL ou LED en anglais) sont de plus en plus présentes dans notre quotidien : pour l'éclairage, dans les écrans de téléviseurs et d'ordinateurs, dans les télécommandes (LED [infrarouges](#)), pour l'affichage alphabétique ou numérique des écrans d'appareils de mesure, de calculatrices, d'horloges...

Dans ce composant, l'énergie électrique est convertie directement en lumière au sein d'un matériau semi-conducteur.

Nous nous proposons, lors de cette activité expérimentale, d'étudier le fonctionnement d'un tel composant, cela nous mènera à retrouver une constante fondamentale en physique quantique : la constante de Planck notée h .

Émission de lumière par une DEL [Émission quantique]

Comme toute diode, une DEL ne laisse passer le courant que dans un sens. En outre le passage du courant électrique dans la diode est associé à l'émission de lumière.



Une diode est constituée de deux zones, l'une possédant un excès d'électrons (zone dopée n), l'autre possédant un déficit d'électrons (zone dopée p) appelés trous. Le passage d'un électron de la zone n à la zone p ne se produit que si cet électron possède une énergie minimale ou énergie de seuil.

Lorsqu'un électron passe de la zone dopée n à la zone dopée p, il y a émission d'un photon au niveau de la zone de recombinaisons.

L'émission de lumière par une diode électroluminescente est ainsi un phénomène quantique.

Questions :

1. Quel type de conversion d'énergie la diode effectue-t-elle ?

Conversion : énergie électrique en énergie lumineuse

2. D'où l'énergie des photons émis provient-elle ? Quelle est l'expression de cette énergie en fonction de la longueur d'onde λ émise ?

Cette énergie est libérée lors du passage d'un électron de la zone n à la zone p. $E_{\text{photon}} = hv = hc/\lambda$

L'énergie électrique d'un électron traversant la jonction est reliée à la tension U aux bornes de la diode. Cette énergie a pour expression $E_{\text{électron}} = e \times U$.

3. En déduire la relation mathématique entre λ et U .

D'après la question 2), $E_{\text{électron}} = E_{\text{photon}}$ d'où : $hc/\lambda = eU$.

4. Cette émission de lumière se produit-elle quelle que soit la tension imposée par le générateur ?

Le passage d'un électron de la zone n à la zone p ne se produit que si cet électron possède une énergie minimale ou énergie de seuil. Cette énergie de seuil vaut donc eU_{seuil} .

La partie suivante consiste à mesurer cette tension de seuil U_{seuil} .

3. La situation expérimentale

Mesure de la tension de seuil d'une DEL

La tension de seuil modélise la tension à partir de laquelle l'énergie des électrons est suffisante pour passer la jonction, c'est donc la tension minimale pour que le courant circule dans la DEL et qu'il y ait émission de lumière.

À l'aide d'un générateur de tension continue réglable, d'une résistance de protection et de deux multimètres, mesurer la tension de seuil de la DEL dont vous disposez à partir de sa caractéristique intensité-tension $I = f(U)$.

Une caractéristique intensité-tension est un graphe permettant de savoir quelle sera la valeur de l'intensité dans le dipôle pour une tension donnée appliquée à ses bornes, et réciproquement.

Pour la tracer, on doit mesurer simultanément la tension aux bornes du dipôle et l'intensité du courant qui le traverse.

Voir les caractéristiques obtenues en annexe.

Mesure de la longueur d'onde de la lumière émise par la DEL

Voici les caractéristiques des LED utilisées, données par le constructeur :

DEL	longueurs d'onde de la lumière émise
diode bleue ML50B23H	465 nm
diode orange LTL2H3VFKNT	605 nm
diode verte LTL2R3TGK	525 nm
diode jaune LTL2P3SYK	590 nm
diode rouge LTL2P3SEK	630 nm

On se propose de vérifier ces valeurs à l'aide d'un spectromètre numérique.

La lumière à analyser est transmise au spectromètre par l'intermédiaire d'une fibre optique. Elle est alors décomposée par un réseau puis focalisée vers une barrette CCD, sur laquelle se forme le spectre.

La barrette CCD fournit un signal électrique reproduisant l'intensité lumineuse perçue par ses pixels. Ce signal analogique est converti en signal numérique et transmis à l'ordinateur. Les données sont alors traitées par un logiciel qui, connaissant la courbe d'étalonnage du spectromètre, affiche la courbe d'intensité spectrale $I = f(\lambda)$.

1. Tracer l'allure de la courbe d'intensité spectrale obtenue pour les diodes.
2. Expliquer comment on peut en déduire la longueur d'onde de la lumière émise.

On relève la longueur d'onde correspondant au pic du spectre d'émission : voir les spectres obtenus en annexe.

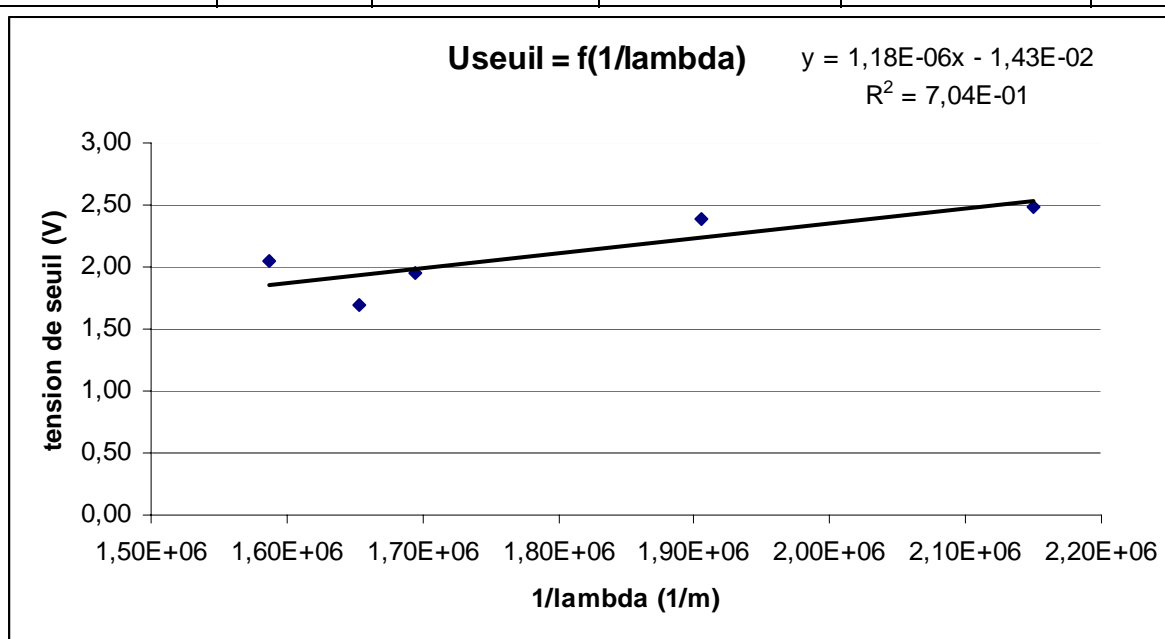
Détermination de la constante de Planck

Quelle relation trouvée dans la partie théorique fait intervenir la constante de Planck ?

$$hc/\lambda = eU$$

Déduire une estimation de la constante de Planck de l'ensemble des résultats de mesure obtenus pendant la séance.

référence diode	couleur	$\lambda_{\text{constructeur}}$ (m)	$\lambda_{\text{mesurée SPID}}$ (m)	$1/\lambda_{\text{constructeur}}$ (m^{-1})	U_{seuil} (V)
ML50B23H	bleue	465×10^{-9}	452×10^{-9}	$2,15 \times 10^6$	2,48
LTL2R3TGK	verte	525×10^{-9}	515×10^{-9}	$1,90 \times 10^6$	2,39
LTL2P3SYK	jaune	590×10^{-9}	602×10^{-9}	$1,69 \times 10^6$	1,95
LTL2H3VFKNT	orange	605×10^{-9}	615×10^{-9}	$1,65 \times 10^6$	1,69
LTL2P3SEK	rouge	630×10^{-9}	650×10^{-9}	$1,59 \times 10^6$	2,05



On déduit la valeur de h à partir du coefficient directeur : (les résultats présentés utilisent les valeurs des longueurs d'ondes données par le constructeur)

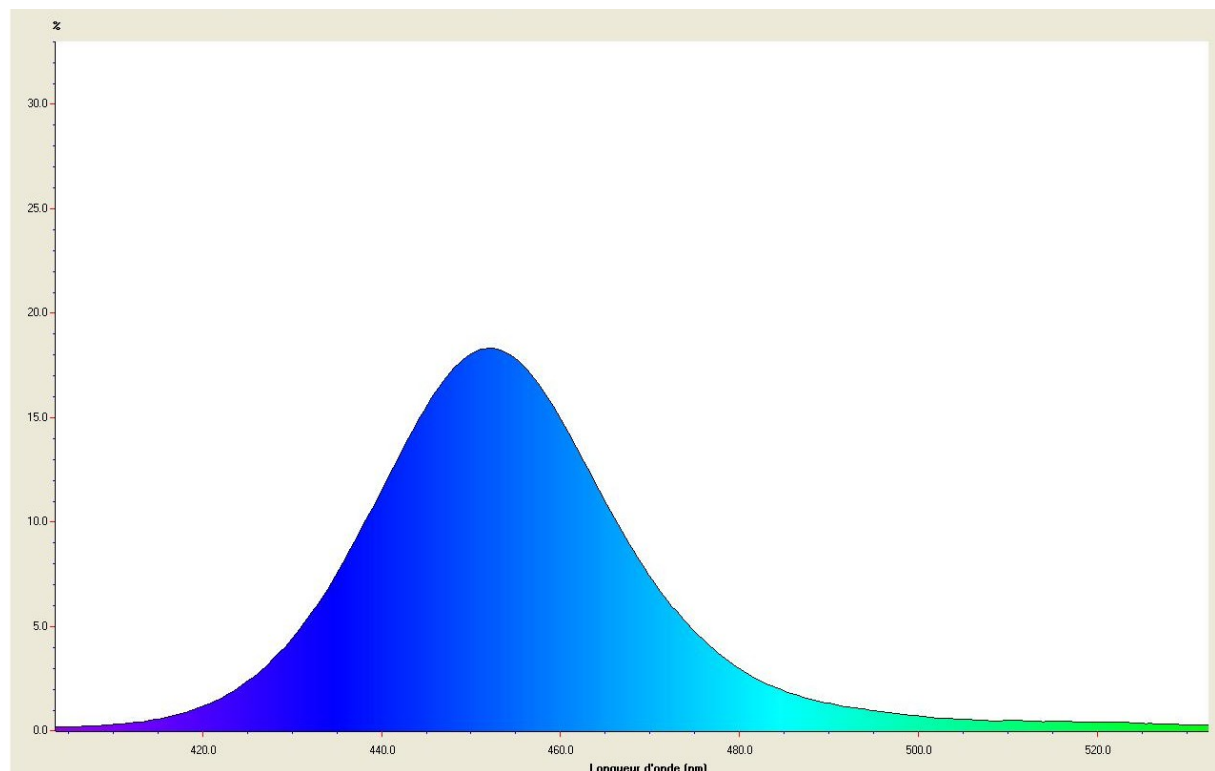
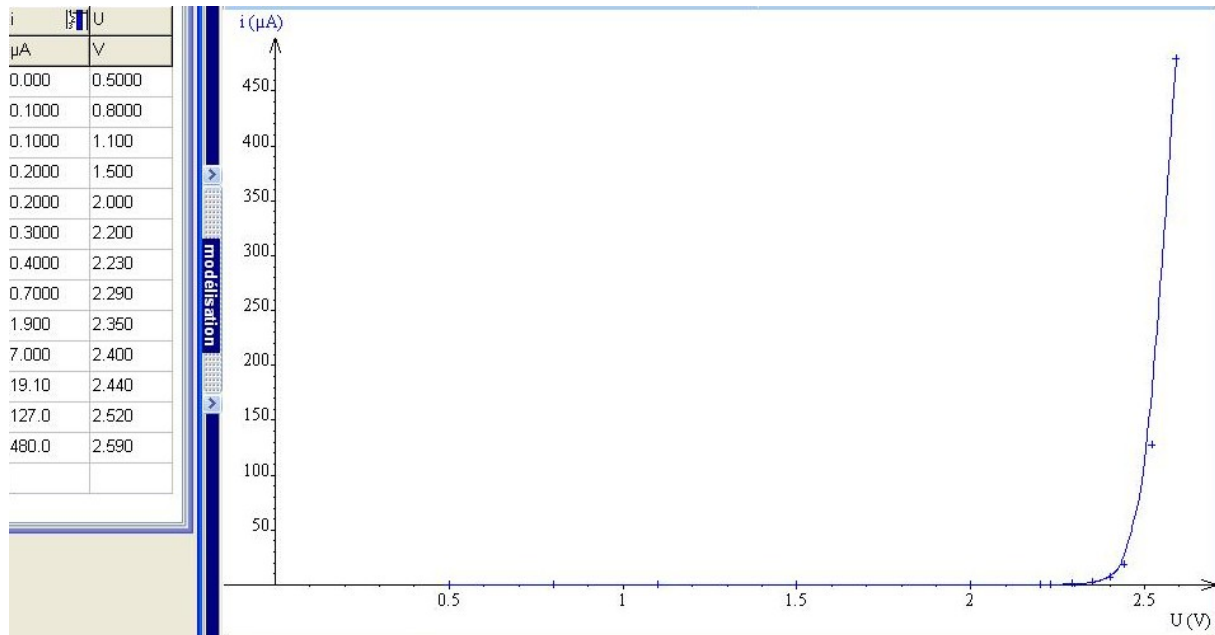
$$h = \text{coeff direct} \times e / c = 1,18 \cdot 10^{-6} \times 1,6 \cdot 10^{-19} / 3,0 \cdot 10^8 = 6,3 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Cette activité permet d'évaluer les compétences suivantes :

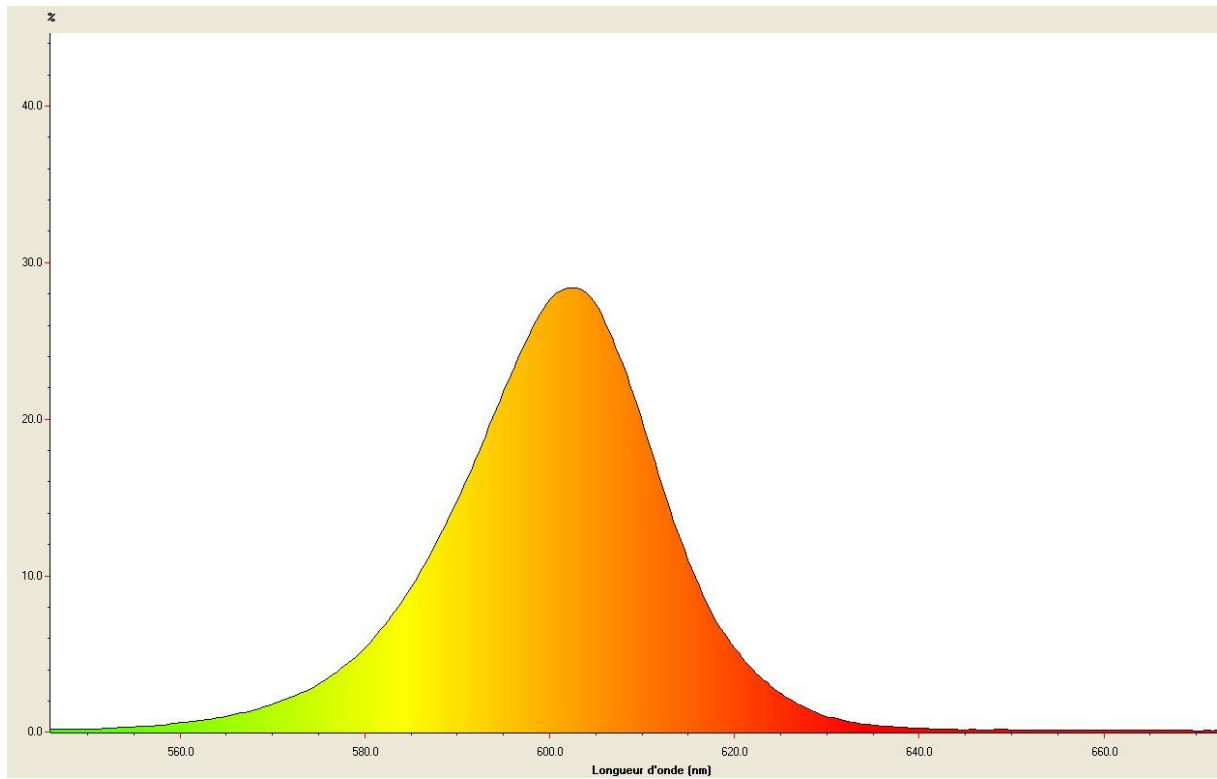
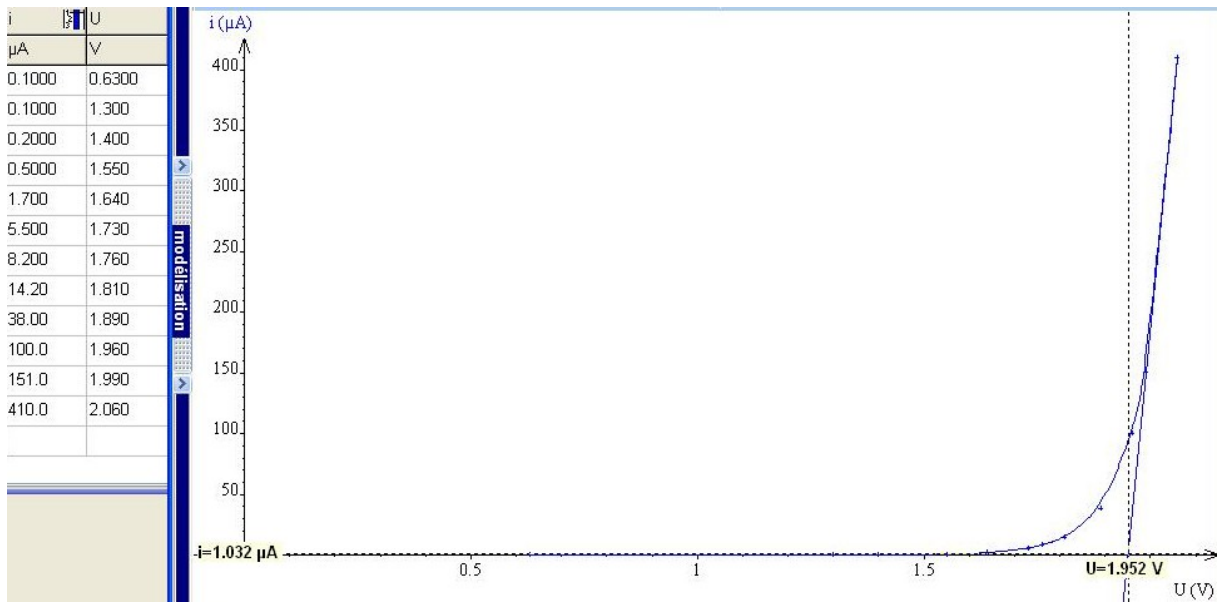
Compétences attendues :				
1 – non maîtrisées				
2 – insuffisamment maîtrisées				
3 – maîtrisées				
4 – bien maîtrisées	1	2	3	4
Compétences générales :				
Restituer et mobiliser les connaissances exigibles				
Raisonner, argumenter et faire preuve d'esprit critique				
Compétences expérimentales :				
Concevoir et réaliser un protocole expérimental dans le respect des mesures de sécurité				
Analyser les phénomènes, protocoles et résultats				

Annexe : caractéristiques $I = f(U)$ et spectres obtenus pour les 5 diodes

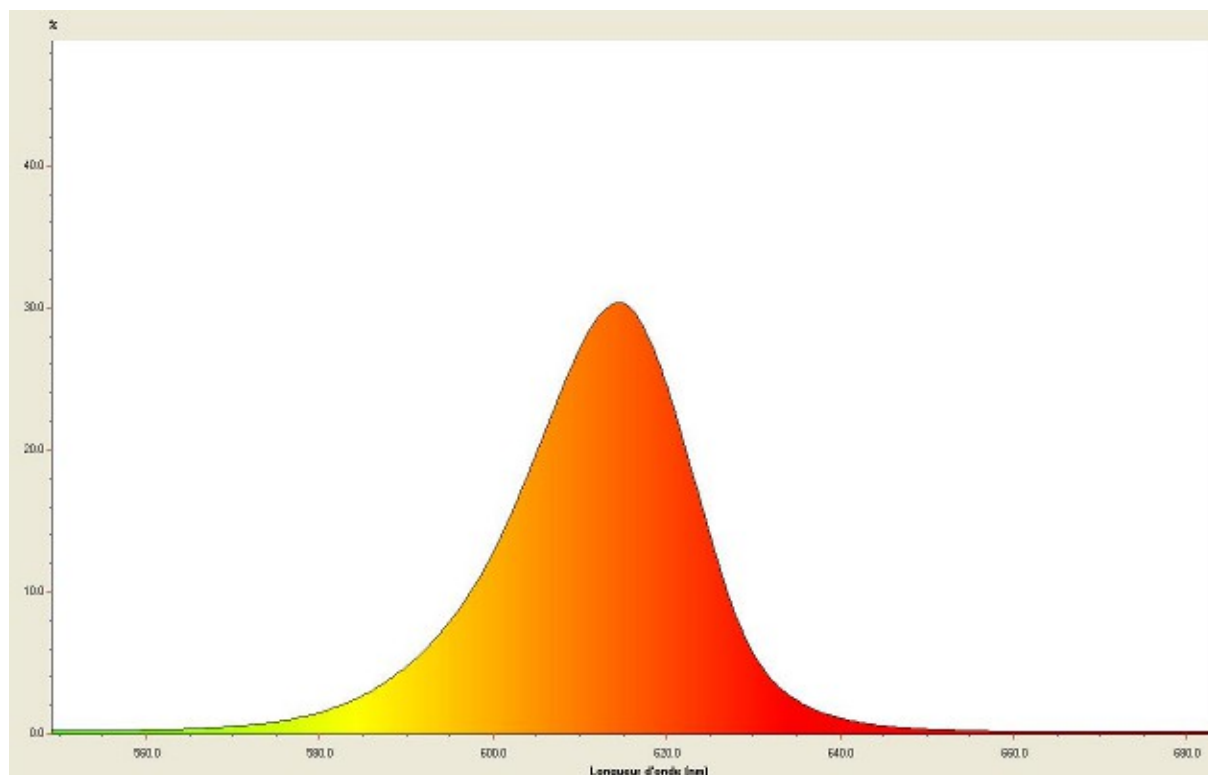
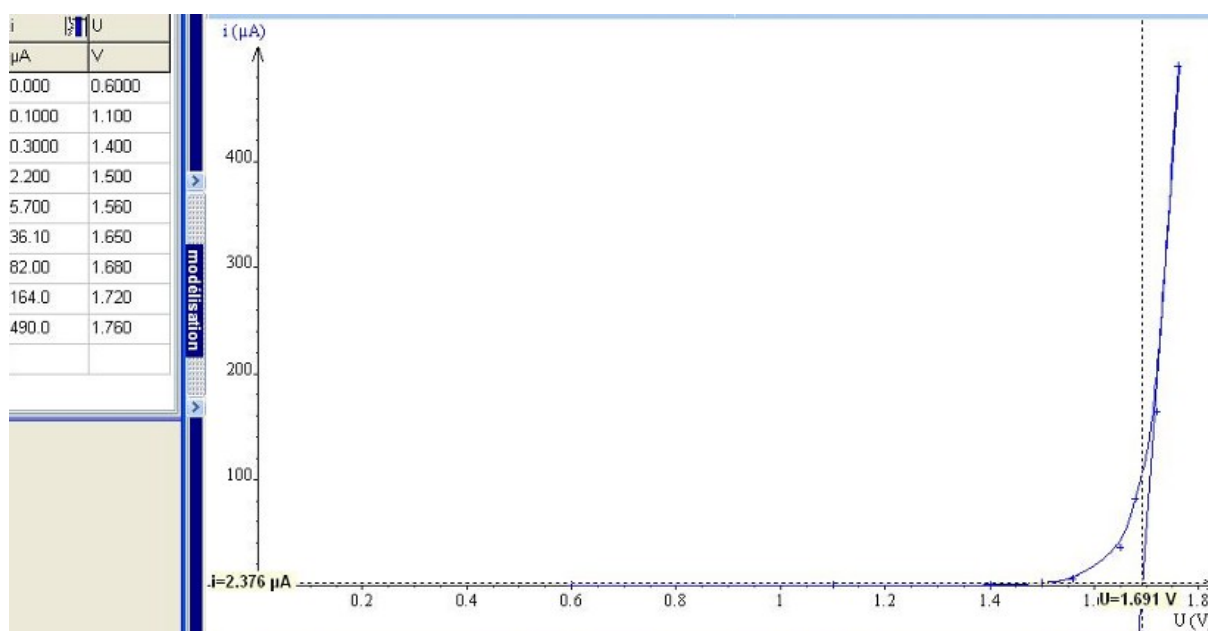
Diode bleue ML50B23H



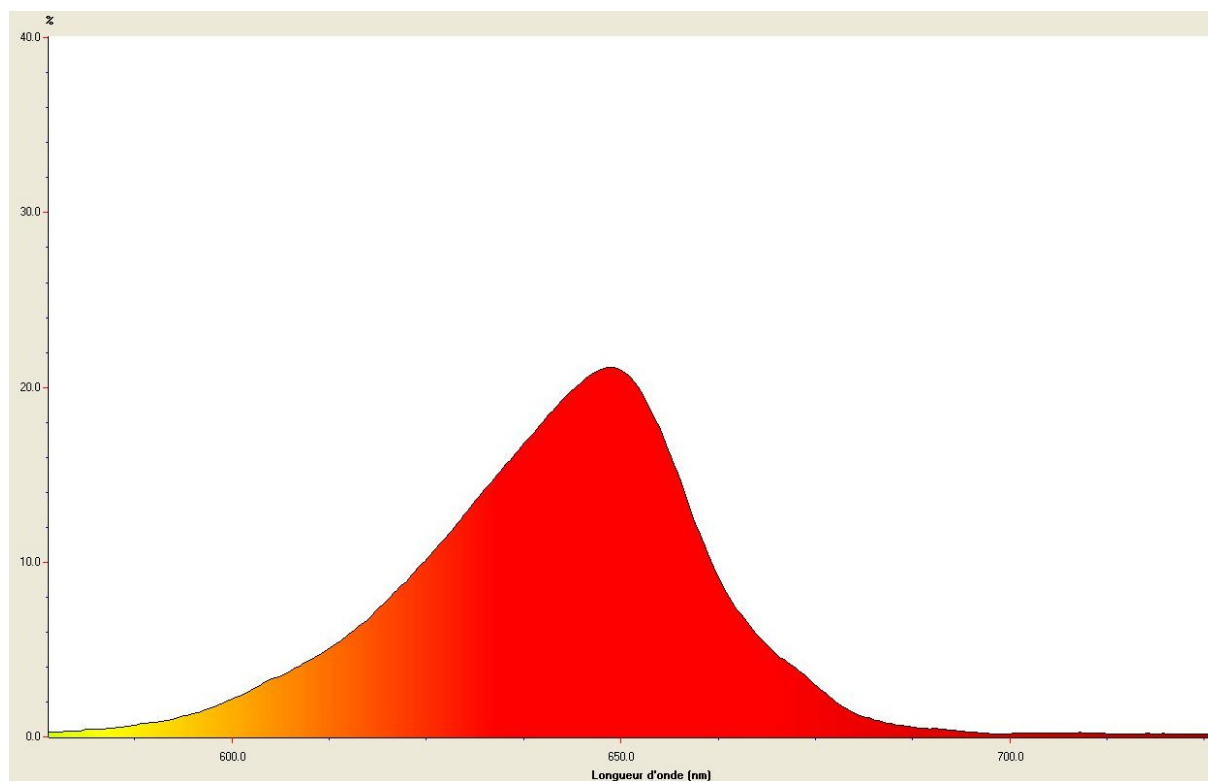
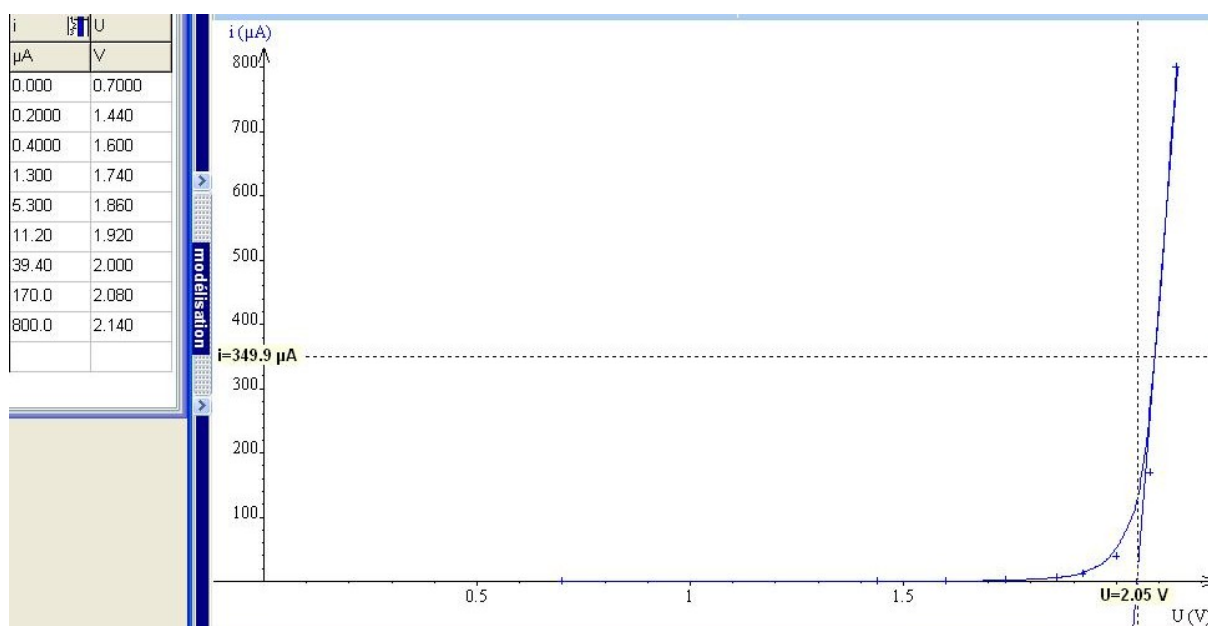
Diode jaune LTL2P3SYK



Diode orange LTL2H3VFKNT



Diode rouge LTL2P3SEK



Diode verte LTL2R3TGK

