

TS - Physique-Chimie - Enseignement de Spécialité
Devoir en classe n°9 - Durée : 1h
Mercredi 25 mai 2016

ÉTUDE DE DEUX NANO-OBJETS

On s'intéresse ici à l'interaction lumière-matière pour deux nano-objets : les cyanines et les nanocristaux de sélénium de cadmium. Un dossier documentaire est mis à disposition pour répondre aux questions ci-dessous. Un raisonnement scientifique est attendu à chaque réponse.

CONTEXTE DU SUJET

Après les LED (Light Emitting Diodes) et les OLED (Organic Leds), bienvenue aux QLED, avec un Q pour Quantum. Cette nouvelle génération d'écrans utilise en effet des « boîtes quantiques » pour allumer les pixels. Ces minuscules nanoparticules émettent de la lumière lorsqu'elles sont excitées. Cette curiosité de laboratoire est en passe de devenir une nouvelle technologie d'affichage.

La société américaine QD Vision, issue du MIT (Massachusetts Institute of Technology), a ainsi présenté un prototype au salon « Society for Information Display 2011 » consacré aux écrans.

D'après le forum Futura Sciences

On se propose de trouver le lien entre la taille d'un nano-objet et la couleur de la lumière perçue.

1. Montrer par un raisonnement quantitatif simple qu'une molécule de cyanine est un objet de taille nanométrique.
2. Sur le **document 3**, compléter le mécanisme d'absorption par une molécule de cyanine. Vérifier que la variation d'énergie ΔE correspondant à l'absorption d'une molécule de cyanine est de l'ordre de quelques électron-volts.
3. Montrer que l'énergie cinétique d'un électron, pour la molécule de cyanine, en fonction de sa longueur L est donnée par la relation suivante : $E_c = \frac{h^2}{8 \cdot m_e \cdot L^2}$
4. Justifier l'évolution de l'énergie de fluorescence ΔE en fonction de la taille du nanocristal.
5. Déterminer la taille de l'un des trois nanocristaux présentés dans le **document 5**.
6. Pour réaliser un affichage couleur, est-il préférable d'utiliser des cyanines ou des nanocristaux de sélénium de cadmium ?

DOCUMENT 1 : DONNÉES

- Constante de Planck : $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Valeur en joules d'un électron-volt : $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- Masse de l'électron : $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Longueur moyenne d'une liaison covalente : $\ell = 0,1 \text{ nm}$

DOCUMENT 2 : LA CYANINE : UN COLORANT ORGANIQUE

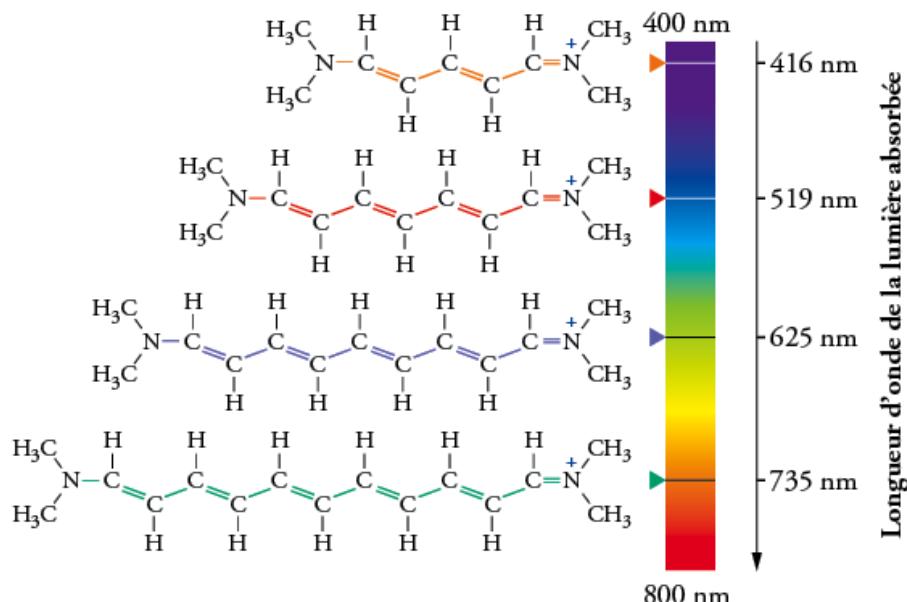
Les cyanines sont des colorants organiques répandus. Par exemple, on les utilise dans les pellicules pour la photographie argentique en couleurs. La longueur L d'une telle molécule détermine la longueur d'onde λ de la lumière qu'elle absorbe, c'est-à-dire la couleur absorbée. La couleur de la substance, vue en lumière blanche, sera donc complémentaire de la couleur absorbée.

Dans ces molécules, chaque électron qui participe à une double liaison se répartit tout le long de la chaîne. Autrement dit, la molécule se comporte comme un segment de fil conducteur pour ces électrons.

Quel est le spectre d'énergie de ces électrons ? Il dépend de la longueur L de la molécule et l'explication fait appel à la mécanique quantique. Depuis le début du XX^e siècle, on sait que tout corpuscule se comporte aussi comme une onde. Quelles sont les longueurs d'onde possibles dans un fil conducteur ? On peut utiliser l'analogie avec une corde vibrante de longueur L , fixée à ses deux extrémités. Ces dernières devant être des nœuds de l'onde, le mode fondamental de vibration correspond à une longueur d'onde de De Broglie $\lambda_{DB} = 2 \cdot L$. Ainsi, plus un fil conducteur est court, plus la longueur d'onde associée à l'électron est petite.

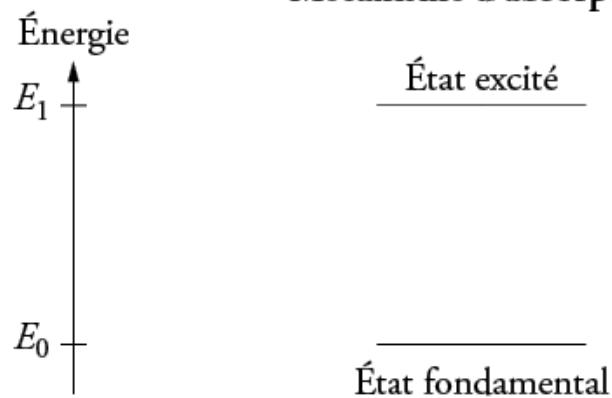
D'après Pour la Science

Comportement lumineux de quelques cyanines



DOCUMENT 3 : ÉTAPES DU PROCESSUS D'ABSORPTION DE LA CYANINE

Mécanisme d'absorption



DOCUMENT 4 : LE NANOCRISTAL CdSe : UNE NANOPARTICULE SEMI-CONDUCTRICE DE SÉLENIURE DE CADMIUM

Des nanosphères de sélénium de cadmium CdSe de quelques nanomètres de diamètre sont utilisées comme marqueurs fluorescents. Dans une telle sphère, l'onde associée à un électron mobile est confinée, ce qui produit des niveaux d'énergie discrets. L'écart entre deux niveaux, qui détermine la couleur de fluorescence, dépend notamment de la taille de la nanosphère. Le choix de cette taille permet alors d'obtenir la couleur de fluorescence désirée.

Selon les mêmes principes que ceux à l'œuvre dans les molécules de cyanines, seule la taille des sphères détermine la couleur de ces objets.

Si l'énergie cinétique de l'électron augmente, les différences d'énergie augmentent aussi. Des nanosphères de 5 nm de diamètre ont ainsi une fluorescence de couleur bleue, tandis que la fluorescence de celles mesurant 20 nm est rouge.

D'après Pour la Science

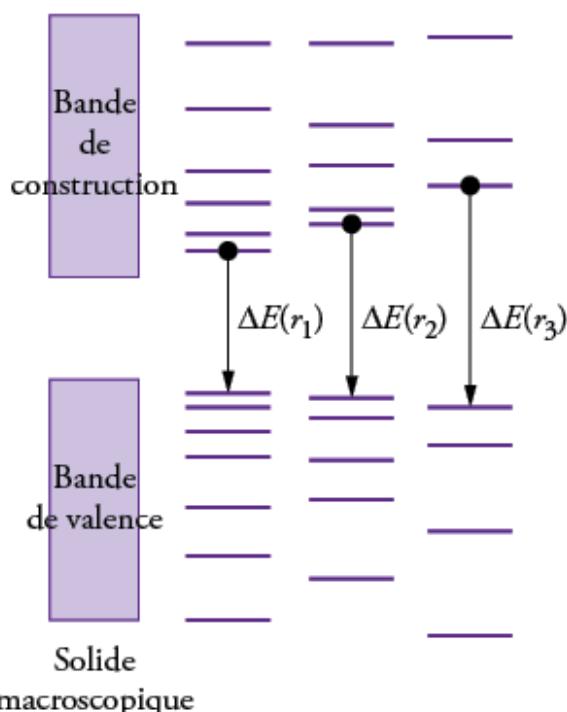
DOCUMENT 5 : INFLUENCE DU RAYON D'UN NANOCRISTAL SUR L'ÉNERGIE DE FLUORESCENCE

Dans un semi-conducteur macroscopique, les états d'énergie électroniques se répartissent de façon continue en deux bandes appelées bande de valence et bande de conduction. Elles sont séparées par une bande dite interdite où il n'y a pas d'état d'énergie permis pour les électrons. Par excitation lumineuse, il est possible de transférer un électron du haut de la bande de valence (état fondamental) au bas de la bande de conduction (état excité). La fluorescence est une émission lumineuse provoquée par l'excitation d'un nanocrystal initialement dans son état fondamental (généralement par absorption d'un photon) immédiatement suivie d'une désexcitation du nanocrystal par émission spontanée d'un photon de même longueur d'onde.

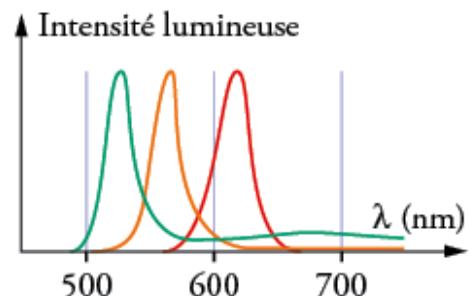
Les expériences effectuées sur les premiers nanocristaux semi-conducteurs dans les années 90 ont montré que les états électroniques ne se répartissent pas en bandes d'énergie mais en un ensemble de niveaux discrets. Il s'agit d'un effet quantique dû à la dimension réduite du nanocrystal.

D'après Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)

a. Niveaux d'énergie discrets de nanocristaux de tailles différentes



b. Spectre de fluorescence de trois nanocristaux de rayons différents



c. Évolution de l'énergie ΔE de fluorescence en fonction du rayon d'un cristal

