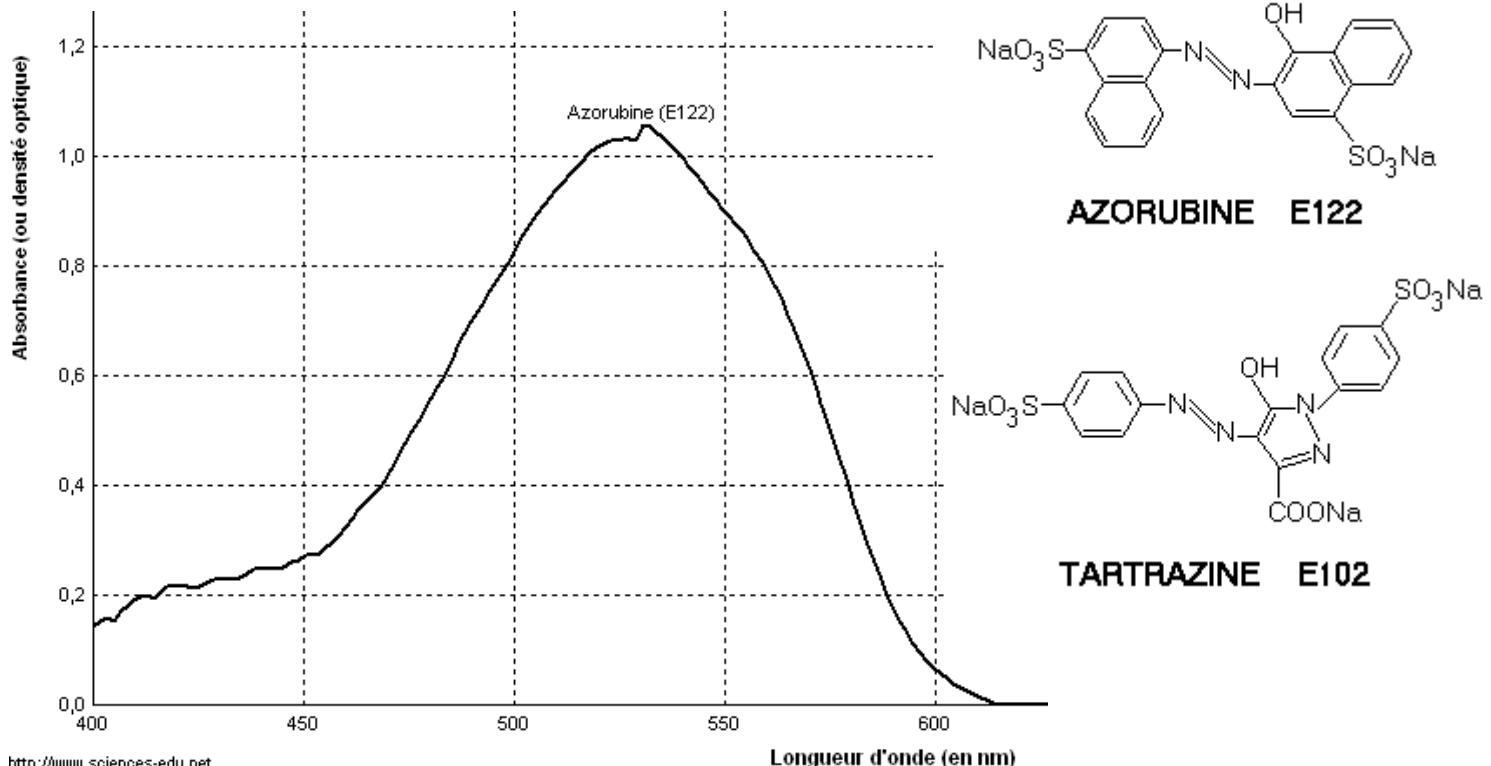


### DS3 : Mécanique quantique/Spectroscopie

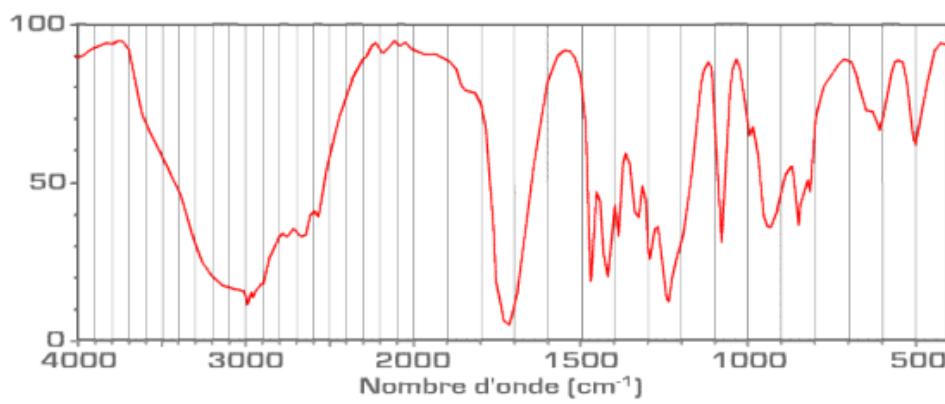
#### Exercice 1 : Spectroscopie UV-Visible de colorants alimentaires ( / 4 )



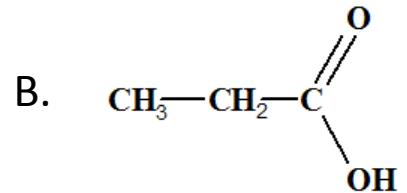
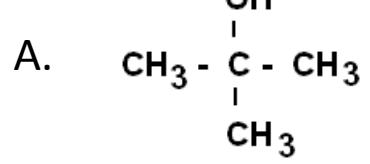
<http://www.sciences-edu.net>

- Que mesure-t-on en fonction de quoi dans une spectro UV-visible ? /1pt
- Déterminer la longueur d'onde du maximum d'absorption de l'azorubine. /1pt
- En déduire la couleur de l'azorubine en justifiant votre démarche. /1pt
- Comparer les formules topologiques de l'E122 et de l'E102 et expliquer pourquoi l'E102 est jaune. /1 pt

#### Exercice 2 : Spectre Infrarouge ( /5,5)



#### Molécules :



- Pour chaque molécule, entourer le groupe caractéristique et donner sa fonction associée. /1 pt
- Nommer dans la nomenclature officielle, ces deux molécules. /1 pt
- Justifier, en repérant les bandes d'absorption exploitables, à laquelle des deux molécules correspond le spectre IR. (les tables sont fournies) /2 pts
- Que peut-on dire de l'état physique de la molécule dont on a fait le spectre IR ? Justifier. /1,5 pts

### Exercice 3 : Dualité onde-particule et transferts énergétiques quantiques ( / 10,5 )

Pour étudier l'arrangement des atomes dans la matière, on utilise des ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont de l'ordre des distances interatomiques. Les rayons X sont particulièrement appropriés pour cette étude, car leur longueur d'onde est comprise entre 5 pm et 10 nm, alors que dans un cristal métallique les atomes sont disposés sur des plans parallèles séparés d'une distance interatomique de l'ordre du dixième de nanomètre.

#### Etude du rayonnement :

1. Quel phénomène se produit lorsqu'on envoie des RX sur un cristal métallique ? **/0,5pt**
2. Rappeler les limites du spectre visible et expliquer pourquoi on ne peut pas observer cet arrangement des atomes avec la lumière visible. **/1,5pts**

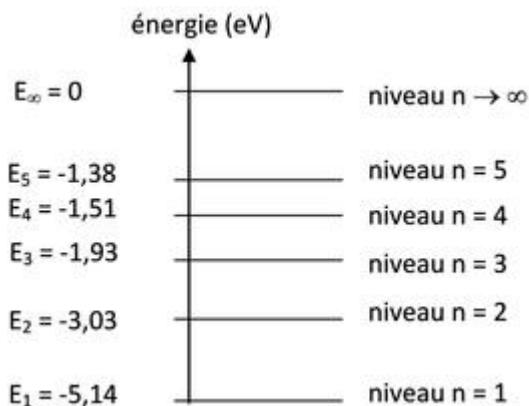
#### Expérience avec une onde de matière :

On désire étudier un cristal de Nickel, mais en le bombardant cette fois-ci avec de la matière : des atomes de sodium Na (de masse  $m = 4,0 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ) propulsés à une vitesse  $v = 5800 \text{ m.s}^{-1}$ .

3. Calculer la quantité de mouvement des atomes de sodium. **/1pt**
4. En déduire, la longueur d'onde de De Broglie associée à ces atomes. **/1pt**
5. Le caractère ondulatoire de ces atomes va-t-il se manifester sachant que la distance interatomique dans le cristal de nickel est  $d = 135 \text{ pm}$  et que le détecteur n'est qu'à 30 cm de la cible ?  
Si non, expliquer ce qu'il faut faire pour qu'il se manifeste. **/2pts**

#### Refroidissement laser :

On réalise le refroidissement des atomes de sodium en pointant 6 faisceaux laser dessus : l'absorption de photons par un atome va contribuer à diminuer sa quantité de mouvement. On donne ci-dessous le diagramme des niveaux d'énergie de l'atome de sodium :



6. Rappeler les 2 propriétés du laser nécessaires pour réaliser cette expérience. **/1pt**
7. Le faisceau laser émet des photons de longueur d'onde  $\lambda = 589 \text{ nm}$ .
  - a) Calculer l'énergie de ces photons en J, puis en eV. **/1,5pts**
  - b) Entre quels niveaux d'énergie l'absorption de ce photon est-elle possible ? **/0,5pt**
  - c) Représenter sur le diagramme cette transition. **/0,5 pt**
  - d) Quelle est la nature de cette transition : électronique ou vibratoire ? Justifier la réponse. **/1pt**

**STOP : Pour aller plus loin et obtenir un bonus continuez...**

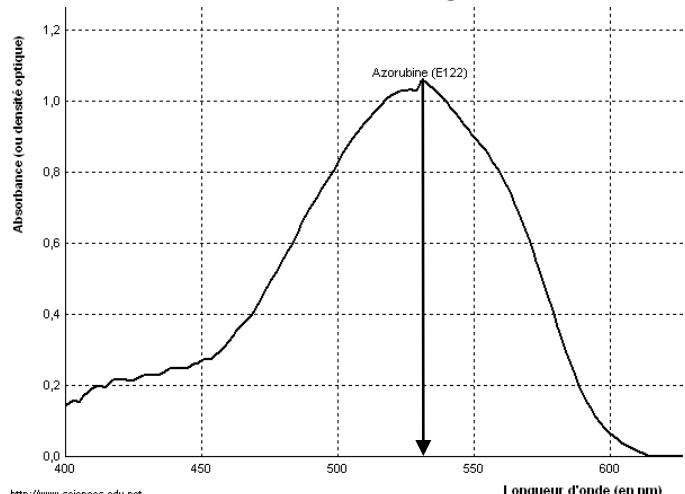
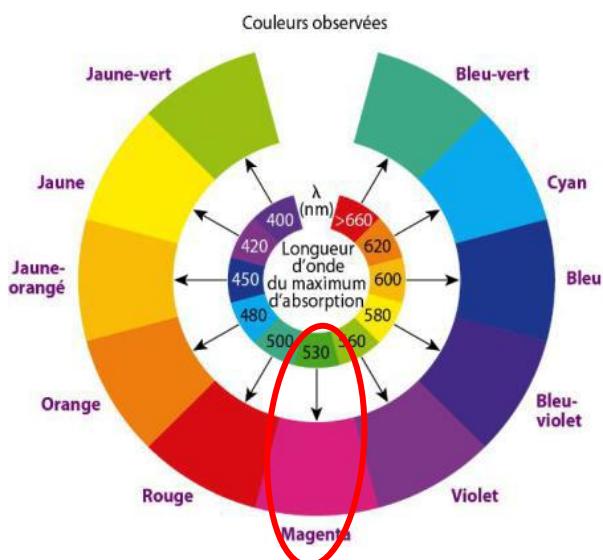
8. Calculer la quantité de mouvement d'un photon. **+ 1pt**
9. Sachant que l'atome de sodium a une vitesse initiale  $v = 5800 \text{ m.s}^{-1}$ , calculer combien de photons faut-il qu'il absorbe pour pouvoir être diffracté par le cristal de Nickel. **+ 2pts**

**DONNEES :**  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  ; constante de Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ; vitesse de la lumière (vide)  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

## CORRECTION

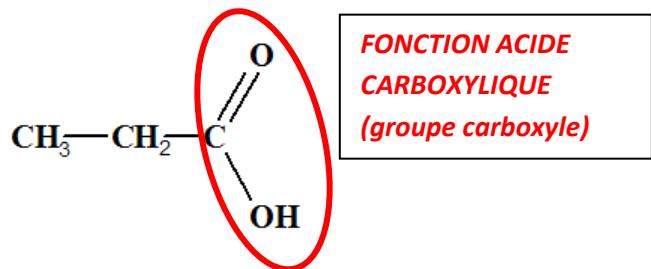
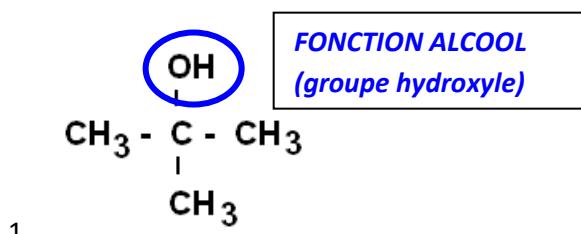
### Exercice 1 :

- Dans un spectre UV-visible on mesure l'**absorbance A** d'un échantillon en fonction de la **longueur d'onde  $\lambda$**  du rayonnement qui le traverse.
- On trouve graphiquement :  $\lambda \approx 530 \text{ nm}$



- D'après le cercle chromatique, la couleur perçue est complémentaire de la couleur observée. La couleur absorbée étant le vert, la couleur perçue est le (rouge) - magenta
- Plus une molécule organique possède de liaisons doubles conjuguées, plus la longueur d'onde du maximum d'absorption du rayonnement est grande. Ainsi l'E102 présente moins de doubles liaisons conjuguées que l'E122, donc la tartrazine absorbe à des longueurs d'ondes plus courtes que pour l'azorubine, ce qui conduit à une couleur observée qui tend vers le jaune.

### Exercice 2 :



- Molécule A. : 2-méthylpropan-2-ol  
Molécule B. : Acide propanoïque
- Sur le spectre IR on observe une forte large bande s'étendant de  $2300 \text{ à } 3800 \text{ cm}^{-1}$ , englobant la bande d'absorption due aux liaisons  $\text{C}_{\text{tert}} - \text{H}$ , caractéristique de la liaison O – H des acides carboxyliques. De plus on retrouve une bande d'absorption fine et forte pointant vers  $1720 \text{ cm}^{-1}$  caractéristique de la liaison C = O des acides carboxyliques. Tout indique que le spectre correspond à celui de la molécule B.
- La molécule B. est liquide ou solide, car la présence de liaisons hydrogène élargit et décale vers des nombres d'onde plus petits la bande d'absorption caractéristique de la liaison O – H.

### Exercice 3 : Dualité onde-particule et transferts énergétiques quantiques ( / 10,5 )

#### Etude du rayonnement :

- Il se produit une diffraction.
- Le spectre visible s'étend de **400 nm à 800 nm**. On sait que la distance interatomique d'un cristal métallique est de quelques dixièmes de nm, et que la diffraction est observable lorsque l'ouverture et la longueur d'onde du rayonnement sont du même ordre de grandeur. Or, la longueur d'onde d'un rayonnement visible est plus de **1000 fois plus élevée** que cette distance interatomique. Donc le phénomène de diffraction ne sera plus observable.

Expérience avec une onde de matière :

3. Quantité de mouvement d'un atome :  $p_{Na} = m \times v = (4,0 \times 10^{-26}) \times 5800 = 2,3 \times 10^{-22} \text{ kg.m.s}^{-1}$
4. Longueur d'onde de De Broglie associée :  $\lambda = h / p_{Na} = (6,63 \times 10^{-34}) / (2,3 \times 10^{-22}) = 2,9 \times 10^{-12} \text{ m} = 2,9 \text{ pm}$
5. On trouve  $\lambda < d$ , ( $2,9 < 135$ ), le caractère ondulatoire ne va pas suffisamment se manifester car  $\lambda$  et  $d$  ne sont pas du même ordre de grandeur. (on trouverait  $\theta = \lambda / d \approx 1,2^\circ$  ce qui est faible compte tenu que le détecteur est proche de la cible !)  
Il faut augmenter la longueur d'onde de De Broglie, donc diminuer sa quantité de mouvement (ie sa vitesse) si on se réfère à la formule donnée dans la question précédente.

Refroidissement laser :

6. Les 2 propriétés du laser nécessaires pour réaliser cette expérience sont : **sa directivité et sa monochromatique.**

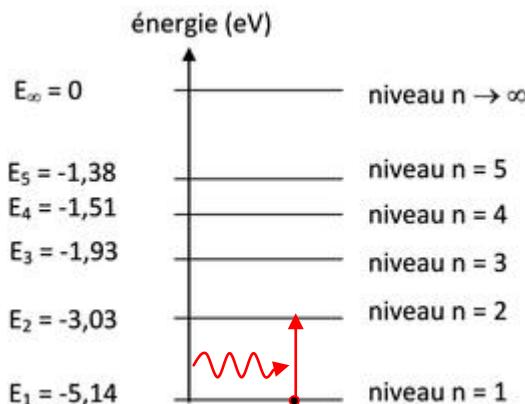
7.

a) On a :  $E = h.c/\lambda = (6,63 \times 10^{-34}) \times (3,00 \times 10^8) / (589 \times 10^{-9}) = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J}$

Soit :  $E = (3,38 \times 10^{-19}) / (1,60 \times 10^{-19}) = 2,11 \text{ eV}$

b) Cette énergie correspond à la transition énergétique entre les niveaux d'énergie  $E_1$  et  $E_2$ .

c) Représentation de l'absorption du photon :



d) Cette transition est une transition électronique, car le rayonnement absorbé est un rayonnement visible.

8. On sait que pour un photon :  $E = h.c/\lambda$ . Or, d'après la relation de De Broglie :  $\lambda = h / p$ .

En combinant les deux formules, on obtient :  $E_\gamma = p_\gamma \times c$ .

Ainsi :  $p_\gamma = E_\gamma / c = (3,38 \times 10^{-19}) / (3,00 \times 10^8) = 1,13 \times 10^{-27} \text{ kg.m.s}^{-1}$

9. On sait que l'atome de sodium est trop rapide, et que l'absorption d'un photon le ralentit. On sait par ailleurs que la quantité de mouvement de l'atome est exactement réduite de la valeur de la quantité de mouvement du photon absorbé. On veut que l'atome de sodium soit bien diffracté, donc qu'il ait une longueur d'onde égale à la distance interatomique du Nickel. Donc il faut pour cela calculer la quantité de mouvement que doit acquérir l'atome de sodium, estimer sa variation subie depuis l'état initial et en déduire combien de photons il faut absorber pour cela.

On calcule la quantité de mouvement  $p'$  que doit acquérir l'atome de sodium pour être diffracté :

On veut :  $\lambda = d = 135 \text{ pm}$  et on sait que  $\lambda = h / p$

D'où :  $p' = h / \lambda = (6,63 \times 10^{-34}) / (135 \times 10^{-12}) = 4,91 \times 10^{-24} \text{ kg.m.s}^{-1}$

On calcule la variation de quantité de mouvement  $\Delta p$  que doit subir l'atome de sodium :

On a :  $\Delta p = p_{Na} - p' = (2,33 \times 10^{-22}) - (4,91 \times 10^{-24}) \approx 2,2809 \times 10^{-22} \text{ kg.m.s}^{-1}$

(Remarque : inutile de respecter les CS pour un calcul intermédiaire)

Détermination du nombre de photons à absorber :

On sait qu'un photon véhicule une quantité de mouvement :  $p_\gamma = 1,13 \times 10^{-27} \text{ kg.m.s}^{-1}$  et que la quantité de mouvement totale à fournir est :  $\Delta p \approx 2,2809 \times 10^{-22} \text{ kg.m.s}^{-1}$

Soit N le nombre de photons absorbés :

$$\Delta p = N \times p_\gamma$$

$$\text{Donc : } N = \Delta p / p_\gamma = (2,2809 \times 10^{-22}) / (1,13 \times 10^{-27}) = 2,02 \times 10^5$$

Soit un ordre de grandeur de 200000 photons !

NOM :

« ? »	D.C	Compétence			
I. 1.	REA/RCO	Lire un graphique / Connaître le principe de la spectro UV-Visible			
I.2.	REA	Faire une lecture graphique			
I.3.	ANA	Exploiter un spectre UV-visible			
I.4.	ANA	Relier la couleur d'une molécule organique à son nombre de liaisons doubles conjuguées			
II.1.	RCO	Reconnaître et associer un groupe caractéristique à une fonction chimique			
II.2.	REA	Nommer un acide carboxylique et un alcool			
II.3.	ANA	Exploiter un spectre IR pour déterminer à quelle famille appartient une molécule			
II.4.	RCO	En phase condensée les liaisons H élargissent et diminuent $\sigma$ de la bande d'absorption de O-H			
III.1&2	ANA	Identifier des situations où la diffraction se manifeste			
III.2.	RCO	Connaître les limites du spectre visible			
III.2.	RCO	Savoir que la diffraction se manifeste quand $\lambda$ et a sont du même ordre de grandeur			
III.3.	RCO/REA	Connaître l'expression de la quantité de mouvement et la calculer			
III.4.	RCO/REA	Connaître la relation de De Broglie et l'exploiter			
III.5.	ANA	Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.			
III.6.	RCO	Connaître les propriétés essentielles d'une source laser			
III.7.a	RCO/REA	Connaître l'expression d'un quantum d'énergie et le calculer en J et en eV			
III.7.b	ANA	Extraire l'information d'un diagramme			
III.7.c	REA	Compléter un diagramme			
III.7.d	RCO	Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.			

NOM :

« ? »	D.C	Compétence			
I. 1.	REA/RCO	Lire un graphique / Connaître le principe de la spectro UV-Visible			
I.2.	REA	Faire une lecture graphique			
I.3.	ANA	Exploiter un spectre UV-visible			
I.4.	ANA	Relier la couleur d'une molécule organique à son nombre de liaisons doubles conjuguées			
II.1.	RCO	Reconnaître et associer un groupe caractéristique à une fonction chimique			
II.2.	REA	Nommer un acide carboxylique et un alcool			
II.3.	ANA	Exploiter un spectre IR pour déterminer à quelle famille appartient une molécule			
II.4.	RCO	En phase condensée les liaisons H élargissent et diminuent $\sigma$ de la bande d'absorption de O-H			
III.1&2	ANA	Identifier des situations où la diffraction se manifeste			
III.2.	RCO	Connaître les limites du spectre visible			
III.2.	RCO	Savoir que la diffraction se manifeste quand $\lambda$ et a sont du même ordre de grandeur			
III.3.	RCO/REA	Connaître l'expression de la quantité de mouvement et la calculer			
III.4.	RCO/REA	Connaître la relation de De Broglie et l'exploiter			
III.5.	ANA	Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.			
III.6.	RCO	Connaître les propriétés essentielles d'une source laser			
III.7.a	RCO/REA	Connaître l'expression d'un quantum d'énergie et le calculer en J et en eV			
III.7.b	ANA	Extraire l'information d'un diagramme			
III.7.c	REA	Compléter un diagramme			
III.7.d	RCO	Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.			