

1 Questions préliminaires

Compétences Analyser et S'approprier

Le sirop de menthe étudié contient deux colorants : le bleu Patenté V (E 131) et le jaune Tartrazine (E 102), qui absorbent tous les deux dans le visible mais dans des domaines de longueurs d'onde différents.

Au spectrophotomètre, on trace les spectres d'absorption d'une solution de jaune Tartrazine, d'une solution de bleu Patenté V et d'un sirop de menthe dilué dix fois.

a. Se procurer une copie des spectres. Légender les axes.

b. Pour quelle longueur d'onde l'absorbance de la solution de bleu Patenté V est-elle maximale ?

c. En utilisant l'étoile des couleurs complémentaires, justifier la teinte bleue de la solution.

d. Répondre aux mêmes questions pour la solution de jaune Tartrazine.

e. Pourquoi peut-on affirmer que ces deux colorants sont présents dans le sirop de menthe ?

2 Dosage spectrophotométrique

Compétences Analyser et Réaliser

• Problématique : Comment peut-on procéder pour déterminer la concentration en jaune Tartrazine et en bleu Patenté V dans ce sirop de menthe en utilisant la couleur ?

• Voici le matériel à disposition pour le colorant bleu Patenté V :

- Un spectrophotomètre au bureau ;
- Une cuve contenant le sirop de menthe dilué 10 fois ;
- Du papier millimétré ;
- Six cuves contenant des solutions de bleu patenté V avec les concentrations massiques t_B suivantes :

Tubes	1	2	3	4	5	6
t_B (mg·L ⁻¹)	4,0	3,2	2,4	1,6	0,8	0,5

• Voici le matériel à disposition pour le colorant jaune Tartrazine :

- Un colorimètre ;
- Deux burettes ;
- Une solution de jaune tartrazine à 10 mg·L⁻¹ ;
- Une cuve contenant le sirop de menthe dilué 10 fois ;
- Six tubes à essais ;
- Sept cuves ;
- Eau distillée ;
- Ordinateur et logiciel LatisPro.

f. Pour chaque colorant, rédiger un protocole, le soumettre à l'approbation du professeur et le réaliser.

g. La dose journalière admissible en colorant bleu Patenté V est de 2,5 mg par kilogramme de masse corporelle. Quel volume maximal de ce sirop peut boire par jour un élève de masse 60 kg ? On suppose que ce sirop est la seule source de ce colorant dans son alimentation.

h. Conclure.

- Pour le colorant jaune Tartrazine, la méthode est la même que pour le bleu Patentén V. Il faut cependant réaliser l'échelle de teinte en fabriquant des solutions filles de jaune Tartrazine de concentrations différentes par dilution de la solution mère de concentration connue à disposition, et utiliser un colorimètre.
- Pour l'échelle de teinte à réaliser, on remplit une burette d'eau distillée et l'autre de solution mère de jaune Tartrazine $t_J = 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Dans chaque tube à essai, on réalise un des mélanges figurant dans le tableau suivant et on calcule les nouvelles concentrations.

Tubes	1	2	3	4	5	6
$V_{\text{mère}}$ (mL)	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,5
V_{eau} (mL)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	4,5
t_J ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	10					

- On positionne le sélecteur rotatif du colorimètre sur la longueur d'onde proche de la radiation correspondant à celle qui est absorbée par le jaune tartrazine, et on mesure l'absorbance de chaque solution fille ainsi que celle du sirop de menthe dilué après avoir fait le blanc.
- On trace la courbe d'étalonnage $A = f(t_J)$ à l'aide du logiciel LatisPro. Le logiciel donne le coefficient directeur de la droite (en modélisant la courbe) et on en déduit la t_J du sirop dilué. Puis, on calcule la concentration en jaune tartrazine du sirop de menthe.

Évaluation type Bac

Compétence	Coefficient	Niveau validé			
		A	B	C	D
S'approprier	1				
Analyser	2				
Réaliser	3				

3 Les points clefs de l'expérience

Utilisation du colorimètre Pour une utilisation avec un voltmètre :



1. **Brancher l'alimentation** : +12 V sur le fil rouge, masse sur le fil noir, -12 V sur le fil vert ;
2. **Brancher le voltmètre** pour recueillir le signal : absorbance sur la sortie 1 fil jaune, transmission sur la sortie 2 fil bleu, masse sur le fil noir.
3. **Effectuer le blanc** en réglant la transmission $T = 100\%$ (fil bleu) ;
4. **Sélectionner la longueur d'onde** λ_{max} à l'aide du commutateur et relever les valeurs d'absorbance (fil jaune).

Pourquoi choisir la spectrophotométrie ?

C'est une technique de mesure de concentration qui fonctionne lorsque l'on dispose d'une espèce colorée, absorbant seule dans une bande d'absorption repérée par la longueur d'onde au maximum d'absorption λ_{max} .

Il est donc important de vérifier :

1. que l'espèce à étudier est colorée ;
2. que l'espèce absorbe seule à la longueur d'onde à laquelle on va se placer ;
3. que l'absorption n'est pas trop forte.

Pourquoi faut-il diluer l'espèce à doser ? Si

l'absorption est trop forte, d'une part le spectrophotomètre sature (il plafonne à son maximum $A = 3,3$, pour l'appareil du lycée), d'autre part le lien entre absorbance A et concentration de l'espèce n'est plus linéaire.

Pourquoi faut-il réaliser une courbe d'étalonnage ? Cette courbe permet d'établir le lien entre l'absorbance A mesurée et la concentration de l'espèce absorbant à la longueur d'onde choisie.

4 La spectrophotométrie UV-visible

4.1 La spectroscopie

La spectroscopie est l'étude quantitative des interactions entre la lumière et la matière. Lorsque de la lumière traverse une solution, elle est en partie absorbée et en partie transmise par diffusion et réflexion.

4.2 Spectre d'absorption

En classe de 1^{ère}S, nous avons vu que certaines molécules absorbent des radiations électromagnétiques dans le domaine du visible. La plupart des espèces chimiques peuvent par ailleurs absorber des radiations dans le domaine de l'ultraviolet ou de l'infrarouge.

Deux grandeurs sans dimension, liées à l'intensité lumineuse, sont usuellement employées pour quantifier l'absorption du rayonnement : l'absorbance A , une grandeur positive, et la transmittance (ou transmission) T , telle que $T = 10^{-A}$ (et par conséquent, $0 \leq T \leq 1$).

Les spectrophotomètres UV-visible permettent de caractériser l'absorption des ondes électromagnétiques d'une espèce. Le spectre obtenu représente en général l'absorbance de l'espèce (ordonnée A) en fonction de la longueur d'onde du rayonnement (abscisse λ).

4.3 Loi de Beer-Lambert

L'absorbance A d'une espèce en solution suit la loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon \cdot \ell \cdot c$$

où ℓ est l'épaisseur de solution traversée, c sa concentration et ε le coefficient d'absorption molaire.

Une espèce est caractérisée en spectroscopie UV-visible par la longueur d'onde du maximum d'absorption λ_{\max} et par la valeur du coefficient d'absorption molaire ε .

4.4 Groupes chromophores (ou auxochromes)

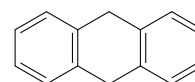
un chromophore (ou auxochrome) est un groupe d'atomes responsable d'une absorption caractéristique.

Lorsque le nombre de liaisons multiples conjuguées augmente dans une molécule, λ_{\max} augmente (le spectre se déplace vers le rouge), ainsi que l'intensité de la bande.

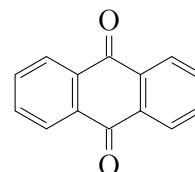
Les molécules organiques possédant au moins sept doubles liaisons conjuguées sont des espèces de la matière colorée, car elles absorbent des rayonnements dans le domaine du visible (λ compris entre 400 nm et 800 nm environ).

Les molécules organiques possédant entre une et six doubles liaisons conjuguées, incolores, absorbent des rayonnements dans le domaine de l'ultraviolet ($\lambda < 400$ nm). Certaines espèces inorganiques, telles que des ions dissous (ion permanganate MnO_4^- , ion cuivre (II) Cu^{2+} , etc.) ou des molécules (I_2 , O_3 , etc.), absorbent également des rayonnements dans le domaine UV-visible.

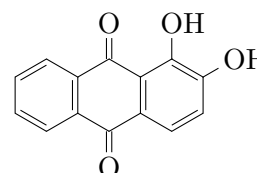
Voici un exemple d'une molécule recevant des groupes auxochromes, c'est-à-dire des groupes responsables d'une absorption dans le domaine visible et donc de l'apparition d'une couleur :



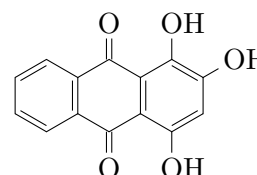
9,1-dihydroanthracène : incolore



Anthraquinone : jaune



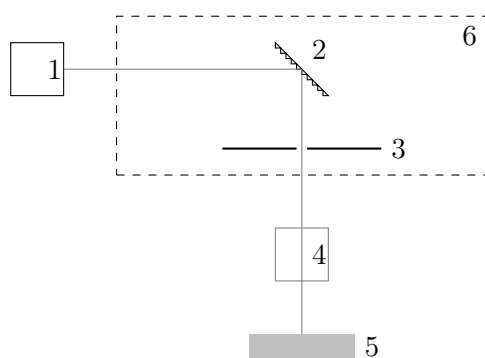
Alizarine : rouge



Purpurine : rouge foncé

5 Le spectrophotomètre

5.1 Principe de l'appareil



Quel que soit le spectrophotomètre utilisé, on retrouve les éléments suivants :

1. Source de lumière
2. Réseau par réflexion
3. Fente
4. Échantillon
5. Détecteur
6. Ensemble nommé monochromateur

La lumière blanche émise par la lampe 1 est décomposée par le réseau 2. La fente 3 permet de sélectionner une gamme très étroite de longueurs d'onde dans le spectre. En sortie du monochromateur 6, on a alors un faisceau de lumière quasi-monochromatique. Avantage, on peut choisir grâce à une orientation adéquate du réseau la longueur d'onde λ du faisceau.

Le faisceau traverse l'échantillon 4 de solution à analyser. Le détecteur 5 mesure l'intensité lumineuse transmise. En sortie du détecteur, un circuit électronique permet d'afficher différentes grandeurs.

5.2 Les grandeurs mesurées

Dans ce qui suit, on note I_0 l'intensité lumineuse incidente sur l'échantillon, et I l'intensité lumineuse transmise.



Les grandeurs données par le spectrophotomètre sont :

- La transmission $T = \frac{I}{I_0}$, qui s'exprime en pourcentage (entre 0% et 100%) et n'a pas d'unité ;
- L'absorption $a = 1 - T$, très peu utilisée ;
- L'absorbance $A = \log \frac{I_0}{I}$, sans unité.

On n'utilise quasiment que l'absorbance A . Le tableau suivant montre que quand $A = 2$, l'échantillon ne laisse passer qu'un centième de la lumière incidente — il s'agit d'une échelle logarithmique :

Absorbance A	0	1	2
I_0/I	1	10	100

5.3 Précautions d'utilisation

- Pour que la diminution de l'intensité lumineuse ne provienne que de l'espèce colorée à étudier, il faut éliminer toutes les autres causes d'absorption : réflexion et absorption des parois de la cuve, absorption du solvant, des autres solutés éventuellement contenus dans la solution...

En vue de s'affranchir de tous ces paramètres, on effectue un réglage du zéro d'absorbance, appelé **blanc**. Ce réglage s'effectue avec une cuve en place dans l'appareil, la cuve contenant alors toutes les espèces autres que celle à étudier.

- Il faut se placer à une longueur d'onde λ à laquelle l'espèce chimique que l'on veut étudier absorbe.
- Il faut utiliser des solutions suffisamment diluées, afin que l'absorbance A reste proportionnelle à la concentration c de la solution étudiée.

5.4 Mode d'emploi synthétique

Avant d'utiliser un spectrophotomètre, il faut :

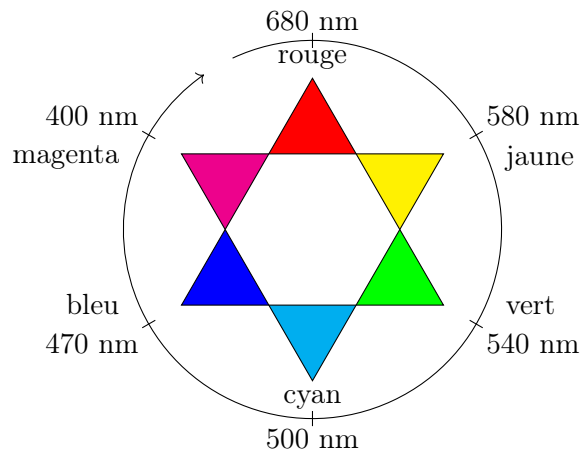
1. **Effectuer le blanc**, c'est-à-dire placer une cuve remplie d'eau dans l'appareil et capturer la ligne de base, c'est-à-dire le laisser mesurer toutes les intensités lumineuses aux différentes longueurs d'onde ;
2. **Tracer le spectre de la solution** étudiée, afin de repérer la longueur d'onde λ_{\max} du pic d'absorbance maximale sur lequel on va se placer ;
3. **Tracer la droite d'étalonnage** à partir d'une échelle de teinte, à la longueur d'onde λ_{\max} choisie, afin d'obtenir la constante de proportionnalité k entre l'absorbance A et la concentration c :

$$A = k \cdot c$$

qui n'est rien d'autre que la loi de Beer-Lambert, valable pour des solutions diluées.

4. **Relever l'absorbance A** d'une solution de concentration inconnue à la longueur d'onde de travail λ_{\max} et utiliser la droite d'étalonnage précédente pour déterminer la concentration inconnue c .

Étoile chromatique



Spectres d'absorbance $A = f(\lambda)$ du sirop de menthe et des deux colorants

