

LC01 : CHIMIE ET COULEUR (LYCÉE)

24 mars 2019

"Rêve ta vie en couleur, c'est le secret du bonheur"
Walt Disney

Clémentine Rouvière & Corentin Pacary

Niveau : Lycée

Commentaires du jury

- 2014 : "Apparemment, ils ont adoré la chromatographie sur colonne."
- Les intitulés des leçons de chimie sont volontairement ouverts, pour inciter les candidats à construire leur propre exposé reposant sur des choix argumentés, en développant une démarche scientifique sur un domaine de la chimie et de ses applications.
- Le candidat n'est pas obligé de se limiter au programme d'une seule classe, mais peut en explorer plusieurs en lien avec la thématique de la leçon.
- Le jury insiste sur le fait que la réalisation d'expériences est un élément incontournable de pratiquement toutes les leçons, qui ne peut se limiter à quelques "manipulations" en tubes à essais. D'autre part, les expériences présentées ne doivent pas être là simplement pour "illustrer la leçon" mais doivent faire partie intégrante de la démarche scientifique mise en œuvre par le candidat, en lien avec le thème de la leçon.

Bibliographie

- | | |
|----------------------------------|--|
| ➤ JFLM2 | → Synthèse de l'indigo et extraction du chou rouge |
| ➤ <i>1ereS</i> , Hachette | → Contenu |
| ➤ <i>TS</i> , Hachette | → Contenu |

Prérequis

- Formule topologique
- Groupements caractéristiques en chimie organique
- Synthèse soustractive des couleurs
- Spectre d'absorption et spectre en transmission
- Spectrophotométrie UV-visible
- pH

Expériences

- ☛ Extraction des colorants du chou rouge
- ☛ Synthèse de l'indigo
- ☛ Dosage par étalonnage du bleu de patenté dans le sirop de menthe

Table des matières

1 Les espèces colorées organiques	2
1.1 Les colorants	2
1.2 Les pigments	2
1.3 Origines de la couleur	3
2 Influence des conditions expérimentales en solution	3
2.1 Solvant	3
2.2 pH (Acidité de la solution)	4
2.3 Potentiel	4
3 La couleur, un outil de mesure quantitative	5
3.1 Absorbance et loi de Beer-Lambert	5
3.2 Dosage par étalonnage spectro-photométrique UV-visible	5

Introduction

La couleur est partout autour de nous, dans la nature, et nous n'avons de cesse de la reproduire, en peinture, sur nos vêtements, et même dans nos aliments. Nous avons déjà étudié des phénomènes physiques responsables de la couleur dans le dernier chapitre de physique sur les sources de lumière colorées. Nous allons répondre à deux questions : à quoi est due la couleur à travers le prisme de la chimie ? Comment l'exploiter ?

↓ *Les molécules organiques constituent une famille très importante en chimie, certaines sont transparentes mais beaucoup sont colorées. On les retrouve chez les plantes et les animaux mais nous pouvons aussi les synthétiser et les extraire pour reproduire les couleurs.*

1 Les espèces colorées organiques

Les espèces organiques colorées peuvent être séparées en deux catégories : les pigments et les colorants.

1.1 Les colorants

Def : Un colorant est une substance qui modifie la couleur du milieu dans lequel il est introduit et qui y est soluble. Les colorants se comportent comme des filtres colorés, ils absorbent une partie de la lumière visible qu'ils reçoivent, et transmettent le reste de la lumière, c'est ce qui donne la couleur aux solutions. Si la solution contient plusieurs colorants, la couleur de la solution correspond à toutes les longueurs d'onde non absorbées, c'est la synthèse soustractive.

En effet, imaginons une solution contenant des colorants qui absorbent dans le jaune, la solution nous apparaîtra bleue, couleur complémentaire du jaune. On peut le vérifier avec cette solution, vous pouvez voir qu'elle est bleue, je l'éclaire avec une lumière blanche puis je réalise son spectre en transmission c'est-à-dire que je disperse la lumière transmise avec un prisme.

Spectre en transmission d'une solution de bleu de patenté avec un prisme.
 QI + AC + achromat 120 + fente + (solution bleue) + PVD + écran

On peut voir que toute la lumière est transmise sauf la bande correspondant aux longueurs d'onde associées au jaune qui est bien la couleur complémentaire du bleu.

Les colorants sont très présents dans la nature. On peut citer notamment la chlorophylle qui donne leur couleur verte aux feuilles, le lycopène responsable de la couleur rouge caractéristique des tomates ou la cyanidine dans le chou rouge.

La nature est donc la principale source de colorants et nous avons depuis des millénaires extrait les colorants de plantes et d'animaux. En préparation, j'ai donc extrait les colorants du chou rouge, auquel nous reviendrons plus tard. Cependant, tous les colorants ne sont pas d'origine naturelle, les industriels synthétisent aussi ce qu'on appelle des colorants alimentaires pour ajouter ou amplifier les couleurs des aliments produits par l'industrie agro-alimentaire. C'est à ces colorants que les bonbons et le sirop de menthe doivent leur couleur.

↓ *Les colorants sont ainsi les espèces permettant de colorer des solutions et en particulier nos aliments, qu'ils soient naturels ou non. On peut aussi les retrouver dans les matières plastiques et les encres. En revanche, une des plus vieilles activités humaines est la peinture, comme on peut le voir dans différentes grottes, et ce ne sont pas des colorants qui ont été utilisés, mais des pigments.*

1.2 Les pigments

Def : Un pigment est une substance colorée, finement divisée et insoluble dans le milieu qui les contient, contrairement aux colorants. Ainsi, les pigments sont en suspension dans un liquide ou en dispersion dans un solide.

Les pigments absorbent aussi la lumière mais ils diffusent la lumière non absorbée, ils ne la transmettent pas, contrairement aux colorants. La couleur perçue respecte aussi le principe de synthèse soustractive. Ils sont très utilisés en peinture et dans l'industrie du textile notamment. Ils sont utilisés depuis plus de 15000 ans pour réaliser des peintures

préhistoriques dans les grottes.

Un des pigments les plus utilisés est l'indigo, notamment pour colorer les tissus, c'est à lui qu'on doit la couleur bleue caractéristique des jeans. Son usage le plus ancien connu remonte à 6000 ans au Pérou. Il est historiquement extrait des tiges de l'indigotier. Puis, la demande croissant, à la fin du XIX^e siècle, Baeyer et Drewsen proposent une synthèse qui est celle encore utilisée. Aujourd'hui, il faut 45 000 tonnes d'indigo par an pour le marché du jean, on comprend bien l'intérêt de cette synthèse que je vais vous présenter.

Synthèse de l'indigo

⚡ JFLM 2

⌚ 3 min

Nous avons vu les deux familles de molécules organiques colorées : les colorants et les pigments. Les colorants sont solubles en solution et la couleur est vue par transmission, alors que les pigments sont insolubles et restent en suspension, leur couleur est vue par réflexion. Ils sont ainsi responsables de la couleur de nombreux objets, naturels comme fabriqués par les humains, car ils absorbent certaines longueurs d'onde dans le domaine visible. Quelles sont les origines moléculaires de cette absorption ?

1.3 Origines de la couleur

Exemples de molécules organiques colorées (lycopène, beta-carotène, indigo (bleu vs pourpre (rouge), hydrazobenzène (incolore) vs azobenzène (rouge-orangé), anthraquinone (jaune) vs alizanine (orange)...).

Toutes ces molécules ont un point commun immédiat : elles présentent toutes une alternance de liaisons simple et multiples (doubles ou triples), c'est ce qu'on appelle des liaisons conjuguées. D'une manière générale, une molécule est colorée si elle possède un grand nombre de liaisons conjuguées, au moins 6. Quand une molécule a 6 liaisons conjuguées, la solution qui la contient apparaît rouge, et plus le nombre de liaisons conjuguées augmente, plus la couleur se déplace vers le bleu.

On peut trouver deux groupes d'atomes responsables de la couleur dans une molécule.

Groupes chromophores On retrouve notamment les groupes chromophores qui comportent des doubles liaisons et qui constitue une partie de la chaîne de liaisons conjuguées. Ils sont donc responsables de l'absorption de la lumière.

Groupes auxochromes Il y a aussi des groupes auxochromes, qui sont des substituants de la chaîne carbonée présentant des doublets non liants et donc augmentent la conjugaison. Ils changent ainsi les longueurs d'onde absorbées par les chromophores et les liaisons conjuguées ce qui permet d'avoir de la lumière non absorbées dans le visible.

La couleur des colorants et des pigments a donc ses origines dans la forme de l'espèce chimique à une échelle moléculaire. Cependant, la couleur n'est pas une propriété totalement intrinsèque de la matière mais dépend des conditions expérimentales. En effet, si on éclaire un écran blanc avec une lampe à vapeur de sodium, il apparaît orange. On doit donc étudier l'influence du milieu extérieur sur la couleur d'une espèce dans le cas des excès en solution.

2 Influence des conditions expérimentales en solution

2.1 Solvant

Presque toutes les réactions chimiques se déroulent en solution, le solvant a donc une importance primordiale, il faut le choisir en fonction des interactions qu'on veut qu'il ait avec les réactifs et les produits. Nous allons voir l'influence qu'il peut avoir sur la couleur d'une solution.

Influence du solvant sur la couleur de I_2 : Diode dans de l'eau, du cyclohexane, de l'acétone et de l'éthanol. (sous hotte)

Le solvant a une influence sur la couleur : dans l'eau, le cyclohexane et l'acétone, qui sont des solvants oxygénés, on peut voir une couleur rouge-brun, alors que dans le cyclohexane, un solvant non oxygéné, la solution est violette. Le solvant a ainsi, comme prévu, une influence sur la couleur de la solution, ce qui nous donne en première approximation des renseignements sur les interactions entre le diode ici et le solvant.

2.2 pH (Acidité de la solution)

Vous avez vu qu'une autre manière de changer les propriétés de la solution, et donc l'environnement moléculaire du composé coloré est d'acidifier la solution. En effet si l'on ajoute du vinaigre dans l'extrait de chou rouge obtenu, on observe un changement de couleur.

Chou rouge dans lequel on ajoute du vinaigre (ou de l'acide chlorhydrique), puis échelle de teinte en fonction du pH.

Cela s'explique par un changement de forme acido-basique de la, qui est de la famille des anthocyanes, molécules très présentes dans le monde végétal dont la couleur varie du bleu pourpre au rouge orangé. C'est cette famille de molécules qui explique la couleur des fruits rouges et des feuilles en automne.

On peut voir que le pH a une influence sur la couleur des solutions contenant les colorants du chou rouge. Cette influence se retrouve dans la nature puisque la couleur du chou est modifiée suivant le pH du sol dans lequel il pousse : plutôt rouge pour des sols acides, plutôt bleu pour des sols basiques. Les espèces chimiques changeant de couleur en fonction du pH sont appelés des indicateurs colorés. Ils sont utiles en chimie pour caractériser le caractère acide ou basique d'une solution.

↓ *Les propriétés acido-basiques d'une solution peuvent ainsi influencer la couleur d'une solution. Nous allons maintenant nous intéresser à un autre type de solution aqueuses, celles qui font intervenir des couples oxydants-réducteurs.*

2.3 Potentiel

J'ai synthétisé de l'indigo en première partie, je vais l'utiliser pour colorer une solution. En réalité, j'utilise celui que j'ai fait en préparation car il aurait fallu le laisser quelques minutes à l'étuve pour bien le sécher. Au préalable, j'avais fait chauffer de l'eau dans laquelle je mets une pointe de spatule. Vous pouvez voir que l'indigo ne se dissout pas dans l'eau, il y a seulement des particules en suspension. Comme vous le savez, les couples d'oxydo-réduction sont caractérisés par un potentiel, que je mesure avec un voltmètre.

Influence du potentiel sur la couleur d'une solution d'indigo

J'ajoute maintenant un réducteur, la dithionite de sodium, le potentiel est modifié et la solution devient jaune. Tout comme le colorant du chou rouge a une couleur différente suivant s'il est sous forme acide ou basique, l'indigo a une couleur différente suivant s'il est sous forme oxydant ou réducteur.

Comme je vous l'ai dit, les pigments sont très utilisés dans l'industrie textile pour colorer les vêtements. En particulier, on utilise l'indigo pour donner leur couleur bleue caractéristique au jeans. Il se trouve que c'est avec ce protocole qu'on réalise les teintures. Il ne me reste plus qu'à plonger un morceau de tissu dans la solution. Il est maintenant bleu!

Teinture à l'indigo



Plonger un bout de tissu dans la solution de dithionite de sodium et indigo, laisser agir, rincer et tadaaaa

Nous avons envisagé différentes causes de la couleur en chimie, que ça soit des causes intrinsèques aux molécules ou l'influence des conditions expérimentales. La couleur n'est pas seulement liée à des questions d'esthétisme mais peut aussi permettre de réaliser des mesures quantitatives!

3 La couleur, un outil de mesure quantitative

3.1 Absorbance et loi de Beer-Lambert

Dans la première partie, je vous ai dit que la couleur des colorants est due à leur absorption de la lumière visible. J'ai réalisé une échelle de teinte avec du bleu de patenté :

Influence de la concentration

Vous pouvez voir que plus, la concentration est grande, plus la solution semble absorber de la lumière. J'ai aussi placé la solution dans deux récipients de longueur différente.

Influence de la longueur de la cuve

Ainsi, plus le récipient est long, l'absorption semble importante. On peut quantifier cette capacité des solutions colorées à absorber avec une grandeur que vous connaissez qui s'appelle l'absorbance. Je vous rappelle son expression :

$$A_\lambda = \epsilon_\lambda \ell c$$

ϵ coefficient d'absorption molaire en $\text{mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1}$
ℓ longueur de la cuve en cm
c concentration molaire en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

On retrouve bien la dépendance linéaire avec la concentration et la longueur de la cuve. L'absorbance est mesurée avec un spectrophotomètre UV-visible, la longueur de la cuve étant fixée

Comme l'absorbance est une grandeur additive, on peut déterminer les espèces colorées par une solution en réalisant un spectre UV-visible. Je l'ai réalisé ici avec du sirop de menthe.

Détermination du colorant présent dans le sirop de menthe

Comme tout à l'heure avec la CCM, on retrouve que le sirop de menthe est constitué de bleu de patenté et de tartrazine, deux colorants alimentaires.

Bleu de patenté toxique à haute dose, la dose journalière autorisée a alors été fixée à 2,5 mg/kg, le sirop de menthe respecte-t-il les normes? Je vais utiliser la couleur de la solution de sirop de menthe pour déterminer la quantité de Bleu patenté contenue, en réalisant un dosage par étalonnage.

3.2 Dosage par étalonnage spectro-photométrique UV-visible

On veut étudier la concentration en bleu de patenté dans le sirop de menthe. On se place alors à la longueur d'onde pour laquelle l'absorption par le colorant est maximum λ_{max} pour minimiser les incertitudes. Comme la longueur de la cuve est fixée et que l'absorbance de la tartrazine à cette longueur d'onde est négligeable, l'absorbance de la solution est proportionnelle à la concentration en bleu de patenté.

J'ai utilisé mon échelle de teinte en bleu de patenté pour réaliser une droite d'étalonnage.

Je vais maintenant mesurer l'absorbance d'une solution de sirop de menthe dilué 20 fois.

Dosage par étalonnage spectrophotométrique UV-visible du bleu de patenté dans le sirop de menthe



⊖ 5 min

Montrer la courbe d'étalonnage, mesure de l'absorbance du sirop de menthe et détermination de la concentration en bleu de patenté.

Sachant que la DJA est de 2,5 mg/kg, pour une personne de 80 kg, il faudrait boire 3L de sirop de menthe pure par jour pour dépasser la DJA.

Application avec un type de dosage vous verrez plus tard qu'il existe d'autres types de dosages notamment ceux qu'on appelle des dosages colorimétriques où on exploite les propriétés de changement de couleur des indicateurs colorés comme le chou rouge dans des solutions acido-basiques.

Conclusion

Au cours de cette leçon nous avons vu que la couleur de la matière était due à la présence dans le milieu de molécules colorées qui absorbent et transmettent la lumière pour les colorants et absorbent et diffusent pour les pigments. Ensuite nous avons expliqué ce qui au niveau microscopique interprète ces propriétés d'absorption de la lumière. Puis nous nous sommes intéressés à l'influence du milieu en étudiant l'influence de différents paramètres comme le solvant, le pH et la température. Enfin nous avons vu que la couleur était un outil de quantification très utile en chimie pour réaliser des dosages.

En appliquant des méthodes similaires en sortant du domaine visible, dans les infrarouges (IR) par exemple, on peut également obtenir des informations sur les molécules et leur structure en mesurant leur spectre d'absorption.