

LC1 - Chimie et Couleur

Mathieu Sarrat

18 mai 2019

Niveau, Pré-requis et objectifs

- **Niveau :** Première S
- **Pré-requis :**
 - Synthèse additive et soustractive de la couleur ;
 - Formules brute, développée, semi-développée ;
 - Réaction d'oxydoréduction ;
 - Tableau d'avancement, rendement d'une réaction.
- **Objectifs :**
 - Introduire la représentation topologique ;
 - Établir un lien entre la couleur et la structure des molécules ;
 - Introduire la loi de Beer-Lambert ;
 - Synthétiser un colorant ;
 - Dosage spectrophotométrique par étalonnage.
- **Recommandations :**
 - Synthétiser l'indigo en premier. Une première fois en totalité (jusqu'à l'étude). Refaire et s'arrêter avant la filtration.
 - Courbe d'étalonnage pour le dosage du bleu patenté : faire 5 points.
- **Bibliographie :**
 - Terminale S Hachette. Physique Chimie Enseignement Spécifique, pour le dosage.
 - Première S pour le cours.
 - Le Maréchal Tome 2
 - Chimie des couleurs et des odeurs (synthèse de l'indigo).

Introduction

La couleur peut être définie comme la qualité de la lumière renvoyée par la surface d'un objet. Elle correspond aussi à la sensation perçue par le cerveau quand l'œil lui transmet le signal d'une lumière correspondant à un intervalle donné de fréquence.

Les matières colorées sont utilisées depuis la Préhistoire. Des fresques peintes (cf. peintures rupestres de la grotte de Lascaux) avec des matières colorées minérales, telles que l'ocre, la craie ou le noir de charbon, ont été retrouvées dans des grottes ornées de peintures rupestres. Dès l'Antiquité on sait extraire des matières colorées des végétaux, comme la garance ou l'indigo ; ou d'animaux, comme la cochenille des teintures et le murex, coquillage duquel les Romains tiraient la pourpre.



FIGURE 1 – Peintures rupestres de la grotte de Lascaux.

Leur extraction était souvent longue et laborieuse, leur fixation sur support parfois imparfaite et leur coût de revient élevé. Dès le milieu du XIX^e siècle, les chimistes parviennent à synthétiser des espèces chimiques colorées, c'est par exemple le cas de la mauvéine synthétisée par Perkin en 1856. Cette avancée s'inscrit dans le contexte de grands progrès en chimie organique, la chimie des molécules contenant en majorité les atomes C et H, très présentes dans la matière vivante.

Les matières colorées naturelles sont alors progressivement remplacées par des produits de synthèse. De nos jours, une matière colorée peut être organique ou inorganique, naturelle ou synthétique.

1 Origines chimiques de la couleur

1.1 Pigments et colorants

Les molécules colorées sont classées en deux catégories suivant leur solubilité dans le solvant, les **colorants** et les **pigments**.

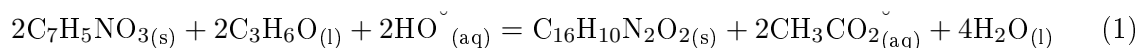
- Les colorants sont des espèces solubles dans le milieu qu'ils colorent. On les trouve dans l'alimentation, en particulier dans les boissons et dans les bonbons. On en trouve aussi dans les encres pour teindre les vêtements.
- Tout comme un colorant, les pigments colorent un milieu, mais ils se présentent sous forme d'une poudre insoluble. Il est donc important de choisir un milieu qui puisse maintenir les pigments sans qu'il n'y ait décantation. Un tel milieu est appelé un **liant**. Il s'agit par exemple des huiles utilisées en peinture. Dans ce cas, le liant remplit trois fonctions : donner de la cohésion aux pigments pour pouvoir manipuler la peinture (on forme une pâte plus ou moins fluide), permettre à la matière colorée de sécher et durcir pour former un film solide et durable, réversible (gouache) ou non (acrylique) et enfin donner un aspect particulier à la peinture (mat, brillant, etc...).

1.2 Synthèse de l'indigo (Le Maréchal, Tome 2, p137 et 138.)

Les pigments et les colorants peuvent être extraits de substances naturelles ou synthétisés. Par exemple, l'indigo peut être extrait d'une plante, l'indigotier, ou synthétisé à partir de produits chimiques, ce qui permet de réduire son prix de revient.

Synthèse de l'indigo

La réaction de synthèse est la suivante :



Ils n'ont pas encore vu la représentation topologique, on donne les formules brutes, en indiquant sous chaque expression le nom de la molécule. On donnera les représentations topologiques plus loin, après avoir défini cette représentation.

- **En préparation :**
 - Dans un tube à essais, dissoudre 0.5g de 2-nitrobenzaldéhyde (3.3 mmol) dans 5 mL d'acétone, qui sert de réactif et de solvant.
 - Saisir le tube à essais avec une pince en bois (la réaction est exothermique) et introduire goutte à goutte 2.5 mL de soude à 1 mol. Cela chauffe et peut bouillir.
 - Laisser réagir 5 minutes.
 - Filtrer sur fritté et laver avec 10 mL d'eau distillée, puis 10 mL d'éthanol à 95%. Le lavage à l'éthanol permet d'éliminer les restes de 2-nitrobenzaldéhyde.
 - **Peser la coupelle qui va recueillir l'indigo.**
 - Sécher le solide à l'étuve (100-120 °C) pendant 40 min.
 - Relancer une seconde synthèse, s'arrêter avant la filtration.
- **En direct :**
 - Présenter la réaction.
 - Faire la filtration de la seconde synthèse et présenter le dispositif Buchner.
 - Dresser un tableau d'avancement, montrer qui est le réactif limitant (2-nitro...), calculer l'avancement maximal et la masse maximale d'indigo que l'on peut produire :

$$m(\text{In})_{\text{max}} = \xi_{\text{max}} M(\text{In}), \quad (2)$$

avec $M(\text{In}) = 262.3 \text{ g/mol}$ et $M(2\text{-nitro}) = 151.12 \text{ g/mol}$.

— Calculer le rendement

$$\eta = \frac{m(In)_{\text{pesée}}}{m(In)_{\text{max}}} \quad (3)$$

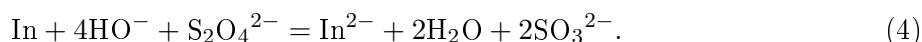
à partir de l'échantillon placé à l'étuve.

Utilisation en teinture

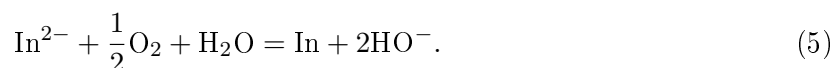
Pour colorer un tissu, comme un jean, il faudrait mettre l'indigo en solution pour imbiber les fibres. Or, l'indigo est insoluble dans l'eau. On doit donc le transformer en composé soluble.

- Erlenmeyer : dissoudre 0.5g de dithionite de sodium dans 40 mL d'eau distillée avec une pastille de soude et un peu de pierre ponce.
- Faire chauffer jusqu'à ébullition.
- Ajouter 0.1g d'indigo et **boucher l'ermenmeyer**, pour éviter l'oxydation par le dioxygène de l'air.
- Agiter la solution jusqu'à ce que l'indigo soit dissout. La solution prend une teinte verte. Ajouter plus de dithionite de sodium si l'indigo n'est pas entièrement dissous.
- Immerger un échantillon de tissu/de coton dans la solution à l'aide d'une baguette de verre. Reboucher. Agiter 30 secondes.
- Retirer l'échantillon, laisser à l'air libre pour le sécher : le dioxygène de l'air oxyde la forme leuco, et la teinte bleue apparaît. Laver pour retirer l'indigo qui ne s'est pas fixé, ainsi que les restes éventuels de dithionite de sodium et de soude. On ne lave qu'après la réoxydation de l'indigo, une fois qu'il est devenu insoluble.

La réaction entre l'indigo et les ions dithionate est une réaction d'oxydoréduction au cours de laquelle l'indigo est réduit par les ions dithionite en forme "leuco" et les ions dithionite $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$ sont oxydés en ions sulfite SO_3^{2-} :



On écrit la demi-équation d'oxydation des ions dithionite en milieu basique. On forme la forme leuco (en réalité jaune) de l'indigo, soluble dans l'eau et permettant une teinte en profondeur de la fibre du tissu. Le dioxygène oxyde ensuite la forme leuco en indigo, selon la réaction



On écrit la demi-équation de réduction du dioxygène en milieu basique.

1.3 Couleur et structure moléculaire

En interagissant avec la lumière, les molécules absorbent une partie de l'énergie lumineuse correspondant à certaines fréquences. La lumière qui n'a pas été absorbée est diffusée, collectée par l'œil et nous la percevons sous forme de couleur. On peut alors se douter que l'organisation de la matière, et notamment la structure des molécules, va avoir un rôle à jouer dans la couleur d'une substance.

Molécules organiques

Historiquement une molécule organique est une molécule provenant d'un organisme vivant. Au XIX^e siècle, les chimistes ont commencé à synthétiser des molécules similaires aux molécules naturelles. Aujourd'hui, on définit les molécules organiques comme molécules constituées essentiellement de l'élément carbone C et l'élément hydrogène H.

Une molécule organique est formée d'un **enchaînement plus ou moins long d'atomes de carbone qui constituent le squelette** de la molécule. Ceux-ci sont principalement liés à des atomes d'hydrogène, mais on trouve aussi des groupes contenant d'autres éléments chimiques (oxygène, soufre, azote, chlore, etc...) : ce sont des **groupes caractéristiques**, qui confèrent à une molécule un certain nombre de propriétés.

Représentation topologique d'une molécule

Jusqu'ici nous avons représenté les molécules par leur formule brute, par exemple celle de l'indigo



Cette formule ne nous apporte aucune information sur l'arrangement des atomes les uns par rapport aux autres, d'où le recours aux formules développées ou semi-développées pour se faire une idée de cet arrangement.

Les molécules organiques possèdent souvent un grand nombre d'atomes, et ces représentations peuvent devenir fastidieuses, d'où le recours à une représentation simplifiée, **la représentation topologique** :

- les liaisons carbone-carbone sont représentées par des segments ;
- les doubles liaisons sont représentées par des doubles segments ;
- les hétéro-atomes (ceux qui ne sont ni C, ni H) sont tous représentés ;
- les atomes d'hydrogène portés par les hétéroatomes sont représentés ;
- les atomes d'hydrogène **portés par les atomes de carbone ne sont pas représentés**.
Les atomes de carbone en portent autant que nécessaire pour établir au total 4 liaisons covalentes (4 simples, ou 2 simples et une double par exemple).

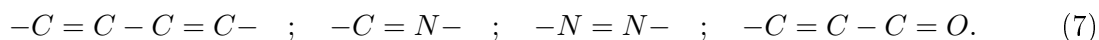
Quelques exemples : **faire le cas du propane puis de l'éthanol à la main, puis montrer une diapo avec d'autres exemples et notamment les espèces impliquées dans la synthèse de l'indigo.**

Chromophores et auxochromes

Les liaisons entre atomes sont assurées par des doublets d'électrons. L'interaction de la lumière avec la matière dépend de l'énergie des électrons des molécules et **plus particulièrement de ceux des doubles liaisons** :

- les molécules colorées présentent une **alternance régulière de doubles liaisons et de simples liaisons** : on dit que les doubles liaisons sont conjuguées ;
- les molécules colorées absorbent certaines longueurs d'onde du domaine visible. La couleur perçue correspond à la couleur complémentaire des radiations absorbées ;
- **la longueur d'onde de la lumière observée augmente lorsque le nombre de doubles liaisons conjuguées augmente**. En dessous de 7 doubles liaisons conjuguées, l'absorption se fait dans le domaine des ultraviolets ce qui ne donne pas de coloration perceptible pour les humains.

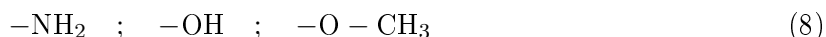
La transformation de la lumière blanche en lumière colorée résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés **chromophores** :



Hors programme : Ils disposent d'orbitales vides ou incomplètes à des niveaux d'énergie peu éloignés de ceux des orbitales remplies, de sorte qu'ils absorbent la lumière visible d'énergie correspondant aux transitions possibles entre ces niveaux.






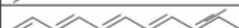



Dans le cas de la molécule d'indigo, c'est la délocalisation des doublets électroniques des atomes d'azote qui permet de "mettre en contact" les chaînes d'alternance de double/simple liaisons et donc de faire de l'indigo une molécule colorée.

La **présence de substituants** peut modifier la longueur d'onde d'absorption : ils jouent le rôle de **groupes auxochromes** en déplaçant le maximum d'absorption vers de plus grandes longueurs d'onde. Ainsi, une molécule qui, sans groupement absorberait dans l'ultraviolet, va pouvoir absorber dans le visible et donc être colorée. Parmi ces substituants, on peut citer :



Montrer le parallèle entre anthraquinone et alizarine.

Évolution du maximum d'absorption des polyènes en fonction du nombre n de liaisons conjuguées.

polyène	n	λ_{max} (nm)	couleur perçue
	1	165	incolore
	2	217	incolore
	3	268	incolore
	4	304	incolore
	5	334	incolore
	6	364	incolore
	7	405	Jaune-vert
	8	440	Jaune
	11	485	Jaune-orangé

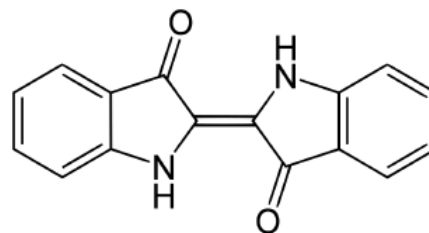


FIGURE 2 – Gauche : polyènes. Droite : indigo.

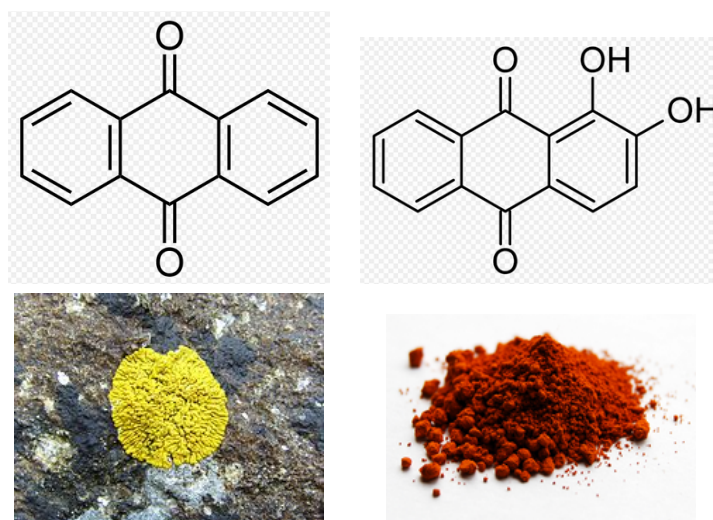


FIGURE 3 – Gauche : anthraquinone. Droite : alizarine.

2 Influence de paramètres extérieurs à la molécule

2.1 Influence du pH

Indicateurs colorés

En changeant la valeur du pH de la solution dans laquelle se trouve une molécule organique, on peut modifier cette molécule, et il peut donc y avoir changement de la couleur de la solution. C'est le cas des espèces acido-basiques dont l'acide et la base ont des couleurs distinctes. Dans ce cas, suivant la valeur du pH, la forme acide ou basique est majoritaire et impose sa couleur. C'est par exemple le cas avec la **phénolphthaléine** :

Manip : deux béchers d'eau distillée, contenant de la phénolphthaléine. On verse dans l'un de l'acide chlorhydrique (1 mol/L), dans l'autre de la soude (1 mol/L). On mesure le pH. Ne pas dépasser 12, sans quoi la phénolphthaléine redevient incolore.

La forme acide de la phénolphthaléine présente un nombre insuffisant de doubles liaisons carbone-carbone alternées simple/double. Ce n'est pas le cas de la forme basique. Il existe un grand nombre d'indicateurs colorés, dont les zones de virage (la plage de valeurs de pH dans laquelle l'indicateur change de couleur) diffèrent sensiblement (**voir diapo**).

Les anthocyanes du jus de chou rouge

Le chou rouge contient des anthocyanes qui, suivant le pH, adoptent l'une de leurs quatre formes (cation avylium (rouge), base quinonique (bleu-mauve), base carbinol (incolore) et chalcone (jaune clair)). La forme majoritaire impose sa couleur ; la large gamme de couleur est due à

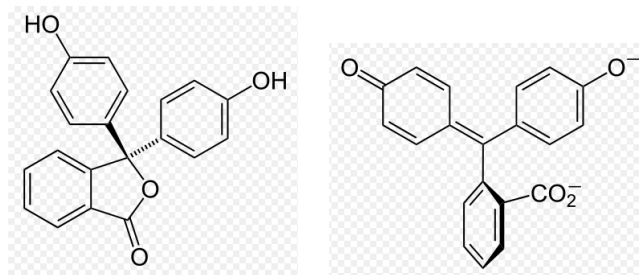


FIGURE 4 – Formes acide et basique de la phénolphthaléine.

la grande variété d'espèces colorées du chou rouge. **S'il reste du temps, on peut faire l'expérience en préparation, et présenter les tubes à essais lors de la leçon (voir en Annexe pour le protocole).**

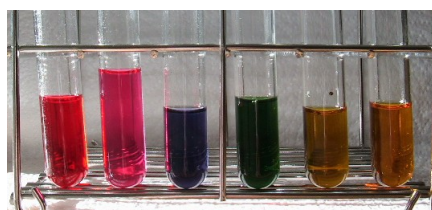


FIGURE 5 – Jus de chou rouge dilué avec ajout de produits acides ou basiques : tube 5 (rouge), tube 3 (rose), tube 1 (bleu), tube 7 (vert), tube 8 (jaune-vert), tube 9 (jaune). Tube 5 : ajouter une dizaine de goutte d'acide chlorhydrique. Constaté que la couleur reste rouge et n'évolue plus quand on ajoute encore de l'acide. Tube 3 : ajouter une ou deux gouttes d'acide éthanoïque, ou de vinaigre d'alcool. La couleur vire au rose fuchsia. Tube 1 : ne rien y ajouter ! Il s'agit du tube de la couleur de référence, "neutre", du chou rouge. La couleur est normalement bleue. Tube 7 : ajouter une goutte d'ammoniaque. La couleur devient d'un vert vif. Tube 8 : ajouter une goutte d'une solution d'hydroxyde de sodium. La couleur devient jaune-vert. Tube 9 : ajouter plusieurs gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium. Constaté que la couleur devient jaune vif et n'évolue plus quand on ajoute encore de la soude.

2.2 Influence du solvant

Certaines espèces chimiques ont des couleurs différentes selon le solvant dans lequel elles sont dissoutes.

- Matériel : 2 tubes à essai avec bouchons, spatule, cristaux de diiode ;
- Introduire à la spatule un peu de diiode dans chaque tube à essai. Vers 2mL d'eau distillée dans un tube, 2mL de cyclohexane dans l'autre. Boucher, agiter, observer ;
- *Explication, hors programme : le diiode adopte une coloration différente dans l'eau et le cyclohexane. Le diiode est un composé apolaire qui se dissout mal dans l'eau, dans laquelle il se présente préférentiellement sous la forme triiodure (I_3^-), un complexe de couleur jaune pâle. La molécule de diiode se dissout mieux dans le cyclohexane, auquel elle confère une couleur violette.*

2.3 Influence de la température

La température peut aussi avoir effet sur la couleur de certaines substances : on parle de **thermochromisme**. La lumière elle-même peut modifier la couleur d'un matériau, c'est par exemple le cas des verres de lunettes **photochromes** qui se teintent lorsque la quantité d'ultraviolet atteignant le verre dépasse un seuil.

3 Influence de la concentration

Une solution se comporte comme un filtre coloré, lorsqu'elle est traversée par une lumière blanche. En effet, elle absorbe une partie du rayonnement et toutes les radiations ne sont pas absorbées de la même manière, d'où la couleur et ses nuances.

3.1 Absorbance et spectrophotométrie

L'absorbance est une grandeur physique qui traduit la capacité d'un milieu à absorber un rayonnement. Supposons qu'une seule espèce absorbe dans la solution. On peut calculer cette grandeur grâce à la loi de Beer-Lambert modélise une relation de proportionnalité entre l'absorbance et la concentration en espèce absorbante :

$$A = kC, \quad (9)$$

où C est la concentration en espèce absorbante, donnée en mol/L et k une constante de proportionnalité dépendant de la longueur d'onde, du solvant et de l'épaisseur de solution traversée. L'absorbance est une **grandeur sans unité**. Comme toute loi, elle a un domaine de validité : il ne doit pas y avoir de solides dans la solution et les solutions doivent être diluées (concentration inférieure à 10^{-2} mol/L).

L'absorbance est donc **définie pour une longueur d'onde donnée** et on peut la mesurer grâce à un spectrophotomètre. Le principe est le suivant : une source lumineuse de longueur d'onde ajustable éclaire une cuve contenant la solution colorée à étudier. Un photo-détecteur mesure l'intensité transmise par la solution. Afin de s'affranchir de l'absorption possible par le solvant et par la cuve, un étalonnage avec du solvant pur est nécessaire : on **fait le blanc**.

Pour une longueur d'onde donnée, une valeur $A = 0$ signifie que la solution est complètement transparente : la radiation incidente n'est pas du tout absorbée. Une valeur $A = 1$ signifie que 90 % de l'énergie lumineuse de la radiation incidente est absorbée.

Le spectre d'absorption d'une solution est le graphique représentant son absorbance A en fonction de la longueur d'onde.

Manip : spectre d'absorption du bleu patenté V :

- Faire le blanc.
- Tracer le spectre d'absorption du sirop de menthe.
- Comparer à celui du bleu patenté V (colorant E131). Il se pourrait qu'une second pic apparaisse, dans le violet, lié à la tartrazine du sirop de menthe. Cette espèce n'absorbe pas à la même longueur d'onde, donc aucun impact sur le dosage à λ_{\max} du bleu patenté. On pourrait faire une CCM pour montrer les deux espèces...
- Pic d'absorption maximal (dans le rouge, $\lambda = 640$ nm).

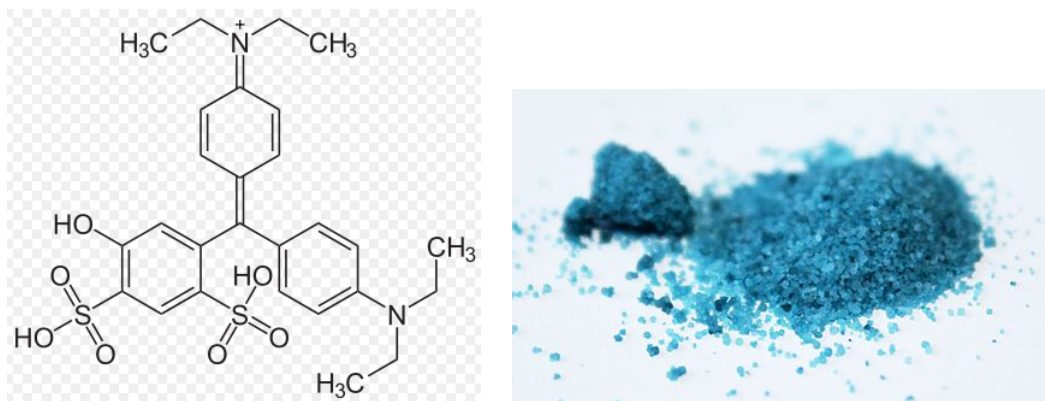


FIGURE 6 – Bleu patenté V.

3.2 Dosage par étalonnage : colorant E131 dans le sirop de menthe

La toxicité du bleu patenté, colorant alimentaire E131, est mal connue. On le soupçonnerait notamment d'aggraver ou de provoquer l'hyperactivité chez certains enfants. Interdit dans certains pays, il est cependant autorisé en Europe, où il est utilisé en médecine (en cancérologie, notamment) ou dans la confiserie. On le trouve également dans certains sirops de menthe¹.

La dose journalière admissible (DJA) est la dose d'additif qu'une personne peut ingérer tous les jours de sa vie sans risque appréciable pour sa santé, c'est à dire sans effet secondaire. Elle est en moyenne 100 fois inférieure à la dose pour laquelle on a vu, dans les études toxicologiques, apparaître un risque. Dans le cas du bleu patenté elle est de 2.5mg/kg de masse corporelle. **Un enfant boit 0.2 L de sirop de menthe : on veut déterminer la quantité de bleu patenté qu'il ingère et la comparer à la DJA. Pour cela, on va réaliser un dosage spectrophotométrique par étalonnage.**

Un dosage par étalonnage consiste à **déterminer la concentration d'une espèce en solution en comparant une grandeur physique**, caractéristique de la solution, **à la même grandeur physique mesurée pour des solutions étalon**. Dans le cas du dosage du bleu patenté, cette grandeur physique est l'absorbance de la solution. Pour le dosage, nous avons **besoin de réaliser une gamme de solutions étalon**, c'est à dire de concentrations parfaitement connues.

En préparation :

- Fabriquer la gamme de solutions étalon (se reporter au livre).
- Tracer la droite d'étalonnage.
- Préparer la solution de sirop de menthe, diluer si besoin.

En direct :

- Présenter la droite d'étalonnage et la gamme étalon (sous forme d'un tableau),
- Expliquer la modélisation linéaire (si $C = 0$, l'absorbance doit être nulle).

Manip : mesurer l'absorbance du sirop de menthe, relever la concentration, calculer la masse de bleu patenté dans 0.2 L de bleu patenté. Conclure sur la DJA. Masse molaire $M(\text{E131}) = 1159,4 \text{ g.mol}^{-1}$.

1. Si pas de sirop de menthe, il reste le bonbon Schtroumpf, ou, à défaut, préparer une solution de bleu patenté de concentration connue.

Conclusion

La couleur est la perception que nous avons d'un rayonnement lumineux. Nous avons vu que nous pouvions relier la couleur d'une substance à ses propriétés microscopiques, c'est à dire à la structure des molécules. La couleur d'une espèce est due aux pigments ou aux colorants, qui peuvent être extraits ou synthétisés. Une grande catégorie de molécules colorées sont les molécules possédant de longues chaînes carbonées constituées d'une alternance de simples et doubles liaisons entre atomes de carbone. Ces molécules absorbent une partie de la lumière et transmettent ce qui n'a pas été absorbé.

On peut caractériser quantitativement la capacité d'absorber la lumière d'une substance en utilisant la loi de Beer-Lambert, qui relie la capacité de la substance à absorber (absorbance) aux propriétés du milieu absorbant : son épaisseur, sa concentration en espèce absorbante, la capacité de la dite espèce à absorber une longueur d'onde donnée. Enfin, la couleur d'une espèce n'est pas une propriété figée : elle peut dépendre de nombreux facteurs, comme le pH, le solvant ou la température.

Le rayonnement émis ou absorbé par une substance chimique est une information précieuse, qui peut nous fournir des renseignements sur sa composition. De façon générale, la lumière émise ou absorbée par une molécule peut nous aider à l'étudier. On peut s'intéresser au spectre d'absorption d'une espèce chimique dans le domaine de l'infra-rouge, et obtenir de précieux renseignements sur les fonctions chimiques que possède cette molécule. C'est très utile pour identifier des espèces chimiques contenues dans un milieu de composition a priori inconnue, ou pour vérifier si une synthèse a fonctionné, s'il reste encore des réactifs ou ses produits indésirables ont été formés.

Annexes

Synthèses additive et soustractive de la couleur

Selon leur nature, les objets interagissent différemment avec la lumière :

- la diffusion est le phénomène par lequel un objet éclairé renvoie dans toutes les directions la lumière incidente.
- la transmission est le phénomène par lequel un objet transparent est traversé par une partie de la lumière incidente. (c'est ce que notre œil voit).
- l'absorption est le phénomène par lequel un objet éclairé absorbe une partie de la lumière incidente.

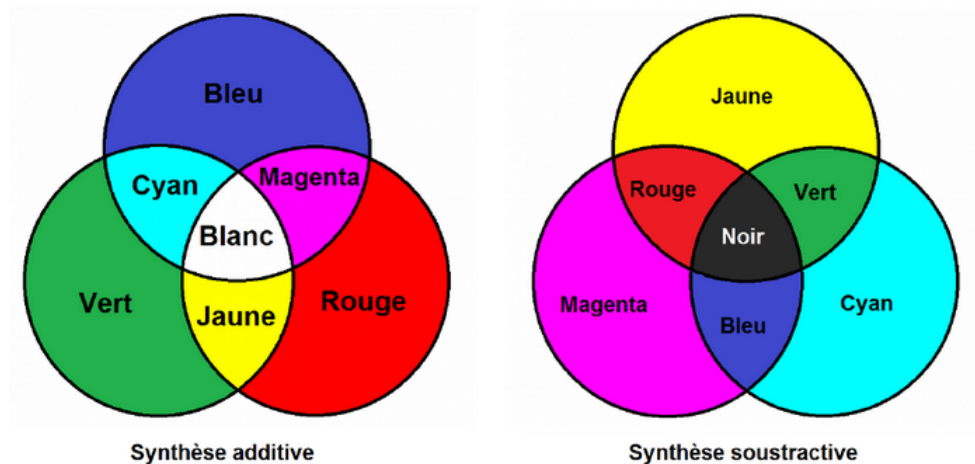


FIGURE 7 – Gauche : synthèse additive. Droite : synthèse soustractive.

Comment obtenir des couleurs ?

L'œil perçoit les objets grâce aux images qui se forment sur la rétine. Il perçoit les couleurs grâce aux deux types de cellules photoréceptrices qu'il possède : les bâtonnets, très sensibles à l'intensité lumineuse mais pas aux couleurs, et les cônes qui détectent les lumières colorées. Il existe trois types de cônes, chacun d'eux étant sensible à une des trois couleurs primaires : rouge, vert ou bleu.

En synthèse soustractive, la combinaison des couleurs cyan, magenta et jaune est suffisante pour recréer quasiment toutes les couleurs. On réalise une synthèse soustractive lorsqu'on supprime une partie du spectre d'une lumière pour obtenir une couleur différente. Quand on superpose plusieurs lumières colorées, le cerveau en perçoit une nouvelle : c'est la synthèse additive des couleurs. On obtient une infinité de couleurs en combinant les couleurs rouge, verte et bleue en proportions différentes.

Acido-basité de la phénolphtaléine

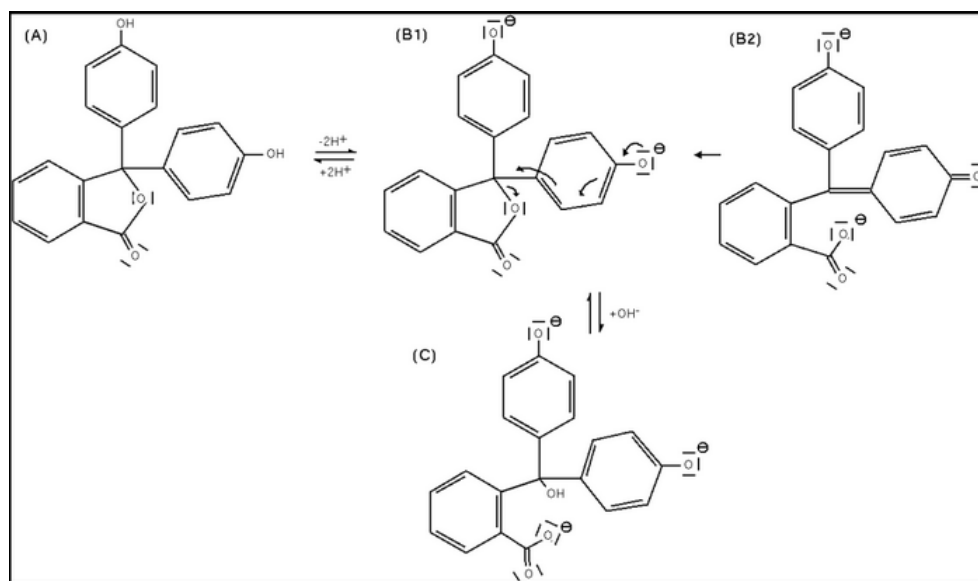


FIGURE 8 – Gauche : synthèse additive. Droite : synthèse soustractive.

En solution, la phénolphtaléine peut se présenter sous plusieurs formes en fonction de la quantité relative de base présente dans le milieu :

- Pour des solutions acides : la phénolphtaléine est sous sa forme dite acide. La molécule possède un cycle de type lactone (A).
- Lors d'un ajout de base, le cycle lactone s'ouvre et évolue vers une structure triphénylcarbinol (non représentée) et cela amène la perte d'une molécule d'eau dans la structure et on forme une espèce ionique de couleur rouge pourpre (la longueur d'onde majoritairement absorbée se trouvant vers 550 nm). Cette espèce est décrite par deux formes mésomères (B1 et B2). La forme mésomère B2 laisse apparaître un système conjugué sur l'ensemble de la molécule. Ce système conjugué étendu est à l'origine de la coloration
- Pour un excès de base, la coloration pourpre disparaît et le milieu redevient incolore traduisant la formation en solution du composé (C), ce composé ne possédant pas un système conjugué étendu.

Les anthocyanes du jus de chou rouge

Matériel :

- Chou rouge
- Acide chlorhydrique
- Vinaigre d'alcool ou acide éthanoïque
- Jus de citron ou acide citrique
- Hydrogénocarbonate de sodium (bicarbonate de sodium)
- Solution aqueuse d'ammoniac
- Solution d'hydroxyde de sodium
- 9 tubes à essai, pipettes.

Protocole expérimental :

- **Préparation du jus de choux rouge**
 - Mettre à chauffer 1 L d'eau (si possible distillée) dans une casserole ;
 - Couper la moitié d'un chou rouge en plusieurs morceaux et les mettre dans l'eau ;
 - Lorsque l'eau arrive à ébullition, arrêter de chauffer ;
 - Retirer les bouts de chou rouge, filtrer la solution à l'aide d'un filtre à café.
- **Expériences avec les acides et les bases**
 - Verser environ 5 mL de jus de chou rouge obtenu précédemment dans 9 tubes à essai identiques.
 - Diluer de moitié le contenu de chaque tube en ajoutant 5 mL d'eau. La couleur devrait être bleue. (Si ce n'est pas le cas, l'eau utilisée est peut-être légèrement acide ou basique ; ce n'est pas important pour la suite des expériences.)
 - Tube 1 : ne rien y ajouter. Couleur de référence, "neutre", du chou rouge. Bleu.
 - Tube 2 : une ou deux gouttes de jus de citron et mélanger. Rose-violet.
 - Tube 3 : une ou deux gouttes d'acide éthanoïque (ou de vinaigre). Rose fuchsia.
 - Tube 4 : une ou deux gouttes d'acide chlorhydrique. Rouge.
 - Tube 5 : une dizaine de goutte d'acide chlorhydrique. Reste rouge et n'évolue plus.
 - Tube 6 : pincée d'hydrogénocarbonate de sodium et agiter. Bleu-turquoise.
 - Tube 7 : une goutte d'ammoniaque. Vert vif.
 - Tube 8 : une goutte d'une solution d'hydroxyde de sodium. Jaune-vert.
 - Tube 9 : plusieurs gouttes d'hydroxyde de sodium. Jaune vif et n'évolue plus.
 - Tube 10 : ajouter une ou deux gouttes de vinaigre d'alcool. La couleur devient rose fuchsia. Ajouter quelques gouttes d'ammoniaque et constater que la couleur revient au bleu, puis devient d'un vert vif. Toujours dans ce tube, ajouter du vinaigre d'alcool et constater que la couleur peut repasser au bleu, puis au rose.

Mécanisme de la synthèse de l'indigo