

LC01 – CHIMIE ET COULEUR

12 octobre 2015

Romain BERTHELARD & Paul EPRON

"Citation"

ILLUSTRE PERSONNAGE

Niveau : M2 enseignement

Commentaires du jury

- 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

- ✦ *La chimie expérimental Tome 1 & 2*, **JFLM**
- ✦ *Physique Chimie 1^{ère}*, **DUNOD/HACHETTE**
- ✦ *Chimie TerS*, **DUNOD/HACHETTE**

- Pour les expériences.
- Pour le cours et manip.
- Pareil

Prérequis

- ✓ Représentation de Lewis et topologique
- ✓ Réaction par échange de proton (Acide-Base)
- ✓ Réaction d'oxydo-réduction
- ✓ Dosage et titrage

Expériences

- ☞ Synthèse de l'indigo
- ☞ Extraction des colorants du chou rouge
- ☞ Dosage par étalonnage du fer dans le vin
- ☞ Dosage avec indicateur coloré de fin de réaction

Table des matières

1	Origines de la couleur	2
1.1	Les colorants	2
1.2	Les pigments	3
1.3	Au niveau moléculaire	3
2	Influence du milieu	5
2.1	Influence du solvant	5
2.2	Influence du pH	5
2.3	Influence de la température	6
3	La couleur, un outil de quantification	6
3.1	Loi de Beer-Lambert	6
3.2	Dosage par étalonnage	8
3.3	Titration avec indicateur coloré de fin de réaction	9

Introduction

La chimie des couleurs est utilisée par l'Homme depuis la préhistoire (pigment des peintures rupestres) jusqu'à nos jours (colorant alimentaire, teinture des vêtements etc...). Au départ les composés colorés étaient extraits de matières premières naturelles (plantes, minéraux, animaux), ce n'est que suite aux découvertes de la fin du XIX^{ème} siècle que l'on a pu créer des espèces chimiques colorées de synthèse.

N.B.

C'est au cours de ce siècle que la chimie prend véritablement son essor : théorie atomique de Dalton, lois sur les gaz, hypothèse d'Avogadro, calcul des poids atomiques, naissance de la chimie organique, théorie de la valence, chimie structurale et classement périodique des éléments par Mendeleïev.

↓ *La couleur est utilisée en chimie depuis longtemps mais quelles sont les origines de la couleur de la matière ?*

1 Origines de la couleur

La couleur de la matière est due à l'interaction de la lumière avec des espèces colorées présentes dans la matière. Selon l'interaction entre la lumière et la matière on distingue deux types d'espèces : **les colorants et les pigments**

1.1 Les colorants

Définition :

Les colorants sont des espèces chimiques **solubles** dans leur milieu d'emploi, qui est en lui-même **incolore**. Ils interagissent avec la lumière comme des **filtres colorés**, en **absorbant** une partie du spectre de la lumière incidente et en **transmettant** la lumière non absorbée, ils sont donc **transparents**. La couleur de ces composés résulte d'une **synthèse soustractive**.

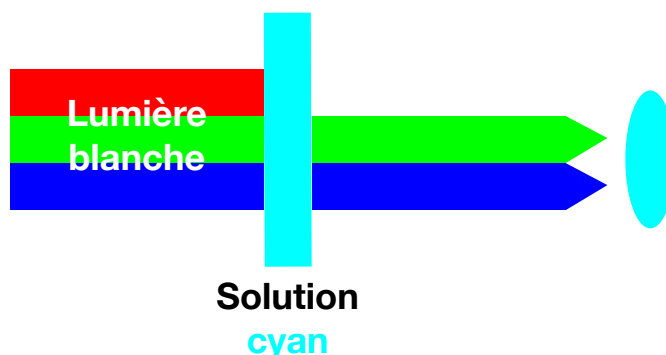


FIGURE 1 – Principe de la synthèse soustractive des couleurs

Intéressons nous à l'extraction des colorants naturels contenu dans le chou rouge.



Extraction des colorants naturels du chou rouge

JFLM1 p

⌚ 5 mins

But

Montrer qu'il est possible d'extraire des colorants.

Matériels

Bécher ; entonnoir et filtre ; chauffage

Réaliser une décoction avec le chou rouge. Laisser bouillir de 1 à 5 minutes. Filtrer la décoction pour obtenir une solution contenant les colorants naturels du chou rouge.



1.2 Les pigments

Définition :

Les pigments sont des espèces chimiques **insolubles** dans leur milieu d'emploi. Ils **absorbent** une partie du rayonnement incident et **diffusent** la lumière non absorbée. Ils sont **opaques** car la lumière ne les traversent pas. La couleur de ces composés résulte aussi d'une **synthèse soustractive**.



FIGURE 2 – Interaction d'un pigment avec la lumière

N.B.

Les pigments sont couramment utilisés en peinture avec un liant tel que de l'huile ou de l'eau mais aussi comme teinture pour les vêtements, par exemple l'indigo pour teindre les jeans.

Intéressons nous à la synthèse de l'indigo.



Synthèse de l'indigo

JFLM2 p 137

⌚ 10 mins

But

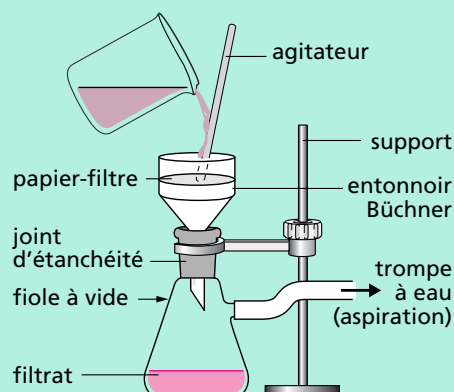
Montrer que l'on peut synthétiser des pigments et de montrer une filtration sur fritté.

Matériels

- Filtre poreux fritté de calibre 4 ou entonnoir büchner et papier filtre
- Fiole à vide
- 2-Nitrobenzaldéhyde
- pipette graduée de 5mL
- Soude 1 M
- Éthanol

Protocole

Peser 0.5 g de nitrobenzaldéhyde et le dissoudre dans 5mL d'acétone dans un tube à essai. Ajouter goutte à goutte à l'aide de la pipette graduée 2.5mL soude. Filtrer et laver avec 20 mL d'eau puis 20 mL d'éthanol. Sécher à l'étuve.



1.3 Au niveau moléculaire

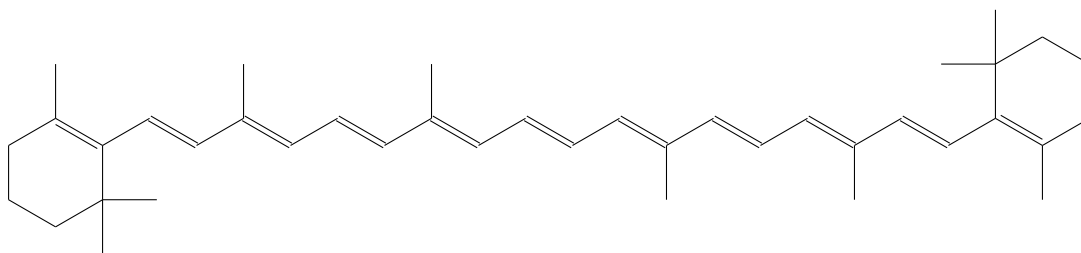
Pour les molécules organiques :

La couleur des molécules organiques dépend de la structure et des groupements caractéristiques qui les composent. Ainsi la couleur des molécules organiques est due à deux types de groupements :

Groupement chromophore :

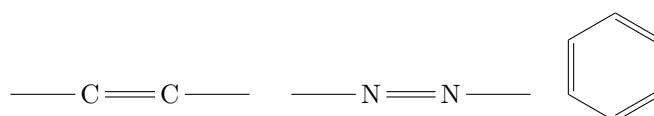
Du grec ancien khrôma « couleur » et phoros « qui porte ».

L'alternance de liaisons doubles et de liaisons simples forme des **doubles liaisons conjuguées** . Cette structure est appelé groupement **chromophore**. (Exemple du β -carotène)



β -carotène

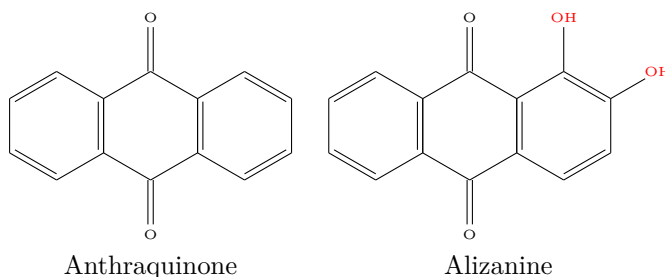
Les principaux groupes chromophores sont :



Plus il y a de doubles liaisons conjuguées plus la longueur d'onde d'absorption est grande, à partir de **7 doubles liaisons conjuguées** les molécules absorbent dans le domaine **visible** de la lumière donnant sa couleur à la molécules.

Groupement auxochrome :

Du grec auxanein « augmenter », et khrôma « couleur ».



Anthraquinone

Alizarine

L'anthraquinone (jaune) et l'alizarine (orange) sont des molécules dont la structure chimique est proche pourtant leur couleur est différente. Cette différence s'explique par la présence sur l'alizarine de groupements -OH qui modifie les propriétés d'absorption de la molécule modifiant ainsi la couleur de la molécule. Les groupements qui modifient les propriétés d'absorption sont appelés groupements **auxochromes**. Les principaux groupements auxochromes sont :

-OH (acide) ; -NH₂ (basique) ; -Br (halogène).

Pour les molécules inorganiques :

Pour la matière inorganique la couleur des molécules dépend principalement du **nombre d'oxydation** du métal mais aussi des **ligands**. Prenons l'exemple du cuivre :

- Cu⁰ : no = 0 ; le cuivre solide (Cu_s ; couleur = orange)
- Cu⁺ : no = +I ; Oxyde de cuivre (Cu₂O ; couleur = rouge)
- Cu²⁺ : no = +II
 - Sulfate de cuivre anhydre (CuSO₄ ; blanc)
 - Sulfate de cuivre hydraté (CuSO₄.H₂O ; bleu)
 - Carbonate de cuivre (CuCO₃ ; vert)

En faite le nombre d'oxydation de l'élément modifie les propriétés d'absorption, au même titre que la longueur du groupement chromophore pour les molécules organiques, et le ligand module aussi ces propriétés d'absorptions, comme les groupements auxochromes.

Remarque

Le sulfate de cuivre anhydre (CuSO₄) est un test caractéristique de la présence d'eau.

Nous avons expliqué que la couleur de la matière venait de **molécules colorées** présentes dans le milieu et ce qui au **niveau microscopique** expliquait la couleur de ces molécules. Cependant la couleur n'est pas une propriétés intrinsèque à la molécule mais est aussi fortement **influencé par le milieu** d'emploi.

2 Influence du milieu

2.1 Influence du solvant

Le solvant à une grande importance en chimie car selon ses caractéristiques les phénomènes observés peuvent être très différents. Prenons l'exemple du diiode, il est presque insoluble dans les solvants polaire alors qu'il est soluble dans les solvant apolaire. Dans le cas qui nous intéresse, la couleur des solutions contenant des molécules colorées dépendent aussi du solvant. Reprenons l'exemple du diiode dans différents solvant :



Influence du solvant sur la couleur de I_2

adapté de HACHETTE 1er S p 64

⌚ 5 mins

But

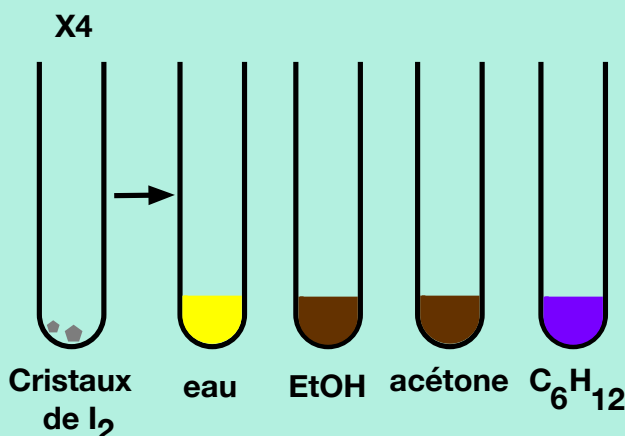
Montrer l'influence du solvant sur la couleur des solution.

Matériels

I_2 , tubes à essai, eau, ethanol, cyclohexane, acétone.

Protocole

À l'aide d'une spatule introduire, sous hotte, deux cristaux de diiode dans 4 tubes à essais. Verser respectivement 2ml d'eau, 2ml d'éthanol, 2mL de cyclohexane, 2mL d'acétone. Boucher et agiter. On voit que dans les solvants oxygéné le diiode dissous donne une teinte marron plus ou moins foncé alors que dans les solvants non-oxygéné il garde sa couleur naturel (du solide et du gaz) violet.



Nous venons de nous intéresser à l'influence du solvant sur la couleur des molécules colorées en solution. Nous avons mis en évidence son importance. Penchons nous à présent sur un autre paramètre influençant la couleur : le pH.

2.2 Influence du pH

Le pH de la solution a une grande influence sur certains types de molécules colorées. En effet certains couples **acido-basique** AH/A^- sont des molécules colorées dont une forme peut être d'une couleur **différente** de l'autre forme. Le **changement de couleur** a donc lieu pour $pH = pK_a$.

☕ Échelle de teinte du chou rouge

🔧 JFLM1

⌚ 5 mins

But

Montrer l'influence du pH sur la couleur de la solution.

Matériels

tubes à essai, acide chlorhydrique, soude, eau distillé

Protocole

Construire l'échelle de teinte du chou rouge à l'aide des solution d'acide chlorhydrique et de soude.

pH	Couleurs du jus de chou rouge
pH < 3	rouge
4 < pH < 9	violet puis blue
pH ≈ 11	vert
12 < pH	jaune

Ces couples acido-basiques colorées sont appelés **indicateurs colorés** de pH et servent en chimie pour **estimer le pH**, c'est le cas du papier pH, ou pour réaliser des **dosages**.

↓ *Intéressons nous maintenant à un dernier paramètre influençant la couleur d'une solution : la température.*

2.3 Influence de la température

Le dernier paramètre influençant la couleur des molécules colorées est la température. Regardons cette effet à l'aide d'une expérience.

☕ Influence de la température sur la couleur de l'ocre

🔧 adapté de HACHETTE 1erS p 62

⌚ X mins

But

Montrer l'influence de la température sur la couleur des molécules colorées.

Matériels

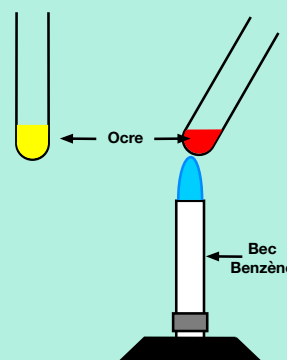
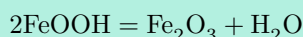
Ocre jaune, tube à essai, pince en bois, bec Bunsen

Protocole

Dans un tube à essai mettre un peu de poudre d'ocre jaune. Chauffer à l'aide du bec benzène et observer le changement de couleur en ocre rouge. Mettre en évidence la déshydratation de l'ocre avec la condensation se formant sur les parois du tube à essai.

L'ocre jaune contient de la goethite (FeOOH), le chauffage le transforme en orcre rouge contenant de l'hématite (Fe_2O_3).

Réaction mise en jeu



↓ *La couleur ne sert pas qu'à faire jolie elle est aussi un outil puissant de quantification. Intéressons nous dans un premier temps à la loi de Beer-Lambert.*

3 La couleur, un outil de quantification

3.1 Loi de Beer-Lambert

Pour quantifier la couleur d'une solution, on utilise un appareil appelé **spectrophotomètre**. Cet appareil permet d'étudier les propriétés d'absorption des solutions à une longueur d'onde donnée dans le domaine UV-visible. Il est

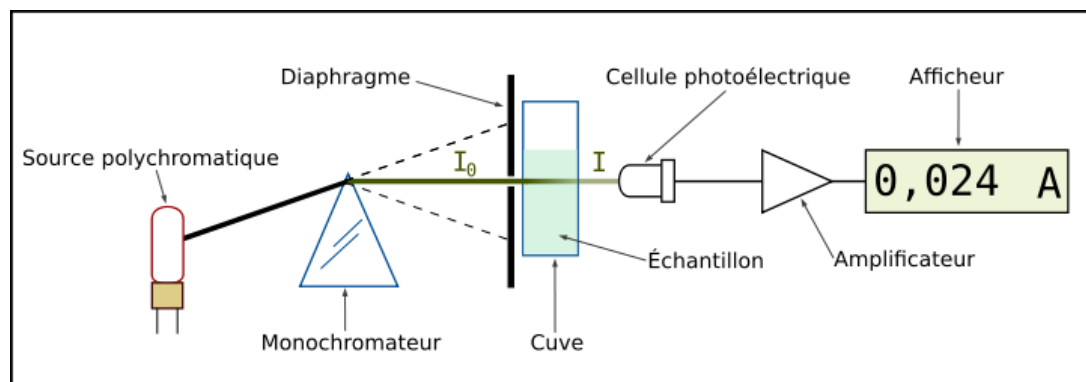


FIGURE 3 – Schéma de principe de spectrophotomètre UV-visible

constitué d'une source de lumière **polychromatique**, d'un **monochromateur**, d'un porte échantillon et d'un **cellule photoélectrique**. Il éclaire l'échantillon que l'on veut tester avec une lumière **monochromatique** de longueur d'onde λ , et mesure l'intensité lumineuse (**I**) qui a traversé l'échantillon afin de la comparer avec l'intensité (**I**₀) d'un échantillon de référence appelé "blanc" (souvent de l'eau).

On définit alors une grandeur sans dimension appelé **absorbance (A)** par :

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

La courbe d'absorbance en fonction de λ constitue le **spectre UV-visible** de la solution contenant la molécule étudiée.

Lorsque qu'une solution possède une **seule** espèce qui absorbe à la longueur d'onde d'étude. L'absorbance (**A**) de la solution à cette longueur d'onde est reliée à la concentration molaire (**C**) de cette espèce, ainsi qu'à l'épaisseur (**l**) de solution traversée par le faisceau par la loi de **Beer-Lambert** :

$$A = \varepsilon \times l \times C$$

où ε est le coefficient d'absorption molaire en $\text{L.cm}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Remarque

Cette loi n'est valable que pour les solutions **limpides** et **diluées** ($C < 1 \text{ mol/L}$).

↓ *Maintenant que nous disposons d'un outil quantitatif pour caractériser la couleur des solutions nous pouvons réaliser des mesures quantitatives : un dosage par étalonnage.*

3.2 Dosage par étalonnage



Dosage spectrophotométrique par étalonnage du fer dans le vin

JFLM1

⌚ 15 mins

But

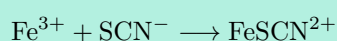
Montrer une technique de dosage spectrophotométrique et la préparation d'une droite d'étalonnage.

Matériels

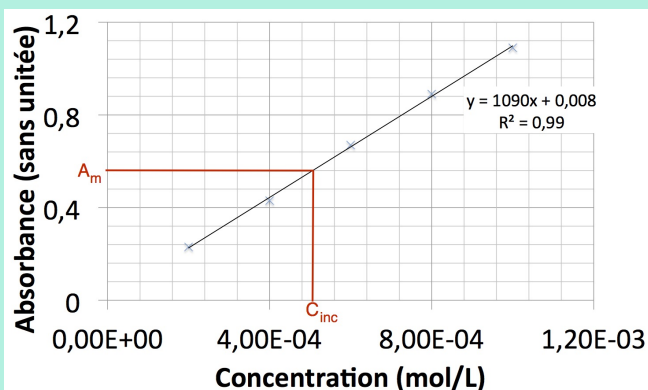
Spectrophotomètre ; Solution de chlorure de fer (FeCl_3) ; Eau oxygénée (H_2O_2) ; Thiocyanate de potassium (KSCN) ; Vin

Protocole

Le vin contient naturellement un mélange d'ion $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ et leur concentration est critique dans la qualité du vin (Casse ferrique 10mg/L $\rightarrow$ $1,8 \cdot 10^{-4}$ mol/L) . Le Fe^{3+} forme un complexe coloré de couleur rouge avec les ions thiocyanate SCN^- selon la réaction :



Préparer des solutions de thiocyanate de fer à différente concentration pour constituer la droite d'étalonnage. Oxyder tout les fer du vin avec de l'eau oxygénée puis ajouter du thiocyanate en excès enfin mesurer l'absorbance.



Remarque

L'ajout de thiocyanate est un test caractéristique des ions Fe^{3+} formant un complexe de couleur rouge sang.



La couleur permet aussi de réaliser des titrages grâce au indicateur coloré de fin de réaction.

3.3 Titrage avec indicateur coloré de fin de réaction

☕ Dosage du Fe^{2+} par Ce^{4+} avec indicateur coloré de fin de réaction

🔗 JFLM 2 p 259

⌚ 10 mins

But

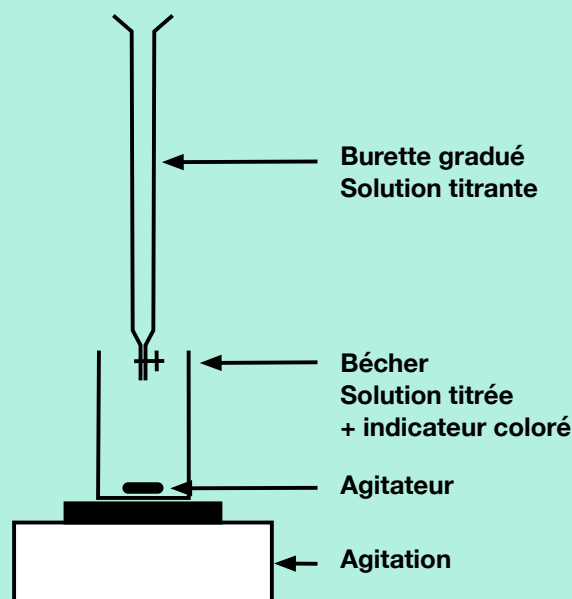
Monter un dosage avec un indicateur coloré de fin de réaction.

Matériels

agitation, agitateur, bécher, burette graduée, solution de Fe^{2+} de concentration inconnue, solution de Ce^{4+} de concentration connue, ferroïne.

Protocole

Réaliser le dosage de la solution titrée de Fe^{2+} par la solution titrant de Ce^{4+} en ayant ajouter quelque goutte d'indicateur coloré, la ferroïne, dans la solution titrée. L'équivalence est quand la solution passe d'une couleur rouge à une couleur bleu. L'équation de titrage mise en jeu est :



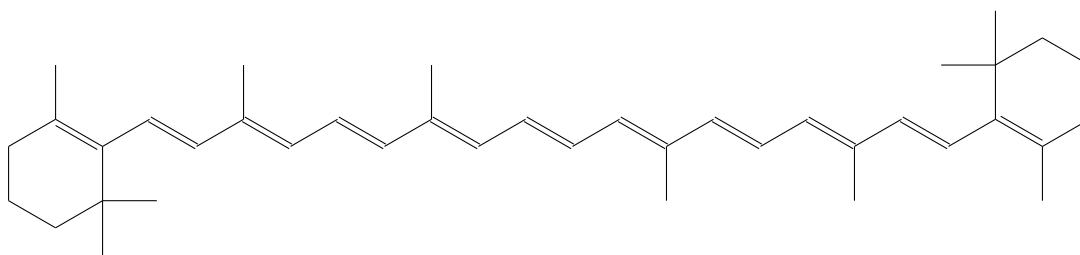
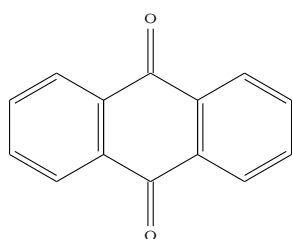
Budget d'incertitude :

Grandeur	source	distribution	pas	u
$V_{\text{éq}}$	remplissage burette	$\triangle$	0.1 mL	0.02 mL
	erreur de lecture	$\triangle$	0.1 mL	0.02 mL
	erreur d'une goutte	$\square$	0.05 mL	0.02 mL
$\Delta V_{\text{éq}} = 0.02 + 0.02 + 0.02 = 0.06 \text{ mL}$				
V_{Fe}	pipette jaugée			0.03 mL
C_0	préparation de la solution			1 %

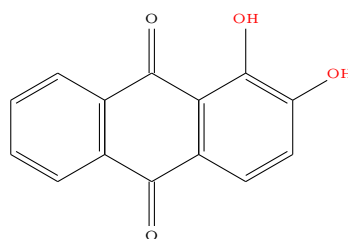
$$C_{\text{Fe}} = \frac{C_0 V_{\text{éq}}}{V_{\text{Fe}}} \Rightarrow \frac{\Delta C_{\text{Fe}}}{C_{\text{Fe}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_{\text{Fe}}}{V_{\text{Fe}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_{\text{éq}}}{V_{\text{éq}}}\right)^2}$$

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 colorant et absorbe et diffuse pour les pigments. Ensuite nous avons expliqué ce qui au niveau microscopique interpréter ces propriétés absorption de la lumière. Puis nous nous sommes intéressé 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 outils de quantification très utile en chimie pour réaliser des dosages.

 β -carotène

Anthraquinone



Alizarine

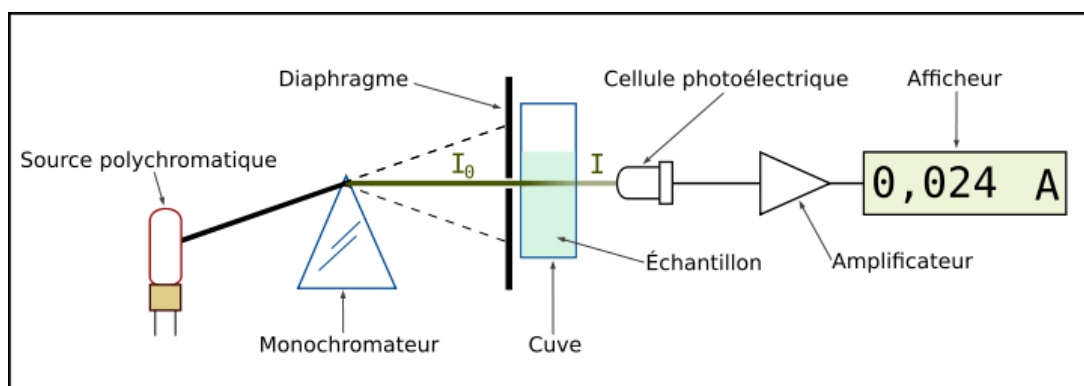


FIGURE 4 – Schéma de principe de spectrophotomètre UV-visible