

Nouveau programme de première S (2011) :  
l'essentiel du cours

[www.physagreg.fr](http://www.physagreg.fr)

22 avril 2012

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Couleur, vision et image</b>	<b>3</b>
1.1	Oeil réel et oeil réduit . . . . .	3
1.2	Lentille mince convergente . . . . .	4
1.3	Grandeurs caractéristiques d'une lentille convergente . . . . .	4
1.4	Construction de l'image d'un objet . . . . .	5
1.5	Relations à connaître concernant les lentilles . . . . .	6
1.6	Exemple d'utilisation de ces relations . . . . .	6
1.7	L'oeil et l'appareil photographique . . . . .	7
1.8	Vision : mécanisme et maladie . . . . .	7
1.9	Synthèse additive trichromatique . . . . .	8
1.10	Ecran couleur : application de la synthèse additive . . . . .	8
1.11	Synthèse soustractive des couleurs . . . . .	9
1.12	Couleur des objets . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Sources de lumière colorée</b>	<b>13</b>
2.1	Différentes sources de lumière . . . . .	13
2.2	Sources monochromatiques ou polychromatiques . . . . .	16
2.3	Lumière et ondes électromagnétiques . . . . .	17
2.4	Couleur des corps chauffés, loi de Wien . . . . .	17
2.5	Interaction lumière-matière et quantum d'énergie . . . . .	19
2.6	Modèle corpusculaire de la lumière . . . . .	19
2.7	Quantification des niveaux d'énergie de la matière . . . . .	19
2.8	Emission-absorption de rayonnement . . . . .	20
2.9	Aspect du spectre solaire . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Matières colorées</b>	<b>23</b>
3.1	Pigments et colorants . . . . .	23
3.2	Substances colorées et chimie (absorbance) . . . . .	23
3.3	Substances colorées et synthèse soustractive des couleurs . . . . .	24
3.4	Synthèse, extraction et séparation des pigments et colorants . . . . .	25
3.4.1	Extractions . . . . .	25
3.4.2	Séparations . . . . .	26



---

3.5	Quantifier la réaction chimique . . . . .	27
3.5.1	Stoechiométrie, avancement de la réaction . . . . .	27
3.5.2	Tableau d'avancement, réactif limitant . . . . .	28
3.5.3	Comment remplir le tableau? . . . . .	29
3.5.4	Conditions initiales et couleur à l'état final . . . . .	31
3.6	Dosage par étalonnage par spectrophotométrie . . . . .	32
3.6.1	Loi de Beer-Lambert . . . . .	32
3.6.2	Doser par étalonnage . . . . .	32
3.7	Molécules organiques colorées . . . . .	33
3.7.1	Structure moléculaire . . . . .	33
3.7.2	Molécules à liaisons conjuguées . . . . .	34
3.7.3	Molécules organiques colorées . . . . .	34
3.8	Indicateurs colorés . . . . .	35
3.9	Couleur d'une substance et milieu de présence . . . . .	35
3.10	Liaisons, géométrie des molécules . . . . .	35
3.10.1	Liaison covalente . . . . .	35
3.10.2	Formule de Lewis et géométrie des molécules . . . . .	37
3.11	Isomérie Z/E . . . . .	41
3.12	Processus de la vision : isomérie photochimique . . . . .	41

# Chapitre 1

## Couleur, vision et image

### 1.1 Oeil réel et oeil réduit

- L’Oeil est un organe complexe mais il est facile de le modéliser dans nos laboratoires à partir d’éléments optiques simples (Figure 1.1).

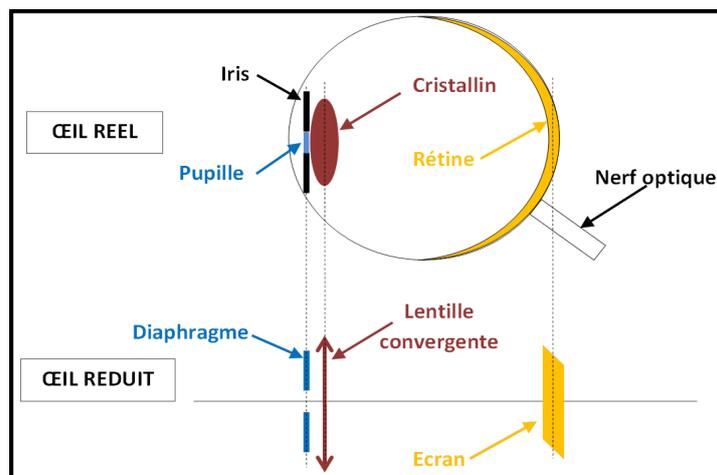


FIGURE 1.1 – schémas de l’œil réel et de l’œil réduit

- Pour pouvoir observer des images d’objets situés à différentes distances de l’œil, celui-ci accommode : la distance entre le cristallin et la rétine étant fixe, le cristallin se déforme pour devenir plus ou moins convergent.
- Dans l’œil réduit, on modélise cette accommodation en changeant la vergence (voir ci-dessous) de la lentille convergente.



## 1.2 Lentille mince convergente

Une lentille est mince car son centre est plus épais que ses bords. Une lentille est convergente car elle fait converger les rayons qui y pénètrent.

## 1.3 Grandeurs caractéristiques d'une lentille convergente

- Une lentille convergente est caractérisée soit par sa vergence  $C$  exprimée en dioptries ( $\delta$ , delta minuscule), soit par sa distance focale  $f' = OF'$  exprimée en mètre (m).

$$C = \frac{1}{f'} \tag{1.1}$$

- On peut définir le foyer principal image de la lentille convergente, donc sa distance focale de la manière suivante :

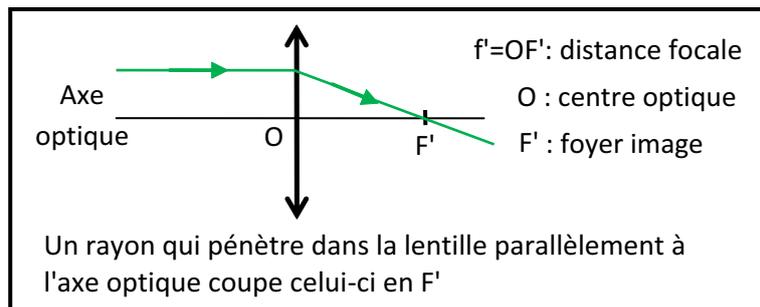


FIGURE 1.2 – action d'une lentille convergente sur un rayon parallèle à son axe optique



## 1.4 Construction de l'image d'un objet

Deux rayons suffisent pour construire la position d'une image, mais deux cas peuvent se présenter :

- Si l'objet est situé à gauche du foyer principal objet  $F$  de la lentille :

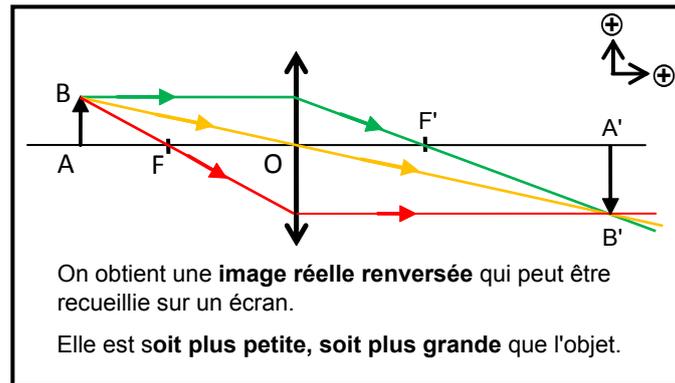


FIGURE 1.3 – Construction de l'image d'un objet situé à gauche de  $F$

- Si l'objet est situé entre le foyer principal objet  $F$  et le centre optique  $O$  de la lentille :

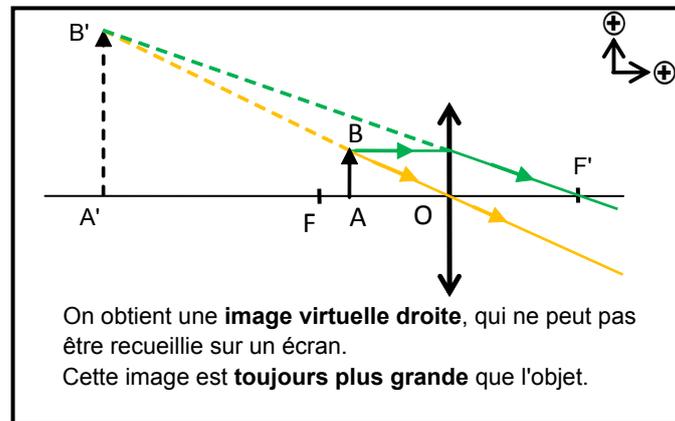


FIGURE 1.4 – Construction de l'image d'un objet situé entre  $F$  et  $O$



### 1.5 Relations à connaître concernant les lentilles

- En optique, les distances mesurées sont algébriques : elles peuvent être négatives ou positives.

La règle de signe est donnée par le petit schéma que l'on retrouve en haut à droite des figures 1.3 et 1.4.

Les grandeurs algébriques sont notées  $\overline{OF'}$  (par exemple pour la distance focale qui est positive).

- Relation de conjugaison :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}} \tag{1.2}$$

- Relation de grandissement :

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}} \tag{1.3}$$

$\gamma$  est la lettre grecque "gamma".

### 1.6 Exemple d'utilisation de ces relations

Soit une lentille de vergence  $5\delta$ . Un objet  $AB$  tel que  $\overline{AB} = 2cm$  est situé à  $30cm$  du centre optique de la lentille. Calculer la position de l'image et sa taille. En déduire le grandissement de la lentille.

- Utilisons tout d'abord la formule de conjugaison pour calculer la position  $OA'$  de l'image :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\overline{OF'}} &= \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} \iff \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} + \frac{1}{\overline{OA}} \\ \implies \overline{OA'} &= \frac{\overline{OA} \times \overline{OF'}}{\overline{OA} + \overline{OF'}} = \frac{-0.3 \times \frac{1}{5}}{-0.3 + \frac{1}{5}} = 0.6m \end{aligned} \tag{1.4}$$

- Utilisons la formule de grandissement pour calculer la taille de l'image et la valeur du grandissement :

$$\begin{aligned} \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} &= \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \iff \overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'} \times \overline{AB}}{\overline{OA}} \\ \implies \overline{A'B'} &= \frac{0.6 \times 0.2}{-0.3} = -0.04m \end{aligned} \tag{1.5}$$

Ainsi :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-0.04}{0.02} = -2 \tag{1.6}$$



## 1.7 L'oeil et l'appareil photographique : accommodation = mise au point ?

La différence principale entre ces "deux appareils" réside dans le fait que la distance cristallin-rétine est fixe dans l'oeil alors que la distance objectif-captteur ne l'est pas dans l'appareil photo. Ainsi, pour obtenir une image nette, chaque appareil réagit différemment :

- Dans le premier cas (oeil), la vergence du cristallin peut être modifiée : c'est l'accommodation.
- Dans le deuxième cas (appareil photo) la distance objectif-captteur varie, l'objectif étant mobile : c'est la mise au point.

## 1.8 Vision : mécanisme et maladie

- Pour que notre cerveau « voit » une image, de la lumière doit pénétrer dans l'oeil et sensibiliser la rétine. Celle-ci est composée de deux types de récepteurs (cônes et bâtonnets), qui convertissent la lumière reçue en signaux électriques véhiculés vers le cerveau puis interprétés.
- Pour que l'image puisse être interprétée en couleur, la rétine est tapissée de trois types de cônes sensibles au bleu, au vert et au rouge. Un fin mélange de ces trois couleurs permet d'obtenir une multitude de teintes (voir ci-dessous).
- Il suffit que certains types de cônes dysfonctionnent pour que la vision soit altérée (les daltoniens confondent les teintes rouges et vertes tandis que les achromates ne voient pas les couleurs).



## 1.9 Synthèse additive trichromatique

La lumière blanche (lumière solaire) contient toutes les couleurs visibles (une infinité) mais à partir de la superposition de trois d'entre elles, dites couleurs primaires, on peut reconstituer une multitude de teintes.

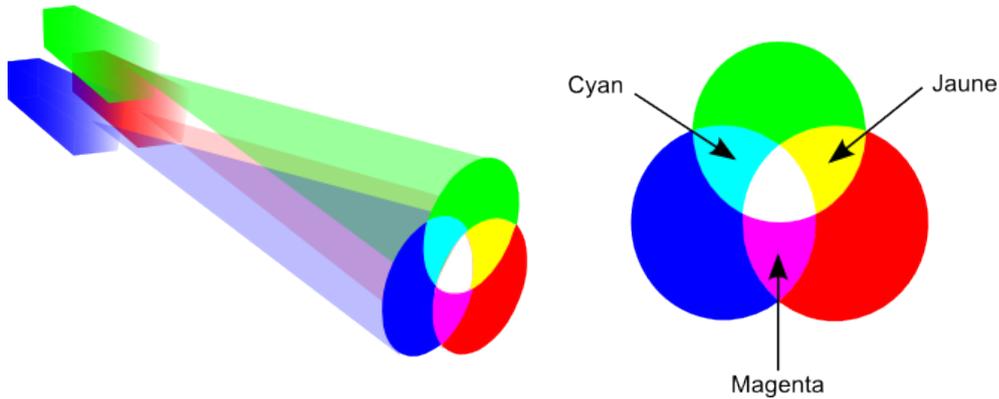


FIGURE 1.5 – Synthèse additive trichromatique

Deux couleurs sont complémentaires si leur superposition donne du blanc : dans le tableau ci-dessous, les couleurs complémentaires se font face : le cyan, superposition du bleu et du vert, est complémentaire du rouge car (bleu + vert = cyan) + rouge = blanc.

Couleur primaire	Couleur secondaire
Rouge	Cyan
Vert	Magenta
Bleu	Jaune

TABLE 1.1 – Couleurs primaires et secondaires en synthèse additive

## 1.10 Ecran couleur : application de la synthèse additive

- Dans un écran à LED couleur, on trouve un grand nombre de « cellules » composées chacune de 3 LED rouge-verte-bleue.
- En alimentant ces LED plus ou moins intensément (256 niveaux d'intensité possibles pour chaque LED), on recrée la couleur souhaitée pour une « cellule ». L'ensemble des cellules forme l'image.
- Nombre de couleurs possibles :  $256 \times 256 \times 256 = 16,7$  millions

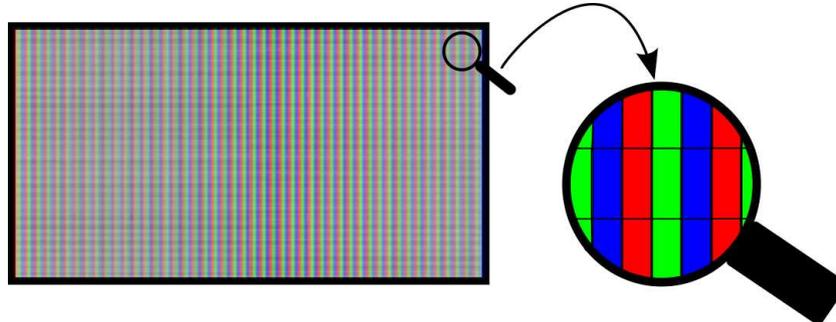


FIGURE 1.6 – Principe de la restitution des couleurs par un écran plat

## 1.11 Synthèse soustractive des couleurs

- Cette synthèse consiste à obtenir la couleur désirée en retirant à la lumière blanche certaines radiations.
- Pour effectuer ces soustractions, on utilise des filtres colorés.
- Les trois filtres de base sont le cyan, le jaune et le magenta :

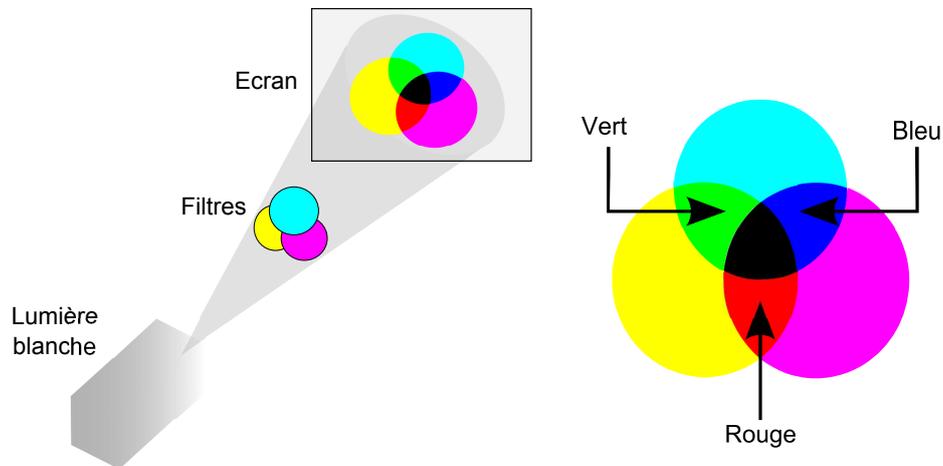


FIGURE 1.7 – Synthèse soustractive des couleurs

Dans la synthèse soustractive, deux couleurs sont complémentaires si leur mélange donne du noir : le rouge, mélange du jaune et du magenta, est complémentaire du cyan car (jaune + magenta = rouge) + cyan = noir (Voir tableau 1.2)

Couleur primaire	Couleur secondaire
Cyan	Rouge
Magenta	Vert
Jaune	Bleu

TABLE 1.2 – Couleurs primaires et secondaires en synthèse soustractive

## 1.12 Couleur des objets

Un objet n'a pas de couleur propre, lorsqu'il reçoit une lumière incidente, il peut :

- L'absorber : complètement ou en partie
- La diffuser : complètement ou en partie
- La transmettre : complètement ou en partie

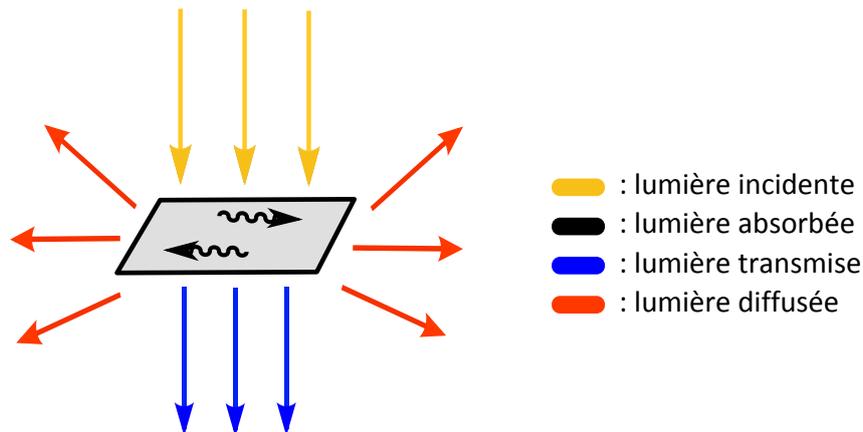


FIGURE 1.8 – Lumières et objet

La couleur perçue pour un objet dépend de la lumière incidente et de la lumière diffusée par celui-ci (donc aussi de la lumière qu'il absorbe) : elle pénètre dans l'oeil et est interprétée par le cerveau.

Si l'objet est opaque, il ne fait que diffuser, s'il est transparent, il transmet et diffuse la même lumière.

### Exemples

1. Quel est le comportement de la lumière blanche qui arrive sur un filtre coloré de couleur bleue ?



Les radiations rouge et verte sont absorbées par le filtre, la radiation bleu est donc diffusée (le filtre est de couleur bleu) et transmise (un écran blanc sur lequel arrive la lumière diffusera alors du bleu).

2. Quel est le comportement de la lumière blanche qui arrive sur un filtre coloré de couleur cyan ?

Seule la radiation rouge (couleur complémentaire du cyan) est absorbée, les radiations bleu et jaune sont diffusées (le filtre est de couleur cyan) et transmises (un écran blanc sur lequel arrive la lumière diffusera alors du cyan).

3. Soit le drapeau français éclairé en lumière blanche :

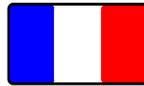


FIGURE 1.9 – Drapeau de la France éclairé en lumière blanche

Que verrions-nous si celui-ci était éclairé en lumière verte et pourquoi ?

Le drapeau aurait l'allure suivante :



FIGURE 1.10 – Drapeau de la France éclairé en lumière verte

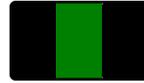
En effet, le bleu absorbe le vert donc ne diffuse rien ici, il apparaît noir. Le blanc diffuse toutes les couleurs donc le vert, il apparaît vert. Enfin, le rouge absorbe le vert donc ne diffuse rien, il apparaît noir.



4. Voici le même exercice avec le drapeau allemand :



(a) En lumière blanche



(b) En lumière verte

FIGURE 1.11 – Drapeaux allemands éclairé par différentes lumières incidentes

En effet, le noir absorbe toutes les couleurs et ne diffuse rien, il apparaît noir. Le jaune diffuse le rouge et le vert donc le vert ici, il apparaît vert. Enfin, le rouge absorbe le vert donc ne diffuse rien, il apparaît noir.

## Chapitre 2

# Sources de lumière colorée

### 2.1 Différentes sources de lumière

Dans notre environnement existent plusieurs sources de lumière dont les caractéristiques sont différentes :

1. La première dont on peut parler est la lumière solaire, appelée "lumière blanche" du fait de sa composition : en effet, le spectre de la lumière blanche contient toutes les couleurs visibles, le mélange de ces couleurs donnant du blanc.



FIGURE 2.1 – Photographie du soleil et spectre de la lumière blanche

**Remarques :**

- Le soleil ne nous paraît pourtant pas blanc lorsqu'on le regarde mais plutôt jaune ... en effet, le bleu de la lumière blanche est diffusé dans le ciel, on voit donc le disque solaire de la couleur complémentaire du bleu : le jaune.
  - Nous verrons par la suite (section 2.9 page 21) que le spectre du soleil n'est pas vraiment identique au spectre de la lumière blanche, mais comporte des raies noires.
2. Une deuxième source que l'on peut citer est la lampe à incandescence : un filament de tungstène très fin est parcouru par un courant qui l'échauffe jusqu'à l'incandescence ce qui provoque l'émission de lumière.  
On peut remarquer que cette lumière est légèrement rougeâtre, ceci

vient du profil spectral de cette source, qui montre qu'il y a davantage émission de radiations rouges que de radiations bleues.

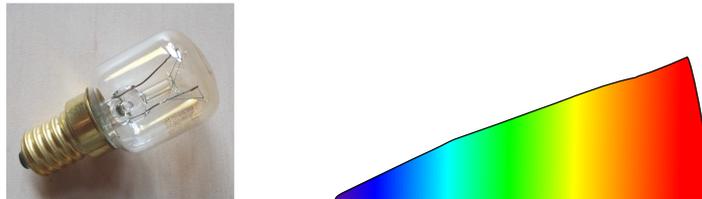


FIGURE 2.2 – Une lampe à incandescence et son profil spectral

3. Les lampes à économie d'énergie appelées lampes fluocompactes existent depuis quelques années et remplacent peu à peu les lampes à incandescence. Ces lampes fonctionnent sur le même principe que les tubes fluorescents :

- Une forte décharge électrique ionise un gaz inerte qui se transforme en plasma (mélange haute température d'ions et d'électrons séparés).
- Celui-ci, par transfert de chaleur, vaporise des atomes de mercure qui s'excitent grâce à la décharge électrique.
- En se désexcitant, les atomes de mercure émettent un rayonnement ultraviolet (UV) (Voir processus d'émission-absorption section 2.8 page 21).
- Ce rayonnement vient exciter la substance fluorescente présente sur les parois du tube, c'est elle qui émet la lumière blanche.

La lumière émise par ces lampes fluocompactes paraît blanche pourtant son profil spectral montre qu'il y a des pics d'émission pour certaines radiations.

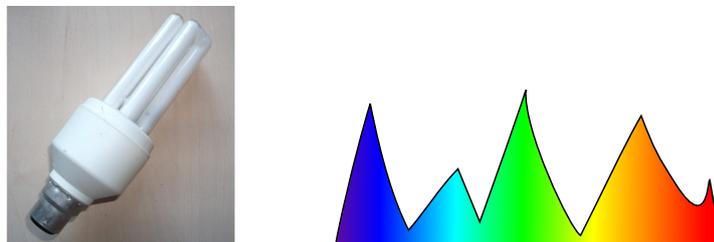


FIGURE 2.3 – Une lampe à incandescence et son profil spectral

Le mélange de ces radiations donne la sensation de blanc.



4. Les lampes à décharge sont les sources lumineuses que l'on trouve dans les éclairages publics qui fournissent une lumière orangée. Ces lampes sont des lampes à vapeur de sodium :

Le sodium gazeux, enfermé dans une ampoule, reçoit une forte décharge électrique créée par deux électrodes. Cette décharge excite les atomes de sodium qui en se désexcitant émettent la lumière orangée (Voir processus d'émission-absorption section 2.8 page 21) .

Les lampes à décharges émettent généralement plusieurs longueurs d'ondes, mais l'émission de la lampe au sodium est quasi monochromatique (son spectre présente un doublet de raies jaune-orangée très rapprochées).



FIGURE 2.4 – Une lampe à décharge à vapeur de sodium et son spectre d'émission

5. Les LED (Light Emitting Diode) ou DEL (Diode ElectroLuminescente) sont des petits composants électroniques qui émettent de la lumière en consommant peu d'énergie. Elles sont également intéressantes du fait de leur faible encombrement et de leurs couleurs variées. On les rencontre de plus en plus dans les dispositifs lumineux d'appoint (lampes torches ou baladeuses).

Les DEL émettent de la lumière grâce à l'utilisation d'un matériau semiconducteur.

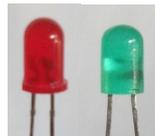


FIGURE 2.5 – Diodes électroluminescentes (DEL)



6. Les LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) sont des sources de lumières utilisées dans de nombreux domaines (lecture optique de CD-DVD, médecine, usinage), leur rayonnement monochromatique (une seule couleur, voir section 2.2 page 16) et leur cohérence (un faisceau laser "porte" très loin) sont les qualités recherchées.

Un LASER est un amplificateur de lumière qui fonctionne grâce aux phénomènes d'émission et d'absorption que nous verrons par la suite (section 2.8 page 21).



FIGURE 2.6 – LASER utilisé dans les lycées

## 2.2 Sources monochromatiques ou polychromatiques

Les sources de lumières évoquées précédemment peuvent être rangées en deux catégories :

- Une source monochromatique (d'une seule couleur) est caractérisée par une longueur d'onde dans le vide exprimée en mètre (ex : laser hélium-néon de couleur rouge :  $\lambda = 633nm$ ).  
La couleur est aussi appelée radiation monochromatique.
- Une source polychromatique est composée de plusieurs couleurs.

Voici le classement de quelques sources de lumières :

Sources monochromatiques	Sources polychromatiques
Lampe à décharge au sodium	Soleil
LASER	DEL
	Lampe à incandescence
	Lampe fluocompacte

TABLE 2.1 – Sources monochromatiques et polychromatiques



## 2.3 Lumière et ondes électromagnétiques

La lumière fait partie des ondes électromagnétiques, ces ondes rassemblent aussi bien la lumière que les ondes radios, les ondes wifi ou les rayons X.

Le domaine des ondes électromagnétiques s'étend sur un domaine très large de fréquence (ou de longueur d'onde), on retiendra ici trois domaines concernant la lumière :

- Domaine de la lumière visible (sous-entendu par l'oeil humain) :  
 $400nm$  (violet/bleu)  $< \lambda < 700nm$  (rouge)
- Domaine des radiations ultraviolettes (UV) :  $\lambda < 400nm$
- Domaine des radiations infrarouges (IR) :  $\lambda > 700nm$

## 2.4 Couleur des corps chauffés, loi de Wien

- La loi de Wien s'applique à un corps théorique appelé corps noir : celui-ci à la propriété d'absorber tous les rayonnements qu'il reçoit, y compris la lumière, il apparaît donc "noir".
- Pourtant, lorsque ce corps est chauffé, il émet de la lumière dont le maximum d'intensité s'effectue à une longueur d'onde donnée.
- La loi de Wien (publiée à la fin du 19<sup>ième</sup> siècle par Wilhelm Wien) dit que la longueur d'onde de ce maximum d'émission est inversement proportionnelle à la température du corps noir.  
Ainsi, mathématiquement cette loi s'écrit :

$$\lambda_{max} \times T = cste = 2.898 \times 10^{-3} \quad (2.1)$$

où :

- $\lambda_{max}$  est la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission exprimée en mètre (m).
- T la température à laquelle le corps noir est chauffé exprimée en kelvin (K).



Voici une forme graphique de la loi de Wien :

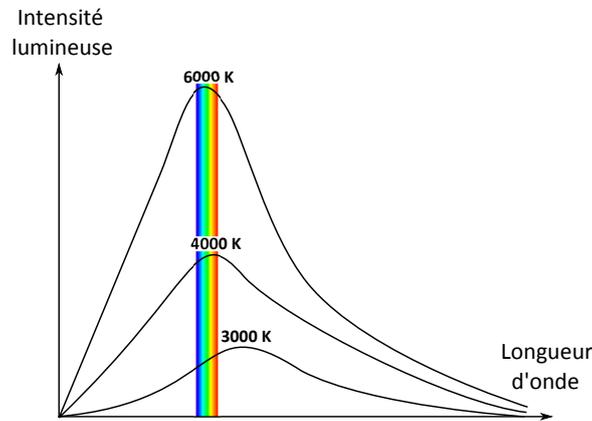


FIGURE 2.7 – Loi de Wien

### Exemple d'utilisation de cette loi

Soit un corps noir chauffé à 4578 K, quelle est la longueur d'onde à laquelle il émet le plus de rayonnement ? Quelle est la nature de ce rayonnement ?

Pour répondre à ces questions, on utilise la forme mathématique de la loi de Wien (3.1) afin de calculer la longueur d'onde du maximum d'émission :

$$\lambda_{max} \times T = cste = 2.898 \times 10^{-3}$$

d'où :

$$\lambda_{max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{T} = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{4578} = 6.33 \times 10^{-7} m = 633 nm \quad (2.2)$$

Ainsi, le maximum d'émission de ce corps correspond à de la lumière visible de couleur rouge (couleur du laser He-Ne).



## 2.5 Interaction lumière-matière et quantum d'énergie

Max Planck postule en 1900 qu'un rayonnement ne peut échanger avec la matière qu'une quantité d'énergie proportionnelle à une quantité appelée quantum d'énergie. Cette quantité s'écrit :

$$\Delta E = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda} \quad (2.3)$$

où :

- $\Delta E$  est la quantité d'énergie exprimée en joule (J)
- $\nu$  est la fréquence du rayonnement exprimée en hertz (Hz)
- $h$  est la constante de Planck exprimée en joule fois seconde ( $J \times s$ ) :  
 $h = 6.62 \times 10^{-34} J \times s$ .
- $c$  est la célérité de la lumière dans le vide exprimée en mètre par seconde ( $m.s^{-1}$ ) :  $c = 3.00 \times 10^8 m.s^{-1}$ .
- $\lambda$  est la longueur d'onde du rayonnement exprimé en mètre (m)

## 2.6 Modèle corpusculaire de la lumière

- En 1905, Albert Einstein poursuit la pensée de Max Planck, et émet l'hypothèse que la lumière est à la fois une onde (électromagnétique) et un ensemble de particules qu'il nomme photons.
- Dans sa théorie, chaque photon porte alors le quantum d'énergie  $\Delta E = h \times \nu$  introduit par Max Planck.
- Cette double nature de la lumière est appelée dualité onde-corpuscule.

## 2.7 Quantification des niveaux d'énergie de la matière

- De la même manière qu'un rayonnement contient des photons dont l'énergie est quantifiée, Niels Bohr postule en 1913 qu'un atome ne peut exister que dans des états d'énergie bien définis. On dit que l'énergie des atomes est quantifiée.
- Lorsque l'atome est dans son niveau d'énergie le plus bas, on dit qu'il est à l'état fondamental, sinon, il est en un de ses états excités.



### Exemple

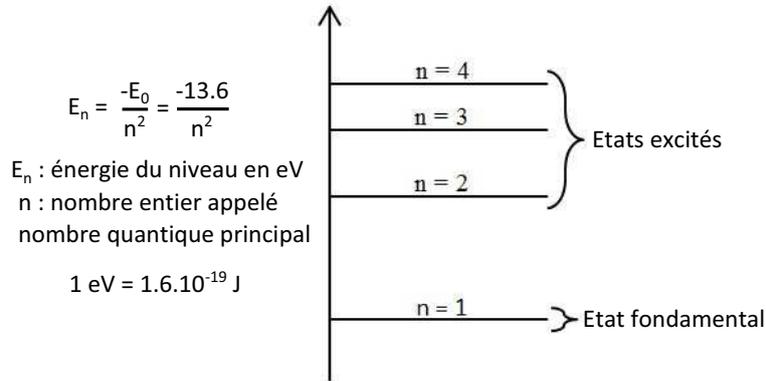


FIGURE 2.8 – Diagramme des niveaux d’énergie de l’atome d’hydrogène

## 2.8 Emission-absorption de rayonnement

Un atome n’est pas fixé dans un état d’énergie, il peut :

- Passer d’un état d’énergie  $E_2$  à un état d’énergie  $E_1$  ( $E_2 > E_1$ ) : il y a alors émission de rayonnement. L’atome se désexcite.
- Passer d’un état d’énergie  $E_1$  à un état d’énergie  $E_2$  ( $E_2 > E_1$ ) : il y a alors absorption de rayonnement. L’atome est excité.

Ces deux phénomènes permettent d’expliquer l’aspect des spectres de raies d’émission et d’absorption des atomes :

La formule qui apparaît dans cette figure est identique à la formule donnant la valeur du quantum d’énergie (Equation (2.3)). Le  $\Delta E$  représente la différence entre  $E_2$  et  $E_1$  qui s’exprime en joule (unité légale d’énergie).

### Exemple

Soit un atome qui passe d’un niveau d’énergie  $E = -2.6 \text{ eV}$  à un niveau  $E' = -5.3 \text{ eV}$ .

Absorbe-t-il ou émet-il un photon ?

Quelle est la longueur d’onde de ce photon ? On a  $E > E'$  donc l’atome se

désexcite, il y a donc émission de photon.

Pour calculer la longueur d’onde du photon, on utilise toujours la relation (2.3), sans oublier de convertir les énergies en joule avant d’effectuer le calcul :

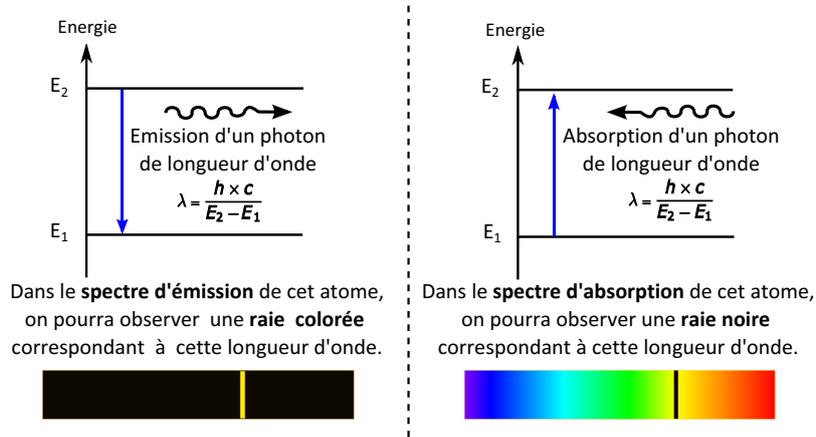


FIGURE 2.9 – Emission et absorption de rayonnement par un atome

$$\lambda = \frac{h \times c}{E - E'} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{(-2.6 - (-5.3)) \times 1.6 \times 10^{-19}} \quad (2.4)$$

$$= 4.60 \times 10^{-7} m = 460 nm \quad (2.5)$$

## 2.9 Aspect du spectre solaire

Lorsque nous avons évoqué la lumière solaire comme source de lumière colorée (section 2.1 page 13), nous avons précisé que le spectre solaire n'était pas identique au spectre de la lumière blanche :

En effet, la dispersion de la lumière solaire donne un spectre de raies d'absorption (raies noires sur fond coloré) :

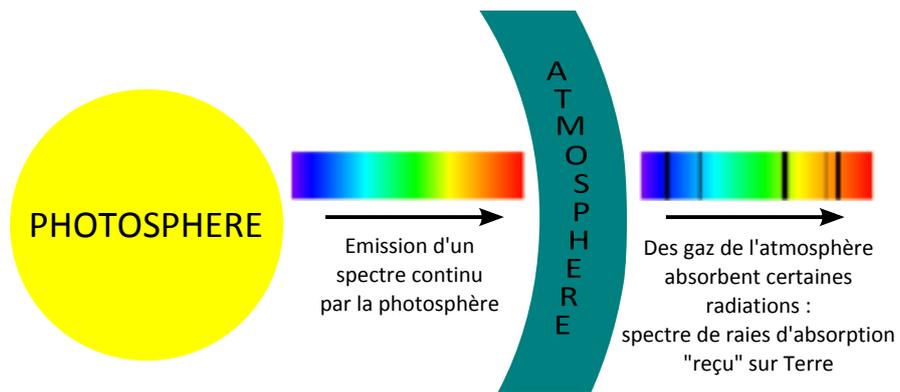


FIGURE 2.10 – Le spectre obtenu par décomposition de la lumière solaire est un spectre de raies d'absorption

## Chapitre 3

# Matières colorées

### 3.1 Pigments et colorants

Les pigments et les colorants sont des substances colorées qui se différencient par leur solubilité dans le milieu dans lequel ils seront employés :

- Les pigments sont insolubles dans le milieu.
- Les colorants y sont solubles.

Ces substances ont différentes origines, elles peuvent être :

- naturelles : un colorant comme l'indigo (couleur bleue des jeans) était **prélevé dans la nature** initialement sur l'indigotier ; l'ocre est un pigment extrait d'une roche que l'on trouve notamment en France dans le Lubéron.
- de synthèse : pour répondre à la demande, l'Homme a appris à **synthétiser ce colorant en laboratoire**.
- artificielles : la mauvéine fût le premier colorant synthétisé, qui **n'existe pas dans la nature**.

### 3.2 Substances colorées et chimie (absorbance)

- Un chimiste rencontre souvent des substances colorées, principalement en solution : les solutions ioniques sont souvent colorées, certains réactifs permettant des tests d'identification (liqueur de Fehling, 2,4-DNPH) le sont aussi. Il utilise également des indicateurs colorés, substances qui changent de couleur selon la nature du milieu, pour réaliser par exemple des dosages.
- Il existe une grandeur physique qui permet de quantifier la couleur d'une solution : l'**absorbance** notée  $A$  qui s'exprime sans unité. Celle-ci traduit la quantité de lumière absorbée par une solution à une longueur d'onde donnée. Elle se mesure à l'aide d'un spectrophoto-



mètre.

- Un spectrophotomètre calcule la différence, pour chaque longueur d'onde, entre la lumière incidente et la lumière transmise et livre la valeur de l'absorbance pour chaque radiation visible.

### 3.3 Substances colorées et synthèse soustractive des couleurs

- Une solution est incolore lorsqu'elle laisse passer toute la lumière blanche qu'elle reçoit (alors  $A = 0$ , quelle que soit la longueur d'onde).
- Imaginons une solution de couleur verte : que donne son passage dans le spectrophotomètre ?  
Voici le graphique de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde :

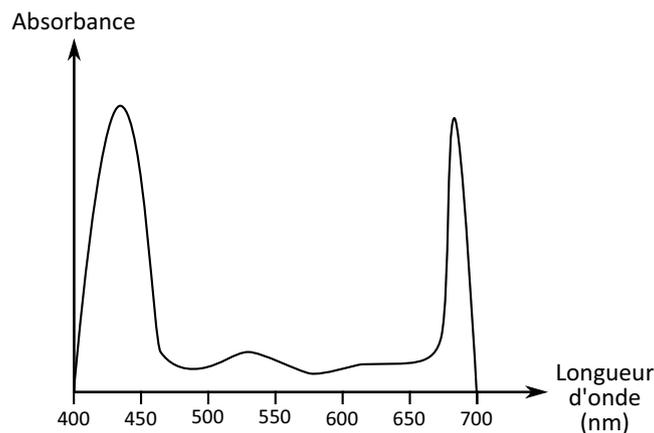


FIGURE 3.1 – Courbe d'absorbance pour une solution verte

Expliquons l'allure de cette courbe :

La solution verte transmet le vert et absorbe les autres couleurs : si on raisonne en terme de synthèse soustractive des couleurs (avec les 6 couleurs qui ont été nommées au chapitre 1 section ?? page ??), les couleurs absorbées sont le rouge et le bleu, soit du magenta. On observe donc un pic d'absorbance au niveau des radiations bleues et un autre pic pour les radiations rouges.

On dit que la solution absorbe la couleur complémentaire de sa propre couleur : le vert et le magenta sont bien des couleurs complémentaires (section ?? page ??)



- En ce qui concerne les matières colorées, la couleur des mélanges en peinture ou en imprimerie s’explique aussi grâce à la synthèse soustractive des couleurs :

Mélangions du jaune et du magenta, qu’obtient-on ?

Le jaune diffuse le vert et le rouge (absorbe le bleu), le magenta diffuse le rouge et le bleu (absorbe le vert), un mélange de ces deux couleurs donne donc du rouge.

A ce propos, dans une imprimante, on insère des cartouches de couleurs jaune, cyan et magenta ; toutes les couleurs sont recréées par synthèse soustractive.

### 3.4 Synthèse, extraction et séparation des pigments et colorants

La synthèse des pigments et colorants peut prendre des formes très diverses, chaque synthèse est particulière à la substance à extraire, nous n’en parlerons donc pas ici.

#### 3.4.1 Extractions

- Par contre il existe différentes sortes d’extraction dont on peut donner les caractéristiques :
  1. Dans une **extraction par solvant**, on met en contact la matière qui contient le colorant avec un solvant qui va permettre son extraction. Trois techniques peuvent être utilisées :
    - La **macération** consiste à plonger la matière dans le solvant d’extraction pendant longtemps, le colorant passe petit à petit dans celui-ci.
    - Lors d’une **décoction**, on plonge la matière dans le solvant froid puis on le porte à ébullition pour réaliser l’extraction.
    - Pour une **infusion**, on plonge directement la matière qui contient le colorant dans de l’eau bouillante.
  2. On peut parfois utiliser une **hydrodistillation** (également appelée entraînement à la vapeur. De l’eau, en contact avec la matière dont on doit extraire la substance recherchée, est portée à ébullition puis liquéfiée dans un réfrigérant. Elle entraîne alors la substance recherchée.  
La figure 3.2 propose le schéma de montage de l’hydrodistillation.

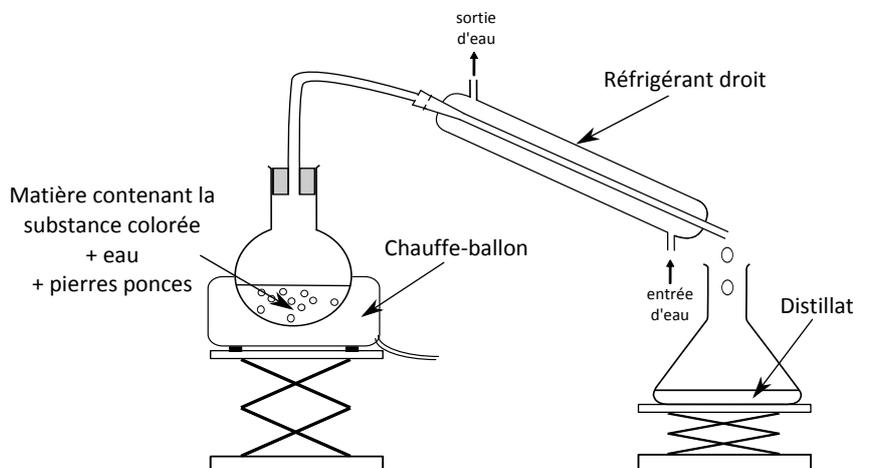


FIGURE 3.2 – Hydrodistillation

### 3.4.2 Séparations

- Aussi, une fois une extraction réalisée, on peut procéder à une séparation de la substance extraite afin d'en connaître sa composition (est-ce un corps pur? Un mélange?). Pour cela, le recours à une chromatographie est souvent judicieux.

1. La **chromatographie sur couche mince** ou CCM utilise généralement une couche de silice comme phase fixe déposée sur un papier d'aluminium. Voici les étapes de cette technique :

- Sur la phase fixe, on réalise les dépôts des substances permettant l'analyse (substance extraite et substances de comparaison), puis on procède à l'élution grâce à un éluant (phase mobile) qui monte par capillarité sur la phase fixe.
- Cet éluant, choisi en fonction des substances à séparer, entraîne les différentes substances à différentes vitesses.
- L'élution se termine lorsque l'éluant est parvenu à 1 cm du haut de la phase fixe.
- Il en résulte, après révélation de la plaque si besoin est (par un produit coloré ou une exposition à des rayons ultraviolets (UV)) , un ensemble de taches à interpréter.

On peut interpréter la chromatographie proposée sur la figure 3.3 :

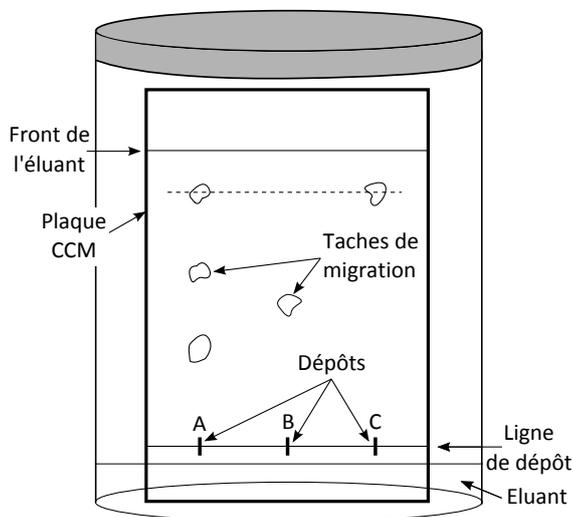


FIGURE 3.3 – chromatographie

- Le dépôt A est un mélange (3 taches) alors que les dépôts B et C sont des corps purs (une seule tache chacun).
- Le mélange A contient le corps pur C car on retrouve une tache de chaque dépôt à la même hauteur (voir pointillés).

2. Le principe de la **chromatographie sur colonne** ressemble à celui de la CCM : la séparation se fait verticalement mais cette fois-ci vers le bas, par gravitation.

Les espèces ne mettent pas le même temps à passer à travers la silice du fait de leur affinité différente avec celle-ci.

## 3.5 Quantifier la réaction chimique

Ce chapitre sur les matières colorées nous donne l'occasion de traiter des réactions chimiques mettant en jeu des espèces colorées (réactifs ou produits).

Voyons ici la façon dont le chimiste traite **quantitativement** les réactions chimiques.

### 3.5.1 Stoechiométrie, avancement de la réaction

Comme exemple, nous prendrons la réactions entre les ions iodures et l'eau oxygénée qui produit du diiode (espèce colorée brune) et de l'eau en milieu acide. L'équation de cette réaction est la suivante :

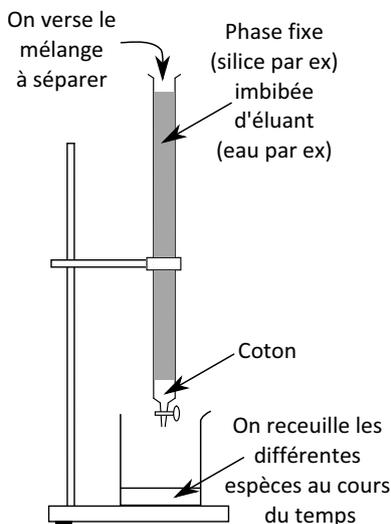


FIGURE 3.4 – chromatographie sur colonne



- Que signifie la stoechiométrie (valeurs des coefficients stoechiométriques) de cette équation ?  
2 ions iodures réagissent avec 1 molécule d'eau oxygénée et 2 ions hydrogènes pour former 1 molécule de diiode et 2 molécules d'eau.
- Nous savons qu'en réalité il ne se passe pas ceci, les nombres d'entités chimiques qui réagissent ne sont pas entiers et sont beaucoup plus grands. Par contre les **proportions restent identiques**.  
Ainsi on peut écrire :  
2 × x ions iodures réagissent avec 1 × x molécules d'eau oxygénée et 2 × x ions hydrogènes pour former 1 × x molécules de diiode et 2 × x molécules d'eau.
- Ce nombre x est un outil en chimie nommé **avancement de la réaction**, il s'exprime en moles (mol).  
On rappelle à ce propos qu'une mole est une quantité d'entités chimiques, 6.02 × 10<sup>23</sup> entités (atomes, ions, molécules ...)

### 3.5.2 Tableau d'avancement, réactif limitant

Cet avancement est utilisé dans un autre outil qui permet de suivre l'évolution d'une transformation chimique : le tableau d'avancement.



Ce tableau, correctement rempli, nous permet d'accéder à la composition du système n'importe quand, et surtout à l'état final.

Voici le tableau d'avancement concernant la réaction de notre exemple (pour fixer les idées, disons que nous faisons réagir 3 moles d'ion iodures avec 2 moles d'eau oxygénée) :

Equation de la réaction		$2I^- + H_2O_2 + 2H^+ \longrightarrow I_2 + 2H_2O$				
Etat	Avancement					
Initial	$x=0$	3	2	excès	0	excès
En cours	$x$			excès		excès
Final	$x = x_{max}$			excès		excès

TABLE 3.1 – Tableau d'avancement version 1 de la transformation entre les ions iodures et l'eau oxygénée

Expliquons plusieurs points :

- Ce tableau comporte autant de colonnes qu'il y a de réactifs et de produits : ici, 5 colonnes dans la partie principale du tableau car il y a 3 réactifs et 2 produits dans cette transformation.  
On peut remarquer néanmoins que deux de ces colonnes sont d'ores et déjà remplies car les espèces (ions hydrogènes et eau) sont en excès dans le milieu.
- Un point capital est à retenir : **toutes les cellules de la partie principale du tableau représentent des quantités de matière exprimées en moles.**

### 3.5.3 Comment remplir le tableau ?

#### Première ligne (état initial)

Généralement, on fait réagir un ou plusieurs réactifs pour obtenir un ou plusieurs produits : il y a donc des réactifs au départ (3 et 2 en dessous de  $I^-$  et  $H_2O_2$ ) mais pas de produit (0 en dessous de  $I_2$ ).

(Voir Tableau 3.1 de cette page)



**Deuxième ligne (état intermédiaire quelconque)**

L'avancement est  $x$ . D'après les coefficients stoechiométriques :

- $2x$  ions iodures réagissent, il y en avait 3 moles au départ ; il en reste donc  $3 - 2x$ .
- De même, il y avait 2 moles d'eau oxygénée au départ et il en réagit  $x$  moles ; il en reste donc  $2 - x$ .
- Enfin, il n'y avait pas de diiode au départ, la réaction en a créée  $x$  moles ; il y en a donc  $x$  moles à cet instant.

Equation de la réaction		$2I^- + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow I_2 + 2H_2O$				
Etat	Avancement					
Initial	$x=0$	3	2	excès	0	excès
En cours	$x$	$3 - 2x$	$2 - x$	excès	$x$	excès
Final	$x = x_{max}$			excès		excès

TABLE 3.2 – Tableau d'avancement : version 2

**Troisième ligne (état final : avancement  $x_{max}$ )**

- Si la transformation est totale, ce que l'on considèrera toujours à notre niveau, l'avancement est maximal à l'état final, la réaction s'arrête car au moins un des réactifs est épuisé.  
Ce réactif s'appelle le **réactif limitant** car il limite la réaction.
- Pour trouver celui-ci, on détermine les valeurs de  $x_{max}$  possibles en considérant que chacun des réactifs est limitant. La bonne valeur de  $x_{max}$  correspond à la plus petite des valeurs possibles. Le réactif limitant est celui qui a permis de trouver la bonne valeur de  $x_{max}$ .
- Voici ce que ce raisonnement donne pour notre exemple :

$$\left\{ \begin{array}{l} I^- \text{ réactif limitant : } \quad 3 - 2x_{max\ 1} = 0 \quad x_{max\ 1} = \frac{3}{2} \\ \Leftrightarrow \\ H_2O_2 \text{ réactif limitant : } \quad 2 - x_{max\ 2} = 0 \quad x_{max\ 2} = 2 \end{array} \right.$$

On a donc  $x_{max\ 1} < x_{max\ 2}$  :

$x_{max}$  est égal à  $\frac{3}{2}$  et les ions iodures  $I^-$  sont réactif limitant.

On obtient ainsi le tableau complètement rempli : tableau 3.3 page 31.



Equation de la réaction		$2I^- + H_2O_2 + 2H^+ \longrightarrow I_2 + 2H_2O$				
Etat	Avancement					
Initial	$x=0$	3	2	excès	0	excès
En cours	$x$	$3 - 2x$	$2 - x$	excès	$x$	excès
Final	$x = x_{max}$	$3 - 2x_{max}$ $= 3 - 2 \times \frac{3}{2}$ $= 0$	$2 - x_{max}$ $= 2 - \frac{3}{2}$ $= \frac{1}{2}$	excès	$x_{max}$ $= \frac{3}{2}$	excès

TABLE 3.3 – Tableau d’avancement : version finale

### 3.5.4 Relation entre les conditions initiales et la couleur de la solution à l’état final

Comme nous l’avons vu précédemment, les conditions initiales permettent de déterminer le réactif limitant et ainsi la quantité de produit qui sera formée.

En l’occurrence ici, la seule espèce colorée est le produit diiode  $I_2$ , donc plus  $x_{max}$  est grand, plus la quantité de diiode créée sera grande et plus la solution sera brune.

#### Exemple

Voici deux mélanges de réactifs dans l’état initial : Mélange A : 4 moles d’ions iodures ; 3 moles d’eau oxygénée. Mélange B : 3 moles d’ions iodures ; 4 moles d’eau oxygénée. Lequel de ces mélanges donnera la solution finale la plus colorée ?

Trouvons la valeurs de  $x_{max}$  pour chaque mélange :

– Mélange A :

$$\begin{cases} 4 - 2x_{max\ 1} = 0 \\ 3 - x_{max\ 2} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x_{max\ 1} = \frac{4}{2} = 2 \\ x_{max\ 2} = 3 \end{cases}$$

– Mélange B :

$$\begin{cases} 3 - 2x'_{max\ 1} = 0 \\ 4 - x'_{max\ 2} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x'_{max\ 1} = \frac{3}{2} = 1.5 \\ x'_{max\ 2} = 4 \end{cases}$$

Pour le mélange A, on a  $x_{max} = 2$  ; pour le mélange B on a  $x'_{max} = 1.5$  ; c’est donc la solution finale donnée par le mélange initial A qui sera la plus colorée.



## 3.6 Dosage par étalonnage par spectrophotométrie

Nous avons parlé précédemment de la grandeur absorbance (section 3.2) qui permettait de quantifier la coloration d'une solution.

A une longueur d'onde donnée, cette grandeur sans unité est d'autant plus forte que la solution est colorée.

Il est temps de prendre connaissance de la loi de Beer-Lambert et de voir comment par son intermédiaire nous allons doser des solutions.

### 3.6.1 Loi de Beer-Lambert

La loi de Beer-Lambert relie l'absorbance d'une solution à sa concentration, à une longueur d'onde donnée et pour une espèce donnée :

$$A = \epsilon \times l \times c \quad (3.1)$$

où :

- A est l'absorbance de la solution, sans unité.
- $\epsilon$  est le coefficient d'extinction molaire de l'espèce étudiée en  $L.mol^{-1}.m^{-1}$  (c'est lui qui tient compte de la longueur d'onde choisie pour l'étude).
- c est la concentration molaire de la solution en  $mol.L^{-1}$ .

Ce qui est surtout intéressant dans cette loi est que l'absorbance d'une solution à longueur d'onde donnée est **proportionnelle** à sa concentration.

### 3.6.2 Doser par étalonnage

Un dosage, contrairement à un titrage, est une méthode non destructive : cela signifie que l'on détermine la concentration de la solution sans l'altérer.

Le principe est le suivant :

- On réalise, à partir d'une solution mère de l'espèce à doser, une échelle de teinte en diluant successivement la solution mère pour obtenir des solutions filles de différentes couleurs (donc de différentes concentrations connues).
- On mesure l'absorbance des différentes solutions filles, à la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorption de l'espèce chimique colorée (par exemple, on choisira une "longueur d'onde jaune" pour une solution de sulfate de cuivre bleue).
- On trace la droite d'étalonnage  $A=f(c)$  où A est l'absorbance des solutions filles et c leur concentration molaire. Ici, on sait qu'il s'agit



d'une droite car il y a proportionnalité entre  $A$  et  $c$  (mais il existe des courbes d'étalonnage non droites dans d'autres cas).

- Enfin, on mesure l'absorbance de la solution échantillon à doser, et on utilise la droite d'étalonnage pour trouver sa concentration.

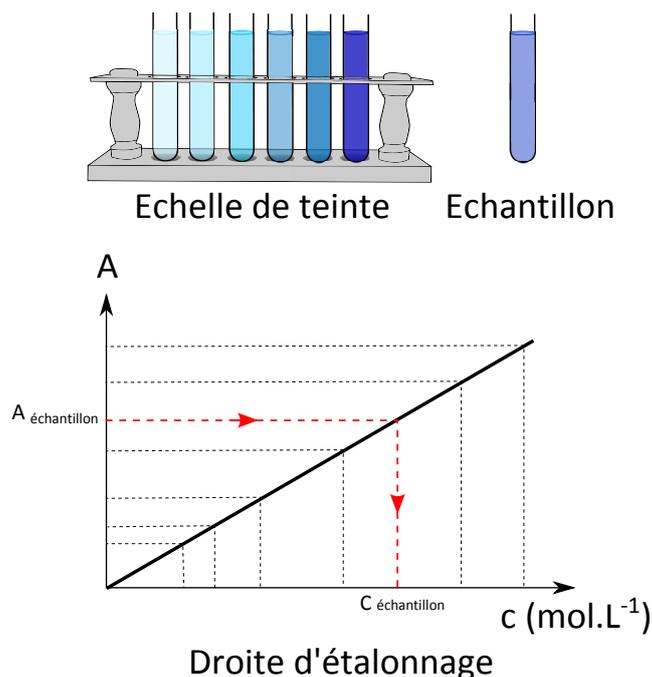


FIGURE 3.5 – Echelle de teinte et droite d'étalonnage

## 3.7 Molécules organiques colorées

### 3.7.1 Structure moléculaire

La chimie organique est la chimie du vivant. Les molécules du vivant, donc les molécules organiques, sont des molécules principalement constitués d'atomes de carbone C et d'atomes d'hydrogène H.

Les autres atomes que l'on rencontre sont les atomes d'oxygène O, les atomes d'azote N, les atomes de soufre S ...

Les molécules organiques colorées comportent nécessairement des liaisons covalentes doubles, disposées d'une manière particulière :



### 3.7.2 Molécules à liaisons conjuguées

Une molécule possède des liaisons conjuguées lorsque dans sa structure apparaît au moins deux doubles liaisons séparées par une liaison simple :

#### Exemples

- La molécule de buta-1,3-diène est à liaisons conjuguées :



Les deux doubles liaisons sont conjuguées car séparées par une liaison simple.

- La molécule qui donne la couleur bleue au jean, l'indigo, possède de nombreuses liaisons conjuguées :

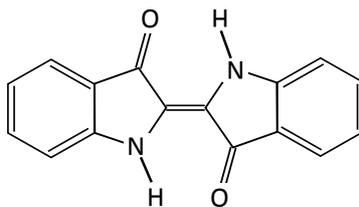
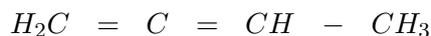


FIGURE 3.6 – Molécule d'indigo

#### Contre-exemple

- La molécule de buta-1,2-diène n'est pas à liaisons conjuguées :



Les doubles liaisons sont côte à côte, donc non conjuguées.

### 3.7.3 Molécules organiques colorées

La présence de deux liaisons doubles conjuguées dans une molécule ne suffit a priori pas pour que celle-ci soit colorée.

Une molécule organique **absorbe une longueur d'onde d'autant plus grande que le nombre de doubles liaisons conjuguées dans celle-ci est grand.**

On rappelle aussi qu'une molécule apparaît de la couleur complémentaire à celle qu'elle absorbe (la molécule indigo qui est bleue, absorbe dans le jaune).



## 3.8 Indicateurs colorés

Les indicateurs colorés sont des espèces chimiques qui **existent sous deux formes de couleurs différentes**, une des formes prédominant selon la nature du milieu.

Il existent des indicateurs colorés en acido-basicité, en oxydoréduction (et dans d'autres domaines) :

- Le bleu de bromothymol (BBT) est un indicateur coloré acido-basique qui est jaune en milieu acide et bleu en milieu basique.
- L'empois d'amidon est un indicateur coloré d'oxydoréduction, il est incolore en solution aqueuse mais devient bleu dans une solution contenant du diiode.

## 3.9 Couleur d'une substance et milieu de présence

Outre les indicateurs colorés qui, comme nous venons de le voir change de couleur selon la nature du milieu, il existe des espèces de couleurs différentes selon le solvant dans lequel elles sont solubilisées.

L'exemple le plus classique est le diiode :

- Le diiode est de couleur brune en solution aqueuse (même s'il y est peu soluble).
- Le diiode est de couleur violacée en solution dans le cyclohexane par exemple (il y est d'ailleurs plus soluble que dans l'eau).

C'est d'ailleurs cette différence de solubilité du diiode dans l'eau et dans le cyclohexane que l'on utilise pour expliquer le principe de l'extraction liquide-liquide :

Si on verse une solution aqueuse de diiode (brune) avec du cyclohexane (incolore) dans un tube à essais, une agitation de celui-ci fait passer le diiode de l'eau (elle devient alors incolore) dans le cyclohexane (qui devient violacé).

## 3.10 Liaisons entre les atomes, géométrie des molécules

### 3.10.1 Liaison covalente

#### Définition

Une liaison covalente est une liaison qui lie deux atomes, celle-ci étant créée par la **mise en commun d'un électron** par chaque atome.



### Règles du duet et de l'octet

Ces deux atomes vont se lier afin d'acquérir de la stabilité, cette liaison covalente va leur permettre à chacun de respecter la règle du duet ou de l'octet.

Rappelons ces deux règles :

- La règle du duet stipule que les éléments dont le numéro atomique est inférieure ou égal à 4 cherchent à obtenir un duet d'électrons sur leur couche externe (couche de valence).
- La règle de l'octet stipule que les éléments dont le numéro atomique est supérieur à 4 cherchent à obtenir un octet d'électrons sur leur couche externe (couche de valence).

### Exemple : la molécule de fluorure d'hydrogène HF

- L'hydrogène ( $Z=1$ ) a pour configuration électronique  $(K)^1$ , il doit donc gagner un électron pour respecter la règle du duet.
- Le fluor ( $Z=7$ ) a pour configuration électronique  $(K)^2(L)^7$ , il doit donc gagner un électron pour respecter la règle de l'octet.
- Ces deux éléments mettent en commun chacun un électron : l'hydrogène le seul qu'il a, le fluor un de ses 7 électrons de valence.
- Les deux électrons mis en commun qui forment la liaison covalente appartiennent à présent aux deux atomes, ce qui leur permet à chacun de respecter leur règle.

### Quelques atomes et le nombre de liaisons covalentes qui peuvent former

Ainsi, grâce à la configuration électronique des atomes, on peut déterminer le nombre de liaisons covalentes qu'ils doivent former pour se stabiliser :

- L'atome d'hydrogène (H,  $Z = 1$ ,  $(K)^1$ ) formera toujours une seule liaison covalente avec d'autres atomes.
- L'atome de carbone (C,  $Z = 6$ ,  $(K)^2(L)^4$ ) formera 4 liaisons covalentes avec d'autres atomes (il obtiendra ainsi l'octet d'électrons sur sa couche externe).
- L'atome d'azote (N,  $Z = 7$ ,  $(K)^2(L)^5$ ) formera 3 liaisons covalentes avec d'autres atomes.
- L'atome d'oxygène (O,  $Z = 8$ ,  $(K)^2(L)^6$ ) formera 2 liaisons covalentes avec d'autres atomes.



### Remarque

Il existe des liaisons covalentes doubles entre deux atomes (et même des triples), elles comptent alors pour deux liaisons covalentes simples (ou trois).

### 3.10.2 Formule de Lewis et géométrie des molécules

La formule de Lewis d'une molécule est assez compliquée à établir mais elle apporte de précieuses informations; notamment celle de connaître la géométrie des molécules.

#### COMPRÉHENSION DES FORMULES DE LEWIS, EXEMPLES

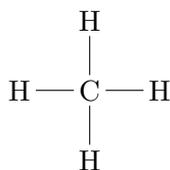
**Qu'est-ce qu'une formule de Lewis ?** La formule de Lewis d'une molécule est une formule développée qui fait apparaître toutes les liaisons covalentes entre les atomes ainsi que les liaisons non covalentes appelées doublets non liants.

**Qu'est-ce qu'un doublet non liant ?** Un doublet non liant est formé par une paire d'électron et est porté par un atome. Ces électrons sont ceux de la couche externe de l'atome qui ne participe pas aux liaisons covalentes.

Ex : l'atome d'azote (N,  $Z = 7$ ,  $(K)^2(L)^5$ ) formera trois liaisons covalentes avec d'autres atomes comme on l'a dit plus haut. Il doit donc mettre en commun trois de ses 5 électrons présents sur sa couche externe.

Il restera ainsi deux électrons sur sa couche externe qui ne participent pas aux liaisons covalentes, ce sont eux qui forment le doublet non liant que portera l'atome d'azote dans les formules de Lewis.

**Exemple 1 : la molécule de méthane :** Cette molécule de formule brute  $CH_4$  a une formule de Lewis identique à sa formule développée : 1 atome de carbone central partage 4 liaisons covalentes avec 4 atomes d'hydrogène :



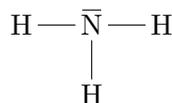
**Exemple 2 : la molécule d'ammoniac :** Sa formule brute est  $NH_3$ . L'atome d'azote N a besoin d'échanger 3 liaisons covalentes, chaque atome d'hydrogène 1 seule. Chaque atome d'hydrogène partage donc une liaison covalente avec l'azote.

Sur la couche externe de l'azote il y a 5 électrons (N,  $Z = 7$ ,  $(K)^2(L)^5$ ), 3 participent aux liaisons covalentes, il en reste 2 qui forment un doublet non



liant.

La formule de Lewis de l'ammoniac est donc :

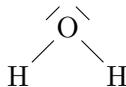


**Exemple 3 : la molécule d'eau :** La molécule d'eau a pour formule brute  $H_2O$ . Chaque atome d'hydrogène a besoin d'échanger 1 liaison covalente, l'atome d'oxygène a besoin d'échanger 2 liaisons covalentes.

Aussi, dans la formule de Lewis de cette molécule apparaîtront 2 doublets non liants sur l'atome d'oxygène :

En effet, l'atome d'oxygène (O,  $Z = 8$ ,  $(K)^2(L)^6$ ) utilise 2 électrons de sa couche externe pour créer 2 liaisons covalentes. Il reste donc 4 électrons sur cette couche de valence qui ne participe pas aux liaisons covalentes : ces 4 électrons forment les 2 doublets non liants.

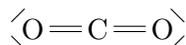
On obtient pour formule de Lewis :



**Exemple 4 : la molécule de dioxyde de carbone :** Sa formule brute est  $CO_2$ . L'atome de carbone doit échanger 4 liaisons covalentes, chaque atome d'oxygène doit en échanger 2.

Et, comme nous l'avons vu avec la molécule d'eau, chaque atome d'oxygène porte deux doublets non liants.

La formule de Lewis de la molécule de dioxyde de carbone est donc :



GÉOMÉTRIE DES MOLÉCULES

Maintenant que nous avons vu et compris la construction de quelques formules de Lewis, on peut expliquer la géométrie de ces mêmes molécules. L'information importante est que les doublets, liants (liaisons covalentes et non liants, s'orientent dans l'espace afin de minimiser les répulsions. Il en résulte des géométries de molécules en 2D ou en 3D.

**Exemple 1 : la molécule de méthane :** La molécule de méthane comporte donc un atome central de carbone relié par 4 liaisons covalentes avec 4 atomes d'hydrogène.

La figure géométrique qui minimise les répulsion entre ces 4 doublets liants est le tétraèdre. La molécule de méthane est donc **tétraédrique** :

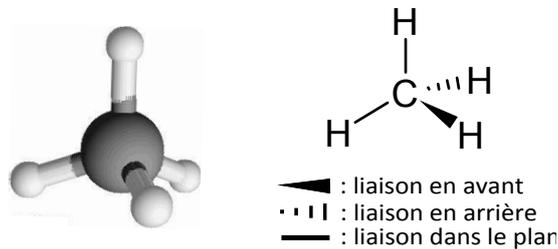


FIGURE 3.7 – Molécule de méthane : modélisation 3D et représentation de Cram

**Exemple 2 : la molécule d’ammoniac :** La molécule d’ammoniac comporte elle aussi un atome d’azote central, autour duquel il y a 3 liaisons covalentes et un doublet non liant.

La répulsion entre les doublets se faisant indifféremment entre doublet liant et non liant, l’ensemble est tétraédrique, mais les atomes forment eux une **pyramide** qui a pour sommet l’atome d’azote :

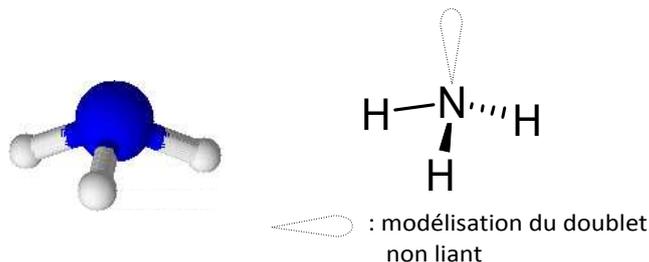


FIGURE 3.8 – Molécule d’ammoniac : modélisation 3D et représentation de Cram

**Exemple 3 : la molécule d’eau :** Cette fois, l’atome central est l’oxygène, il est lié à deux atomes par 2 liaisons covalentes et possède autour de lui 2 doublets non liants.

L’ensemble est encore un tétraèdre mais si on ne considère que les atomes, on obtient une molécule plane coudée :

**Exemple 4 : la molécule de dioxyde de carbone :** La géométrie de cette molécule est peut-être plus délicate à comprendre car il n’y a pas un atome central.

De plus, cette molécule fait apparaître des liaisons covalentes doubles. On considère qu’elles se comportent comme les liaisons covalentes simples.

Ainsi, les deux doubles liaisons sont dans le même plan que l’atome de

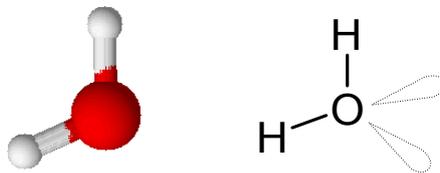


FIGURE 3.9 – Molécule d'eau : modélisation 3D et représentation de Cram

carbone, et les doublets liants et non liants se répartissent en triangle autour des deux atomes d'oxygène.

En globalité, la molécule est donc plane :

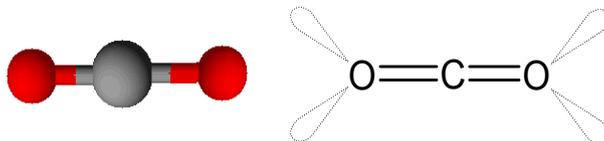


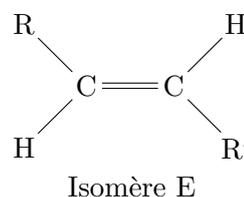
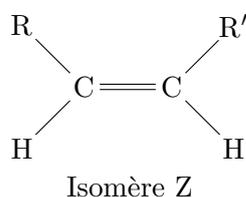
FIGURE 3.10 – Molécule de dioxyde de carbone : modélisation 3D et représentation de Cram



### 3.11 Isomérisation Z/E autour d'une liaison covalente double carbone-carbone

Rappelons tout d'abord que deux molécules isomères sont deux molécules qui ont la même formule brute, mais des formules développées différentes.

L'isomérisation dont nous parlons ici est un peu différente, elle tient compte de la place de groupement par rapport à la double liaison. Pour une liaison double carbone-carbone, il existe deux isomères :



Dans ces molécules, R et R' sont des atomes (autres que l'hydrogène) ou groupes d'atomes.

Ainsi, dans l'isomère Z (Z pour zusammen = ensemble en allemand), les deux groupements R et R' sont du même côté de la double liaison.

Dans l'isomère E (E pour entgegen = opposé en allemand), ils sont de part et d'autre de cette double liaison.

### 3.12 Processus de la vision : isomérisation photochimique

Le rétinol est une molécule de la rétine que l'on qualifie de photochromique : elle existe sous deux formes isomères Z/E, dont les propriétés électroniques sont différentes (du fait de leur conformation, de la position des atomes entre eux).

Ainsi lorsque la rétine reçoit de la lumière, le Z-rétinol se transforme en E-rétinol, c'est l'isomérisation photochimique.

Cette isomérisation, de par la nature électronique différente des deux isomères, active une protéine qui déclenchera l'envoi d'un message électrique au cerveau.

Notons également que ces molécules photochromiques sont utilisées dans des domaines optiques de la vie de tous les jours (lunettes, pare-brise, ...) puisqu'elles ont la propriété de changer de couleur par isomérisation photochimique.

# Bibliographie

- [1] Sous la direction de Matthieu Ruffenach et Sophie Decroix, *1<sup>ère</sup>S Physique Chimie* Bordas édition 2011.
- [2] En ce qui concerne le processus de vision :  
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/67194.htm>
- [3] <http://bgoglin.free.fr/physique/interactions.html>

# Index

- absorbance, 23, 24, 32, 33
- absorber, 10
- absorption (de rayonnement), 16, 20, 32
- accommoder, accommodation, 3, 7
- achromates, 7
- acido-basicité, 35
- algébrique, 6
- ammoniac, 37, 39
- appareil photographique, 7
- avancement, 27, 30
- avancement maximal, 30
- azote, 33
  
- bâtonnets, 7
- bleu de bromothymol, 35
- Bohr Niels, 19
  
- capillarité, 26
- capteur, 7
- carbone, 33
- CCM, 26
- célérité de la lumière, 19
- centre optique, 6
- cerveau, 7
- chimie organique, 33
- chromatographie, 26
  - sur colonne, 27
  - sur couche mince, 26
- coefficient d'extinction molaire, 32
- coefficients stoechiométriques, 28
- colorant, 23, 25
- concentration molaire, 32
- cônes, 7
- configuration électronique, 36
- conjugaison (Relation de), 6
  
- constante de Planck, 19
- corps
  - noir, 17
  - pur, 26, 27
- corps noir, 18
- couche
  - de valence, 36
  - externe, 36, 37
- couleur
  - perçue, 10
  - primaire, 8, 10
  - secondaire, 8, 10
- couleurs complémentaires, 8, 9, 34
- cristallin, 3, 7
- cyan, 8, 9, 11
- cyclohexane, 35
  
- daltonien, 7
- décharge électrique, 14, 15
- décoction, 25
- DEL, 15, 16
- diffuser, 10
- diode, 27, 28, 30, 31, 35
- dioptrie, 4
- dioxyde de carbone, 38, 39
- dispersion, 21
- distance focale, 4, 6
- dosage, 32
- doublet
  - liant, 38
  - non liant, 37, 38
- doublet non liant, 37, 38
- drapeau (couleur), 11
- droite d'étalonnage, 32
- dualité onde-corpuscule, 19
  
- eau



- formule de Lewis, 38
- géométrie, 39
- oxygénée, 27
- échelle de teinte, 32
- écran plat, 9
- Einstein Albert, 19
- électron de valence, 36
- éluant, 26
- élution, 26
- émission (de rayonnement), 16, 20
- empois d'amidon, 35
- énergie des atomes, 19
- entraînement à la vapeur, 25
- étalonnage, 32
- état
  - excité, 19
  - fondamental, 19
- extraction, 25
  - liquide-liquide, 35
  - par solvant, 25
- filtre, 10
- filtres, 9
- fluorescente, 14
- fluorure d'hydrogène, 36
- formule
  - brute, 37, 38, 41
  - développée, 37, 41
  - de Lewis, 37, 38
- foyer principal
  - image, 4
  - objet, 5
- fréquence, 17, 19
- gaz inerte, 14
- géométrie des molécules, 35, 37, 38
- grandissement, 6
- hydrodistillation, 25
- hydrogène, 33
- image, 8
- imprimerie, 25
- indicateur coloré, 35
- indigo, 23, 34
- infrarouge (IR), 17
- infusion, 25
- ions iodures, 27
- isomérie
  - photochimique, 41
  - Z/E, 41
- isomères, 41
- lampe à décharge, 15, 16
- lampe à incandescence, 13
- lampe fluocompacte, 14
- LASER, 16
- LED, 8, 15
- lentille mince, 4
- liaison
  - covalente, 35–38
  - covalente double, 33, 37, 41
  - non covalente, 37
- liaisons conjuguées, 34
- loi
  - de Beer-Lambert, 32
  - de Wien, 17
- longueur d'onde, 16–19, 23, 32, 34
- lumière
  - blanche, 8–10, 13, 14
  - incidente, 10
  - solaire, 8
- macération, 25
- magenta, 8–10, 24, 25
- maladie (de l'oeil), 7
- mauvéine, 23
- mélange, 26, 27
- mercure, 14
- méthane, 37, 38
- mise au point, 7
- modèle corpusculaire, 19
- molécule
  - géométrie, 35, 37, 38
  - organique, 33
  - photochromique, 41
  - plane, 40
  - plane coudée, 39
  - pyramidale, 39



- tétraédrique, 38
- mole, 28
- monochromatique, 16
- niveau d'énergie, 19
- objectif, 7
- objet
  - opaque, 10
  - transparent, 10
- oeil, 3, 7
- ondes électromagnétiques, 17
- oxydoréduction, 35
- oxygène, 33
- peinture, 25
- photochromique, 41
- photon, 19
- pigment, 23, 25
- Planck Max, 19
- plasma, 14
- polychromatique, 16
- profil spectral, 14
- proportionnalité, 33
- pyramide, 39
- quantification, 19
- quantum d'énergie, 19
- radiation, 9, 11, 14
  - infrarouge, 17
  - monochromatique, 16
  - ultraviolette, 17
  - visible, 24
- rayonnement, 14, 16–19
- réactif limitant, 28, 30, 31
- règle
  - de l'octet, 36
  - du duet, 36
- représentation de Cram, 38
- répulsion, 38, 39
- rétinal, 41
- rétine, 3, 7, 41
- semiconducteur, 15
- séparation, 26, 27
- silice, 27
- soleil, 13
- solubilité, 23
- soluble, 35
- solution
  - aqueuse, 35
  - filles, 32
  - mère, 32
- solvant, 35
- soufre, 33
- spectre, 13
  - de raies, 20
- spectre de raie, 21
- spectrophotométrie, 32
- spectrophotomètre, 24
- stoechiométrie, 27
- substance
  - artificielle, 23
  - colorée, 23
  - de synthèse, 23
  - naturelle, 23
- sulfate de cuivre, 32
- synthèse
  - additive, 8
  - soustractive, 9, 24
- tableau d'avancement, 28
- teintes, 7
- température, 17
- tétraèdre, 38
- titrage, 32
- transmettre, 10
- tungstène, 13
- ultraviolet (UV), 14, 17, 26
- vergence, 3, 4, 7
- vision, 7
- Wien Wilhelm, 17