

La lumière, modèle de la trichromie pour la perception des couleurs

Rappel : La lumière visible par l'œil humain correspond aux longueurs d'ondes comprises entre et La couleur correspond aux petites longueurs d'ondes du domaine visible, et la couleur correspond aux grandes longueurs d'ondes du domaine visible.

I Synthèse additive des couleurs

1) Superposition de faisceaux lumineux colorés

Vous disposez d'une lanterne munie de 2 clapets latéraux avec miroir permettant d'obtenir trois faisceaux lumineux pouvant se croiser, ainsi que de diapositives portant des filtres colorés rouge, vert, bleu, magenta, jaune et cyan pouvant être disposés sur les trois faisceaux lumineux grâce à des fentes. Ces filtres, dans cette partie, vont nous permettre de créer des lumières colorées et de les ajouter les unes aux autres grâce au jeu des miroirs.

Lorsqu'on utilise plusieurs faisceaux colorés que l'on réunit sur un écran, on parle de synthèse additive des couleurs.

- Disposer sous la lanterne et dépassant, devant celle-ci, deux feuilles A3 superposées afin de rendre la paillasse bien blanche.
- Positionner le filtre bleu sur la sortie centrale de la lanterne. *A chaque fois, les filtres seront positionnés de manière verticale dans les fentes. On évitera de mettre les filtres rouge et magenta sur la sortie centrale mais plutôt sur les sorties latérales pour de meilleurs résultats.*
- Positionner les filtres rouge et vert de part et d'autre, au niveau des sorties des clapets et allumer la lanterne (rester surtout à 6V durant le TP) avec le commutateur du générateur alimentant la lampe.
- Observer sur le papier A3 ou sur le petit écran blanc la synthèse des couleurs à partir du rouge, du bleu et du vert.
- Afin de voir la synthèse additive du rouge et du vert, mettre un cache opaque devant la sortie du bleu (il y a deux fentes).

Compléter alors la synthèse des couleurs suivante en utilisant « Blanc » « Jaune » « Magenta », « Cyan ».

Synthèse additive des couleurs (à apprendre par cœur dès maintenant pour le reste du TP) :

Bleu + Rouge =

Vert + Bleu =

Rouge + Vert =

Bleu + Rouge + Vert =

Vous avez du écrire que Bleu + Rouge + Vert = Blanc

Que l'on peut écrire aussi (Bleu + Rouge) + Vert = Blanc

C'est-à-dire encore Magenta + Vert = Blanc

- Vérifier cette dernière égalité avec la lanterne mais en utilisant cette fois un filtre Magenta et les sorties latérales.
- De la même façon, écrire deux nouvelles additions de deux couleurs qui permettent d'obtenir du blanc et vérifier le avec la lanterne :

.....= Blanc

.....= Blanc

Conclusions et vocabulaire (à retenir pour tout le TP) :

La théorie de la trichromie indique que toute lumière colorée peut être obtenue en superposant dans des proportions convenables des faisceaux lumineux rouges, verts et bleus. Ces trois couleurs sont dites couleurs p..... pour la synthèse additive des couleurs.

Les couleurs cyan, magenta et jaune, obtenues par un mélange à part égale de deux couleurs primaires sont appelées couleur s..... pour la synthèse additive des couleurs.

Ce procédé porte le nom de synthèse additive des couleurs.

Deux couleurs sont dites c..... si leur synthèse additive donne le blanc. Vous venez de mettre en évidence trois couples de couleurs complémentaires à rappeler :

-
-
-

2) Application : écrans cathodiques et LCD.

- Allumer les ordinateurs et ouvrir sur le bureau le dossier physique. Puis 1S Audouin le fichier pdf intitulé ecran_lumineux.

Vous voyez alors, en agrandissement, comment fonctionne un écran d'ordinateur : il y a trois types et uniquement trois types de pixels colorés : des rouges, des bleus et des verts. C'est le système dit « RVB ».

Lorsqu'un seul type de pixel fonctionne, on observe soit du rouge, soit du vert, soit du bleu.

Lorsque deux pixels fonctionnent, on observe la synthèse additive des couleurs choisies. Pour en être convaincu, réduire le document à 35% environ et se reculer de quelques mètres au moins. Vous devriez voir apparaître les couleurs secondaires à savoir, et à l'endroit opportun. Votre œil ne fait plus, en effet, la distinction des pixels. C'est le principe de trichromie utilisé partout maintenant pour les écrans lumineux.

- Ouvrir le logiciel paint (situé dans le menu démarrer, programmes, accessoires.) Ouvrir le menu "couleur → Modifier les couleurs". Puis cliquer sur "définir les couleurs personnalisées".
- Dans les petits rectangles RVB, mettre 255 pour R, 0 pour V et 0 pour B. Qu'obtenez-vous comme couleur ?
- Faire de même pour les deux autres couleurs primaires et visualiser le petit pointeur sur la palette des couleurs qui vient pointer vers la couleur obtenue.
- Quelles valeurs rentrer pour obtenir les couleurs secondaires ? Le vérifier.

.....

- Et pour le blanc ?

On va jouer maintenant sur l'intensité des trois couleurs primaires :

- Essayer la combinaison R 200 V100 B 150. Quelle couleur obtient-on ? Est-ce une couleur de l'arc-en ciel ?

.....

- Essayer la combinaison R 160 V120 B 80. Quelle couleur obtient-on ? Est-ce une couleur de l'arc-en ciel ?

.....

- Vous pouvez modifier la luminosité pour chaque couleur observée avec le petit curseur à droite. Plus on va vers le blanc et plus les nombres RVB..... Au contraire, plus on va vers le noir et plus ils

Combien y a-t-il de valeurs possibles pour chaque couleur primaire ?

En déduire le nombre de combinaisons possibles et donc le nombre de couleurs produites par cet écran d'ordinateur :

.....

Commenter ce dernier résultat et comparer avec le nombre de couleurs distinguables par un être humain exercé à savoir 5 à 10 millions.

3) Jeux d'ombres

- Reprendre les trois filtres primaires en synthèse additive et obtenir sur l'écran une plage blanche assez large.
- Placer une petite figurine devant l'écran afin que des ombres colorées apparaissent sur le fond blanc.

Justifier la couleur de ces ombres (sur un exemple) en rédigeant correctement.

.....

.....

.....

Si votre figurine est assez large, il y a parfois même deux faisceaux qui sont cachés par elle (ombre dans une ombre)

Interpréter les couleurs obtenus. Puis interprétez la couleur obtenue d'une ombre dans une ombre dans une ombre.

.....

.....

.....

- Recommencer l'expérience mais avec cette fois que 2 filtres en fermant un des clapets ou en mettant le cache sur le faisceau central, s'amuser à obtenir ainsi des ombres colorées sur des fonds colorés eux-aussi. Interpréter sur un exemple.

.....

.....

.....

II Synthèse soustractive des couleurs

1) Absorption par un filtre ou par une solution

Un filtre a pour rôle de laisser passer une partie de la lumière, c'est la lumière t..... et l'autre partie est

Observer en transparence le filtre magenta. S'il laissait passer toute la lumière (donc s'il n'absorbait rien), il serait transparent et blanc. S'il apparaît magenta, c'est que la couleur blanche a été en partie absorbée par le filtre. Quelle couleur a donc été absorbée ? On peut écrire pour cela :

	Lumière blanche	moins lumière absorbée par le filtre	donne lumière magenta.
Autrement dit :	Blanc	- ?	= Magenta
Or il faut se rappeler que	Blanc = Rouge + Vert + Bleu	et que Magenta = Rouge + Bleu	
On obtient donc	(Rouge + Vert + Bleu)	- ?	= Rouge + Bleu

Il s'en suit que le filtre magenta absorbe le..... c'est-à-dire sa couleur Et il ne laisse passer que le et le A retenir pour le TP.

Pour le filtre jaune, faire de même :

	Lumière blanche	moins lumière absorbée par le filtre	donne lumière jaune.
Autrement dit :	Blanc	- ?	= Jaune
On obtient donc	(..... + +)	- ?	=

Il s'en suit que le filtre jaune absorbe le..... c'est-à-dire sa couleur Et il ne laisse passer que le et le A retenir pour le TP.

Pour le filtre cyan, faire de même :

	Lumière blanche	moins lumière absorbée par le filtre	donne lumière cyan.
Autrement dit :	Blanc	- ?	= Cyan
On obtient donc	(.....)	- ?	=

Il s'en suit que le filtre cyan absorbe le..... c'est-à-dire sa couleur Et il ne laisse passer que le et le A retenir pour le TP

Qu'en est-il pour le filtre rouge ? Alors que les filtres magenta, jaune et cyan n'absorbent qu'une des trois couleurs RVB, le filtre rouge va lui absorber, puisqu'il ne laisse passer que du rouge, à la fois le et le
Le filtre bleu lui absorbe et pour ne laisser passer que le
Le filtre vert lui absorbe et pour ne laisser passer que le

Une solution transparente colorée agit exactement comme un filtre.

Une solution de permanganate de potassium apparaît magenta. Quelle couleur absorbe-t-elle donc ?

Une solution de sirop de menthe apparaît verte. Quelle(s) couleurs absorbe-t-elle donc ?

Une solution de sulfate de cuivre (ions $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$) apparaît cyan. Quelle couleur absorbe-t-elle ?

- Vérifier les trois réponses précédentes en observant les trois spectres de ces trois solutions obtenus grâce à un « réseau » (même fonction qu'un prisme), le rétroprojecteur et l'écran de la salle. Est-ce correct ?

2) Association de filtres

On associe un filtre magenta suivi d'un filtre jaune. Quelle(s) sont les couleurs absorbées de la lumière blanche ?

Que reste-t-il comme couleur après traversée d'une lumière blanche de ces deux filtres ? C'est finalement équivalent à quel filtre unique ?

L'écrire sous la forme Blanc (c'est-à-dire R+V+B) - - =
Faire deux autres combinaisons similaires avec deux filtres n'absorbant qu'une couleur à la fois
Blanc (c'est-à-dire R+V+B) - - =
Blanc (c'est-à-dire R+V+B) - - =

- Vérifier les équations précédentes grâce à la lanterne en plaçant deux filtres l'un derrière l'autre sur le faisceau centrale issu de la lumière blanche (il y a deux fentes) et observer la couleur obtenue sur l'écran.
- Recommencer l'expérience avec cette fois-ci les trois filtres l'un derrière l'autre magenta, jaune et cyan. On observe

Vous venez de créer du rouge, du vert et du bleu (et du noir) à partir des filtres magenta, jaune et cyan qui se superposaient pour un SEUL faisceau lumineux. C'est la synthèse SOUSTRACTIVE. Pour la synthèse soustractive, les couleurs primaires (de base) sont donc le magenta, le jaune et le cyan et elles permettent par synthèse soustractive d'obtenir toutes les autres couleurs, notamment le rouge, le bleu et le vert qui sont les couleurs s..... de la synthèse soustractive. On retrouve les mêmes couples de couleurs complémentaires que pour la synthèse additive.

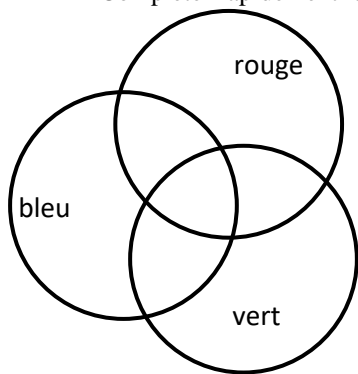
Pour ce genre de synthèse, il est plus simple néanmoins, de revenir à la lumière incidente et de déterminer ce qui est absorbé pour en déduire ce qui arrive à l'œil et donc en déduire la couleur perçue.

Rappel, récapitulation : différence entre synthèse additive et synthèse soustractive

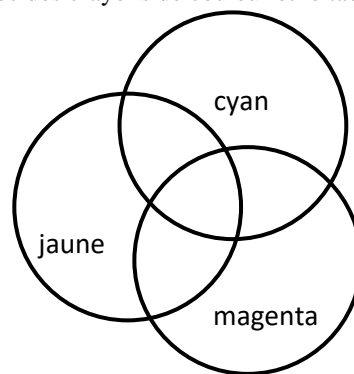
Pour une synthèse additive, on **ajoute plusieurs faisceaux colorés**. Des faisceaux Rouge, Vert et Bleu permettent la synthèse additive de toutes les couleurs.

Pour une synthèse soustractive, **le faisceau est unique** (la lumière blanche ne provient que d'une source) mais traverse des filtres qui absorbent une partie de cette lumière blanche. Les filtres permettant d'obtenir toutes les couleurs par synthèse soustractive sont les filtres magenta, jaune et cyan.

Compléter rapidement les rondes des couleurs ci-dessous avec des crayons de couleur et le tableau :



Synthèse additive des couleurs



Synthèse soustractive des couleurs.

Couleurs primaires, secondaires, et complémentaires (couleurs complémentaires se faisant vis-à-vis) :

Synthèse additive	
Couleur primaire	Couleur secondaire
↓	↓
Rouge	
Vert	
Bleu	
↑	↑
Couleur secondaire	Couleur primaire
Synthèse soustractive	

- Essayer de faire une synthèse soustractive mais avec le filtre bleu et le filtre vert par exemple en utilisant la lanterne.. Qu'obtenez-vous ? Interprétez avec une équation :
Blanc - - - = ?
(de même pour les deux autres couples à envisager)
- Pour terminer cette partie, comparer le vert obtenu avec un filtre vert et le vert obtenu avec le filtre + le filtre Pour cela, utiliser une sortie latérale pour le filtre vert et la sortie centrale pour les deux autres filtres. Fermer le clapet inutile et comparer les deux couleurs sur un écran.

3) Papiers colorés, pigments et principe des mélanges en peinture

Un papier coloré est obtenu à partir de papier blanc sur lequel on a rajouté un pigment. **Celui-ci fonctionne exactement comme un filtre.** Mais alors que dans un filtre, la lumière incidente est en partie absorbée et en partie transmise, pour un papier coloré, la lumière incidente est en partie absorbée, l'autre partie étant cette fois-ci non plus transmise (le papier est opaque) mais renvoyée dans toutes les directions donc **diffusée** (terme à apprendre par cœur).

Toutes les conclusions du paragraphe précédent sont donc valables.

Quelles sont donc les trois couleurs primaires en peinture (attention, ce ne sont donc pas celles indiquées par les peintres qui maîtrisent mal la théorie de la trichromie sauf les très bons !) ?

Lorsque vous imprimez une page en couleur, l'obtention des couleurs correspond-elle à de la synthèse additive ou de la synthèse soustractive ? Quelles sont ainsi les trois couleurs des trois encres des cartouches ? (Vérifiez le chez vous ou dans les papeteries)

Comment obtenir alors du jaune sur du papier blanc ? En mettant de l'encre jaune toute seule !

Comment obtenir du magenta sur du papier blanc ?

Comment obtenir du cyan ?

Comment obtenir du blanc ?

Comment obtenir du rouge ? (pas d'encre rouge dans une imprimante !) par superposition d'encre..... et

Comment obtenir du bleu ?.....

Comment obtenir du vert ?

Sur l'exemple du vert : refaire tout le raisonnement : on démarre TOUJOURS de la source de lumière, ici la lumière blanche donc décomposée en + + Elle arrive sur du papier où ont été déposées l'une au dessus de l'autre une encre jaune qui absorbe donc le et une encre qui absorbe donc le Il s'en suit que ce qui arrive à l'œil reste du et que donc on voit une tache si tache éclairée en lumière blanche.

Ecrire le même raisonnement avec une tache rouge :

.....

.....

.....

.....

C'est le même principe en peinture en mélangeant les couleurs. Le peintre n'a besoin que des trois couleurs primaires de la synthèse, de blanc et de noir pour la luminosité.

Quelques expériences (même raisonnement que le cadre ci-dessus)

Prendre le papier cyan en lumière blanche. S'il apparaît cyan, c'est qu'il n'a pas renvoyé toute la lumière. Avec la théorie de la trichromie, qu'absorbe-t-il comme lumière s'il apparaît cyan en lumière blanche ?

.....

Ecrire pour cela une équation résumé : lumière blanche - = + =

On l'éclaire maintenant en lumière verte ! (même raisonnement que le cadre ci-dessus en adaptant)

Si on l'éclaire en lumière verte, que va-t-il absorber (il n'a pas changé de comportement par rapport au paragraphe précédent) ? Et donc de quelle couleur va-t-il apparaître ?

Ecrire pour cela une équation résumé : lumière verte -

Mêmes questions en lumière rouge avec équation résumé

.....

- Tester ces deux expériences avec la lanterne. Pour cela, faites en sorte que deux faisceaux blancs issus de la lanterne arrivent sur l'écran blanc mais sans se chevaucher. Placer alors le papier cyan à cheval sur l'écran, une partie éclairée par un des faisceaux et l'autre par l'autre. Intercaler finalement le filtre voulu sur un des faisceaux et comparer.

4) Applications :

a) **Police scientifique** Répondre au problème suivant : un automobiliste a brûlé, de nuit, un feu rouge dans un carrefour. Deux policiers observent un autocollant apposé sur la voiture où figure le drapeau du pays de l'automobiliste. L'un affirme que le chauffard est français. L'autre affirme que le chauffard est italien. Ils n'arrivent pas à se mettre d'accord. Expliquer. Vous ferez en raisonnement complet. PUIS vous pourrez faire les expériences correspondantes avec la lanterne, les filtres et les papiers de couleur.

Données : en lumière blanche, le drapeau français est bleu blanc rouge et le drapeau italien est vert blanc rouge

b) **Principe des anaglyphes** : deux photos d'un même objet sont prises avec un léger décalage correspondant à la distance entre les deux yeux. Si on soumet l'œil gauche à l'image correspondant à la photo prise un peu à gauche, et l'œil droit à l'image correspondant à la photo prise un peu à droite, le cerveau est capable de reconstituer une image en relief. En réalité, il est difficile que l'œil gauche n'ait devant lui que la photo prise un peu à gauche sans voir l'image de l'œil droit et vice-versa. Les deux photos sont imprimées sur la même page. Ouvrir le fichier anaglyphe dans le dossier IS Audouin. Observer. Justifier, au dos de cette page, très proprement, l'emploi de deux couleurs rouge et cyan sur la page et l'emploi de deux filtres rouge et cyan à mettre devant les yeux pour voir l'image en relief.

4) Récapitulation : couleur d'un objet

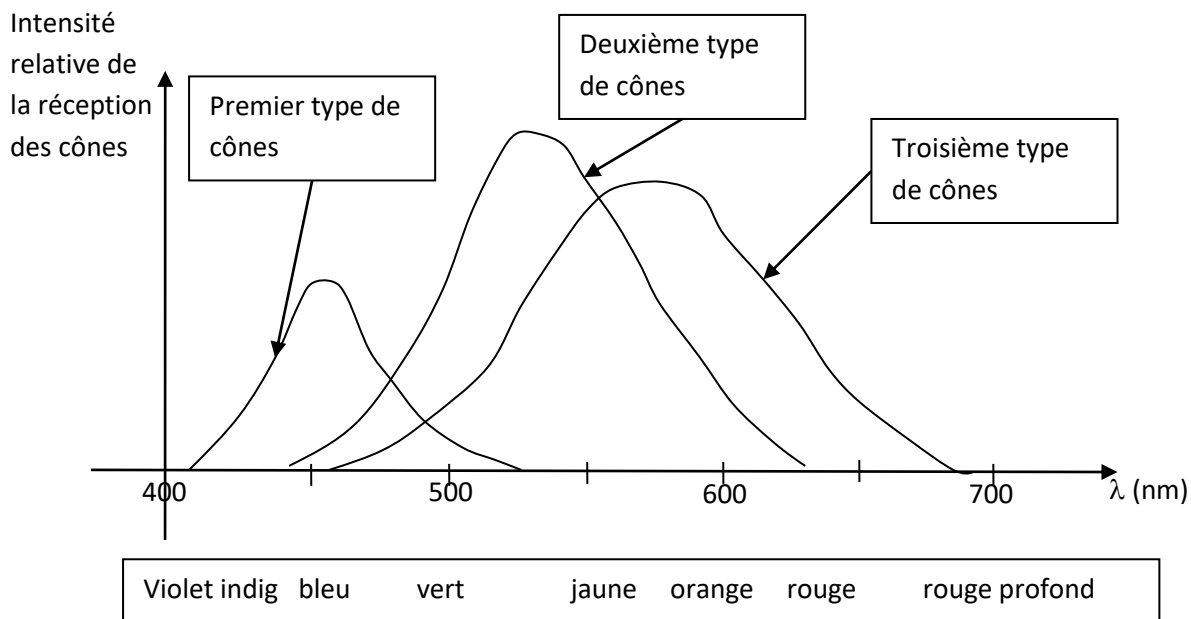
a) De la source de lumière au cerveau

Un objet n'a pas de couleur à proprement parlé. C'est la due au traitement par le cerveau de l'information issue des cônes au fond de l'œil qui nous « donne la couleur de l'objet ». Cette couleur, pour être prévue, dépend ainsi de plusieurs paramètres correspondant à chaque système rencontré par la lumière depuis jusqu'à l'interprétation qu'en fait, à savoir :

-
-
-
-

b) Cônes et perception des couleurs : ce n'est pas si simple !

Dans une version très simple, on pourrait affirmer qu'un type de cône n'est sensible qu'aux longueurs d'onde dans le bleu, un type de cônes qu'aux longueurs d'onde dans le vert et un type de cônes qu'aux longueurs d'onde dans le rouge. La réalité est beaucoup plus complexe :



L'étude spectrale des cônes nous informe que leur perception se fait sur une de longueurs d'onde importante, les longueurs d'onde correspondant à une excitation maximale correspondant plutôt aux couleurs, et

On observe cependant qu'en dessous de 450 nm (.....), seuls les cônes du premier type sont excités et au-delà de 650 nm (rouge), seul les cônes du troisième type sont excités.

Le jaune est perçu si

Pour la synthèse additive en trichromie (écran de portable etc.), on utilise que trois couleurs de manière à ce que les trois cônes soient également excités pour une même intensité lumineuse. On trouve alors sur le graphique qu'il s'agit de lumières principalement centrées sur
..... D'où le nom de trichromie BVR (ou RVB).

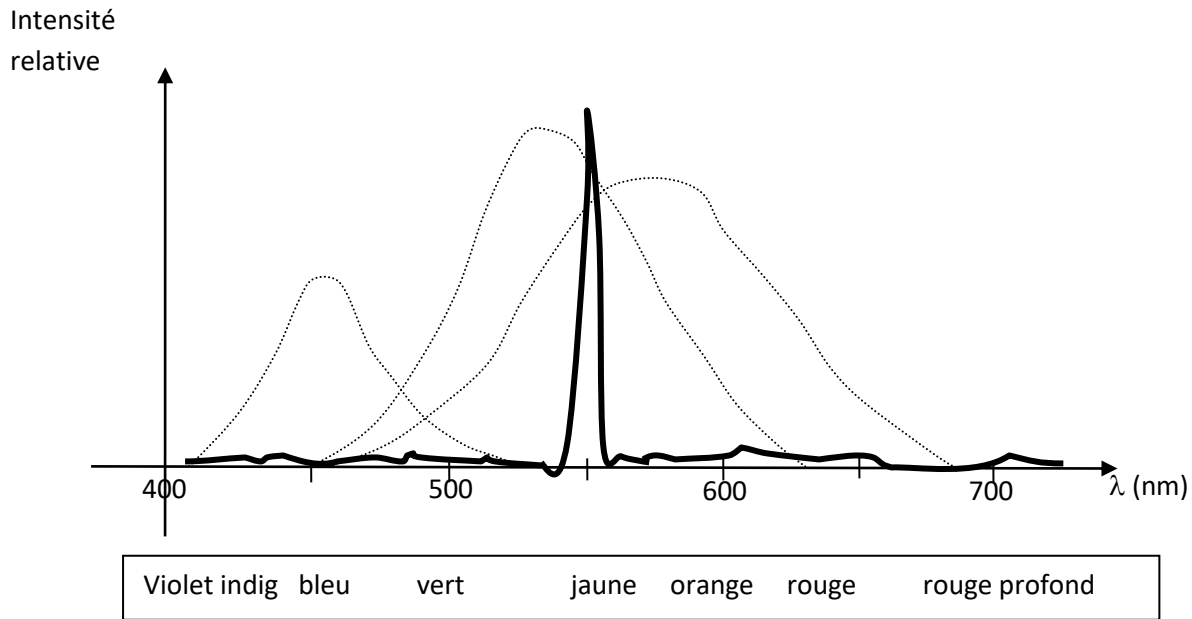
c) Des couleurs perçues qui ne font pas partie des couleurs de l'arc en ciel

Excitation de seulement les cônes du premier type et les cônes du dernier type : est-ce possible avec une lumière monochromatique (c'est-à-dire une lumière dont la couleur appartient notamment à l'arc en ciel) ?

d) Couleur perçue et couleur spectrale

Sur l'exemple précédent : le magenta est la couleur **perçue** de la lumière si le premier type et le dernier type de cônes sont excités. Mais sa couleur spectrale (qui correspond aux couleurs présentes dans son spectre) est bien plus complexe et n'est pas la couleur « magenta » qui ne correspond à aucune lumière Elle résulte d'une lumière quasi monochromatique bleue et d'une lumière quasi monochromatique sur les écrans LCD

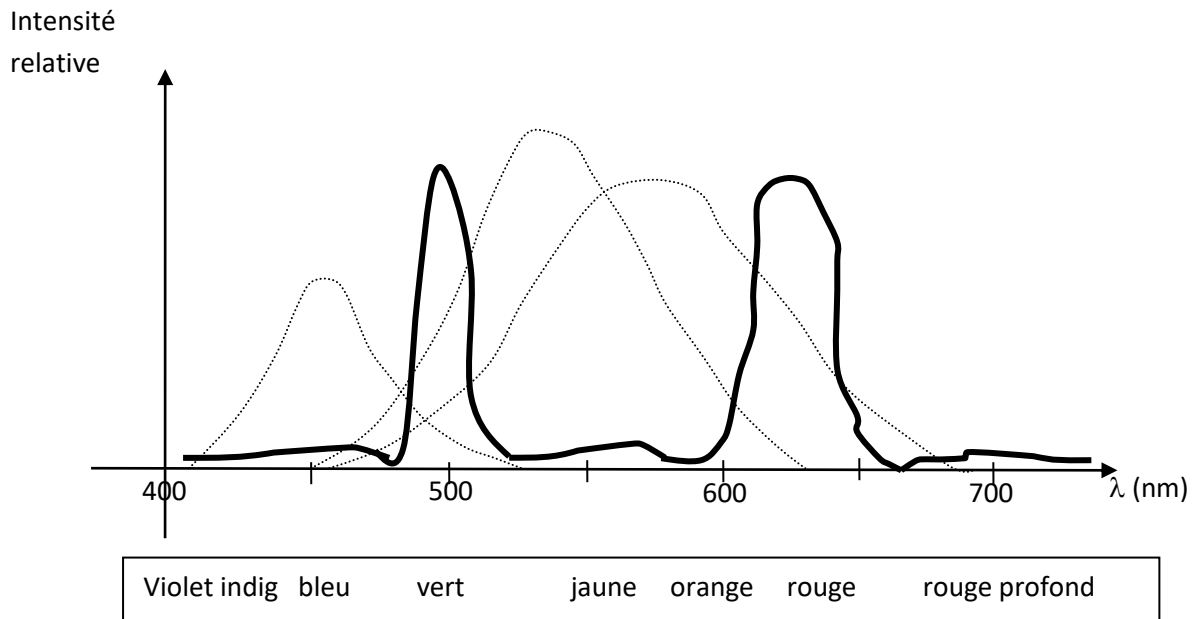
Imaginons maintenant le profil suivant de deux lumières (en gras) :



On commence toujours par la couleur spectrale :

On termine par la couleur perçue en analysant les cônes qui sont excités :

Dans ce premier cas, il s'agit de la lumière perçue et « réellement » comme celle provenant d'une lampe à vapeur de sodium en ne gardant que la raie centrale.



On commence toujours par la couleur spectrale :

On termine par la couleur perçue en analysant les cônes qui sont excités :

Dans ce deuxième cas, il s'agit de la lumière perçue provenant par exemple d'une

III Molécules et couleur

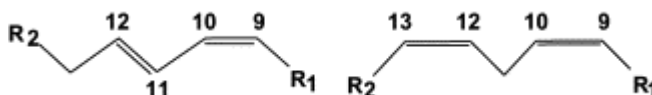
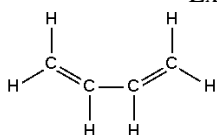
Rappel : pour qu'une substance apparaisse colorée, il faut, éclairée en lumière blanche, qu'elle absorbe une partie des radiations du Si ce n'est pas le cas (elle diffuse ou transmet toutes les radiations), elle apparaît Ainsi, si elle absorbe le bleu, elle apparaîtra de sa couleur complémentaire c'est-à-dire Tout va ainsi dépendre des énergies mises en jeu dans les molécules et des photons absorbés permettant de passer d'un état d'énergie E_0 à un état d'énergie E_1 supérieur/inférieur (rayer la mention inutile)

1) Cas des molécules organiques

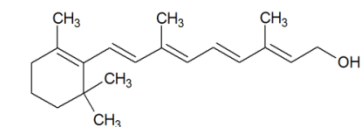
a) Notion de conjugaison

Dans une chaîne d'atomes, deux liaisons doubles sont dites conjuguées si elles ne sont séparées que par **une seule** liaison simple.

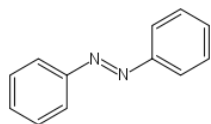
Exemples :



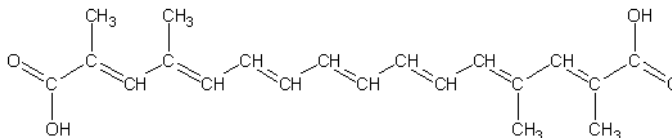
Tout un groupe de liaisons peuvent présenter un système conjugué qui peut être très étendu (à surligner et compter le nombre de doubles liaisons engagées dans ce système conjugué) :



Vitamine A

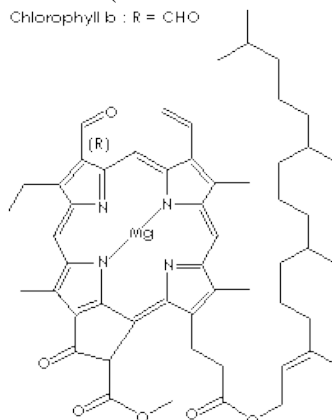


Azobenzène

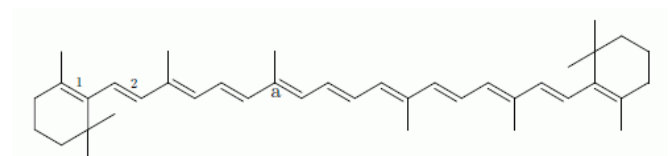


crocétine (issue de la fleur de crocus)

Chlorophyll b : R = CHO



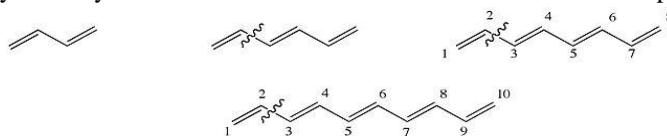
chlorophylle b



β carotène présent dans les carottes

b) Couleur et système conjugué étendu : le cas des polyènes

On étudie ici le cas des polyènes : hydrocarbures linéaires avec alternance de liaison simple et double



carbone carbone :



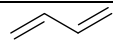
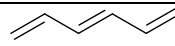
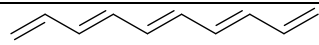
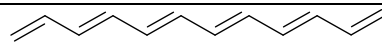
ΔE

On montre, dans un modèle simple, que, si il y a N liaisons conjuguées, alors l'état fondamental de la molécule d'énergie E_0 et son premier état excité d'énergie E_1 sont espacés d'un « gap » $\Delta E_{\text{molécule}} = E_1 - E_0$ égale à (avec une valeur en radians dans le sin et le résultat en J) :

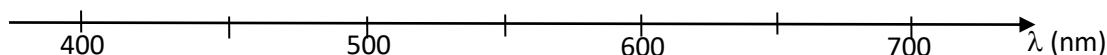
$$\Delta E_{\text{molécule}} = 2,11 \cdot 10^{-18} \times \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{(N+1)}\right).$$

En déduire l'expression de la longueur d'onde correspondante λ dans le vide des photons qui seront absorbés et évaluer la variation de λ vis-à-vis de N :

Cet effet est appelé effet

Nombre de liaisons conjuguées	formule	$\Delta E_{\text{molécule}}$ (J) (3CS)	$\lambda =$ (nm) (3CS)	« couleur » absorbée	couleur perçue
N = 2					
N = 3					
N = 5					
N = 6					
N = 8	etc				
N = 11	etc				

Rappel : correspondance entre longueur d'onde dans le vide et couleur



Violet	indig	bleu	vert	jaune	orange	rouge	rouge profond
--------	-------	------	------	-------	--------	-------	---------------

c) La généralisation aux autres molécules organiques est la suivante :

Plus le système conjugué d'une molécule organique est grand et plus les photons absorbés ont une énergie donc une longueur d'onde dans le vide C'est à partir d'une moyenne de liaisons conjuguées qu'il y a passage de l'absorbance dans les UV à absorbance dans donc que la molécule passe de à

2) Molécules colorées et solvants

En réalité, le gap ΔE entre l'état fondamental d'une molécule solvatée et son premier état excité dépend bien sûr de la molécule mais également très fortement du D'où l'intérêt de préciser en indice le solvant utilisé car l'espèce physicochimique n'a pas du tout les mêmes propriétés.

Exemple avec le diiode.

Dans l'eau :

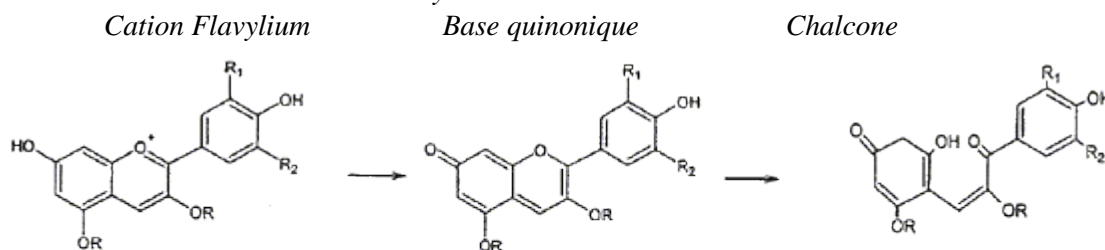
Dans le cyclohexane

C'est l'effet

3) Molécules colorées et pH

Le pH a une influence en réalité sur la nature même de la molécule, même si le squelette carboné reste identique. Exemple des anthocyanes du chou rouge (livre p101)

Les anthocyanes du chou



Espèces chimiques	<i>Cation Flavylium</i>	<i>Base Quinonique</i>	<i>Chalcone</i>
<i>pH et couleur</i>	<i>3,0 rouge</i>	<i>6,0 bleu</i>	<i>8,5 vert 13 jaune</i>

Suivant le pH, on n'a pas affaire aux mêmes molécules donc la coloration est différente.

Cela peut servir pour trouver le pH comme sur le papier pH.