

Rebecca Guélin

Objectifs Comprendre le phénomène de la perception des couleurs.
Étudier comment produire de la couleur.
Interpréter les modifications apparentes sur une couleur lorsqu'on la juxtapose à d'autres couleurs.

1^{re} STL (PCM-SPCL) Chimie et développement durable / Analyses physico-chimiques

Notions et contenus Interaction rayonnement-matière.

Image, couleur et vision

Notions et contenus Vision des couleurs.
Synthèses additive et soustractive des couleurs.
Filtres.
Codage RVB.
Photon, énergie d'un photon.

Compétences mobilisées Restitution des connaissances RES
S'approprier APP
Analyser ANA
Réaliser REA
Valider VAL
Communiquer COM

La couleur est le plus beau trait d'union entre la science et l'art

De Leonard de Vinci aux designers contemporains, en passant par Goethe ou Sonia Delaunay, les Hommes se sont toujours intéressés à la lumière et à la restitution de ses couleurs.

Terrasse du café, le soir (1888, Van Gogh)



Partie A : La vision des couleurs

Dans son traité *Opticks* (1704), Isaac Newton écrit : « *Indeed rays, properly expressed, are not colored* », alors comment l'Homme perçoit-il les couleurs ?

Les phénomènes à l'origine de la perception de la couleur sont autant physiques, chimiques que physiologiques.

Document 1 : Les photorécepteurs de l'œil

Nous possédons deux types de photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets.

Les bâtonnets, fonctionnent uniquement dans les conditions d'obscurité, comme par exemple le clair de lune. Dès qu'il y a un peu de lumière et que l'on voit les couleurs, nous percevons par l'intermédiaire de nos cônes. Trois types de cônes permettent de voir les couleurs.

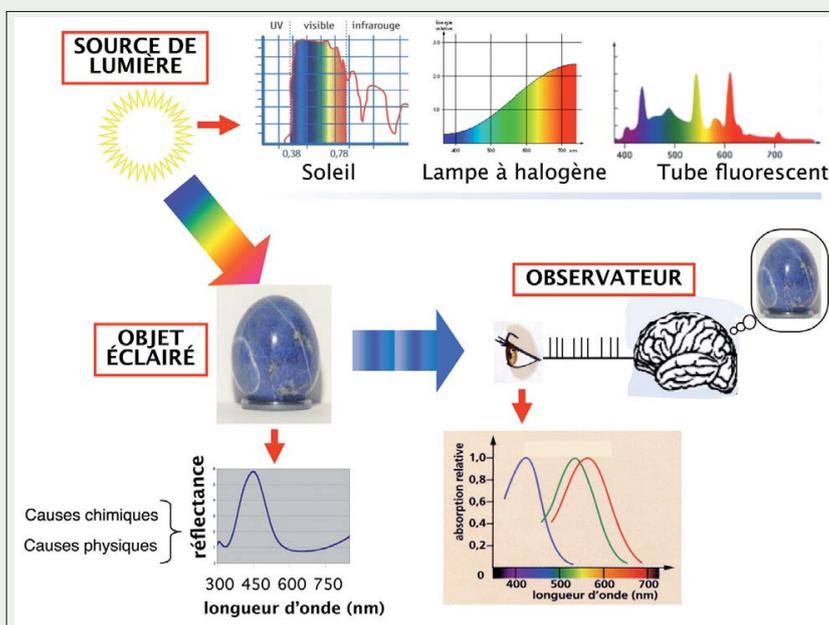
D'après *Faire revoir un aveugle avec le système photosensible d'une algue : bientôt une réalité ?*

https://www.mediachimie.org/sites/default/files/sens_p211.pdf



Document 2 : Comment perçoit-on la couleur ?

La lumière visible par notre œil ne représente qu'une toute petite partie des ondes électromagnétiques (longueurs d'onde comprises entre 400 et 800 nanomètres environ). Par exemple, lorsqu'un photon d'énergie correspondant à la longueur d'onde de 700 nm frappe la rétine, le premier acte de la vision est photochimique : il s'agit de l'isomérisation du rétinale, une molécule située dans une protéine (l'opsine). Cette photo-isomérisation déclenche toute une série de réactions biochimiques dont le résultat final est la création d'une impulsion électrique qui est transmise au cerveau via le nerf optique. L'interprétation par le cerveau de cette succession d'impulsions conduit à la sensation de rouge.



À chaque longueur d'onde correspond une sensation colorée différente. L'ensemble du spectre visible (Soleil par exemple) conduit à la sensation de blanc.

D'après *La chimie crée sa couleur sur la palette du peintre*



https://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie_art_129.pdf

- 1 **ANA/RAI** Dédurre des Documents 1 et 2 le processus de la vision en expliquant notamment pourquoi la couleur perçue résulte d'un mélange optique réalisé par l'œil.

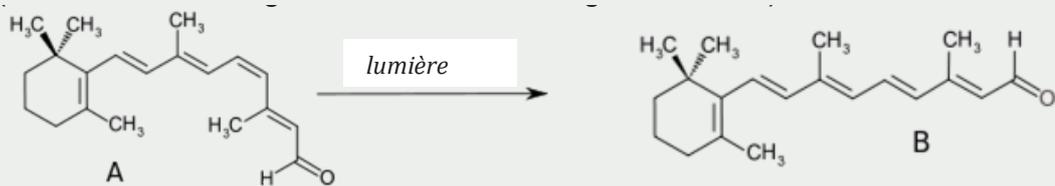
.....

.....

.....

Document 3 : Photo-isomérisation du rétinol

Lorsque le rétinol 11-*cis* (forme A) absorbe un photon, il subit une photo-isomérisation : sa structure est celle de la forme B. Cette transformation est à l'origine d'un influx nerveux par phototransduction (conversion d'un signal lumineux en un signal nerveux).



- 2 **APP** Indiquer en quoi consiste la photo-isomérisation du rétinol 11-*cis*.

.....

.....

.....

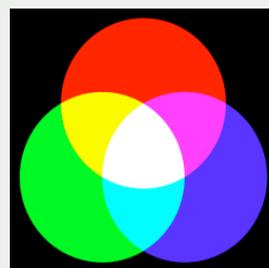
Partie B : Comment créer de la couleur ?

Les cônes sont principalement sensibles dans le bleu, le vert et le rouge. Cette propriété physiologique de la vision humaine est à la base de la trichromie. Ce procédé consiste à produire toutes les couleurs par synthèse à partir de trois couleurs convenablement choisies dont aucune ne peut être synthétisée par combinaison des deux autres : ce sont les trois couleurs primaires.

Document 4 : Synthèse additive et synthèse soustractive

• Synthèse additive de lumières colorées

Pour obtenir l'ensemble des lumières colorées, on peut procéder par **synthèse additive**, c'est-à-dire par émissions de trois lumières : rouge, verte et bleu. Les principaux résultats de cette synthèse peuvent être résumés par les combinaisons suivantes. La superposition d'une lumière verte et d'une lumière rouge est perçue comme une lumière jaune par notre cerveau (vert + rouge → jaune), la superposition d'une lumière verte et d'une lumière bleue comme une lumière cyan (vert + bleu → cyan), celle d'une lumière rouge et d'une lumière bleue comme une lumière magenta (rouge + bleu → magenta). Des dosages adéquats de ces trois couleurs primaires permettent en fait de synthétiser plus de lumières colorées différentes que notre œil ne peut en distinguer.



• Synthèse soustractive par une matière colorante

Pour obtenir une matière d'une couleur donnée, on peut se servir de lumière blanche, celle du soleil ou d'une lampe, qui contient l'ensemble des couleurs. On utilise alors des matières colorantes chargées d'absorber une partie de cette lumière et de n'en renvoyer qu'une autre. C'est pour cette raison que ce type de synthèse est appelé **synthèse soustractive**. Dans ce cas, trois couleurs primaires suffisent également pour obtenir toutes les couleurs, le bleu, le rouge et le jaune. Les principaux résultats de la synthèse soustractive se résument dans les équations suivantes :



bleu + rouge → violet, bleu + jaune → vert, rouge + jaune → orange.

Des dosages adéquats permettent d'obtenir les autres nuances.

D'après *La couleur, trait d'union entre la science et l'art*

<https://www.mediachimie.org/sites/default/files/FC4-25-couleur-trait-union.pdf>



3 ANA/RAI Indiquer si l'affirmation suivante est vraie ou fausse (argumenter) :

« Une longueur d'onde donnée correspond à une couleur et inversement. »

Vrai Faux

.....

.....

.....

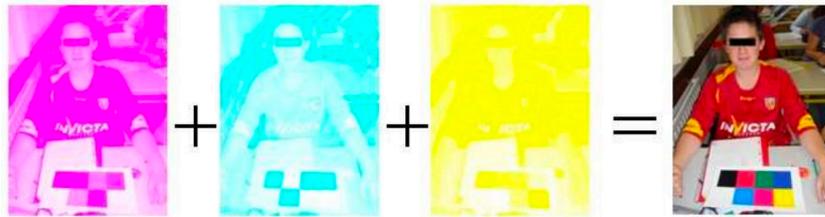
4 ANA/RAI Expliquer comment il est possible d'obtenir une lumière orange par synthèse additive des trois couleurs primaires RVB.

.....

.....

.....

5 ANA/RAI Expliquer comment il a été possible de restituer la couleur rouge du T-shirt sur la photo couleur.



© spc.ac-amiens.fr/328-la-synthese-soustractive-1ere-s.html

.....

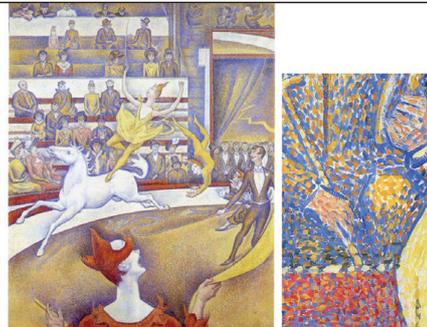
.....

.....

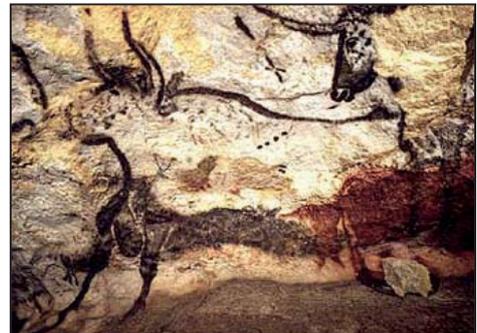
6 ANA/RAI Dans les œuvres suivantes, préciser si les couleurs perçues sont obtenues par synthèse additive ou par synthèse soustractive.



a. Jeune fille lisant une lettre, 1657-1659, Vermeer



b. Le cirque, 1891, Seurat



c. Peinture pariétale, grotte de Lascaux

(images : *La chimie crée sa couleur sur la palette du peintre*)

a. Synthèse additive Synthèse soustractive

.....

b. Synthèse additive Synthèse soustractive

.....

c. Synthèse additive Synthèse soustractive

.....

Partie C : Quelles sont les causes physico-chimiques de la couleur ?

Comment expliquer qu'une substance de nature chimique bien définie absorbe sélectivement la lumière pour certaines longueurs d'onde ? L'absorption d'un photon se produit lorsque son énergie correspond à la différence d'énergie entre deux niveaux d'énergie de l'espèce chimique.

- 7** **RCO** Exprimer la différence d'énergie entre deux niveaux d'un atome (ou d'une molécule) qui absorbe un rayonnement de longueur d'onde λ . Préciser à quelle condition l'espèce chimique apparaîtra colorée.

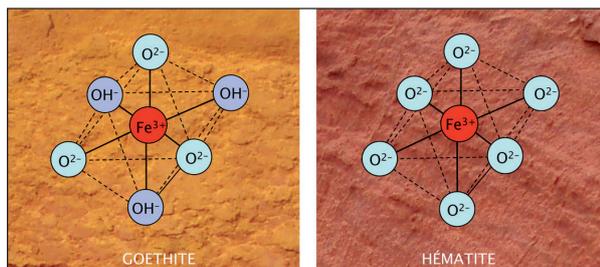
Document 5 : Les pigments minéraux

Une des causes de la couleur des pigments minéraux employés en peinture est la présence d'impuretés sous forme d'ions isolés dans un cristal. Les ions qui absorbent dans le domaine visible sont peu nombreux. Il s'agit principalement des métaux de transition : chrome, manganèse, fer, cobalt, nickel, cuivre, etc. L'absorption dépend non seulement des caractéristiques de l'ion (nature chimique, charge), mais aussi de son environnement microscopique (nature et nombre d'atomes liés, notamment). C'est pourquoi, un même ion peut être à l'origine de couleurs différentes. Par exemple la couleur du bleu de cobalt est due à l'ion Co^{2+} (qui absorbe à 500-700 nm), mais cet ion dans un autre micro-environnement peut donner une couleur violette (dans le violet de cobalt) ou rose.

D'après *Couleur, trait d'union entre la science et l'art*.

Les peintures pariétales découvertes dans la grotte de Lascaux I révèlent une grande richesse de pigments : charbon, oxyde de manganèse, mais aussi ocres de diverses teintes à base de fer, dont la goethite et l'hématite.

Image d'après *La chimie crée sa couleur sur la palette du peintre*



Goethite et hématite retrouvées dans la grotte de Lascaux I.

- 8** **APP** Expliquer pourquoi les couleurs de la goethite et de l'hématite diffèrent.

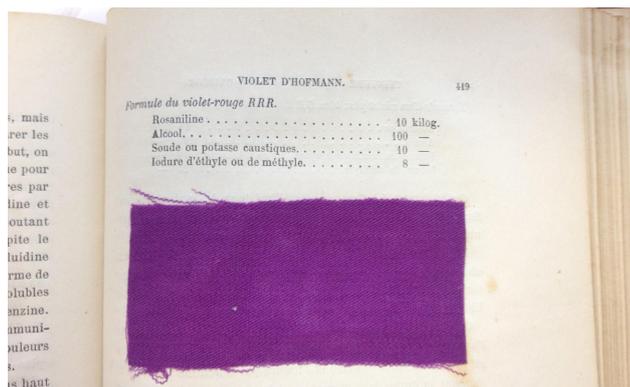
Document 6 : Les colorants organiques

Les colorants organiques tirent quant à eux leur couleur de la présence de liaisons conjuguées dans leur structure chimique, c'est-à-dire de l'alternance de liaisons simples et de liaisons doubles, comme il en existe dans les cycles carbonés ou noyaux aromatiques. Ces liaisons forment des nuages électroniques particuliers, susceptibles d'absorber des ondes électromagnétiques dans le domaine du visible, là où les autres liaisons chimiques organiques absorbent plutôt dans l'infrarouge.

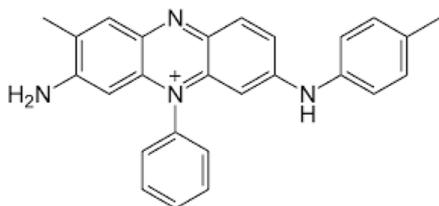
D'après *La chimie crée sa couleur sur la palette du peintre*

La mauvéine est un colorant violet que le chimiste W.H. Perkin synthétisa par hasard en 1856. Ce fut le premier colorant industriel synthétique. En 1862, la reine Victoria apparût à la *Royal Exhibition* dans une robe en soie colorée avec de la mauvéine. Au XIX^e siècle, les peintres et les poètes s'approprièrent cette couleur qui symbolisera notamment la lumière du soir.

Image : <https://lejournel.cnr.fr/articles/le-laboratoire-entre-au-musee>



Tissu teinté par la mauvéine dans un ouvrage de chimie des colorants, daté de 1870 env.



Molécule de la mauvéine B.

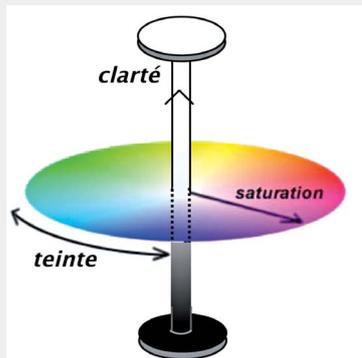
9 APP-ANA/RAI Interpréter le fait que la mauvéine apparaisse colorée lorsqu'elle est éclairée en lumière blanche.

.....

.....

Pour aller plus loin : La relativité des couleurs

La couleur est aussi une sensation physiologique, c'est-à-dire une construction de notre cerveau.

Document 7 : Comment caractériser une couleur ?

Cristaux de sulfate de cuivre.

D'après *La chimie crée sa couleur sur la palette du peintre*

10 APP Énoncer les trois paramètres qui permettent de définir une couleur.

.....

.....

11 ANA/RAI Interpréter l'évolution de la clarté de la couleur avec la taille des cristaux.

.....

.....

Document 8 : Chevreul ou la relativité des couleurs

Le chimiste Michel Eugène Chevreul (1786-1889), nommé en 1824 directeur de la Manufacture des Gobelins, observa l'influence mutuelle que des échantillons de tissus de couleurs différentes exerçaient sur la perception que l'expérimentateur avait de leur couleur. Il comprit l'effet physiologique selon lequel chaque couleur perçue par notre œil suscite la perception de sa couleur complémentaire. Dans un rapport à l'Académie des sciences, en 1839, il écrivit : « Mettre de la couleur sur une toile, ce n'est pas seulement colorer de cette couleur la partie de la toile sur laquelle le pinceau est appliqué, c'est encore colorer de la complémentaire l'espace qui lui est contigu. »

L'influence de Chevreul sur les peintres sera grande : les impressionnistes (Monet en particulier), les post-impressionnistes (Seurat, Signac), Robert Delaunay, etc.



Chevreul et Felix Nadar,
photo Paul Nadar.

D'après *La chimie crée sa couleur sur la palette du peintre*

Document 9 : les lois de Chevreul

Loi du contraste simultané des couleurs :

- lorsqu'on juxtapose deux couleurs complémentaires, elles acquièrent plus d'éclat ;
- un même ton semble plus clair s'il est sur un fond plus sombre.

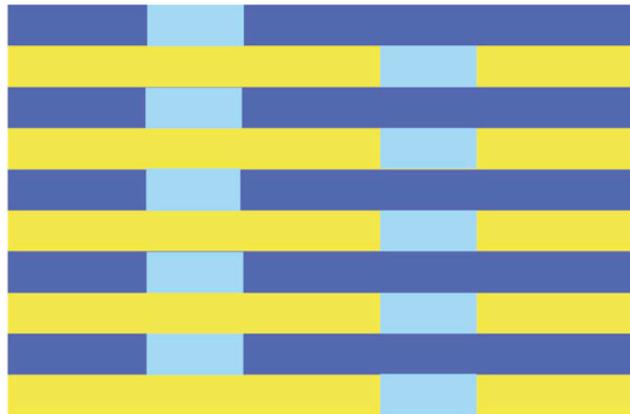
Loi du mélange des couleurs :

- devant deux petites tâches de couleurs différentes, l'œil effectue un mélange optique : les deux couleurs seront perçues comme un mélange de ces deux couleurs. Par exemple, le jaune et le bleu juxtaposés révèlent du vert.



Impression Soleil levant, Claude Monet, 1873.

- 12** ANA/RAI Le Soleil et ses reflets n'apparaissent plus sur la photographie en noir et blanc. La clarté de la couleur du Soleil est donc la même que celle du ciel. Expliquer pourquoi le Soleil semble pourtant plus lumineux que le ciel.



- 13** VAL Compter le nombre de « bleus » perçus sur l'image, puis comparer les bleus en les isolant de leur environnement. En vous appuyant sur les travaux de Chevreul, expliquer l'effet d'induction chromatique produit ici.

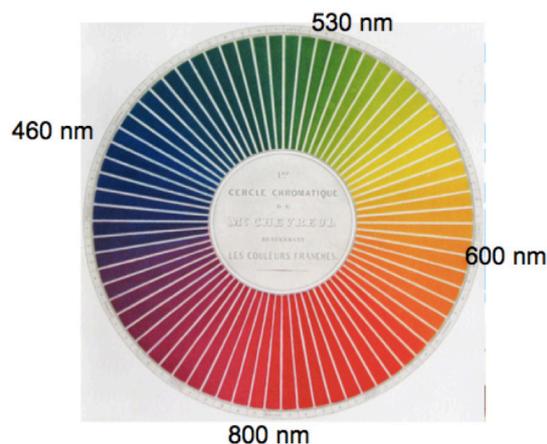
Pour aller plus loin

- Le peintre, alchimiste de la couleur :
<http://www.mediachimie.org/sites/default/files/FC-21-couleur.pdf>
- Une série de vidéos : une sur la synthèse de l'indigo et l'autre sur la teinture d'un jean.
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-synthèse-de-lindigo>
<http://www.mediachimie.org/ressource/la-teinture-dun-jean>
- Une vidéo d'élèves de 1^{re} STL SPCL du lycée Galilée de Gennevilliers sur le bleu indigo.
<http://www.mediachimie.org/ressource/le-bleu-indigo>

Partie D : Activité expérimentale : Comment en voir de toutes les couleurs ?

L'œil, avec ses trois récepteurs, peut percevoir 10 millions de couleurs. L'objectif de cette séance est d'interpréter la couleur perçue d'un objet, en exploitant expérimentalement les différents moyens de créer de la couleur.

Cercle chromatique de Chevreul, les couleurs complémentaires sont diamétralement opposées



Synthèse additive avec le modèle colorimétrique RVB

1. À l'aide de trois lumières colorées (rouge, verte et bleue), proposer un protocole pour illustrer la synthèse additive des couleurs et le mettre en œuvre.
2. Observer au microscope l'écran d'un téléphone portable en plusieurs endroits de l'image.
3. Dédire des observations faites comment les écrans lumineux restituent les différents niveaux de gris et les lumières jaune et rose.

Synthèse soustractive

4. Expliquer la couleur perçue d'un citron en lumière blanche en exploitant le modèle colorimétrique RVB.
5. Observer la couleur perçue d'un citron éclairé par un faisceau lumineux de couleur bleue. Interpréter.
6. En vous appuyant sur le cercle chromatique de Chevreul, prévoir l'effet d'un filtre magenta sur une lumière rouge, puis sur une lumière verte. Argumenter en indiquant les composantes de la lumière blanche absorbée et transmises par le filtre magenta.

Application aux ombres colorées

La perception du mouvement de l'instabilité des choses et des changements lumineux a conduit Monet, proche du photographe Nadar, à colorer les ombres et atténuer les lignes à l'instar du flou et du « bougé » photographique.

7. Aligner trois sources de lumières rouge, verte et bleue en les orientant de façon à observer une lumière blanche sur un écran, puis interposer un objet opaque entre les trois sources de lumières colorées et l'écran.
8. Interpréter la couleur des trois ombres ainsi formées à l'aide d'un schéma.



*Les oies dans le ruisseau,
Claude Monet, 1874.*

1. Si un objet apparaît bleu lorsqu'il est éclairé par une lumière blanche, c'est qu'il diffuse uniquement la lumière bleue (par exemple, en absorbant la lumière jaune, couleur complémentaire du bleu). La lumière bleue frappe la rétine où se situent les trois photorécepteurs à cônes de l'œil. Ceux-ci sont principalement sensibles aux lumières rouge, verte et bleue ; la superposition de ces signaux d'intensité et de longueurs d'ondes différentes produit la sensation de couleur grâce à des impulsions électriques envoyées au cerveau par le nerf optique qui interprète ce signal comme une couleur déterminée.

2. La photoisomérisation du rétinale consiste à transformer sous l'effet de la lumière, un isomère du rétinale en un autre : ici l'une des doubles liaisons qui présente la géométrie Z adopte la géométrie E.

3. Si à une longueur d'onde donnée correspond une couleur, l'inverse n'est pas toujours vrai : la sensation de jaune par exemple résulte de la perception d'une lumière dont la longueur d'onde se situe au voisinage de 580 nm, mais elle peut aussi avoir d'autres origines, comme la perception simultanée d'une lumière à 700 nm et d'une lumière à 530 nm qui donneraient séparément des sensations de rouge et de vert. Nous avons également une sensation de jaune quand le spectre de la lumière visible est amputé des longueurs d'onde correspondant au violet et au bleu.

4. La lumière orange peut être obtenue par synthèse additive de vert et de rouge, l'intensité du rouge étant plus importante.

5. Les encres utilisées par les imprimantes (magenta, jaune et cyan) permettent de reconstituer les couleurs en se superposant, comme le feraient des filtres. Ainsi, le rouge, couleur complémentaire du cyan, est obtenu en superposant l'image formée avec les composantes du jaune et du magenta.

6. La couleur verte du tableau de Vermeer est obtenue par synthèse soustractive : mélange d'un pigment bleu (ici l'azurite) et d'un pigment jaune (ici le jaune de plomb et d'étain).

Georges Seurat fut l'artisan majeur du pointillisme : des taches de couleurs sont juxtaposées, et leur taille est suffisamment petite pour que l'œil du spectateur ne puisse pas les distinguer de loin. La couleur perçue résulte ainsi d'un mélange optique réalisé par l'œil par synthèse additive. Il en est de même pour les ocres de la grotte de Lascaux : bien que de teintes différentes, leur taille étant trop petite, l'œil du spectateur ne peut les distinguer de loin.

7. $E = \frac{h \times c}{\lambda}$, l'espèce chimique apparaîtra colorée si l'énergie E correspond à une longueur d'onde λ comprise entre 400 et 800 nm.

8. Il s'agit du même cation métallique, mais l'environnement microscopique est différent.

9. La mauvéine présente un système conjugué important, la molécule absorbe donc dans le visible (en l'occurrence la lumière verte, couleur complémentaire du magenta).

10. Saturation-clarté-teinte.

11. Plus les grains sont fins, plus ils diffusent la lumière, plus la clarté augmente.

12. Monet exploite la loi du contraste simultané de Chevreul qui énonce que la couleur apparaît avec d'autant plus d'éclat que celle-ci est juxtaposée à sa couleur complémentaire : « Dans l'harmonie des contrastes, la composition complémentaire est supérieure à toutes les autres. »

13. L'œil semble déceler trois bleus différents. Pourtant il n'y en a que deux. Ceci illustre la loi de contraste simultané :
- deux couleurs avoisinantes paraissent plus dissemblables si elles sont juxtaposées (le bleu clair semble plus clair lorsqu'il est juxtaposé au bleu foncé) ;
- la saturation et l'intensité lumineuse du bleu clair semble augmenter lorsqu'il est accolé à sa couleur complémentaire, le jaune.

Corrigé Activité expérimentale

1. Projeter des lumières rouge, verte et bleue sur un écran et les disposer de façon à visualiser leurs superpositions respectives.

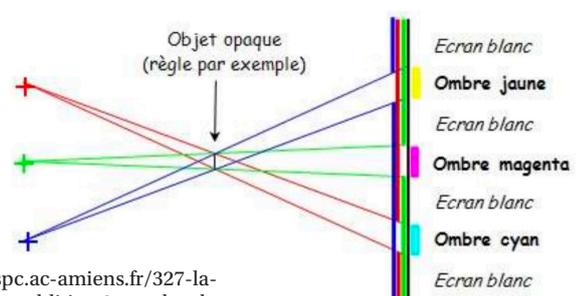
2-3. Observation. Les luminophores RVB contenus dans les pixels sont allumés différemment suivant la rose : R+V+B, l'intensité du rouge étant plus importante. Différents niveaux de gris : R+V+B d'intensités égales, mais faibles. Jaune : R+V.

4. Les molécules contenues dans la peau du citron absorbent la couleur complémentaire du jaune (le bleu), celui-ci diffuse donc seulement les composantes rouge et verte de la lumière blanche incidente.

5. Éclairé en lumière bleue, le citron apparaîtra donc noir puisqu'il absorbe la lumière bleue.

6. Le filtre magenta transmet et diffuse la lumière magenta, il absorbe la lumière verte. Si la lumière incidente est verte, le filtre ne transmettra aucune lumière.

7-8. Manipulation. Schéma :



<http://spc.ac-amiens.fr/327-la-synthese-additive-1ere-s.html>