

MESURER LA CONCENTRATION D'UNE ESPÈCE COLORÉE EN SOLUTION

Lucien Ransinangue

Objectif Comprendre ce qui peut expliquer la couleur d'une solution, son lien avec la concentration d'une espèce colorée et comment s'en servir pour déterminer la quantité d'une espèce colorée dans un échantillon.

1^{ère} générale - enseignement de spécialité **Constitution et transformation de la matière**

Thème 1 • Suivi de l'évolution d'un système, siège d'une transformation.

Partie A • Détermination de la composition du système initial à l'aide de grandeurs physiques.

Notions et contenus Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert.

Compétences mobilisées S'approprier APP
Analyser / Raisonner ANA/RAI
Réaliser REA
Valider VAL

LA COULEUR ROUGE

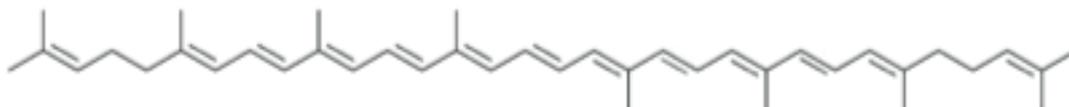
Les couleurs sont une perception de notre cerveau des ondes électromagnétiques dans un domaine bien précis de longueurs d'onde. Sur l'exemple de la couleur rouge nous vous proposons de comprendre ce qui peut expliquer la couleur d'une solution, d'établir un modèle et de s'en servir comme outil de mesure.



Nuancier de rouges.

PARTIE A : ROUGE TOMATE

Jaune, verte, bleue mais surtout rouge! La tomate contient le lycopène, une molécule dont la formule topologique est donnée ci-dessous.



Comment expliquer la couleur de cet aliment? Quel rôle peut jouer la structure moléculaire?

Document 1 : Objet coloré

Si un objet éclairé en lumière blanche nous apparaît coloré, c'est parce que certaines longueurs d'onde de la lumière incidente ne sont plus présentes dans la lumière renvoyée par l'objet du fait des interactions de la lumière avec la matière de cet objet. C'est le cas d'un objet qui contient des molécules (colorants ou pigments) absorbant la lumière dans un certain domaine de longueurs d'onde... Prenons par exemple une tomate. Elle apparaît rouge à un observateur parce qu'elle absorbe toutes les longueurs d'onde de la lumière incidente sauf celles qui correspondent au rouge.



Extrait de « La genèse des couleurs, un dialogue entre matière et couleurs ».

<http://www.lactualitechimique.org/La-genese-des-couleurs-un-dialogue-entre-lumiere-et-matiere>



Document 2 : Le lycopène



Vidéo « La tomate arc-en-ciel »

<https://www.mediachimie.org/ressource/la-tomate-arc-en-ciel>



Document 3 : Couleur cachée

D'un point de vue étymologique, couleur vient en effet du latin *color*, probablement rattaché au groupe de *celare* qui veut dire cacher. Effectivement, la couleur appliquée sur un objet le cache en quelque sorte et au XVIII^e siècle, le mot couleur avait, au sens figuré, la signification d'apparence trompeuse.

Extrait de « La couleur, trait d'union entre la science et l'art ».

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



Document 4 : Les chromophores

Le comportement de toute molécule vis-à-vis de la lumière est intrinsèquement lié à sa structure. Il existe certains agencements moléculaires – atomes, liaisons entre les atomes, enchaînements d'atomes – qui confèrent à des molécules organiques leur capacité particulière à absorber la lumière : ce sont les chromophores (du grec *khroma* = couleur ; *phoros* = produit).

Extrait de « couleur et coloration des aliments, une simple affaire de chimie »

<https://www.mediachimie.org/ressource/couleur-et-coloration-des-aliments-une-simple-affaire-de-chimie>



1 APP Comment expliquer que l'on voit « rouge » une tomate rouge ?

.....

2 ANA/RAIS De quelle couleur serait observée une tomate rouge éclairée en lumière verte ? Justifiez.

.....

3 ANA Qu'est ce qui permet de désigner des couleurs comme complémentaires ?

.....

4 ANA/RAIS Faites le lien entre le phénomène d'absorption des couleurs et l'étymologie du mot couleur.

.....

5 APP Que désigne le terme chromophore ?

.....

6 APP Que sont des doubles liaisons conjuguées ?

.....

7 ANA/RAIS Combien la molécule de lycopène possède-t-elle de doubles liaisons conjuguées ?

.....

8 ANA Quelle est l'influence du nombre de doubles liaisons conjuguées sur la couleur d'une molécule ?

.....

PARTIE B : ROUGE DE COCHENILLE

Le rouge de cochenille colore d'un beau rouge de nombreux produits alimentaires et même des tissus, depuis très longtemps.

Ce rouge est dénommé comme le colorant E120.

Document 5 : La cochenille



Vidéo « Les insectes voient rouge »

<https://www.mediachimie.org/res-source/les-insectes-voient-rouge>



9 APP Qu'est-ce qu'une cochenille ?

.....

.....

10 APP Depuis combien de temps le rouge de cochenille est-il utilisé ?

.....

11 APP Pour quel pH obtient-on du rouge de cochenille ?

.....

.....

Activité expérimentale



MISE EN ÉVIDENCE DE LA LOI DE BEER-LAMBERT

On souhaite montrer le lien entre l'absorbance d'une solution et la concentration de l'espèce chimique responsable de la couleur.

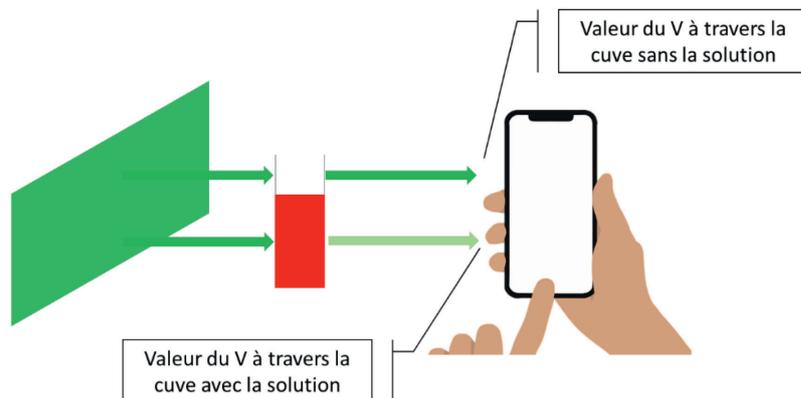
Matériels mis à disposition :

- Solution mère S_0 : Solution aqueuse de concentration molaire en colorant E120 noté C_0 .
- Pipettes jaugées de 5, 10 et 25 mL.
- Fioles jaugées de 50 et 100 mL.
- Cuves.
- Pissette d'eau distillée.
- Bêchers.
- Un écran vert.
- Un smartphone avec l'application « Colometer.

12 ANA/RAIS-REA Réalisez une échelle de teinte. Pour cela fabriquez trois solutions, dont les facteurs de dilution sont 2, 4 et 8 avec la solution S_0 .

L'application « Colorometer » permet de donner les nuances de rouge, de vert et de bleu qui composent une couleur. C'est le codage RVB (l'application étant en anglais, c'est le codage RGB, « G » pour « green », vert en français).

Voici le schéma du montage pour réaliser l'expérience :



Par analogie avec l'absorbance mesurée par un spectrophotomètre, on introduit une grandeur notée A' tel que :

$$A' = \log \left(\frac{\text{Valeur du V à travers la cuve sans la solution}}{\text{Valeur du V à travers la cuve avec la solution}} \right)$$

13 ANA/RAIS-REA Grâce à votre smartphone, remplissez le tableau ci-dessous :

Solutions	S_0	S_1	S_2	S_3
Concentrations C	C_0	C_1	C_2	C_3
Valeur du V à travers la cuve sans la solution				
Valeur du V à travers la cuve avec la solution				
A'	$A'_0 =$	$A'_1 =$	$A'_2 =$	$A'_3 =$

14 ANA/RAIS Exprimez C_1 , C_2 et C_3 en fonction de C_0 .

.....

.....

15 ANA/RAIS Faites de même pour A'_1 , A'_2 et A'_3 en fonction de A'_0 .

.....

.....

16 ANA/RAIS On veut tracer le graphique représentatif de la fonction $A' = f(C)$. Quelles doivent être les grandeurs en abscisse et en ordonnée ?

.....

.....

17 ANA/RAIS Tracez la courbe en prenant comme unité des abscisses $\frac{C_0}{8}$ et comme unité des ordonnées $\frac{A'_0}{8}$.

18 ANA/RAIS Quelle est l'allure de la courbe obtenue ?

19 ANA/RAIS Quel est le lien mathématique qui relie A' et C ?
VAL Par analogie la loi de Beer-Lambert est-elle vérifiée ?

PARTIE C : ROUGE PONCEAU



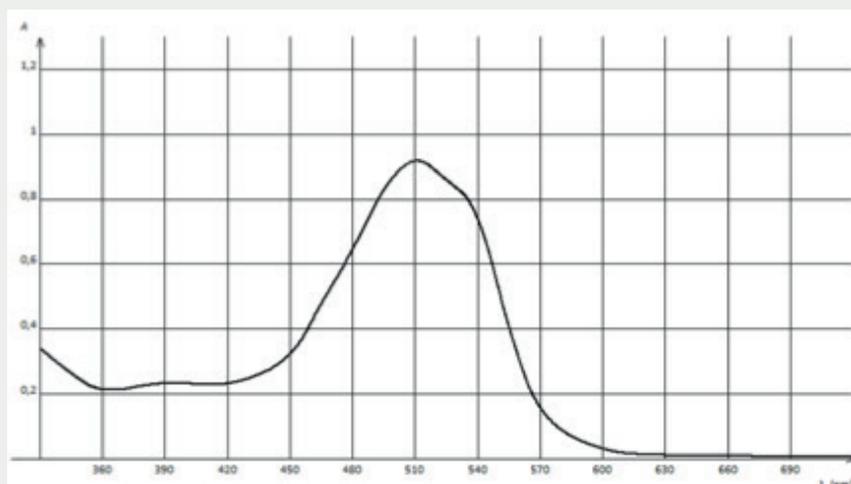
Les macarons sont de délicieuses pâtisseries. Cette spécialité française fait pourtant l'objet de vives critiques dans le domaine de la santé, en cause ses couleurs, notamment dans le « macaron coquelicot ». En effet la couleur rouge de certains macarons vient d'un colorant, le rouge Ponceau appelé également rouge de cochenille A : le colorant E124.

Le colorant E124 est un colorant artificiel permettant de reproduire la même couleur que le colorant E120. Le E124 est interdit dans de nombreux pays comme les États-Unis et la Norvège. Il est susceptible de provoquer l'hyperactivité chez les enfants et, en association avec d'autres colorants, pourrait être cancérigène.

On souhaite déterminer la quantité en E124 présente dans un macaron afin de savoir jusqu'où peut aller notre gourmandise.

Pour cela on fabrique une solution S : un macaron coquelicot séché est réduit en poudre dans un mortier. Après solvatisation (dissolution dans l'eau) et filtration sur Büchner, on obtient V = 25 mL de filtrat. On considère que la totalité du rouge Ponceau est récupérée dans cette solution.

Document 6 : Spectre d'absorption du colorant E124

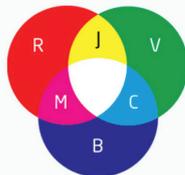


Document 7 : Couleurs complémentaires et spectre de la lumière blanche

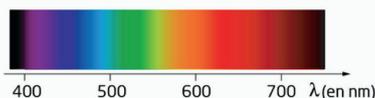
■ Couleurs complémentaires

Deux couleurs sont complémentaires si elles sont de part et d'autre de la couleur blanche sur le schéma ci-dessous.

R : rouge
V : vert
B : bleu
C : cyan
M : magenta
J : jaune



■ Spectre de la lumière blanche



Extrait du livre 1^{re} PC spécialité Nathan.

Document 8 : DJA

On détermine tout d'abord la dose sans effet (DSE) – dose jusqu'à laquelle on ne constate aucun effet. On prend ensuite un facteur de sécurité supérieur à cent (on divise donc cette DSE par cent) et on détermine ainsi la dose journalière admissible.

Extrait de « La chimie et l'alimentation »

https://www.media-chimie.org/sites/default/files/chimie_alimentation_30-34.pdf



- 20** ANA/RAIS Le spectrophotomètre est réglé sur $\lambda = 510 \text{ nm}$. Justifiez que la solution est bien de couleur rouge.

- 21** REA Après avoir fabriqué une gamme étalon, on mesure l'absorbance pour chacune des solutions. On obtient le tableau ci-dessous :

Solutions étalons	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
Concentration massique en mg.L ⁻¹	50	25	12,5	5,0
Absorbance (A) sans unité	1,56	0,82	0,37	0,16

Tracez, à l'aide d'un logiciel, la courbe représentative de la fonction $A=f(C)$

- 22** ANA/RAIS On mesure une absorbance $A = 0,94$ pour la solution S. Déterminez la concentration C_m en E124 dans cette solution.

- 23** ANA/RAIS En déduire la masse en E124, noté m , dans ce macaron.

- 24** VAL La DJA (dose journalière admise) représente la masse théorique d'un composé qu'un individu peut ingérer par jour. Elle est exprimée usuellement en mg de substance par kilogramme de masse corporelle et par jour.

$$DJA = \frac{m_{\text{substance}}}{m_{\text{individu}} \times 1 \text{ jour}}$$

L'union européenne a décidé de passer la DJA du colorant E124 de 4 à 0,7 mg.kg⁻¹.j⁻¹.

Déterminez le nombre maximum de macarons qu'il vous est possible de déguster avant d'atteindre la DJA.

- 25** VAL Si une personne dépassait légèrement la DJA, est-ce que cela représenterait un risque ? Justifiez.

Pour aller plus loin



• HemaApp

Un projet d'application pour smartphone permettant de mesurer le taux d'hémoglobine dans le sang en fonction de la couleur du doigt lorsqu'il est éclairé par le flash.

<https://www.sil-lab-experts.com/actualites-digital-sante/55-hemaapp-la-numeration-sur-smartphone-sans-aucune-extension>



• Les marchands de peur ont encore frappé

Un article sur l'excès d'inquiétude des consommateurs dans l'alimentaire.

<https://www.mediachimie.org/actualite/les-marchands-de-peur-ont-encore-frappe>



• Spectrophotomètre sur smartphone

Une vidéo en anglais qui porte sur un dosage par étalonnage spectrophotométrique. Il utilise un colorimètre via une application sur smartphone.

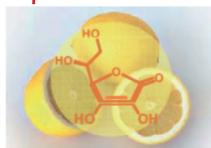
<https://www.youtube.com/watch?v=LzYhyXYcs0M>



• Macarons, la ronde des couleurs

Un article sur l'emploi excessif des colorants alimentaires dans les macarons.

<https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/macarons-ronde-des-couleurs>



• Chimie et alimentation : produits de synthèse / produits naturels

Illustrée par des exemples, la discussion porte sur le thème : « Une alimentation pour être bonne doit-elle être naturelle ? » et sur le mode de construction de la pensée du consommateur influencé par les médias et la publicité de l'industrie alimentaire et des pouvoirs publics.

<https://www.mediachimie.org/ressource/chimie-et-alimentation-produits-de-synthese-produits-naturels>



Vitamine C

1. Éclairée en lumière blanche, la tomate absorbe la lumière pour toutes les longueurs d'onde du visible, sauf celle du rouge. La lumière perçue par notre œil est donc rouge.

2. Comme expliqué précédemment, la tomate absorbe la lumière pour les longueurs d'onde du vert. Aucune lumière ne devrait donc nous parvenir, la tomate sera noire.

3. Une solution colorée absorbe plus une couleur que les autres. La couleur de la solution et la couleur qu'elle absorbe le plus sont appelées des couleurs complémentaires.

4. La couleur d'un objet « cache » en réalité les couleurs absorbées notamment sa couleur complémentaire.

5. Le terme chromophore désigne une structure particulière d'une molécule lui donnant la particularité d'être colorée.

6. Deux doubles liaisons sont dites conjuguées si elles sont séparées par une liaison simple.

7. Le lycopène possède 11 doubles liaisons conjuguées.

8. Plus la molécule possède de doubles liaisons conjuguées et plus la longueur d'onde de la couleur complémentaire sera élevée.

9. La cochenille est un insecte.

10. Le rouge de cochenille est utilisé depuis l'Antiquité.

11. C'est pour un pH neutre que l'on obtient le rouge de cochenille.

12. L'échelle de teinte sera validée par l'enseignant.

13. Tableau à remplir en fonction des mesures expérimentales données par l'enseignant.

14. Solution S_1 : pipette de 25 mL et fiole de 50 mL.

Solution S_2 : pipette de 25 mL et fiole de 100 mL.

Solution S_3 : solution mère S_2 , pipette de 25 mL et fiole de 50 mL.

15. Pour S_1 le facteur de dilution est de 2 donc

$$C_1 = \frac{C_0}{2}$$

Pour S_2 le facteur de dilution est de 4 donc

$$C_2 = \frac{C_0}{4}$$

Pour S_3 le facteur de dilution est de 8 donc

$$C_3 = \frac{C_0}{8}$$

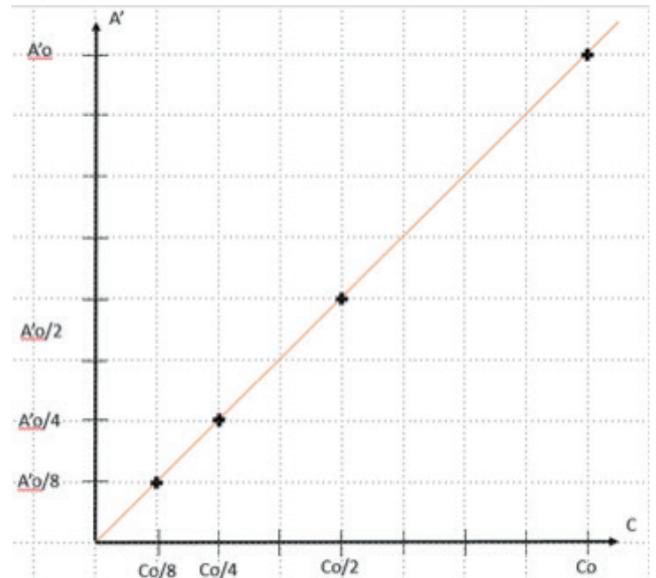
$$16. \quad \frac{A'_0}{A'_1} \approx 2 \text{ donc } A'_1 = \frac{A'_0}{2}$$

$$\frac{A'_0}{A'_2} \approx 4 \text{ donc } A'_2 = \frac{A'_0}{4}$$

$$\frac{A'_0}{A'_3} \approx 8 \text{ donc } A'_3 = \frac{A'_0}{8}$$

17. La fonction est $A' = f(C)$ donc en abscisse la grandeur est la concentration C et en ordonnée la grandeur, analogue à l'absorbance, A' .

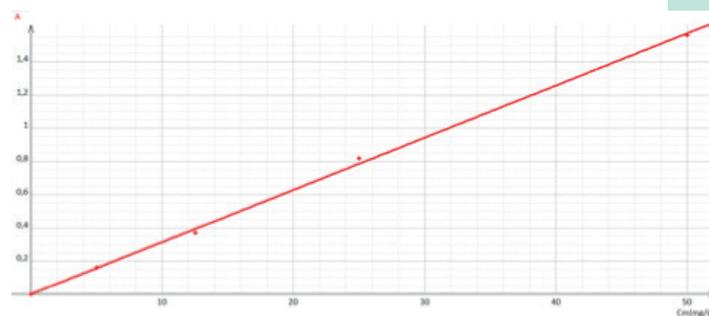
18.



19. La courbe obtenue est une droite qui passe par l'origine

20. A' est donc proportionnel à C . Par analogie l'absorbance est donc bien proportionnelle à la concentration comme le stipule la loi de Beer-Lambert.

21. La solution contenant le colorant possède un maximum d'absorbance pour $\lambda = 510 \text{ nm}$. D'après le document 7 cela correspond à la couleur cyan qui est bien la couleur complémentaire du rouge.



22. En prenant l'abscisse du point de la courbe ayant en ordonnée la valeur $A = 0,94$ on trouve :

$$C_m = 30 \text{ mg.L}^{-1}.$$

23. $C_m = \frac{m}{V}$

Donc $m = C_m \cdot V = 30 \cdot 10^{-3} \times 25 \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ g}$

Soit $m = 0,75 \text{ mg}$

24. $DJA = \frac{m_{\text{substance}}}{m_{\text{individu}} \times 1 \text{ jour}}$

Donc $m_{\text{substance}} = DJA \times m_{\text{individu}} \times 1 \text{ jour}$

Pour un individu de 60 kg, on obtient :

$m_{\text{substance}} = 0,7 \times 60 = 42 \text{ mg}$

Soit N le nombre de macarons que cet individu peut manger alors :

$N = \frac{m_{\text{substance}}}{m} = \frac{42}{0,75} = 56 \text{ macarons}$

25. D'après le document 8, il y a un facteur supérieur à 100 avec la dose sans effet.

Il n'y a donc pas de risque, a priori, si l'on dépasse légèrement la DJA.

Cependant manger 56 macarons doit questionner sur la quantité de sucre absorbé.