

Spectrophotométrie et loi de Beer-Lambert

Lire la couleur d'une solution dans son spectre,
mesurer son absorbance,
et **déterminer une concentration par étalonnage.**



1 Trois parties, une vraie progression

Le cours essentiel, des méthodes pas à pas, un QCM de tête et des exercices corrigés. On part de la couleur d'une solution, on arrive à la concentration d'une espèce colorée, lue sur une droite d'étalonnage.

2 « Les erreurs qui coûtent des points »

Dans chaque partie, les erreurs classiques du chapitre, en $X / \checkmark$, avec le réflexe qui les évite. Et le barème d'une question type, décrypté sur un exemple.

3 Rien que le programme officiel

Les capacités exigibles de la rubrique, et pas une de plus. **Tu sais pourquoi tu travailles chaque exercice.**

4 L'essentiel pour réviser

Le formulaire des cartes sur une page, les valeurs de référence du chapitre, et les plans de réponse de chaque type de question.

3

parties
progressives

14

exercices corrigés
pas à pas

14

cartes
repères

7

méthodes
pas à pas

Conforme au programme de **physique-chimie de première générale, enseignement de spécialité** - annexe de l'arrêté du 17 janvier 2019, B.O. spécial n° 1 du 22 janvier 2019. Thème « Constitution et transformations de la matière », partie « 1. Suivi de l'évolution d'un système, siège d'une transformation », sous-partie « **A) Détermination de la composition du système initial à l'aide de grandeurs physiques** », rubrique « Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert ». Un test de positionnement en page 3 t'indique par où commencer.

« La couleur se voit,
la concentration se mesure. »

Génies des Sciences

Méthodes & entraînement · Lycée
www.geniesdessciences.com



Seize questions qui balaient les trois parties. Réponds **sur une feuille**, sans regarder les réponses. Ce test ne te note pas : il te dit seulement **par où commencer si tu ne peux pas tout reprendre**. Chaque question propose une quatrième réponse, « **je ne sais pas** » : coche-la sans hésiter si c'est le cas. Une réponse « je ne sais pas » compte comme une question non sue, au même titre qu'une réponse fausse : **deviner au hasard fausserait le conseil que le test te donne**.

Données utiles pour ce test : domaine visible de la lumière, de 400 nm à 800 nm ; loi de Beer-Lambert $A = \epsilon \times \ell \times c$; pour un colorant mesuré dans une cuve fixée, $A = k \times c$ avec $k = 2,0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

01 La lumière blanche est :

- ☐ a une seule couleur ☐ b l'ensemble des couleurs du visible
☐ c une lumière sans couleur ☐ d je ne sais pas

02 Une solution colorée en bleu :

- ☐ a absorbe surtout le bleu ☐ b absorbe surtout l'orange
☐ c n'absorbe aucune couleur ☐ d je ne sais pas

03 La couleur perçue d'une solution est :

- ☐ a la couleur qu'elle absorbe ☐ b la complémentaire de la couleur absorbée
☐ c toujours le bleu ☐ d je ne sais pas

04 Un spectre d'absorption donne l'absorbance en fonction :

- ☐ a de la longueur d'onde ☐ b de la concentration ☐ c du temps
☐ d je ne sais pas

05 La longueur d'onde λ_{max} du maximum d'absorption est :

- ☐ a celle où l'absorbance est la plus grande
☐ b celle où l'absorbance est nulle ☐ c toujours 400 nm ☐ d je ne sais pas

06 L'absorbance A s'exprime en :

- ☐ a $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ☐ b aucune unité ☐ c centimètre (cm) ☐ d je ne sais pas

07 La loi de Beer-Lambert s'écrit :

- ☐ a $A = \epsilon \times \ell \times c$ ☐ b $A = \epsilon / (\ell \times c)$ ☐ c $A = \ell \times c / \epsilon$ ☐ d je ne sais pas

08 À λ et à épaisseur de cuve fixées, l'absorbance est :

- ☐ a proportionnelle à la concentration ☐ b indépendante de la concentration
☐ c inversement proportionnelle à la concentration ☐ d je ne sais pas

09 Si $A = k \times c$ et $k = 2,0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$, alors $c = 2,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ donne :

- ☐ a $A = 0,40$ ☐ b $A = 4,0$ ☐ c $A = 0,040$ ☐ d je ne sais pas

10 Si on double la concentration d'une solution colorée, son absorbance :

- ☐ a double ☐ b ne change pas ☐ c est divisée par deux ☐ d je ne sais pas

11 Une gamme étalon est :

- ☐ a une série de solutions de concentrations connues
☐ b une seule solution très concentrée
☐ c une solution dont la concentration est inconnue ☐ d je ne sais pas

12 La droite d'étalonnage $A = f(c)$ passe par :

- ☐ a l'origine du repère ☐ b le point (0; 1) ☐ c aucun point particulier
☐ d je ne sais pas

13 Son coefficient directeur se calcule par :

- ☐ a $k = A \times c$ ☐ b $k = A/c$ ☐ c $k = c/A$ ☐ d je ne sais pas

14 Pour doser une solution, on mesure son absorbance puis :

- ☐ a on lit la concentration sur la droite d'étalonnage
☐ b on multiplie A par la masse molaire ☐ c on ne peut rien en déduire
☐ d je ne sais pas

15 Si l'absorbance mesurée est trop grande pour la droite, on :

- ☐ a dilue la solution avant de mesurer de nouveau
☐ b garde la valeur telle quelle ☐ c chauffe la solution ☐ d je ne sais pas

16 On choisit, pour la mesure, la longueur d'onde :

- ☐ a du maximum d'absorption, λ_{max} ☐ b la plus petite du visible
☐ c n'importe laquelle ☐ d je ne sais pas

QUESTIONS PARTIE SI TU RATES L'UNE D'ELLES...

1 à 5	1	la couleur d'une solution, le spectre d'absorption et λ_{max}
6 à 10	2	l'absorbance, la loi de Beer-Lambert et la proportionnalité $A = k \times c$
11 à 16	3	la gamme étalon, la droite d'étalonnage et le dosage par lecture graphique

★ Comment lire ton résultat

Les réponses sont en tête des corrigés, page 21 : ne les consulte qu'une fois tes seize réponses écrites. Une réponse « je ne sais pas » ou fausse compte pour une question non sue.

14 à 16 bonnes réponses : enchaîne les trois parties dans l'ordre, en te concentrant sur les exercices ★★★. **9 à 13** : commence par les parties où une question est restée sans bonne réponse, puis reprends les autres.

8 ou moins : fais les trois parties dans l'ordre, sans en sauter une seule : le pack est construit pour ce parcours complet.

Note bien tes seize réponses sur une feuille avant d'ouvrir les corrigés : en les comparant d'un coup, tu verras tout de suite les parties à reprendre. Garde cette feuille : refaire le test après avoir travaillé le pack mesure ce que tu as gagné. Et coche « je ne sais pas » sans hésiter si c'est le cas : **le test travaille pour toi, pas contre toi**.

Exercice 1 Le domaine visible



Données. Le domaine visible s'étend de 400 nm (violet) à 800 nm (rouge). Les couleurs se succèdent dans l'ordre : violet, bleu, vert, jaune, orange, rouge.

1. Parmi les radiations de longueurs d'onde 420 nm, 540 nm et 700 nm, laquelle est violette, laquelle est verte, laquelle est rouge ?
2. Une radiation a une longueur d'onde de 300 nm. Est-elle visible ? Justifier.
3. Ranger les trois radiations de la question 1 de la plus petite à la plus grande longueur d'onde.
4. Pourquoi parle-t-on de lumière « blanche » pour la lumière du Soleil ?

Exercice 2 Couleur absorbée, couleur perçue



Données. Les couples de couleurs complémentaires : violet et jaune, bleu et orange, vert et rouge. La couleur perçue d'une solution est la complémentaire de la couleur qu'elle absorbe le plus.

1. Une solution absorbe surtout le jaune. De quelle couleur apparaît-elle ?
2. Une solution apparaît orange. Quelle couleur absorbe-t-elle le plus ?
3. Un sirop apparaît rouge. Quelle couleur de lumière la solution retient-elle ?
4. Expliquer en une phrase pourquoi la couleur perçue diffère de la couleur absorbée.

Exercice 3 Lire un spectre d'absorption



Données. Le spectre d'absorption d'une solution présente un unique maximum à $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm}$. À 500 nm, on est dans le vert. Couples complémentaires : violet et jaune, bleu et orange, vert et rouge.

1. Sur quel axe se lit $\lambda_{\max}$? En quelle unité ?
2. Quelle couleur cette solution absorbe-t-elle le plus ?
3. En déduire la couleur de la solution.
4. On dilue cette solution deux fois. Sa teinte devient-elle plus claire, plus soutenue, ou d'une autre couleur ? La valeur de $\lambda_{\max}$ change-t-elle ?

Exercice 4 Deux colorants, deux spectres



Données. Deux colorants alimentaires sont étudiés. Le colorant A a un maximum d'absorption à $\lambda_{\max} = 430 \text{ nm}$ (le violet). Le colorant B a un maximum à $\lambda_{\max} = 600 \text{ nm}$ (l'orange). Couples complémentaires : violet et jaune, bleu et orange, vert et rouge.

1. Déterminer la couleur de chacune des deux solutions.
2. Un élève affirme que le colorant B est orange, puisqu'il absorbe à 600 nm. Repérer et corriger son erreur.
3. Pour mesurer plus tard l'absorbance de chaque colorant, on règle l'appareil sur une longueur d'onde. Laquelle choisir pour le colorant A, et laquelle pour le colorant B ? Justifier.
4. À 430 nm, lequel des deux colorants absorbe le plus ? Expliquer pourquoi mesurer le colorant B à cette longueur d'onde serait un mauvais choix.

La partie 2 donnera un nombre à cette couleur : l'**absorbance**, reliée à la concentration par la **loi de Beer-Lambert**.



5 Choisir la longueur d'onde de travail

COURS

Pour mesurer une concentration avec le plus de précision, on règle le spectrophotomètre sur la longueur d'onde où l'espèce absorbe le plus, c'est-à-dire sur $\lambda_{\max}$, lue sur le spectre d'absorption de la partie 1. À cet endroit, ε est le plus grand : une même variation de concentration y donne la plus grande variation d'absorbance, donc la mesure la plus sensible.

F9 CHOISIR LA LONGUEUR D'ONDE DE TRAVAIL

À RETROUVER

On mesure l'absorbance à $\lambda_{\max}$, la longueur d'onde du maximum d'absorption

À $\lambda_{\max}$, ε est maximal, donc la mesure est la plus sensible. Toutes les mesures d'une même série se font à la même longueur d'onde : sinon, les absorbances ne sont pas comparables.

6 Les méthodes, pas à pas

MÉTHODE

2 Calculer une absorbance avec la loi de Beer-Lambert

1 Je repère les trois facteurs.

Le coefficient ε , l'épaisseur de cuve ℓ , la concentration c , chacun avec son unité.

2 Je vérifie les unités.

ε en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, ℓ en cm, c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

3 J'écris la formule, puis je remplace.

$A = \varepsilon \times \ell \times c$, avec les valeurs et leurs unités.

4 J'écris le résultat sans unité,

à deux chiffres significatifs : l'absorbance est un nombre.

L'EXEMPLE RÉDIGÉ

Une solution de colorant, de concentration $c = 1,5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, est mesurée dans une cuve d'épaisseur $\ell = 1,0 \text{ cm}$, à $\lambda_{\max}$ où

$\varepsilon = 2,0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Calculer son absorbance.

$$A = \varepsilon \times \ell \times c = 2,0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \times 1,0 \text{ cm} \times 1,5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0,30 \text{ (sans unité).}$$

3 Déterminer une concentration à partir d'une absorbance

1 J'écris la loi de Beer-Lambert.

$$A = \varepsilon \times \ell \times c.$$

2 J'isole la concentration.

$$c = \frac{A}{\varepsilon \times \ell}.$$

3 Je remplace par les valeurs, avec leurs unités.

A sans unité, ε et ℓ avec les leurs.

4 J'écris le résultat en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,

à deux chiffres significatifs.

L'EXEMPLE RÉDIGÉ

Une solution du même colorant, mesurée dans la cuve de $\ell = 1,0 \text{ cm}$ à $\lambda_{\max}$ ($\varepsilon = 2,0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), a une absorbance $A = 0,90$. Calculer sa concentration.

$$c = \frac{A}{\varepsilon \times \ell} = \frac{0,90}{2,0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \times 1,0 \text{ cm}} = 4,5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

7 Les erreurs qui coûtent des points

LES PIÈGES CLASSIQUES

1 Donner une unité à l'absorbance

✗ « $A = 0,30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ » · ✓ $A = 0,30$, sans unité. L'absorbance est un nombre : dans la loi $A = \varepsilon \times \ell \times c$, les unités de ε , de ℓ et de c se simplifient entre elles.

Le réflexe : une absorbance ne porte pas d'unité ; si tu en écris une, c'est que tu as confondu A avec une concentration.

2 Oublier l'épaisseur de cuve dans la loi

✗ $A = \varepsilon \times c$ · ✓ $A = \varepsilon \times \ell \times c$. L'absorbance dépend aussi de l'épaisseur de solution traversée : une cuve deux fois plus épaisse donne une absorbance deux fois plus grande, à même concentration.

Le réflexe : trois facteurs dans la loi, trois valeurs à écrire ; si ℓ manque, le résultat est faux.



✓ Les corrigés détaillés

La rédaction modèle est à gauche, les remarques du correcteur à droite. Compare **ta rédaction**, pas seulement tes résultats : le correcteur note le raisonnement qu'il peut suivre, pas seulement la valeur finale.

✓ Les réponses du test de positionnement (page 3)

1. b - 2. b - 3. b - 4. a - 5. a - 6. b - 7. a - 8. a - 9. a - 10. a - 11. a - 12. a - 13. b - 14. a - 15. a - 16. a



Comment lire un corrigé

Chaque réponse est écrite comme sur une copie : la donnée utilisée, la formule littérale, l'application numérique avec les unités, puis la conclusion. Quand ta réponse diffère de la mienne, cherche **où** les deux chemins se séparent : c'est ce point précis qu'il faut retravailler, pas l'exercice entier. Avant de comparer, relis ta copie avec la liste de vérifications de la page 27.

Les résultats sont arrondis à deux chiffres significatifs. L'absorbance est un nombre sans unité ; les concentrations sont en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ou en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, les coefficients directeurs en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ ou en $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$.

Exercice 1 Le domaine visible ★

- On repère chaque longueur d'onde dans l'ordre des couleurs du visible : **420 nm est violette** (début du visible), **540 nm est verte** (milieu), **700 nm est rouge** (fin du visible).
- La radiation de 300 nm **n'est pas visible** : 300 nm est inférieur à 400 nm, elle appartient à l'ultraviolet.
- Dans l'ordre croissant : **420 nm, puis 540 nm, puis 700 nm**, soit du violet au rouge.
- La lumière du Soleil est dite blanche parce qu'elle **réunit toutes les couleurs du visible** : on le voit quand un prisme ou une goutte d'eau la décompose en arc-en-ciel.

L'ordre des couleurs

Retiens l'ordre violet, bleu, vert, jaune, orange, rouge : les petites longueurs d'onde du côté du violet, les grandes du côté du rouge. C'est l'ordre de l'arc-en-ciel.

Les bornes du visible

En dessous de 400 nm, c'est l'ultraviolet ; au-dessus de 800 nm, l'infrarouge. Les deux sont invisibles à l'œil.

Exercice 2 Couleur absorbée, couleur perçue ★★

- Une solution qui absorbe le jaune apparaît de la complémentaire du jaune (**F3**) : **elle apparaît violette** (couple violet / jaune).
- Une solution orange laisse passer l'orange et absorbe sa complémentaire : **elle absorbe le bleu** (couple bleu / orange).
- Un sirop rouge retient la couleur complémentaire du rouge : **il absorbe le vert** (couple vert / rouge).
- La couleur perçue n'est pas celle absorbée **parce que la couleur vient de la lumière transmise**, c'est-à-dire de ce qui reste après absorption, qui est le complément de la couleur retenue.

Un seul couple, deux sens

Que l'on parle de la couleur absorbée ou de la couleur perçue, on utilise le même couple de l'étoile. Les deux questions 1 et 2 lisent le même tableau, dans un sens puis dans l'autre.

Exercice 3 Lire un spectre d'absorption ★★

- λ_{max} se lit sur **l'axe horizontal**, celui des longueurs d'onde, **en nanomètre (nm)** (**F4**).
- Le maximum d'absorption étant à 500 nm, dans le vert, la solution **absorbe surtout le vert**.
- La couleur perçue est la complémentaire du vert (**F3**) : **la solution apparaît rouge**.
- En diluant deux fois, la solution devient **plus claire**, mais garde la même couleur ; **λ_{max} ne change pas**, car la dilution agit sur l'intensité de l'absorption, pas sur la longueur d'onde absorbée.

Le bon axe

La question 1 se note pour elle-même. λ_{max} est une longueur d'onde : elle se lit sous le sommet, sur l'axe des abscisses, jamais sur l'axe vertical.

Dilution et couleur

Diluer éclaircit la teinte sans la changer : c'est le réflexe de l'erreur 3 de la partie 1. La longueur d'onde absorbée reste la même.

