

À TRAVERS LA MATIÈRE

UNE ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE POUR TESTER LA LOI DE BEER-LAMBERT

DANS CETTE ACTIVITÉ, ON FAIT QUOI ?



On veut évaluer la diminution de l'intensité lumineuse lorsque de la lumière traverse de la matière (un solide transparent, une solution aqueuse). On souhaite tester l'influence de la distance parcourue à travers le matériau ainsi que celle de la concentration d'une espèce chimique dans une solution aqueuse.

L'ÉCHAUFFEMENT « PHYPHOX »

Télécharger l'application Phyphox pour découvrir comment

l'utiliser sur ce tutoriel : <https://tinyurl.com/PhyphoxTuto>

Pour apprendre à utiliser le capteur de luminosité, voici un petit échauffement ludique : <https://tinyurl.com/enigmelumiere>

Attention, le capteur de luminosité n'est pas disponible sur les smartphones Apple.



DU CÔTÉ DES MODÈLES



La loi de Beer-Lambert relie une grandeur physique A , appelée absorbance, à la distance parcourue par la lumière dans la matière et à la concentration d'un soluté dans une solution aqueuse.

Elle s'écrit pour des solutions peu concentrées et pour des sources de lumière monochromatiques :

$$A = \varepsilon \cdot \ell \cdot C$$

où ℓ est la longueur de solution traversée par la lumière (généralement exprimée en cm)

C est la concentration du soluté (généralement en mol.L^{-1})

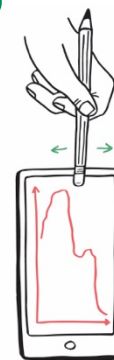
ε est un coefficient de proportionnalité nommé coefficient d'absorption molaire (généralement en $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$).

L'EXPÉRIENCE N°1 : OÙ EST LE CAPTEUR DE LUMINOSITÉ ?



Démarrer Phyphox, et choisir le module Luminosité.

Le capteur de luminosité est généralement situé sur la face avant du téléphone dans la partie haute. Déplacer un crayon lentement devant le haut de l'écran du téléphone. Lorsque l'intensité lumineuse chute fortement, c'est que le crayon vient d'occulter le capteur de luminosité.



L'EXPÉRIENCE N°2 : INFLUENCE DE LA DISTANCE PARCOURUE À TRAVERS LA MATIÈRE

Matériel :

- Une lampe de bureau
- Une feuille plastique transparente incolore lisse (pochette plastique, protège-cahier)
- Une pièce sombre



Découper la feuille de plastique transparent en petits carrés de 2-3 cm de côté.

Placer le smartphone à plat sur une table, capteur de luminosité vers le haut, et une lampe de bureau allumée au-dessus du capteur de luminosité. Lancer « Luminosité » sur Phyphox et choisir l'onglet « Composantes ». Attendre que la valeur d'intensité lumineuse affichée se stabilise.

Noter cette valeur.

Placer 1 carré de plastique sur le capteur de luminosité et noter la nouvelle valeur de l'intensité lumineuse.

Répéter la mesure pour 2 carrés posés sur le capteur, puis 3 carrés, 4 carrés, etc.

1) Renseigner les valeurs mesurées dans la colonne "intensité lumineuse transmise" du tableau ci-dessous puis calculer :

- le pourcentage d'intensité lumineuse qui a été absorbée par les couches (noté P),
- le pourcentage d'intensité lumineuse qui a été transmise (noté T),
- l'absorbance $A = -\log(T)$ (utiliser la touche log de votre calculatrice)

Nombre de couches	Intensité lumineuse transmise (lux)	P (% d'intensité lumineuse absorbée)	T (% d'intensité lumineuse transmise)	Absorbance
0				
1				
...				

2) Tracer l'évolution de l'absorbance en fonction du nombre de couches de plastique.

Après avoir rappelé la loi de Beer-Lambert, étudier quantitativement l'influence de la distance ℓ parcourue par la lumière dans la matière traversée. Conclure.

L'EXPÉRIENCE N°3 : INFLUENCE DE LA CONCENTRATION D'UNE ESPÈCE CHIMIQUE EN SOLUTION

Matériel :

- Une lampe de bureau
- Un sachet plastique de congélation
- Un verre à fond plat
- Du colorant alimentaire (en vente en supermarché au rayon pâtisserie)
- Une cuillère à café
- Éventuellement, un morceau de tissu noir (par exemple un T-shirt ou une housse de petit matériel électronique)



Enfermer le smartphone dans un sachet congélation propre et sec en évitant d'enfermer trop d'air. Placer le smartphone emballé à plat sur une table, capteur de luminosité vers le haut, sous la lampe de bureau qui l'éclaire. Lancer « Luminosité » sur Phyphox et choisir l'onglet « Composantes » (vous pouvez contrôler le smartphone à travers le sachet). Passer en mode paysage, de façon à éloigner l'affichage de la mesure du capteur de lumière. Attendre quelques minutes que la valeur affichée se stabilise.

Remplir à moitié un verre avec de l'eau, entourer les parois latérales du verre avec le tissu noir. Poser le verre sur le smartphone emballé, au-dessus du capteur de luminosité. Mesurer la luminosité avec Phyphox et noter la valeur obtenue.

À partir de maintenant, toutes les manipulations doivent se faire sans déplacer le dispositif expérimental : smartphone, verre, et lampe. Si l'un de ces éléments est déplacé, il faut recommencer à partir de cette étape.

Introduire une goutte de colorant alimentaire. Mélanger précautionneusement avec la cuillère, sans déplacer le verre. Noter la valeur de l'intensité lumineuse. Recommencer avec 2, 3, etc... gouttes de colorant.

1) Dans un tableau analogue au précédent en remplaçant le nombre de couches par le nombre de gouttes, calculer les grandeurs P, T et A.

2) Comment varie la concentration du colorant dans le verre avec le nombre de gouttes introduites ?

3) Après avoir rappelé la loi de Beer Lambert, tracer l'évolution de l'absorbance en fonction du nombre de gouttes de colorant introduites. Conclure.?

Pour aller plus loin :

Tester ce qui se passe si la source lumineuse est colorée ou si l'on pose du plastique coloré entre le capteur de luminosité et le fond du verre.

FICHE PROF : À TRAVERS LA MATIÈRE

Ces activités expérimentales ont été conçues à l'initiative de l'Inspection Générale en collaboration avec l'équipe "[La Physique Autrement](#)" (Univ. Paris-Saclay/CNRS). Textes et vidéos : Julien Bobroff, Frédéric Bouquet, Jean Lamerenx, Patricia Marchand, Jacques Vince. Schémas : Anna Khazina.



NIVEAU : Première, enseignement de spécialité



DIFFICULTÉ CONCEPTUELLE - EXPLOITATION :

immédiat facile demande temps et savoir-faire



RÉALISATION PRATIQUE :

débutant familiarisé confirmé



DURÉE :

Expérience 1 : 5 min

Expérience 2 : 30 min (compte-rendu compris)

Expérience 3 : 40 min (compte-rendu compris)



LE TUTO VIDÉO : <https://youtu.be/UtXVlw3ypnw>

Partie de programme :

A) Détermination de la composition du système initial à l'aide de grandeurs physiques	
Relation entre masse molaire d'une espèce, masse des entités et constante d'Avogadro.	Déterminer la masse molaire d'une espèce à partir des masses molaires atomiques des éléments qui la composent.
Masse molaire atomique d'un élément.	Déterminer la quantité de matière contenue dans un échantillon de corps pur à partir de sa masse et du tableau périodique.
Volume molaire d'un gaz.	Utiliser le volume molaire d'un gaz pour déterminer une quantité de matière.
Concentration en quantité de matière.	Déterminer la quantité de matière de chaque espèce dans un mélange (liquide ou solide) à partir de sa composition.
Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert.	Déterminer la quantité de matière d'un soluté à partir de sa concentration en masse ou en quantité de matière et du volume de solution.
	Expliquer ou prévoir la couleur d'une espèce en solution à partir de son spectre UV-visible.
	Déterminer la concentration d'un soluté à partir de données expérimentales relatives à l'absorbance de solutions de concentrations connues.
	<i>Proposer et mettre en œuvre un protocole pour réaliser une gamme étalon et déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution par des mesures d'absorbance. Tester les limites d'utilisation du protocole.</i>

Objectifs pédagogiques de la séance :

	Exp 1	Exp 2	Exp 3
Associer luminosité et non obstruction du capteur	x		
Associer l'absorbance à la part de l'intensité lumineuse absorbée par la matière		x	x
Étudier l'influence de l'épaisseur de matériau absorbant traversé et de la concentration sur l'absorbance		x	x
Reconnaître une situation de proportionnalité		x	x
Mettre en évidence l'utilité d'une source monochromatique			x pour aller plus loin

Les prérequis : Loi de Beer-Lambert

Le type d'activité : Expérience quantitative pouvant être réalisée chez soi en autonomie, de façon individuelle ou par groupe de 2 ou 3 élèves. Peut également être réalisée au laboratoire, avec éventuellement une comparaison des résultats avec ceux obtenus avec un spectrophotomètre (expérience n°3).

Le matériel nécessaire

- Appli nécessaire : Phyphox (smartphone Android, tuto : <https://tinyurl.com/tutoPhyphox>)
- Capteur du smartphone utilisé : luminosité
- Une pièce sombre
- Une lampe de bureau
- Une feuille plastique transparente rigide et lisse (pochette plastique pour classeur)
- Un sachet congélation
- Un verre à fond plat non bombé ou un bécher si l'expérience est réalisée en classe
- Un morceau de tissu noir (par exemple un T-shirt)
- Du colorant alimentaire (rayon pâtisserie)
- Une cuillère à café

Pistes pour une synthèse

Le spectrophotomètre est un appareil qui optimise la mesure d'absorbance :

- en sélectionnant une longueur d'onde ;
- en automatisant le calcul d'absorbance.

Les cuves utilisées permettent de minimiser les phénomènes optiques parasites.

La relation de Beer-Lambert permet de rendre compte de l'influence de la longueur de matériau traversé et celle de la concentration en espèce colorée. Elle constitue un bon modèle pour les solutions diluées.

L'expérience n°2 permet généralement de mettre en évidence la proportionnalité de l'absorbance avec la distance parcourue par la lumière dans le milieu étudié, mais l'expérience n°3, du fait du caractère polychromatique de la source et de la sensibilité du montage, ne le permet pas. En revanche, elle illustre l'augmentation de l'absorbance avec la concentration du soluté.

Mise en garde quant à la sécurité du smartphone

Attention à l'utilisation d'eau dans la troisième expérience lors de l'utilisation du smartphone. C'est la raison pour laquelle il faut emballer le téléphone dans un sachet congélation parfaitement étanche.

Modalité de travail entre élèves : élève seul ou groupe de 2 ou 3 élèves (avec répartition des rôles) en cas de problème de disponibilité de matériel.

Modalité d'intervention pédagogique :

- Feuille de consignes communiquée aux élèves, éventuellement associée à une feuille de calcul permettant le calcul automatique d'absorbance.
- Mettre en garde sur le risque pour l'intégrité du smartphone.

Juste avant l'activité expérimentale : vous pouvez proposer ces petits exercices ludiques à vos élèves, qui leur

permettent, en douceur, de s'initier à l'utilisation du capteur luminosité (ces fiches sont à retrouver en bonne définition en format image ou pdf sur ce lien :

http://hebergement.u-psud.fr/supraconductivite/projet/smartphone_a_lepreuve/)

Vous pouvez aussi faire réaliser une échelle de teinte.

Pistes pour approfondir le sujet au-delà de cette activité :

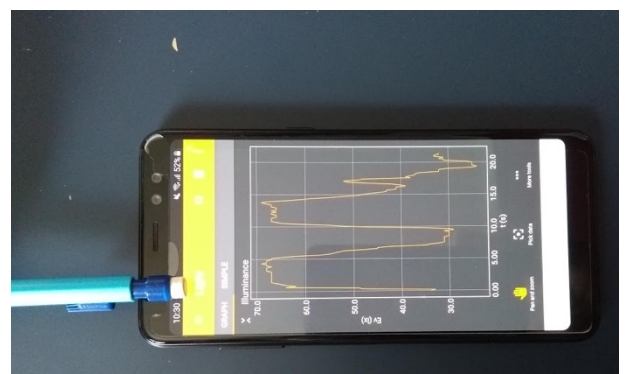
Fonctionnement d'un spectrophotomètre, spectre d'absorption.

Corrigé détaillé :

Expérience n°1 : Recherche de la position du capteur de luminosité

Le capteur de lumière n'est pas intégré à la caméra. Il s'agit d'un capteur différent, utilisé pour gérer l'éclairage automatique de l'écran du smartphone. Il est placé sur la face avant du smartphone, souvent vers le haut. Pour déterminer sa position, déplacer lentement un objet un peu fin (un crayon) au-dessus de l'écran jusqu'à observer une variation de l'éclairage. On peut également utiliser phyphox pour détecter le moment où la luminosité varie.

(L'ombre du crayon provoque la diminution de l'intensité lumineuse mesurée : le capteur de lumière se situe sous le crayon).



L'expérience n°2 : Influence de la distance parcourue par la lumière à travers le milieu absorbant.

Un tuto de l'expérience est disponible ici : <https://youtu.be/UtXVlw3ypnw>

Trucs et astuces :

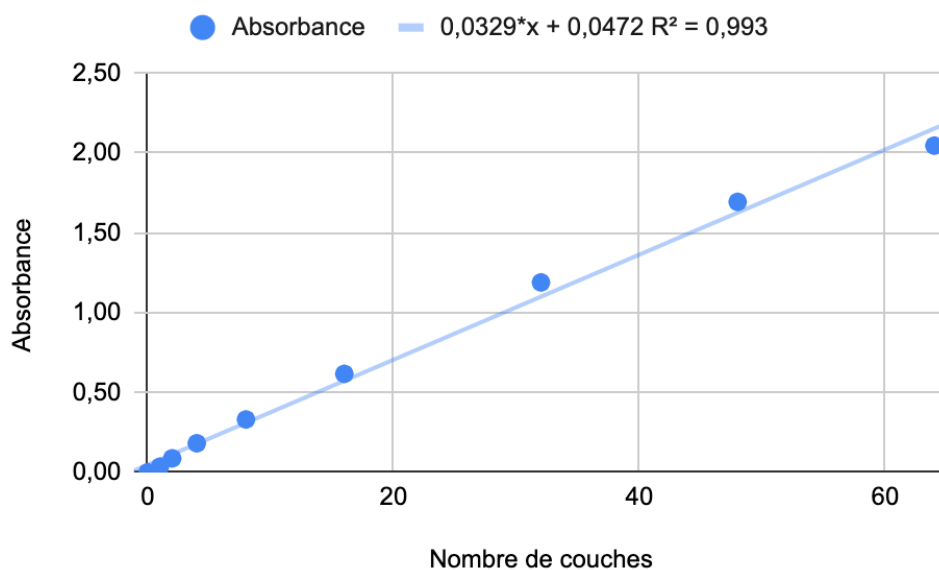
- Les smartphones commercialisés par Apple n'autorisent pas l'accès aux données du capteur de lumière. Seuls les smartphones fonctionnant sous Android pourront ici être utilisés.
- Dans certains smartphones Android, le capteur de lumière ne se déclenche que si la luminosité varie beaucoup. Dans ce cas, déclencher la mesure en passant la main entre la source de lumière et le capteur.
- Le module "Luminosité" de l'application phyphox comporte deux onglets, "Graph" (cf. figure) où les valeurs sont représentées en fonction du temps, et l'onglet "Composantes", où la dernière valeur est affichée.
- Privilégier l'utilisation de feuilles transparentes, colorées ou non, lisses et plutôt rigides (exemple : transparents des rétroprojecteurs, pochettes plastiques pour classeur). Ne pas utiliser de plastiques rugueux.
- Attendre que la source de lumière soit stabilisée avant de faire les mesures : pour cela, attendre la stabilisation de la luminosité sur l'écran de phyphox.
- Une fois l'expérience débutée, il ne faut surtout pas toucher à la lampe ou au smartphone. Les déplacer modifierait la valeur de l'intensité lumineuse reçue "à vide" I_0 . Ce point est crucial. Si l'élève manipule chez lui et qu'il dispose d'un second appareil (ordinateur, smartphone, tablette), il peut activer le contrôle à distance de phyphox pour ne pas toucher le smartphone. Pour cela, le smartphone de mesure et le second appareil (sur lequel on effectue le contrôle) doivent être connectés au même réseau wifi.
- Il est préférable de travailler dans une salle sombre en raison des variations de la luminosité extérieure.
- Les plus précautionneux pourront vérifier la stabilité de la valeur de I_0 entre chaque mesure.
- Au laboratoire, les feuilles plastiques peuvent être remplacées par des lamelles de microscope.

Le calcul de l'absorbance nécessite l'utilisation de la fonction logarithme décimal \log présente sur les calculatrices. La fonction logarithme n'étant pas abordée en classe de première, le professeur peut également préparer une feuille de calcul automatisant ce calcul.



Exemple de résultats :

Nombre couches	Intensité lumineuse (lux)	% d'intensité lumineuse absorbée	Absorbance
0	1780	0%	0,00
1	1640	8%	0,04
2	1454	18%	0,09
4	1170	34%	0,18
8	830	53%	0,33
16	430	76%	0,62
32	115	94%	1,19
48	36	98%	1,69
64	16	99%	2,05



Analyse des résultats

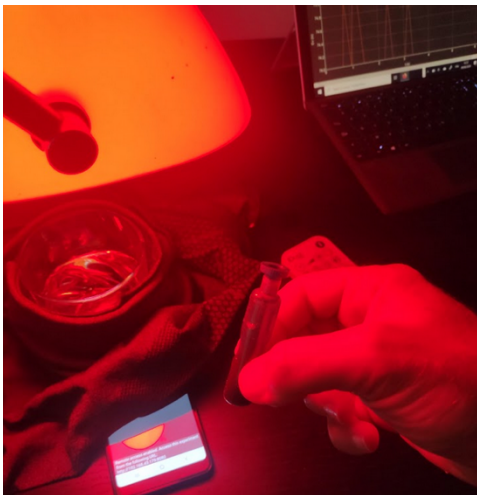
On peut raisonnablement considérer l'absorbance proportionnelle à la distance parcourue au sein du matériau, ce qui est cohérent avec la loi de Beer-Lambert.

Pour aller plus loin

Des transparents colorés peuvent être utilisés dans le cadre d'un projet exploratoire. La proportionnalité entre l'absorbance et la distance l n'est alors plus observée en raison du caractère polychromatique de la source (le matériau absorbe préférentiellement la lumière à certaines longueurs d'onde, mais moins à d'autres).

L'expérience n°3 : Influence de la concentration en espèce colorée dans le milieu absorbant :

Le verre d'eau est entouré d'un T-Shirt noir, et posé sur le capteur de luminosité du smartphone. Des gouttes de colorant alimentaire rouge sont ajoutées une à une dans le verre (sans déplacer ni le verre, ni la lampe, ni le smartphone). L'expérience est contrôlée à distance par l'ordinateur. Après chaque mesure, l'expérience est mise en pause, une goutte supplémentaire est ajoutée, le liquide est mélangé sans bouger le dispositif, puis la mesure est relancée. Pour protéger le smartphone, les élèves doivent mettre le smartphone dans un sac étanche (non présent dans la photo).



Trucs et astuces :

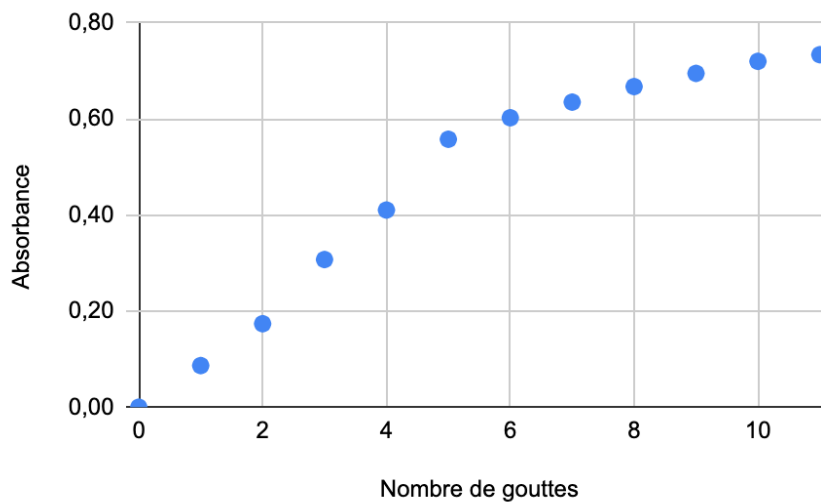
- Le dispositif, une fois mis en place, ne doit pas être déplacé afin de préserver la stabilité de l'intensité lumineuse I_0 . C'est encore plus important qu'avec les couches transparentes, car on ne peut pas retirer le verre contenant l'espèce colorée pour vérifier la stabilité de la valeur de l'intensité lumineuse I_0 . Encore une fois, l'utilisation du contrôle à distance peut faciliter l'expérimentation. L'agitation après introduction d'une goutte de colorant doit être réalisée avec précaution.
- La mesure de l'intensité lumineuse ne doit pas être effectuée immédiatement après agitation en raison de l'inhomogénéité du milieu. La présence de bulles d'air sur le fond peut également modifier le trajet optique.
- Si on ne dispose pas d'ordinateur ou de tablette pour lire la mesure sur un deuxième écran, passer le smartphone en mode paysage permet de décaler l'affichage de la valeur loin du capteur de lumière pour qu'elle soit visible quand le verre est installé sur le capteur.
- un tutoriel de l'expérience sera bientôt disponible.

Exploitation :

Les grandeurs calculées sont les mêmes que celles définies précédemment.

Exemple de résultats : lumière blanche et gouttes de colorant alimentaire rouge.

Nombre gouttes	Intensité lumineuse (lux)	% d'intensité lumineuse absorbée	Absorbance
0	4260	0%	0,00
1	3489	18%	0,09
2	2855	33%	0,17
3	2099	51%	0,31
4	1655	61%	0,41
5	1179	72%	0,56
6	1064	75%	0,60
7	987	77%	0,64
8	916	78%	0,67
9	860	80%	0,69
10	812	81%	0,72
11	786	82%	0,73



Analyse des résultats :

En lumière blanche, la loi de Beer Lambert n'est pas validée. Dans un spectrophotomètre, l'utilisation d'un rayonnement incident monochromatique permet de recourir à un modèle efficace fondé sur la proportionnalité entre l'absorbance A et la concentration en espèce C.

Pour aller plus loin : On peut tester différents couples source/colorant.

Une source (quasi)-monochromatique peut être obtenue à l'aide de :

- laser (-> manipulation de démonstration par le professeur);
- lampe LED à contrôle de lumière (voir article du BUP ci-dessous);

- installation d'un filtre coloré devant la source.

Chaque groupe d'élèves peut explorer un couple particulier de conditions, les résultats pouvant être mis en commun pour identifier les choix les plus adaptés.

Conclusion :

Les spectrophotomètres utilisent des cuves de forme adaptée (notamment pour éviter les effets de loupe), placées dans des porte-cuves de position fixée. Ils permettent d'éclairer la cuve avec un rayonnement incident monochromatique. Ces dispositions permettent d'assurer la reproductibilité des mesures et la proportionnalité entre l'absorbance mesurée et la concentration des solutions en espèce absorbante.

Biblio :

- Une approche quantitative de la loi de Beer-Lambert avec un smartphone, R. Mathevet, É. Jammes, C. Fabre, N. Lamrani, S. Martin, J-P. Castro, P. Marchou, S. Staacks, BUP Octobre 2019, n° 1017, p 1079 et Décembre 2019, n° 1019, p 1357 :
- Smartphonique, Expériences de physique avec un smartphone, Ulysse Delabre, Dunod, 2019