

Colorimétrie : une photodiode comme capteur

Réf. 05936



Présentation

La teinte des solutions colorées comme par exemple la solution de permanganate de potassium (KMnO_4 aq), diffère selon leur concentration. Une solution aqueuse de KMnO_4 , faiblement concentrée, est de couleur rose alors qu'une solution plus concentrée est nettement violacée.

Une solution dans l'eau de sulfate de nickel (Ni SO_4 aq) est de couleur vert pâle à faible concentration et vert soutenu pour des concentrations plus élevées.

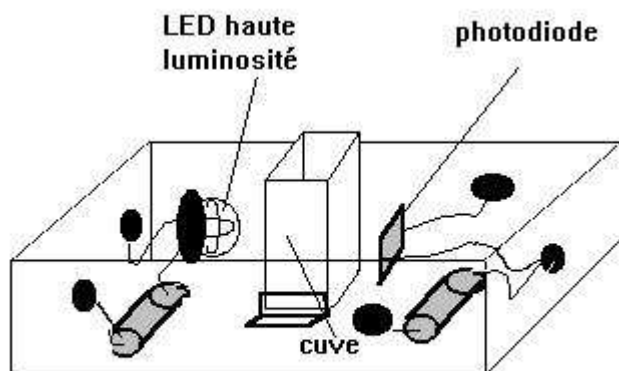
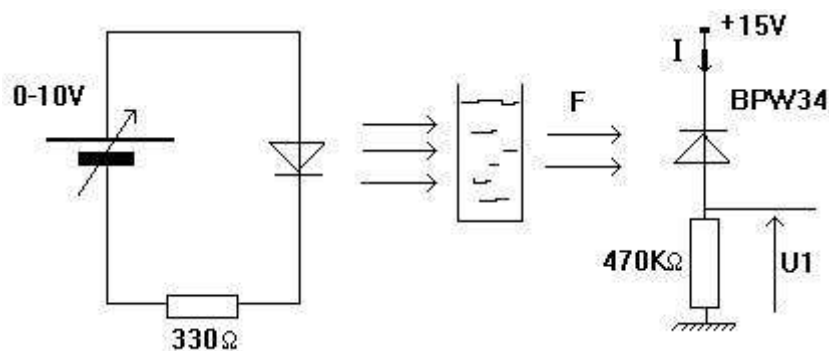
Il existe donc un lien entre la teinte d'une solution aqueuse colorée et sa concentration.

Caractéristiques

On utilise maintenant très couramment des panneaux solaires. Ils sont constitués de capteurs sensibles à la lumière : les cellules solaires.

Ces cellules sont en fait des photodiodes. Nous allons utiliser ce type de composant électronique pour réaliser le colorimètre.

Le schéma de principe du colorimètre est le suivant :



Réalisation pratique du colorimètre

La référence de la photodiode est BPW34, elle est utilisée comme capteur sensible à la lumière.

Une diode électroluminescente éclaire une cuve contenant une solution colorée. Le flux lumineux qui traverse la solution éclaire la photodiode. Plus la photodiode est éclairée plus l'intensité du courant qui la traverse augmente. A la différence d'une simple diode une photodiode est passante même en sens inverse. Cependant l'intensité du courant reste extrêmement faible, il y a donc nécessité d'utiliser un conducteur ohmique de forte résistance ($R = 470 \text{ k}\Omega$) pour obtenir une tension mesurable par l'ordinateur. L'étude d'une photodiode peut montrer que le courant qui la traverse est directement proportionnel à son l'éclairement lorsqu'elle est utilisée en récepteur. Nous nous contentons d'utiliser cette propriété et de chercher une relation liant la tension U_1 et la concentration de la solution afin d'informatiser la mesure de la concentration d'une solution donnée.

Exemples de manipulations

1. Etude de capteur

L'étude du capteur colorimétrique est conduite en deux temps. On suppose dans un premier temps que la relation liant U_1 et c , est de la forme $c = aU_1 + b$. La critique du modèle linéaire et la connaissance scientifique peuvent dans un deuxième temps orienter cette étude.

Manipulation :

Utilisez des solutions aqueuses de sulfate de nickel hydraté ($\text{Ni SO}_4, 6\text{H}_2\text{O}$) de concentrations respectives 0,20 ; 0,15 ; 0,10 et 0,05 mol/L (les concentrations peuvent être en g/L si l'élève ne connaît pas encore la mole). Un volume de 50 cm^3 pour chaque solution suffit. Durant une mesure le colorimètre est fermé pour éviter les lumières parasites.

Alimentez le module colorimètre comme l'indique le schéma de principe.

A l'aide d'un voltmètre, on peut mesurer U_1 et vérifier en plaçant successivement dans la cuve du colorimètre deux solutions de concentrations différentes, que, plus la solution est colorée, plus la tension aux bornes du conducteur ohmique R diminue. En effet, plus la solution est concentrée, plus l'éclairement de la photodiode diminue.

Le physicien parle de l'absorbance (A) de la solution anciennement appelée la densité optique. L'absorbance (A) d'une solution colorée est donc fonction de sa concentration.

Sachant que nous utilisons une interface d'acquisition sur un calibre 0 V ; +5 V, il faut régler le colorimètre pour que la tension délivrée soit d'environ 5 V pour une concentration nulle. Ce qui revient à placer dans la cuve du colorimètre le solvant donc de l'eau distillée.

Ce réglage porte le nom de "réglage du blanc".

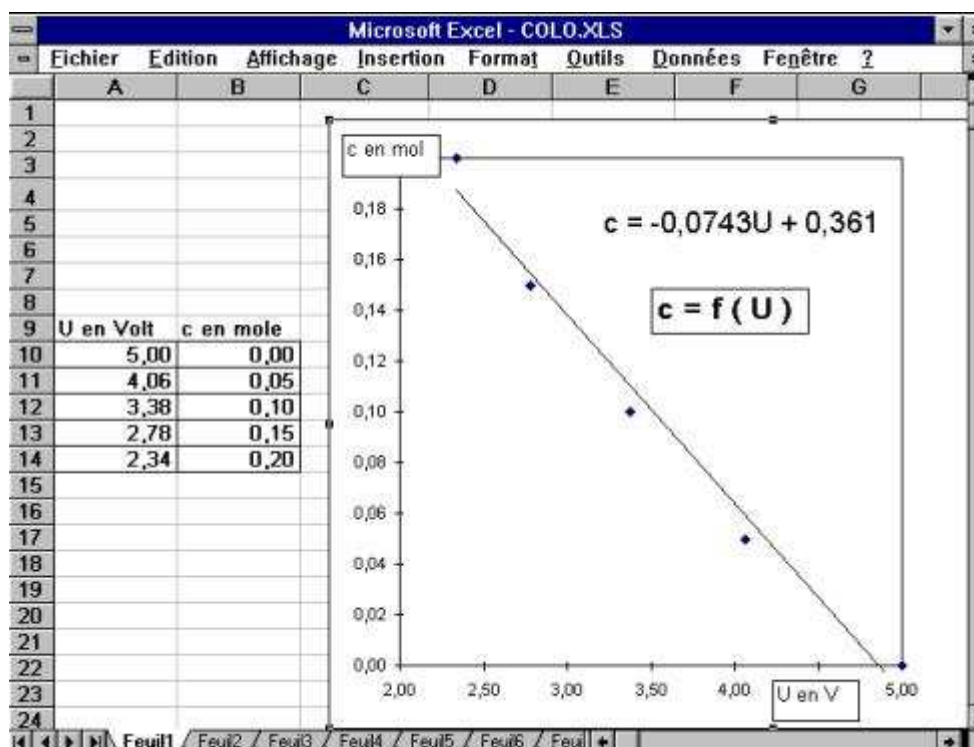
Faites le réglage du blanc en agissant sur la tension d'alimentation de la DEL qui éclaire la cuve afin d'obtenir une tension U_1 de 5 V au maximum en sortie.

Placez ensuite successivement dans la cuve les solutions aqueuses de sulfate de nickel hydraté et relevez à l'aide d'un voltmètre, les valeurs de U_1 correspondantes. Respectez l'ordre croissant des concentrations pour ne pas avoir à nettoyer la cuve à chaque nouvelle mesure.

Utilisez Excel et tracez $c = f(U_1)$.

Recherchez un modèle linéaire correspondant à cette distribution expérimentale.

Comme le montre le graphe, on obtient le modèle suivant : $c = -0,0743 \times U_1 + 0,361$.



On utilise le menu courbe de tendance de Excel pour obtenir cette droite et son équation.

Connaissant la relation entre la tension délivrée par ce dispositif et la concentration de la solution, on pourrait envisager l'utilisation d'une interface d'acquisition.

Le graphe montre que les points expérimentaux sont éloignés du modèle linéaire retenu.

Il faut rechercher un autre modèle.

Lorsqu'on cherche à étudier le phénomène d'absorption de la lumière par une solution, on fait souvent référence à la loi de Beer-Lambert. Cette loi relative à l'absorbance (A) d'une substance, dit notamment que A est proportionnelle à la concentration de la solution, soit $A = \alpha \times c$.

L'absorbance est par définition : $A = \log (F_i/F_t)$, F_i est le flux lumineux incident et F_t est le flux transmis. Comme le prouve la définition, l'absorbance d'une solution est un nombre sans unité compris entre 0 et l'infini. Le rapport croît de la valeur 1 pour une solution qui n'absorbe pas de lumière jusqu'à l'infini si la solution absorbe quasiment toute la lumière incidente.

Cherchons à exprimer l'absorbance (A) en fonction de U_1 .

Nous avons signalé que le courant qui traverse une photodiode est directement proportionnel au flux lumineux (F) qu'elle reçoit, donc $F = k \cdot I$

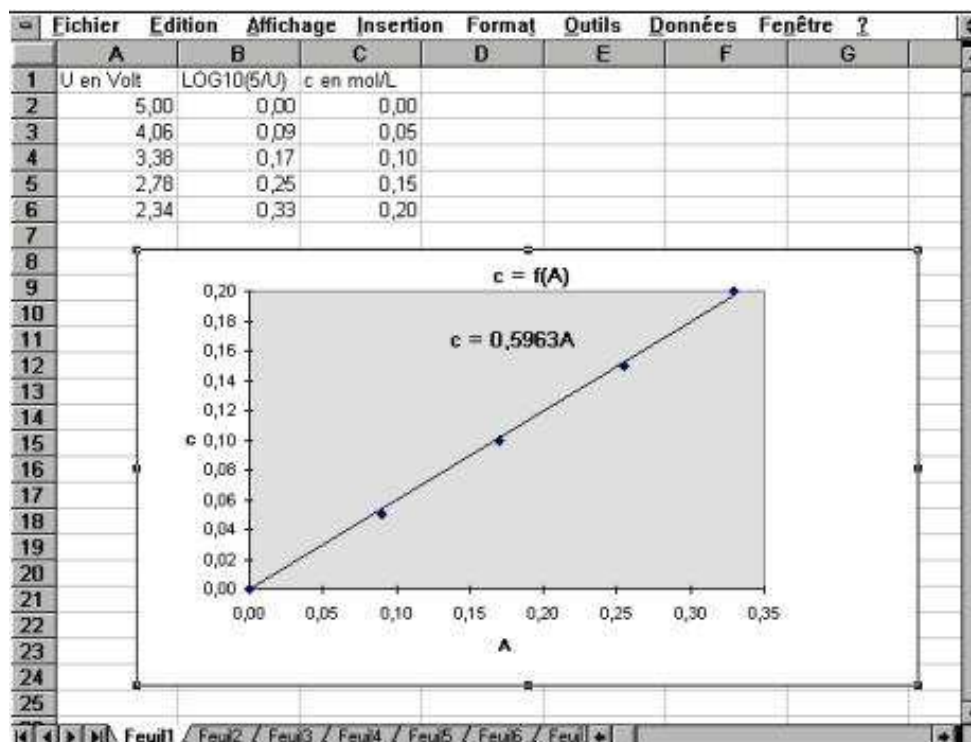
Comme :

$$F = k I \text{ et } U_1 = R I$$

alors $A = \log (U_{10}/U_1)$. Le réglage du blanc consiste à donner à U_{10} la valeur 5 V.

La relation liant A et U_1 est donc $A = \log(5 / U_1)$.

Utilisez le tableur afin d'obtenir un graphique $C = f(A)$.



La loi de Beer-Lambert est vérifiée et l'on obtient $c = 0,596 \times A$.

Finalement la relation liant c et U_1 est : $c = 0,596 \times \log(5 / U_1)$.

On peut à nouveau envisager l'utilisation d'une interface d'acquisition.

2. Transformer l'ordinateur en colorimètre

On utilise la carte d'acquisition en voie 0, sur le calibre 0 V ; + 5 V. Le classeur **Colori.xls** transforme l'ordinateur en colorimètre.

Vérifiez le fonctionnement de ce colorimètre en utilisant les solutions qui ont servi à l'étalonnage. On constate que les mesures de la concentration des solutions étalons correspondent aux valeurs attendues.

Ce colorimètre est une application pratique de la loi de Beer-Lambert.

Son domaine de validité est $c < 0,20$ mol/L. L'incertitude sur la mesure est évaluée expérimentalement avec les élèves étant donné que le modèle mathématique trouvé n'est pas linéaire.

L'incertitude sur la mesure de c, comme le domaine de validité, sont fonction de la solution utilisée pour étalonner le capteur.

3. Utilisation du colorimètre

Faites réaliser par les élèves une gamme colorimétrique et utilisez le colorimètre pour contrôler les solutions obtenues.

Les étapes du TP :

a) Réalisation d'une solution mère par pesée du produit et mise en solution.

b) Par des dilutions successives l'élève fabrique une gamme colorimétrique (faites lui rechercher les facteurs de dilution des solutions entre elles en imposant les valeurs des concentrations de la gamme à réaliser).

Chaque nouvelle solution obtenue peut être contrôlée avec le colorimètre préalablement étalonné par vos soins.

c) Utilisation de la gamme pour la recherche de la concentration d'une solution inconnue avec vérification au colorimètre.

4. Environnement nécessaire

- Soit une interface d'acquisition déjà en votre possession
- Soit la malette MPI réf. 05930
- Soit l'interface d'acquisition modulaire réf. 05940
- Soit le module d'acquisition réf. 05948
- Une alimentation +/- 15V réf. 04867
- 1 multimètre numérique réf. 01266
- Quelques cordons de raccordement

Entretien, garantie et dépannage

1. Entretien

Aucun entretien particulier n'est nécessaire au fonctionnement de votre appareil.

Toutes les opérations de maintenance ou de réparation doivent être réalisées par PIERRON EDUCATION. En cas de problème, n'hésitez pas à contacter le Service Clients.

2. Garantie

Les matériels livrés par PIERRON sont garantis, à compter de leur livraison, contre tous défauts ou vices cachés du matériel vendu. Cette garantie est valable pour une durée de 2 ans après livraison et se limite à la réparation ou au remplacement du matériel défectueux. La garantie ne pourra être accordée en cas d'avarie résultant d'une utilisation incorrecte du matériel.

Sont exclus de cette garantie : la verrerie de laboratoire, les lampes, fusibles, tubes à vide, produits, pièces d'usure, matériel informatique et multimédia.

Certains matériels peuvent avoir une garantie inférieure à 2 ans, dans ce cas, la garantie spécifique est indiquée sur le catalogue ou document publicitaire.

Le retour de matériel sous garantie doit avoir notre accord écrit.

Vices apparents : nous ne pourrions admettre de réclamation qui ne nous serait pas parvenue dans un délai de quinze jours après livraison au maximum. A l'export, ce délai est porté à un mois.

La garantie ne s'appliquera pas lorsqu'une réparation ou intervention par une personne extérieure à notre Société aura été constatée.

