**Guide Utilisateur : Spectrophotomètre Arduino AS7341**

**Votre Laboratoire de Chimie et de Physique dans un Navigateur Web**

**Page 1 : Introduction - Qu'est-ce que la Spectrophotométrie ?**

Bienvenue dans le monde fascinant de la lumière et de la matière ! L'application que vous avez sous les yeux transforme votre ordinateur et un petit microcontrôleur Arduino en un **spectrophotomètre**, un instrument scientifique puissant utilisé dans tous les laboratoires du monde.Imaginez que vous avez un verre de sirop de menthe. La lumière qui le traverse en ressort verte, car le sirop a "absorbé" certaines couleurs. Un spectrophotomètre quantifie cette absorption.

Il envoie un faisceau de lumière blanche (toutes les couleurs de l’arc-en-ciel) à travers un échantillon et mesure quelle "quantité" de chaque couleur est absorbée ou, à l'inverse, quelle quantité est transmise.

**À quoi ça sert ?**

* **En chimie :** Déterminer la concentration d'une substance dans une solution. Plus une solution est concentrée (comme un café très fort), plus elle absorbe de lumière.
* **En physique :** Analyser les propriétés des matériaux en voyant comment ils interagissent avec la lumière.
* **En biologie :** Mesurer la quantité d'ADN ou de protéines dans un échantillon.
* **Dans l'industrie :** Contrôler la couleur des peintures, des tissus, ou même des aliments.

Cette application vous met aux commandes de cet outil. Vous allez pouvoir visualiser des spectres, analyser des substances, et même comprendre le lien profond entre la lumière, la matière et la couleur.

Préparez-vous à voir l'invisible !

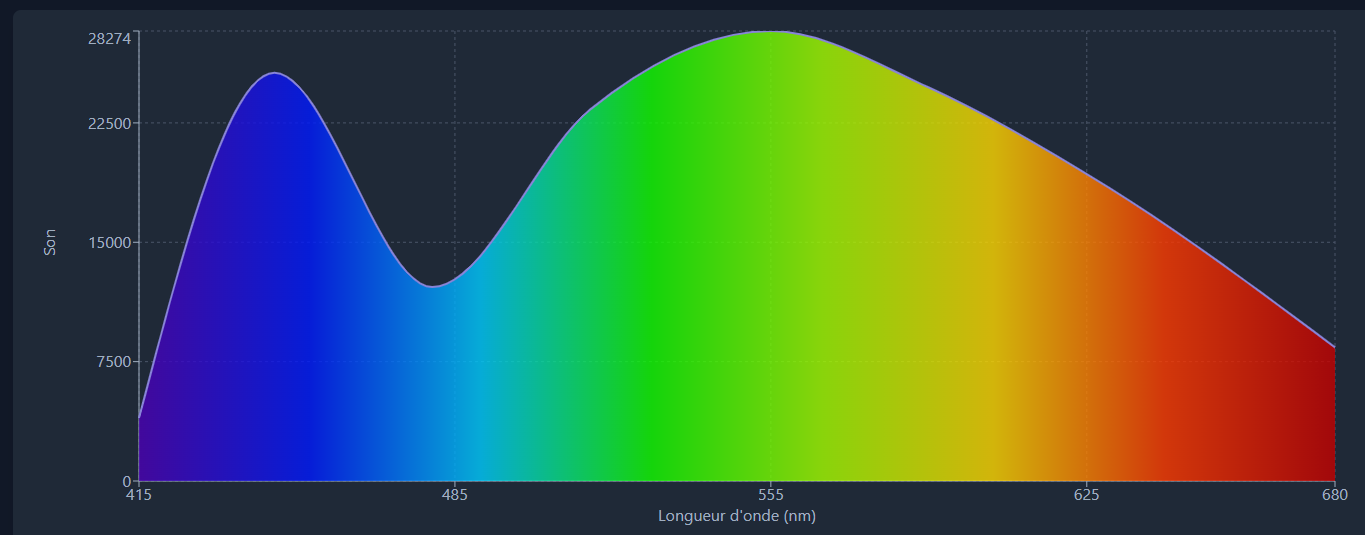


**Page 2 : Le Coin Scientifique (1/2) - Lumière, Spectre et Couleurs**

Avant de plonger dans l'application, rafraîchissons quelques concepts que vous avez vus en cours de physique.

**La Lumière Blanche et le Spectre**

La lumière blanche du soleil ou d'une ampoule n'est pas si "blanche" que ça. C'est en réalité un mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Quand on la fait passer à travers un prisme, elle se décompose en un **spectre continu**, allant du violet au rouge.



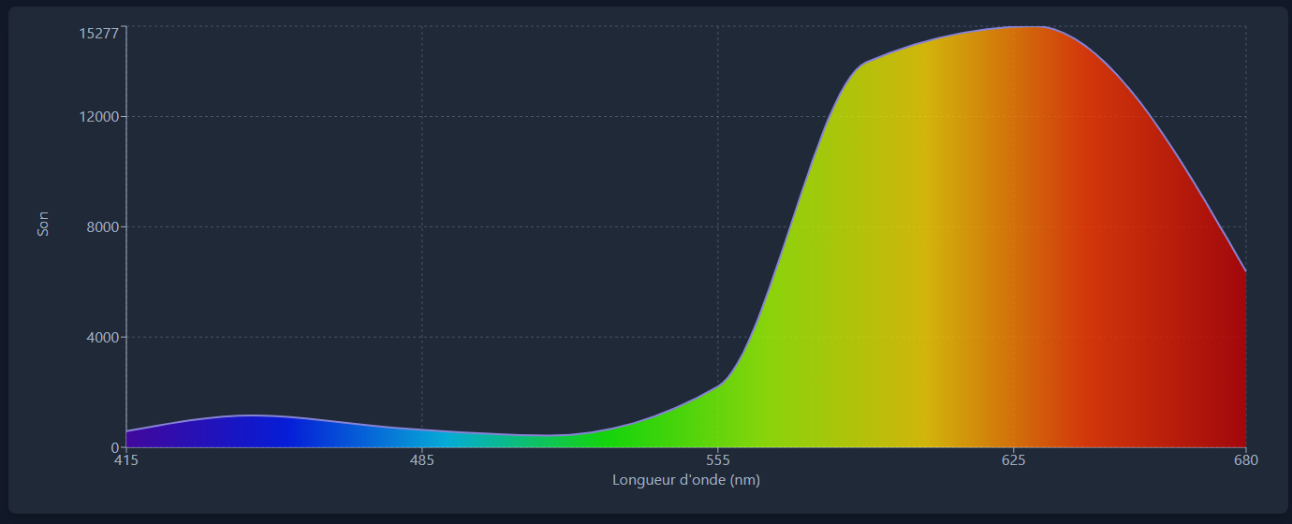
Chaque couleur correspond à une **longueur d'onde** spécifique, mesurée en nanomètres (nm). L'œil humain voit environ de 400 nm (violet) à 700 nm (rouge).

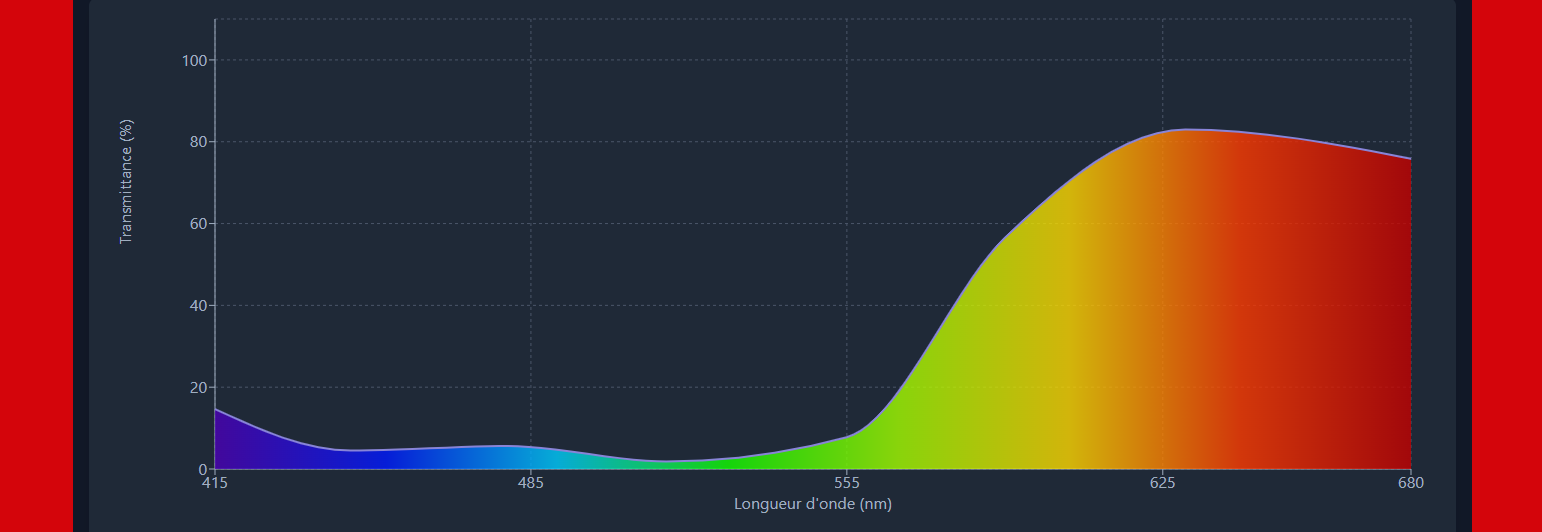
Notre capteur, l'AS7341, est comme un œil électronique. Il possède 8 "détecteurs" spécialisés, chacun sensible à une petite plage de longueurs d'onde précises : 415 nm, 445 nm, 480 nm, 515 nm, 555 nm, 590 nm, 630 nm, et 680 nm.

**Interaction Lumière-Matière**

Quand la lumière rencontre un objet (ici, votre échantillon), une fraction de la lumière passe à travers l'objet. Si 100% de la lumière passe, la transmittance est de 100%. Si la moitié passe, elle est de 50%.

**Pourquoi un gel rouge est-il rouge ?** Parce que lorsque la lumière blanche le traverse, il absorbe très fortement les longueurs d'onde du bleu et du vert, mais laisse passer (transmet) celles du rouge. Notre œil ne perçoit que la lumière qui est transmise jusqu'à lui.





**Page 3 : Le Coin Scientifique (2/2) - Absorbance, Transmittance et la Loi de Beer-Lambert**

L'application vous permet de basculer entre deux modes d'affichage : **Absorbance** et **Transmittance**. Il est crucial de comprendre la différence.

**La Transmittance (T)**

C'est le concept le plus intuitif. Elle est exprimée en pourcentage (%).

* **T = 100%** : L'échantillon est parfaitement transparent à cette longueur d'onde. Toute la lumière passe.
* **T = 0%** : L'échantillon est totalement opaque. Rien ne passe.

**L'Absorbance (A)**

L'absorbance est une mesure plus "chimique". Elle n'a pas d'unité. La relation entre les deux est logarithmique :

**A = -log₁₀(T / 100)** et **T% = 100 \* 10⁻ᴬ**

Pourquoi utiliser une échelle si compliquée ? À cause de la **Loi de Beer-Lambert**.

**Loi de Beer-Lambert (Concept Clé)**

Cette loi fondamentale, étudiée en terminale, dit une chose très simple :

**L'absorbance d'une solution est directement proportionnelle à la concentration de l’espèce chimique présente dans la solution.**

**A = ε × l × c**

* **A** : Absorbance
* **ε (epsilon)** : Une constante qui dépend de la substance (son "pouvoir" d'absorption).
* **l** : La largeur de la cuve (la distance que la lumière parcourt).
* **c** : La concentration de l’espèce chimique.

**En clair : si vous doublez la concentration de votre sirop, vous doublez son absorbance.**

C'est pour cela que les chimistes adorent l'absorbance ! Elle leur permet de mesurer des concentrations très facilement. Le graphique en mode "Absorbance" est donc l'outil de choix pour l'analyse quantitative. Le graphique en "Transmittance" est plus utile pour comprendre la couleur perçue d'un échantillon.

**Page 4 : Premiers Pas - Connexion et Étalonnage**

Passons à la pratique ! Avant de mesurer, il faut connecter l'appareil.

**1. La Connexion**

* **Sur un ordinateur (Windows, Mac, Linux) :** C'est la méthode la plus simple. Branchez votre spectrophotomètre Arduino en USB. Cliquez sur le bouton vert **"Connecter"**. Votre navigateur vous demandera l'autorisation d'accéder au port série. Choisissez le port correspondant à votre Arduino (souvent appelé COM suivi d'un numéro, ou ttyUSB...) et validez. Le bouton passera au rouge "Déconnecter", indiquant que la communication est établie.
* **Sur Android :** Les navigateurs mobiles ne supportent pas le Web Serial. Il faut utiliser une astuce : une application "pont" qui lit les données USB et les envoie via WebSocket. Dans l'application, choisissez le mode "WebSocket" et entrez l'adresse fournie par votre application pont (généralement ws://127.0.0.1:8080 ou similaire).

**2. L'Étalonnage : L'Étape la Plus Importante !**

Avant toute mesure, vous devez faire le "blanc". Cela consiste à dire à l'appareil à quoi ressemble une transmittance de 100% (ou une absorbance de 0).

* Placez dans le spectrophotomètre une cuve contenant uniquement votre **solvant** (par exemple, de l'eau distillée si vous analysez des sirops à l'eau).
* Cliquez sur le bouton **"Zéro Absorbance"**.

L'application envoie une commande à l'Arduino, qui mesure l'intensité lumineuse à travers le solvant pur et l'enregistre comme sa référence "100%". Toutes les mesures suivantes seront comparées à cette référence.

**Pensez-y comme à la fonction "tare" sur une balance de cuisine.** Vous posez d'abord le bol vide et appuyez sur "tare" pour que la balance affiche 0g. Ensuite, vous ajoutez vos ingrédients pour ne peser que leur masse. Ici, c'est pareil : on "annule" l'effet du solvant pour ne mesurer que l'effet de la substance qui nous intéresse.

**Page 5 : L'Interface Principale - Visualiser le Spectre**

Une fois connecté et étalonné, vous verrez le spectre s'afficher en temps réel.

[Capture d'écran de l'interface principale, montrant le grand graphique du spectre, avec les différentes zones numérotées.]

1. **Le Graphique du Spectre**

C'est le cœur de l'application.

* **Axe des X (horizontal) :** La longueur d'onde en nanomètres (nm).
* **Axe des Y (vertical) :** Soit l'absorbance, soit la transmittance en %.  
  La courbe montre la "signature" de votre échantillon. Les pics d'absorbance indiquent les couleurs que l'échantillon absorbe le plus.

1. **Le Sélecteur de Mode (Absorbance / Transmittance)**

Ce bouton, situé sous le graphique, vous permet de basculer l'affichage de l'axe Y entre les deux modes.

* **Transmittance :** Idéal pour voir quelle couleur "ressort" de l'échantillon. L'axe va de 0 à 100% avec des graduations claires tous les 20%.
* **Absorbance :** Le mode scientifique pour l'analyse quantitative. L'axe s'ajuste automatiquement à la valeur maximale mesurée, vous permettant de voir tous les détails de votre spectre, même pour des solutions très concentrées.

**3. Mémoriser un Spectre et le Score de Ressemblance**

* **Bouton "Mémoriser Spectre" :** En cliquant dessus, vous "photographiez" le spectre actuel. Il s'affichera alors en pointillés jaunes sur le graphique, superposé au spectre en temps réel. C'est extrêmement utile pour comparer un échantillon inconnu à une référence.
* **Score de Ressemblance :** Ce score, en pourcentage, vous dit à quel point la *forme* du spectre actuel ressemble à celle du spectre mémorisé. Un score de 100% signifie que les deux courbes sont parfaitement superposables. C'est un moyen mathématique (appelé similarité cosinus) de quantifier la ressemblance entre deux "signatures" spectrales.

**Page 6 : Identifier un Échantillon - La Base de Données**

Votre spectrophotomètre est fourni avec une base de données interne de spectres de référence (ici, des feuilles de plastique colorées de différents fabricants).

* 1. **Activer la Recherche**

Sous le graphique, cochez la case **"Rechercher dans la base de données"**. Un tableau apparaît.

* 1. **Le Tableau de Résultats**

Ce tableau compare en permanence le spectre de votre échantillon à tous les spectres de la base de données. Il vous affiche les 5 correspondances les plus probables, classées par ordre de score.

* **Rang :** La position dans le classement.
* **Fournisseur / Couleur :** L'identité de l'échantillon de référence.
* **Score :** Le score de ressemblance (similaire à celui du spectre mémorisé).



* 1. **Comparaison Visuelle**

Cliquez sur une ligne du tableau. Magique ! Le spectre de cette référence s'affiche en pointillés cyan sur le graphique principal. Vous pouvez ainsi comparer visuellement votre mesure avec le meilleur résultat de la base de données. Pour désélectionner, cliquez sur l'en-tête du tableau.

Cette fonctionnalité transforme votre appareil en un outil d'identification. Si vous avez une feuille de plastique inconnue, vous pouvez potentiellement retrouver son origine et sa couleur exacte grâce à cette recherche.

**Page 7 : Voir la Couleur - L'Approximation Visuelle**

Un spectre, c'est un peu abstrait. Et si on pouvait "voir" la couleur correspondante ?

* 1. **Activer la Fonctionnalité**

À côté de la case de recherche, cochez **"Couleur approchée à partir du spectre"**.

* 1. **Les Bandes de Couleur**

Observez les deux bandes verticales sur les côtés de l'écran. Elles changent de couleur en temps réel pour refléter la couleur perçue de la lumière qui traverse votre échantillon.

**Comment ça marche ?**

L'application utilise une astuce inspirée du fonctionnement de nos yeux et des écrans. Nos yeux ont des récepteurs pour le Rouge, le Vert et le Bleu (RVB). L'application regarde la quantité de lumière transmise à trois longueurs d'onde clés :

* **630 nm** pour la composante **Rouge**.
* **515 nm** pour la composante **Verte**.
* **445 nm** pour la composante **Bleue**.

Elle combine ensuite ces trois intensités pour créer une couleur RVB, celle que vous voyez sur les bandes. Si votre échantillon transmet beaucoup de rouge mais très peu de vert et de bleu, les bandes deviendront rouges. C'est une manière simple et directe de traduire un graphique complexe en une information que notre cerveau comprend instantanément : la couleur.

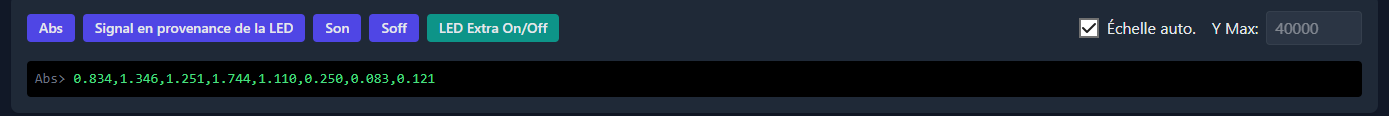


**Page 8 : Mode Expert - Le Panneau de Contrôle**

Pour les plus curieux qui veulent voir "sous le capot", il y a un mode de contrôle avancé.

* 1. **Accéder au Panneau**

Cliquez sur l'icône en forme de **roue crantée** dans l'en-tête (elle n'est active que si vous êtes connecté). Les panneaux du bas disparaissent et un nouveau panneau de contrôle apparaît au-dessus du graphiqe.



**2. Commandes Directes du Microcontrôleur**

Ce panneau vous permet d'envoyer des commandes directement à l'Arduino et de voir les données brutes des capteurs, sans aucun traitement.

* **Abs / Signal LED / Son / Soff :** Ces boutons demandent des types de données différents. Par exemple, "Signal LED" vous montre l'intensité brute lue par les capteurs quand la LED d'éclairage est allumée. "Soff" vous montre le signal quand elle est éteinte (la lumière ambiante). "Abs" est la commande standard pour obtenir les valeurs d'absorbance. Le graphique s'adapte pour afficher ces données brutes.
* **LED Extra On/Off :** Contrôle une LED auxiliaire sur le montage, si elle existe.

1. **Le "Terminal"**

La ligne de texte en bas du panneau vous montre la chaîne de caractères exacte envoyée par l'Arduino via le port série. C'est un excellent outil de débogage pour voir les données telles qu'elles arrivent. L'invite (Abs>, Signal LED>, etc.) vous indique quelle commande a généré ces données.

1. **Contrôle du Graphique**

Vous pouvez ici désactiver la mise à l'échelle automatique de l'axe Y et fixer manuellement une valeur maximale, ce qui peut être utile pour comparer des signaux de faible amplitude.

1. **Quitter le Mode Expert**

Cliquez à nouveau sur la roue crantée ou sur le bouton "Fermer". L'application enverra automatiquement la commande "Abs" à l'appareil et reviendra en mode d'affichage "Transmittance", prête pour une utilisation standard.

**Page 9 : Dépannage et Bonnes Pratiques**

Même avec les meilleurs outils, on rencontre parfois des soucis. Voici quelques pistes.

**"L'API Web Serial n'est pas supportée"**

* **Cause :** Vous utilisez un navigateur incompatible comme Firefox, Safari, ou un navigateur sur mobile.
* **Solution :** Utilisez un navigateur basé sur Chromium comme Google Chrome, Microsoft Edge ou Opera sur un ordinateur.

**"Je ne vois pas mon port série dans la liste"**

* **Cause :** Le pilote de l'Arduino n'est peut-être pas installé, ou le câble USB est défectueux.
* **Solution :** Assurez-vous que l'Arduino est bien reconnu par votre système d'exploitation. Essayez un autre câble ou un autre port USB.

**"Les valeurs d'absorbance sont bizarres ou négatives"**

* **Cause :** Vous avez probablement oublié de faire le "zéro" ou votre "blanc" a changé (par exemple, le solvant s'est évaporé ou a été contaminé). Une absorbance négative signifie que votre échantillon transmet *plus* de lumière que votre référence, ce qui peut arriver en cas de fluorescence.
* **Solution :** Refaites systématiquement le "zéro" avec un échantillon de solvant frais avant chaque nouvelle série de mesures.

**Erreur "WritableStream is locked"**

* **Cause :** C'est un bug qui pouvait survenir lors de l'envoi de commandes.
* **Solution :** Cette version de l'application contient un correctif pour ce problème. Si vous le rencontrez, rafraîchir la page devrait suffire.

**Bonnes Pratiques**

* **Propreté :** Utilisez toujours des cuves propres et sans rayures. Une trace de doigt peut fausser complètement une mesure !
* **Cohérence :** Placez toujours la cuve dans le même sens dans le porte-cuve.
* **Étalonnage :** Faites le "zéro" régulièrement, surtout si la température de la pièce change.

**Page 10 : Conclusion - À Vous de Jouer !**

Vous avez maintenant toutes les clés en main pour utiliser ce spectrophotomètre web. Cet outil, bien plus qu'un simple visualiseur de données, est une porte d'entrée vers l'expérimentation scientifique.

Ne vous contentez pas de suivre un protocole. Soyez curieux !

* Testez différentes concentrations de sirop ou de colorant alimentaire. Pouvez-vous vérifier la loi de Beer-Lambert en traçant la courbe de l'absorbance en fonction de la concentration ?
* Analysez le spectre de la chlorophylle en écrasant une feuille d'épinard dans un peu d'alcool.
* Comparez le spectre d'une boisson light à celui de sa version sucrée.
* Utilisez la base de données pour tenter d'identifier des objets du quotidien.

La science est avant tout une affaire d'exploration et de questionnement. Cette application est votre terrain de jeu. Expérimentez, analysez, comprenez, et surtout, amusez-vous