

Conception et réalisation d'un spectrocolorimètre

par G. GALLIN-MARTEL et S. RENAUDAT
Lycée Charles Baudelaire - 74960 Cran-Gevrier

1. RAPPELS D'ÉLECTRICITÉ

1.1. Loi des nœuds

1.2. Loi des mailles

1.3. Étude d'une diode

- Faire le schéma du montage permettant de tracer la caractéristique d'une diode.
- Le faire vérifier.
- Réaliser ce montage, le faire vérifier.

Tableau de mesures

i (mA)						50
U (V)	0					

- Tracer la caractéristique courant-tension de ce dipôle.

Il existe une fonction mathématique appelée **exponentielle** que vous trouverez sur votre calculette :

$$e^x \text{ ou } \exp(x).$$

- Tracer e^x en fonction de x pour $-2,4 \leq x \leq 2,4$ (x variant de 0,4 en 0,4).

La caractéristique d'une diode présente des similitudes avec ce graphique, on peut montrer que c'est une fonction exponentielle de la forme $i = I_0 e^{kU}$. En prenant deux points A et B de la caractéristique de la diode, trouvez k .

Vous pouvez en effet établir :

$$k = \frac{1}{U_A - U_B} \ln \frac{i_A}{i_B}$$

sachant qu'il existe une fonction logarithme notée $\ln$ telle que $\ln e^x = x$ (avec votre calculatrice, retrouvez $\ln e^x = x$).

Posons $e^x = a$ et $e^y = b$.

On a :

$$\ln \frac{a}{b} = \ln \frac{e^x}{e^y} = \ln e^{x-y} = x - y = \ln e^x - \ln e^y = \ln a - \ln b$$

$$\ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$$

- En déduire k .
- Vérifier cette valeur avec un troisième point C.
- Quelle est l'unité de k dans le système international ?

2. AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL

2.1. Généralités

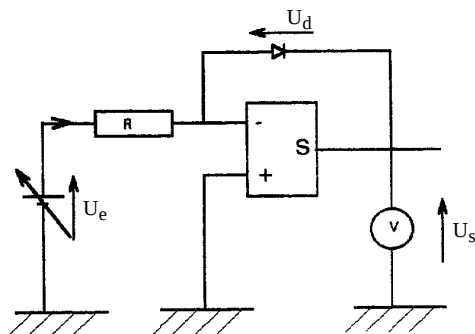
2.2. Montage suiveur

2.3. Montage soustracteur

2.4. Montage convertisseur logarithmique

2.4.1. Fonction logarithme népérien

2.4.2. Montage



$R = 1 \text{ k}\Omega$

2.4.3. Étude théorique

$$\begin{cases} u_e = R \cdot i_1 = R \cdot I_o \cdot e^{ku_d} \\ u_s = -u_d \end{cases} \quad (\text{cf chapitre 1.})$$

$$\Rightarrow u_e = R \cdot I_o \cdot e^{-ku_s}$$

$$\Rightarrow \frac{u_e}{R \cdot I_o} = e^{-ku_s} \Rightarrow \ln \frac{u_e}{R \cdot I_o} = -k \cdot u_s \quad \boxed{u_s = -\frac{1}{k} \ln \frac{u_e}{R \cdot I_o}}$$

2.4.4. Vérification expérimentale

U_e est fourni par un générateur de tension continue réglable entre 0 et 10 V.

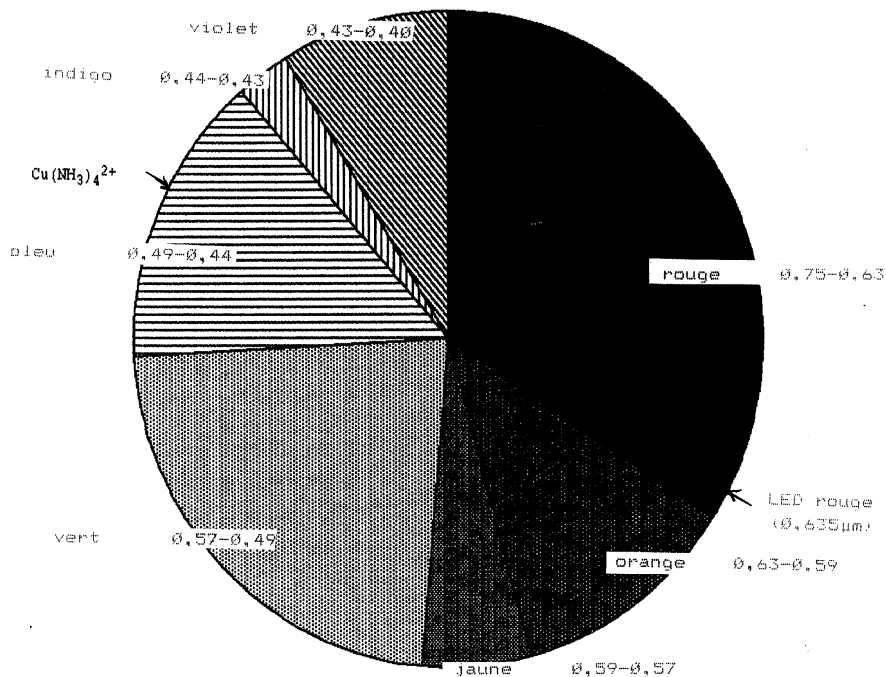
- Faire varier U_e de 1 à 10 V.
- Mesurer U_s .
- Tracer $U_s = f(\ln U_e)$.

$U_e(\text{V})$	
$U_s(\text{V})$	
$\ln U_e$	

- Calculer la pente p de la droite.
- Comparer p et $1/k$, (k trouvé en 1.3.).
- Conclure.

SPECTRE CONTINU DE LA LUMIERE BLANCHE (λ en μm)

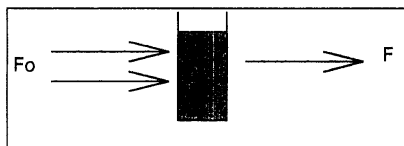
Pour que l'absorption soit maximale, la solution colorée doit être éclairée par une radiation lumineuse de la couleur complémentaire. Ainsi la couleur de la solution colorée et la couleur de la radiation lumineuse adéquate sont diamétralement opposées.



3. LES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS DE LA CHAÎNE ÉLECTRONIQUE CONSTITUANT LE SPECTROCOLORIMÈTRE

3.1. Notions sommaires de spectrocolorimétrie

La cuve contient une solution colorée et diluée. F_0 est le flux lumineux incident. F est le flux lumineux transmis $F \leq F_0$. Une solution colorée absorbe les photons de lumière de couleur complémentaire.



La transmittance est : $T = \frac{F}{F_0}$.

La densité optique de la solution colorée ou **absorbance** est :

$$D = -\log T$$

$D = 0$ pour une solution incolore :

$$\log x = \frac{\ln x}{2,3} \quad \text{donc} \quad D = -\frac{1}{2,3} \ln T = -\frac{1}{2,3} \ln \frac{F}{F_0} = \frac{1}{2,3} \ln \frac{F_0}{F}$$

Loi de Beer-Lambert : $D = \epsilon.l.c$

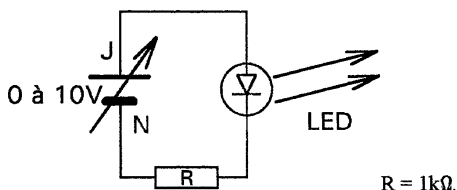
c : concentration molaire de la solution en mol.l^{-1} .

l : longueur traversée par la radiation lumineuse.

ϵ : coefficient d'extinction molaire dépend de λ et $\theta^\circ\text{C}$.

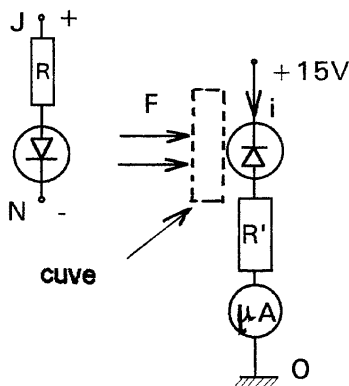
3.2. La source de lumière monochromatique

C'est une LED haute luminosité rouge ($\lambda_R = 0,635 \mu\text{m}$).



– Rechercher la couleur de la solution qui absorbera la radiation émise par la LED.

3.3. Le capteur de lumière ; la photodiode



$R' = 270 \text{ k}\Omega$.

Ampèremètre : calibre $200 \mu\text{A}$.

– Vérifier la proportionnalité entre i et F : $i = k' \cdot F$.

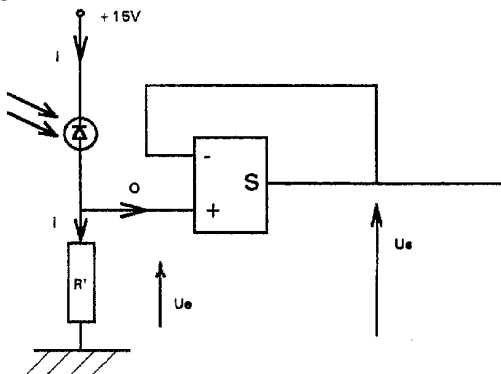
3.4. L'étage suiveur

a - But

On veut une tension U_e proportionnelle au flux lumineux F transmis par la solution étudiée S .

Il faut donc U_e proportionnelle à l'intensité de courant i dans la photodiode. $U_e = R' i$.

b - Montage



Identifier ce montage :

- Donner la relation entre U_s et U_e .
- Donner la relation entre U_s et F .

3.5. L'étage convertisseur logarithmique

Le spectrocromètre doit nous permettre de mesurer D . $U_e = U_s$ est proportionnel à i et donc proportionnel à F . On veut U'_s proportionnel à $\ln F$ donc proportionnel à $\ln U_e$. Il faut un montage qui convertisse U_e en $\ln U_e$. **Proposer un montage.**

Calcul de la densité optique D

– On raccorde les trois premiers maillons de la chaîne : capteur, suiveur, convertisseur logarithmique. **Faire le schéma.**

– On appelle U_s la tension de sortie du suiveur et U'_s la tension de sortie du convertisseur logarithmique.

– On choisit une solution colorée S.

– On introduit la solution de référence (eau) So dans la cuve.

L'intensité du courant dans la photodiode est i_o .

La tension à l'entrée du convertisseur logarithmique est $U_{eo} = U_{so}$.

La tension de sortie est :

$$U'_{so} = -\frac{1}{k} \ln \frac{U_{eo}}{R \cdot I_o}.$$

– On introduit la solution colorée à étudier S dans la cuve.

L'intensité du courant dans la photodiode est i .

La tension à l'entrée du convertisseur logarithmique est $U_e = U_s$.

La tension de sortie est :

$$U'_s = -\frac{1}{k} \ln \frac{U_e}{R \cdot I_o}.$$

$$\text{– On a :} \quad U'_s - U'_{so} = -\frac{1}{k} \left(\ln \frac{U_e}{R \cdot I_o} - \ln \frac{U_{eo}}{R \cdot I_o} \right)$$

$$= -\frac{1}{k} \ln \frac{U_e}{U_{eo}} = \frac{1}{k} \ln \frac{U_{eo}}{U_e}$$

$$\text{D'autre part :} \quad D = \frac{1}{2,3} \ln \frac{F_0}{F} = \frac{1}{2,3} \ln \frac{i_o}{i}$$

$$\boxed{D = \frac{1}{2,3} \ln \frac{U_{eo}}{U_e}}$$

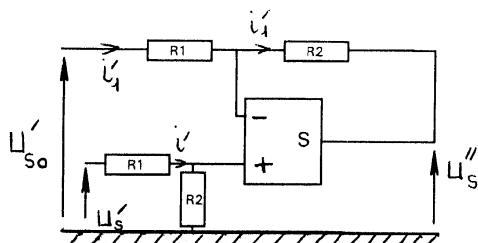
$$\text{donc :} \quad D = \frac{k}{2,3} (U'_s - U'_{so})$$

d'où la nécessité, si l'on veut mesurer D, d'ajouter un quatrième maillon à la chaîne.

Dans cet étage U'_{so} sera retranché à U'_s . C'est le rôle de **l'amplificateur de différence**.

3.6. L'étage : amplificateur de différence

3.6.1. Montage



3.6.2.

a - Établir la relation entre U''_s , U'_s et U'_{so}

$$U''_s = \frac{R_2}{R_1} (U'_s - U'_{so})$$

On veut $U''_s = D$.

b - Valeur de R_2

On sait que $D = \frac{k}{2,3} (U'_s - U'_{so})$ donc $R_2 = \frac{kR_1}{2,3}$

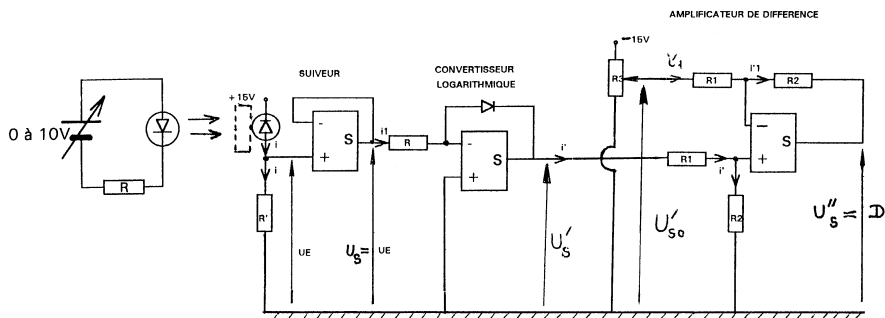
$$k = 20,5 \text{ V}^{-1} \quad R_1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 90 \text{ k}\Omega$$

4. RÉALISATION DU SPECTRO

4.1. Montage définitif

Relier les quatre maillons de la chaîne.

ATTENTION ! : Faire vérifier votre montage avant tout branchement.



$R' = 270 \text{ k}\Omega$.

$R = 1 \text{ k}\Omega$.

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$.

$R_2 = 90 \text{ k}\Omega$.

Photodiode BPW 34.

R_3 trimmer multitours : $20 \text{ k}\Omega$.

diode 1 A.

LED haute luminosité rouge.

Les boîtes de TIC-TAC font d'excellentes cuves.

3 A.O. 741.

4.2. Préparation des solutions

Vous disposez d'une solution S1 de sulfate de cuivre ammoniacal de concentration $c \text{ mol/l}$. (2 ml de CuSO_4 0,1 mol/l, 6 ml NH_3 0,1 mol/l, 9 ml H_2O , 1 g de NH_4NO_3).

– Préparez :

- une solution S2 de concentration $c/2 \text{ mol/l}$,
- une solution S3 de concentration $c/4 \text{ mol/l}$.

4.3. Mesures

– Placer la solution de référence (eau) dans la cuve :

$$U'_s = U'_{so}.$$

– Régler le potentiomètre R_3 pour que $D = 0$.

– Placer S1 dans la cuve.

– Mesurer D par lecture directe d'un voltmètre placé à la sortie du dernier étage.

– Même chose avec $S2$ et $S3$.

S	S1	S2	S3
D			

4.4. Tracer $D = f(c)$

4.5. Conclusion

– La loi de Beer-Lambert est-elle vérifiée ?