

Extrait du livre

du professeur



Introduction

L'objectif de ce chapitre peut être posé sous forme de situation problème :
« Comment réaliser un générateur réglable, délivrant une tension continue (de 0 à 12 V par exemple), à partir d'un générateur délivrant une tension continue fixe égale à 12 V ? »

On procède par étapes successives, en montrant les limites d'utilisation de chaque étape et la nécessité de l'étape suivante.

Activité 1

Le diviseur de tension

a. Diviseur de tension simple

C'est une simple application des lois des circuits vues dans les chapitres précédents : loi des branches, loi des noeuds et loi d'Ohm.

- Avantage : simplicité de réalisation de n'importe quelle valeur de tension dans un domaine $[0, U_{\max}]$.
- Inconvénient : on ne peut obtenir qu'une seule tension et il faut refaire le calcul et le montage pour obtenir une autre valeur.

Questions :

1. $R_{\text{equiv}} = R_1 + R_2 = 1,0 + 0,47 = 1,47 \text{ k}\Omega$.
2. On trouve naturellement :

$$\frac{U_{BC}}{U_{AC}} = \frac{R_2}{R_{\text{equiv}}}$$

En permutant les conducteurs ohmiques, on obtient le même résultat.

3. Il est très difficile d'obtenir n'importe quelle valeur de tension entre 0 et E avec ce montage, puisqu'il faut calculer les valeurs de R_1 et R_2 à chaque fois...

b. L'échelle de tension

On obtient une gamme de tensions continues (toujours sur le même domaine $[0, U_{\max}]$) avec un pas de progression constant.

- Avantage : on obtient une gamme de tensions avec un pas constant.
- Inconvénient : on ne peut pas non plus (sauf en employant un grand nombre de « résistances ») réaliser toutes les valeurs entre 0 et U_{\max} .

Questions :

1. Les conducteurs ohmiques (de même résistance) étant montés en série, les tensions aux bornes de chacune

d'elles sont égales : le « pas » de progression de la tension est constant entre 0 et E .

2. Le « pas » de progression dépend du nombre de « barreaux ».
3. On ne peut toujours pas obtenir toutes les valeurs de tension entre 0 et E , mais des valeurs fixes, régulièrement espacées...
4. Pour obtenir un pas de progression de 0,10 V entre 0 et 12,0 V, il faut 120 conducteurs ohmiques disposés en série !

Activité 2

Le montage potentiométrique

On remplace la série de conducteurs ohmiques précédentes par un potentiomètre, et on réalise toutes les valeurs entre 0 et U_{\max} .

- Avantage : un seul composant est employé et le montage est très simple (on améliore la précision avec un potentiomètre multitours).
- Inconvénient : si l'appareil d'utilisation (connecté en sortie du potentiomètre) est traversé par une intensité qui n'est pas négligeable devant celle qui traverse le potentiomètre, le montage n'est plus satisfaisant : il n'y a plus de proportionnalité entre la tension du montage et la position du curseur du potentiomètre.

Montage à vide : il y a toujours proportionnalité entre la position du curseur du potentiomètre et la tension de sortie du montage.

Montage en charge : la proportionnalité précédente fonctionne bien pour $R_u = 4,7 \text{ k}\Omega$, correctement pour $R_u = 470 \Omega$ et plus du tout pour $R_u = 47 \Omega$.

Il faut $R_u \gg R$ pour que le montage potentiométrique conserve sa linéarité.

Activité 3

Amélioration du montage

L'étage de correction peut être fait :

- avec un suiveur à ampli. op. : il ne fonctionnera bien que si l'on emploie un ampli. op. de puissance (capable de délivrer une intensité atteignant 1 A) assez coûteux, sinon on sera ramené au cas précédent !
- avec un suiveur à transistor.

Le choix du transistor est justifié par le faible coût et par la (relative) simplicité de compréhension du transistor dans cette situation.

Questions :

1. Cette partie est destinée à montrer que le critère décisif pour les limites de fonctionnement de l'alimentation potentiométrique est l'intensité du courant dans l'appareil de sortie. Sans modifier la position du curseur du rhéostat, on fait varier I dans la lampe à l'aide du rhéostat R . Au début, on a bien proportionnalité entre U_{KJ} et la position du curseur, puis plus du tout quand I augmente.

2. Le suiveur à transistor permet de restaurer le fonctionnement convenable du montage (jusqu'à une certaine limite bien sûr !). Il ne s'agit pas, dans cette activité, de faire une étude théorique du transistor, mais de vérifier qu'il permet effectivement de pallier le défaut constaté précédemment.

Un modèle NPN, type 2N 1711, bon marché, suffit amplement (sans même nécessiter de radiateur de refroidissement).

Un exercice est prévu si l'on veut permettre aux élèves les plus rapides d'approfondir : il est faisable avec les lois connues des circuits et les seules données de renseignements :

$$U_{BE} = 0,6 \text{ V et } I_E = I_C + I_B.$$

L'essentiel

Il s'agit pour les élèves de retenir, sinon les formules, du moins les schémas généraux des montages des différentes étapes, pour les réutiliser dans des chapitres ou manipulations ultérieures :

- **diviseur de tension simple** : quadripôle avec une tension fixe à l'entrée et une tension réglable en sortie ;
- **échelle de tension** : association série de n conducteurs ohmiques identiques avec augmentation régulière (à « pas » constant) de la tension de sortie (mesurée à partir du point choisi comme référence des potentiels) ;
- **montage potentiométrique** : retenir le mode de branchement du potentiomètre avec bornes d'entrées (I et J) et bornes de sortie (K et J) et bien faire la différence entre potentiomètre (quadripôle) et rhéostat (dipôle branché entre I et K) ;

- **montage avec suiveur** : retenir la position de l'étage suiveur, quadripôle intercalé entre la sortie du potentiomètre et l'appareil d'utilisation.

Exercices

1 Le diviseur de tension

a. Les deux dipôles étant montés en série, on a :

$$R_{AC} = R_1 + R_2 = 220 + 47 = 267 \Omega.$$

b. En appliquant la loi d'Ohm au dipôle AC équivalent, on écrira :

$$U_{AC} = R_{\text{equiv}} I \Leftrightarrow I = \frac{U_{AC}}{R_{\text{equiv}}}$$

soit $I = 10,0/267 = 37,5 \times 10^{-3} \text{ A} = 37,5 \text{ mA}$.

c. En appliquant à nouveau la loi d'Ohm aux deux dipôles AB et BC , on a :

$$U_1 = U_{AB} = R_1 I = 220 \times 37,5 \times 10^{-3} = 8,25 \text{ V}.$$

$$U_2 = U_{BC} = R_2 I = 47 \times 37,5 \times 10^{-3} = 1,76 \text{ V}.$$

d. On peut calculer les rapports ci-dessous :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{8,25}{1,76} = 4,69 \text{ et } \frac{R_1}{R_2} = \frac{220}{47} = 4,68 \Leftrightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Les tensions aux bornes des deux conducteurs ohmiques sont proportionnelles aux résistances de ces dipôles.

2 L'alimentation potentiométrique

a. Dans un potentiomètre rectiligne, la résistance de chaque portion est proportionnelle à sa longueur, donc :

$$r' = 2r.$$

Et comme $r + r' = R = 100 \Omega$, on en déduit $3r' = R$, donc : $r = 33,3 \Omega$ et $r' = 66,7 \Omega$.

b. On applique la loi d'Ohm au dipôle IJ :

$$U_{IJ} = RI \Leftrightarrow I = \frac{U_{IJ}}{R} \text{ soit } I = 24,0/100 = 0,24 \text{ A}.$$

c. On applique, à nouveau, la loi d'Ohm à chaque dipôle :

$$U_1 = U_{IK} = r' I = 66,7 \times 0,24 = 16 \text{ V}.$$

$$U_2 = U_{KJ} = r I = 33,3 \times 0,24 = 8,0 \text{ V}.$$

$$\text{d. } \frac{U_1}{U_2} = \frac{16}{8} = 2,0 \text{ et } \frac{R_1}{R_2} = \frac{66,7}{33,3} = 2,0 \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

e. Les deux dipôles sont montés en parallèle ; on écrira donc :

$$\frac{1}{R_{\text{equiv}}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{R_u} \Leftrightarrow R_{U\text{equiv}} = \frac{R_u \cdot r}{R_u + r} \\ = (47 \times 33,3) / (47 + 33,3) = 19,5 \Omega.$$

La résistance totale de la branche IJ est alors

$$R_{IJ\text{equiv}} = r' + R_{KJ\text{equiv}} = 66,7 + 19,5 = 86,2 \Omega.$$

f. L'intensité I' débitée par le générateur s'obtient encore par application de la loi d'Ohm :

$$U_{IJ} = R_{IJ\text{equiv}} I' \Leftrightarrow I' = \frac{U_{IJ}}{R_{IJ\text{equiv}}},$$

soit $I = 24,0/86,2 = 0,28 \text{ A}$.

g. Les tensions, aux bornes de chaque portion du potentiomètre sont alors :

$$U_1 = U_{JK} = r'I' = 66,7 \times 0,28 = 18,7 \text{ V.}$$

$$U_2 = U_{IJ} - U_1 = 24,0 - 18,7 = 5,3 \text{ V.}$$

En formant le rapport U_1/U_2 , on obtient :

$$U_1/U_2 = 18,7/5,3 = 3,5, \text{ alors que } r'/r = 2.$$

Il n'y a plus proportionnalité entre la position du curseur et la tension obtenue : l'alimentation potentiométrique ne fonctionne plus correctement dans ce cas.

3 Le montage suiveur

a. Il suffit d'appliquer la loi d'Ohm au dipôle KB :

$$U_{KB} = R_b I_b = 1000 \times 1,4 \times 10^{-3} = 1,4 \text{ V.}$$

b. Des deux équations décrivant le comportement du transistor, on déduit :

$$I_e = I_b + 100I_b = 101I_b = 101 \times 1,4 \times 10^{-3} = 0,141\text{A} = 141 \text{ mA.}$$

La tension U_{EM} s'obtient encore par application de la loi d'Ohm : $U_{EM} = R_u I_e = 100 \times 141 \times 10^{-3} = 14,1 \text{ V.}$

c. La loi des branches, appliquée à la branche KJ , permet d'écrire :

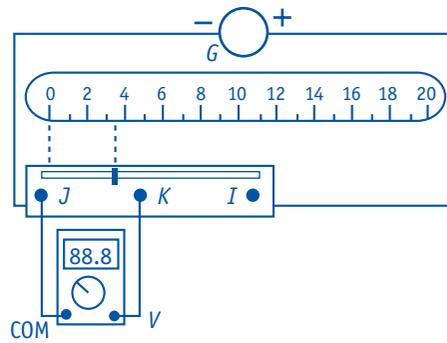
$$U_{KJ} = U_{KB} + U_{BE} + U_{EM} + U_{MJ} = 1,4 + 0,7 + 14,1 + 0 = 16,2 \text{ V,}$$

(la tension aux bornes du fil de connexion MJ est négligeable).

d. On déduit alors $U_{IK} = U_{IJ} - U_{KJ} = 24,0 - 16,2 = 7,8 \text{ V.}$

e. $R_{IK}/R_{IJ} = 30/70 = 0,43$ et $U_{IK}/U_{KJ} = 7,8/16,2 = 0,48.$

Grâce au transistor, l'alimentation potentiométrique fonctionne comme si aucun dipôle n'était connecté à sa sortie : il y a proportionnalité entre les résistances et les tensions.



On utilise un potentiomètre linéaire (de type « A » et non « B », qui est logarithmique) à glissière monté sur un profilé en U et un double-décimètre comme schématisé ci-dessus :

– on fait tracer la courbe $L = f(U_{KJ})$ et on vérifie qu'elle est de type affine ;

– on place une butée à l'extrémité de la course du potentiomètre, en face du point J et on insère un objet entre cette butée et le curseur K du potentiomètre ;

– on déduit de la tension mesurée et de la courbe d'étalonnage précédente une mesure de la longueur, L , de l'objet.

On peut transformer la fonction f précédente en fonction linéaire de pente égale à 1 (comme dans le chapitre d'évaluation sur la cuve rhéographique) en ajoutant :

– un étage d'amplification qui modifie le coefficient directeur de la courbe ;

– un étage diviseur de tension qui soustrait la valeur de l'ordonnée à l'origine de la fonction f .

Le voltmètre affiche alors directement la valeur de L (au choix en cm ou en mm). On a bien réalisé un décimètre à affichage numérique.

Activité supplémentaire

Un prolongement de ce chapitre (et du chapitre sur l'amplification) peut être fait en réalisant un décimètre numérique.

Introduction

L'objectif de ce chapitre est double :

- réutiliser un montage optique avec émetteur et récepteur analogue à celui utilisé dans le lecteur de codes-barres ;
- compléter l'enseignement de Sciences Physiques du tronc commun, dans lequel on détermine la concentration d'une solution colorée par comparaison avec une échelle de teintes préalablement réalisée.

Pré-requis

Les notions suivantes auront été traitées au préalable dans l'enseignement de tronc commun :

- mole et quantité de matière ;
- concentration molaire volumique d'une espèce en solution.

Activité 1

Le montage

a. Choix de la source lumineuse

La couleur de la source dépend naturellement de la couleur de la solution absorbante choisie : la solution de sulfate de cuivre II absorbant les radiations lumineuses visibles rouges, on peut choisir une DEL rouge.

1. On a :

$$U_G = U_R + U_{DEL} \Leftrightarrow U_R = U_G - U_{DEL} = 10,0 - 1,8 = 8,2 \text{ V},$$

puis : $R_P = U_R / I = 8,2 / 0,010 = 8,2 \times 10^2 \text{ } \Omega$.

2. La DEL émet dans le domaine [650 nm, 660 nm] et dans ce domaine de longueurs d'onde, la photodiode fonctionne puisqu'elle répond partiellement à la lumière reçue : on peut employer ce composant même si sa réponse n'est que partielle (mais non nulle) à la lumière reçue.

b. Le montage complet

1. On utilise un seul générateur pour alimenter le circuit d'émission et le circuit de réception.

Activité 2

Utilisation de la maquette

L'essentiel à faire comprendre aux élèves est que l'absorbance est un rapport de comparaison entre la solution étudiée et une solution de référence (appelée « blanc ») : on effectue donc **deux mesures** de tensions aux bornes de la photodiode pour calculer A.

1. Calcul de la concentration

Masse molaire :

$$M = 63,5 + 32,0 + 4 \times 16,0 + 5 \times (2 \times 1,0 + 16,0) = 249,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1};$$

$$\text{Quantité : } n = m/M = 1,25/249,5 = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} = 5,0 \text{ mmol};$$

$$\text{Concentration : } c = n/V = 5,0 \times 10^{-3}/0,100 = 0,050 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}.$$

Activité 3

Courbe d'étalonnage $A = f(c)$

	A	B	C	D	E	F	G
1	c	0,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,50
2	U	0,16	0,18	0,19	0,21	0,23	0,26
3	A						
	H	I	J	K	L	M	
1	0,4	0,3	0,2	0,10	U_0 (V)	0,39	
2	0,29	0,31	0,34	0,3			
3							

1. On construit une suite de nombres commençant dans la cellule B1 et de pas constant égal à 0,1. Dans la cellule C1, la formule est donc :

$$= B1 + 0,1.$$

En utilisant la syntaxe du tableur donnée dans la documentation (§D), on a la formule de la cellule C1 :

$$= \text{log10} (\$M\$1/B2).$$

2. Sur la courbe précédente, on lit pour $A = 0,18$, $C = 0,050 \text{ mol. l}^{-1}$.

Activité 4

Loi de Beer-Lambert

Cette loi n'est absolument pas à mémoriser au niveau de la classe de Seconde ; elle n'est abordée ici que pour permettre une exploitation du graphique expérimental tracé.

Questions :

1. La courbe $A = f(c)$ est une droite passant par l'origine du repère ; la fonction est de type linéaire :

$$A = kc, \text{ donc } k = A/c,$$

l'équation peut être affichée par le tableur, si celui-ci possède cette fonction (voir fiches méthode OpenOffice® et Excel®), $k = 4 \text{ L/mol environ}$.

2. k est en L/mol, puisque A est sans unité et c en mol/L.

Activité 5

Documentation

Cette partie reprend les éléments de connaissance nécessaires à la compréhension du phénomène d'absorption lumineuse, connaissances abordées (dans le tronc commun du programme) dans la partie « Messages de la lumière ».

Questions :

1. Le spectre est obtenu par une source lumineuse de type lampe à filament chauffé (spectre continu) et un dispositif dispersif (prisme ou réseau).

2. Le matériel nécessaire est une source lumineuse à spectre continu (type lampe à filament), une cuve contenant la solution absorbante et un dispositif dispersif.

3. La solution de chlorophylle nous apparaît jaune-vert quand on l'éclaire en lumière blanche.

4. La solution de sulfate de cuivre II nous apparaît bleu-vert quand on l'éclaire en lumière blanche.

Spectrophotomètre

Les éléments de la maquette correspondant à leurs homologues d'un spectrophotomètre réel sont :

DIODE DEL rouge pour les trois premiers éléments ;

PHOTODIODE pour le capteur lumineux ;

VOLTMETRE pour l'afficheur.

L'essentiel

Il s'agit pour les élèves de retenir des éléments simples :

• **constitution d'un colorimètre** : source lumineuse et capteur de lumière ;

• **absorbance lumineuse** : on n'étudie pas directement la tension aux bornes du récepteur lumineux, mais une grandeur qui en dérive (avec référence à une solution étalon) ;

• **loi de Beer-Lambert** : l'esprit du programme de MPI n'est naturellement pas de discuter des limites d'utilisation de cette loi ; on se contentera de mettre en évidence que, dans un certain domaine de concentrations, on peut trouver une grandeur caractéristique de la solution étudiée et proportionnelle à sa concentration.

Exercices

1 Courbe d'analyse spectrale

L'absorbance de la solution varie selon la longueur d'onde des radiations avec lesquelles on éclaire celle-ci : cette solution absorbe sélectivement certaines « couleurs ».

L'absorbance est minimale pour des longueurs d'onde comprises entre 480 nm et 550 nm : ces radiations traversent la solution sans être absorbées. Comme elles correspondent aux domaines bleu, vert et jaune du domaine visible, la solution sera colorée dans un mélange de ces teintes : elle paraît jaune-vert.

2 Solution de sulfate de nickel II

Exemple de calcul de concentration :

raisonnons sur un échantillon de solution de volume $V = 1,00 \text{ L}$.

$t = 25,0 \text{ g/L}$, donc $t = m/v$, soit $m = 25,0 \text{ g}$;

la quantité de matière est $n = m/M = 25,0/262,5 = 0,095 \text{ mol}$,

donc $c = n/V = 0,095/1 = 0,095 \text{ mol.L}^{-1}$.

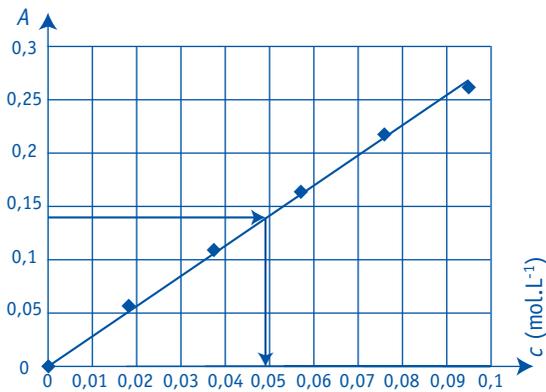
Si $c = 0$ c'est que la solution ne contient pas de soluté, donc c'est de l'eau pure : la dernière colonne correspond à la mesure du « blanc ».

Calcul d'une absorbance $A = \lg(2,50/1,35) = 0,27$.

titre massique des solutions $t \text{ (g.L}^{-1}\text{)}$	25,0	20,0	15,0	10,0	5,0	0,0
tension de sortie du colorimètre $U \text{ (V)}$	1,35	1,50	1,70	1,95	2,20	2,50
concentration des solutions $c \text{ (mol. L}^{-1}\text{)}$	0,095	0,076	0,057	0,038	0,019	0,00
absorbance A	0,27	0,22	0,17	0,11	0,056	0,0

On obtient la courbe ci-après qui vérifie la loi de Beer-Lambert : sur le domaine de concentrations étudié, l'absorbance de la solution est proportionnelle à c .

Comme $A = 0,14$, on en déduit $c = 0,047 \text{ mol/L}$.



3 Sirop de menthe

1. Cette solution absorbe les radiations lumineuses de couleur jaune, orange et rouge : elle nous apparaîtra donc bleu-vert (cyan) ce qui justifie son nom « bleu patenté ». Elle est bien adaptée à la coloration d'un sirop de menthe.

2. La DEL émettrice du montage colorimétrique émettant dans le rouge (et la photodiode absorbant dans ce même domaine de longueurs d'onde), on pourra employer ce montage puisque la solution colorée absorbe cette couleur.

3. La courbe $A = f(t)$ est une droite passant par l'origine du repère. La fonction f est donc linéaire : A est proportionnelle à t (et donc aussi à la concentration c).

La loi de Beer-Lambert s'énonce $A = kc$ elle est vérifiée puisque c'est l'équation d'une fonction linéaire.

4. Sur le graphique, on trouve $t = 420 \text{ mg.L}^{-1}$ environ pour $A = 4,2$.

La formule de la molécule de bleu patenté est

$\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{O}_7\text{N}_2\text{S}_2\text{Ca}$ et sa masse molaire moléculaire est :

$$M = 12 \times 27 + 1 \times 31 + 16 \times 7 + 2 \times 14 + 32 \times 2 + 1 \times 40 = 599 \text{ g. mol}^{-1}.$$

La concentration de la solution étudiée est alors :

$$c = 0,420/599 = 7,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}.$$