

Lois de l'électrocinétique

Analyse de corrigé

Exercice 1 : Étude d'un circuit

2 | 1 | 1



- Loi des mailles, loi des nœuds ;
- Résistances équivalentes.

Routines de calcul

Exercice 2 : Associations de résistances

1 | 2 | 1



- Résistances équivalentes.

- 1 R_2 et R_3 sont montées en parallèles, l'association est équivalente à R_{23} définie par

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{soit} \quad R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

R_1 est alors montée en série avec R_{23} , ce qui est finalement équivalent à

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_{23} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

- 2 Les trois résistances R_2 , R_3 et R_4 sont montées en série, l'association est équivalente à

$$R_{234} = R_2 + R_3 + R_4.$$

R_1 est alors montée en parallèle avec R_{234} , ce qui donne une résistance R_{eq} équivalente à l'ensemble valant

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{234}} = \frac{R_1 + R_{234}}{R_1 R_{234}} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{R_1 (R_2 + R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

- 3 Les trois résistances sont montées en parallèles, donc l'association est équivalente à R_{eq} telle que

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 (R_2 + R_3) + R_2 (R_1 + R_3) + R_3 (R_1 + R_2)}$$

et enfin

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{2 (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}.$$

- 4 Pas grand chose à dire sur ce dernier circuit, puisque la présence du condensateur fait qu'aucune association de résistance n'est caractéristique. La résistance équivalente à l'ensemble n'existe pas.

Attention en particulier à ne pas dire que R_1 et R_3 sont montées en parallèle : ce n'est pas vrai à cause de la présence de R_2 et R_4 .

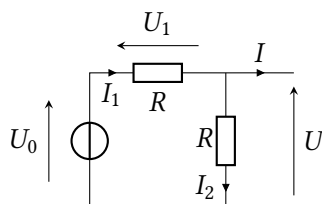
Exercice 3 : Générateur équivalent

1 | 2 | 3



- Loi des mailles, loi des nœuds ;
- Modèle de Thévenin.

Méthode : On utilise en alternance les lois de Kirchhoff et les lois de comportement. On ne travaille que sur une seule équation dans laquelle on remplace au fur et à mesure les grandeurs inconnues et inintéressantes par des grandeurs connues (ici U_0 et R) ou intéressantes (ici I et U).



Loi des nœuds :

$$I_1 = I + I_2$$

Loi d'Ohm :

$$\frac{U_1}{R} = I + \frac{U}{R}$$

Loi des mailles : $U_0 = U + U_1$ soit $U_1 = U_0 - U$ donc

$$\frac{U_0 - U}{R} = I + \frac{U}{R}$$

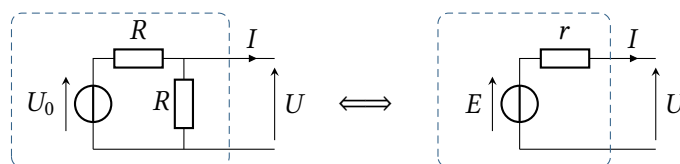
On n'a maintenant que des grandeurs connues ou intéressantes, il ne reste qu'à transformer l'équation pour exprimer U en fonction de I , ce qui donne

$$\frac{U_0}{R} - I = \frac{U}{R} + \frac{U}{R} \quad \text{soit} \quad U_0 - RI = 2U \quad \text{d'où} \quad \boxed{U = \frac{U_0}{2} - \frac{R}{2}I.}$$

L'association est ici orientée en convention générateur. Dans cette convention, un générateur de Thévenin a pour loi de comportement $U = E - rI$. On en déduit que **l'association est bien équivalente à un générateur de Thévenin**, dont les paramètres sont

$$\boxed{E = \frac{U_0}{2} \quad \text{et} \quad r = \frac{R}{2}.}$$

Attention à ne pas oublier la convention pour comparer à une loi de comportement connue.



Exercice 4 : Circuits résistifs

2 | 2 | 3



- Loi des mailles, loi des nœuds ;
- Résistances équivalentes.

- 1 • Pont diviseur de tension généralisé avec trois résistances :

$$\frac{U}{E_0} = \frac{2R}{R + 2R + 3R} = \frac{2R}{6R} \quad \text{d'où} \quad \boxed{U = \frac{1}{3}E_0.}$$

- Loi d'Ohm :

$$I = \frac{U}{2R} \quad \text{soit} \quad \boxed{I = \frac{E_0}{6R}}.$$

Méthode alternative : I est le courant traversant la résistance équivalente $6R$ de l'ensemble, soumise à la tension E_0 .

2 • Pont diviseur de courant généralisé avec trois résistances :

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\frac{1}{2R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R}} = \frac{\frac{1}{2R}}{\frac{11}{6R}} = \frac{1}{2} \times \frac{6}{11} \quad \text{d'où} \quad \boxed{I = \frac{3}{11} I_0}.$$

Attention à la généralisation du pont diviseur de courant ! C'est la relation avec les inverses des résistances qui se généralise, c'est d'ailleurs pour cette raison que c'est celle qu'il faut retenir ...

• Loi d'Ohm appliquée à la résistance $2R$ (soumise à la tension U puisque association parallèle) :

$$U = 2RI \quad \text{soit} \quad \boxed{U = \frac{6}{11} RI_0}.$$

Méthode alternative : U est la tension aux bornes de la résistance équivalente $\frac{6}{11}R$ de l'ensemble, parcourue par le courant I_0 .

3 • **Détermination de U :** Il est nécessaire de procéder en deux temps. Posons U' la tension aux bornes de la résistance $2R$, voir figure 1. Les résistances R et $3R$ forment un pont diviseur de tension soumis à la tension U' , d'où

$$\frac{U}{U'} = \frac{3R}{R + 3R} \quad \text{soit} \quad U = \frac{3}{4} U'.$$

Puis : l'association des résistances $(R + 3R) // 2R$, soumise à la tension U' , forme un pont diviseur de tension avec la première résistance R . La résistance équivalente à l'association vaut

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{R + 3R} = \frac{3}{4R} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{4}{3} R.$$

On en déduit

$$\frac{U'}{E_0} = \frac{\frac{4}{3}R}{\frac{4}{3}R + R} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{4}{3} + 1} = \frac{4}{7} \quad \text{soit} \quad U' = \frac{4}{7} E_0.$$

Enfin,

$$U = \frac{3}{4} \times \frac{4}{7} E_0 \quad \text{soit} \quad \boxed{U = \frac{3}{7} E_0}.$$

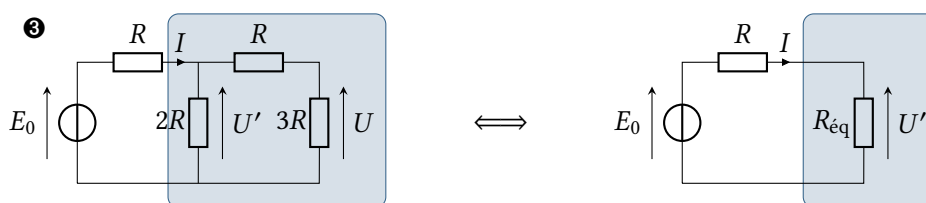


Figure 1 – Schéma équivalent. Pour se convaincre que la résistance R_{eq} est bien soumise à la tension U' , identifier les nœuds entre lesquels U' est définie : « droite » de la résistance R et « bas » du générateur.

• **Détermination de I :** La résistance équivalente R_{eq} , soumise à la tension U' , donc d'après la loi d'Ohm

$$I = \frac{U'}{R_{\text{eq}}} = \frac{\frac{4}{7} E_0}{\frac{4}{3} R} \quad \text{soit} \quad \boxed{I = \frac{3}{7} \frac{E_0}{R}}.$$

Méthode alternative : I est le courant traversant la résistance équivalente $R + R_{\text{eq}} = \frac{7}{3}R$ soumise à la tension E_0 .

4 • Les deux résistances de droite sont montées en série, donc équivalentes à une résistance $2R$ parcourue par le courant I . En identifiant un pont diviseur de courant,

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\frac{1}{2R}}{\frac{1}{2R} + \frac{1}{R}} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{3}{2}} \quad \text{d'où} \quad \boxed{I = \frac{1}{3}I_0.}$$

• D'après la loi des nœuds, la résistance R soumise à la tension U est traversée par un courant $I' = I_0 - I = \frac{2}{3}I_0$, donc par la loi d'Ohm,

$$\boxed{U = \frac{2}{3}RI_0.}$$

5 • Notons R_{eq} la résistance équivalente à l'association $R//2R$,

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} = \frac{3}{2R} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{2}{3}R.$$

Le montage équivaut alors à deux résistances R_{eq} , celle de gauche soumise à la tension U , montées en série avec le générateur de tension E_0 . Par un pont diviseur de tension,

$$\frac{U}{E_0} = \frac{R_{\text{eq}}}{R_{\text{eq}} + R_{\text{eq}}} = \frac{1}{2} \quad \text{soit} \quad U = \frac{E_0}{2}.$$

Méthode alternative : avec un peu d'habitude, on peut directement identifier une symétrie dans le montage qui conduit sans plus de calcul à $U = E_0/2$.

• On a compris avec l'analyse précédente que toutes les résistances étaient soumises à la même tension $U = E_0/2$, ce qui n'est pas évident a priori. On en déduit alors

$$\boxed{I = \frac{E_0}{2R}.$$

6 Commençons par « nettoyer » le schéma en regroupant toutes les résistances montées en série, voir figure 2.

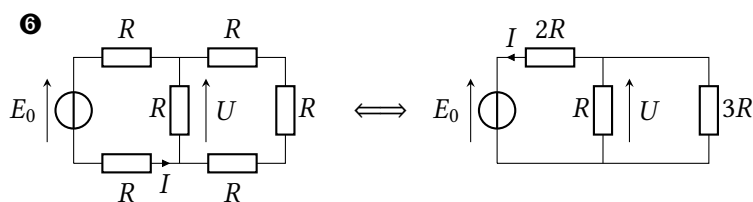


Figure 2 – Schéma équivalent. Même si elles ne « se touchent » pas, les deux résistances R encadrant le générateur sont montées en série, et sont donc bien équivalentes à une résistance $2R$.

• L'association $R//3R$ équivaut à une résistance

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{3R} = \frac{4}{3R} \quad \text{soit} \quad R_{\text{eq}} = \frac{3}{4}R.$$

Cette résistance est soumise à la tension U , donc en identifiant un pont diviseur de tension,

$$\frac{U}{E_0} = \frac{R_{\text{eq}}}{R_{\text{eq}} + 2R} = \frac{\frac{3}{4}R}{\frac{3}{4}R + 2R} = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{11}{4}} \quad \text{soit} \quad \boxed{U = \frac{3}{11}E_0.}$$

- On en déduit l'intensité I en appliquant la loi d'Ohm à la résistance équivalente ... et en faisant très attention au fait qu'elle est orientée en convention générateur!

$$I = -\frac{U}{R_{\text{eq}}} \quad \text{soit} \quad I = -\frac{4}{11} \frac{E_0}{R}.$$

Méthode alternative : I est le courant traversant la résistance équivalente à l'ensemble du montage $2R + R_{\text{eq}} = \frac{11}{4}R$, soumise à la tension E_0 mais orientée en convention générateur.

Exercice 5 : Circuits avec interrupteurs



- Loi des mailles, loi des nœuds ;
- Interrupteurs.

Méthode :

- Parmi ceux qui sont demandés, identifier les courants et tensions évidents : tension aux bornes d'un fil et intensité dans une branche ouverte. En déduire ce qui est possible directement, la plupart du temps la tension aux bornes d'une résistance parcourue par un courant nul et celle aux bornes des dipôles court-circuités.
- Essayer d'identifier des ponts diviseurs pour déterminer d'autres tensions.
- Essayer de remplacer des résistances équivalentes pour simplifier le circuit.
- Appliquer les lois de Kirchhoff, en écrivant en premier celle qui implique des grandeurs que vous connaissez (p.ex. inutile d'écrire la loi des nœuds si vous ne connaissez aucune intensité).
- Ne pas hésiter si besoin à nommer d'autres courant et tension que ceux qui sont fléchés ... mais ne pas tomber dans l'excès qui consisterait à donner un nom à tout au risque de ne plus s'y retrouver.

- 1** ▶ Ce qui est évident : $i_1 = 0$, $i_2 = 0$ et $u_3 = 0$;
- Ce qui s'en déduit directement : $u_R = 0$ et $u_2 = u_3$ donc $u_2 = 0$;
 - Aucun pont diviseur ;
 - Loi des nœuds : $i_1 = i_2 + i_3$ donc $i_1 = 0$;
 - Loi des mailles : $E = u_1 + u_R + u_3$ d'où $u_1 = E$.

Notez que les tensions aux bornes des interrupteurs ouverts ne sont pas toutes égales ! Rappelons que de telles tensions sont quelconques, inconnues a priori (c'est-à-dire qu'il faut faire un calcul pour les exprimer) ... et certainement pas nulles !

- 2** ▶ Ce qui est évident : $i_2 = 0$, $u_1 = 0$ et $u_3 = 0$;
- Ce qui s'en déduit directement : $u_2 = u_3$ donc $u_2 = 0$;
 - Aucun pont diviseur ;
 - Loi des mailles : $E = u_1 + u_R + u_3$ d'où $u_R = E$;
 - Loi d'Ohm : $i_1 = E/R$;
 - Loi des nœuds : $i_1 = i_2 + i_3$ d'où $i_3 = E/R$.

- 3** ▶ Ce qui est évident : $u_1 = 0$, $u_3 = 0$, $i_2 = 0$;
- Ce qui s'en déduit directement : $u'_2 = Ri_2 = 0$;
 - Loi des nœuds : $i_1 = i_2 + i_3$ donc $i_1 = i_3$;
 - Loi des mailles :

$$E = u_1 + u'_1 + u'_3 + u_3 \quad \text{soit} \quad E = u'_1 + u'_3$$

- Comme R_1 et R_3 sont parcourues par le même courant alors elles forment un pont diviseur soumis à la tension E , donc

$$u'_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_3} E \quad \text{et} \quad u'_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} E$$

► Loi d'Ohm :

$$i_1 = i_3 = \frac{u'_1}{R_1} = \frac{E}{R_1 + R_3}$$

On pourrait bien sûr aboutir au même résultat avec $i_3 = u'_3/R_3$

4 ► Ce qui est évident : $i_0 = 0$ et $i_2 = 0$;

► Loi des nœuds : $I_0 = i_0 + i_1$ donc $i_1 = I_0$;

► Loi des nœuds : $i_1 = i_2 + i_3$ donc $i_3 = I_0$;

► Loi d'Ohm : $u_3 = R_3 I_0$;

► Loi des mailles : $u_2 + R_2 i_2 = u_3$ d'où $u_2 = u_3 = R_3 I_0$

► Loi d'Ohm : $u_1 = R_1 I_0$;

► Loi des mailles : $u_0 = u_1 + u_3$ d'où $u_0 = (R_1 + R_3) I_0$.

Attention, le résultat donnant u_0 n'est pas une application de la loi d'Ohm mais une conséquence du fait que la tension aux bornes d'une source de courant dépend du circuit, ici uniquement composé de résistances. Ce serait différent s'il y avait, par exemple, des condensateurs dans le circuit.

Des applications

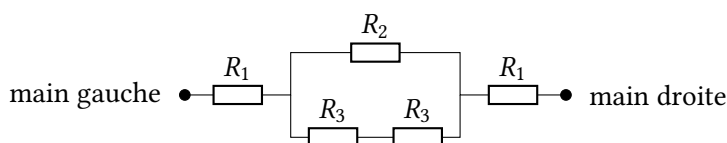
Exercice 6 : Électrocution

1 | 2

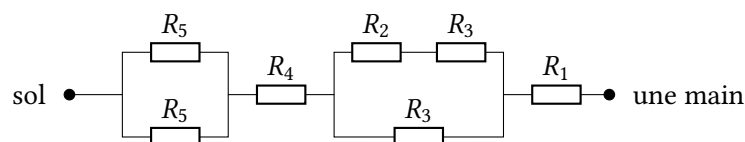


► Résistances équivalentes.

Les schémas équivalents sont représentés figure 3.



1, 2 - Pieds isolés du sol, deux mains en contact.



3 - Une main en contact, pieds au sol.

Figure 3 – Schémas électriques équivalents.

1 Si les chaussures sont isolantes, alors aucun courant ne peut traverser les résistances R_4 et R_5 . L'association de résistances R_2 et R_3 équivaut à R_{23} telle que

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{2R_3} \quad \text{soit} \quad R_{23} = \frac{2R_3 R_2}{2R_3 + R_2}.$$

La résistance équivalente totale de l'association vaut

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_{23} + R_1 = 979 \, \Omega$$

et ainsi

$$I = \frac{U}{R_{\text{eq}}} = 12 \, \text{mA}.$$

Une pile ne représente donc pas de danger.

2 Les calculs sont identiques, d'où

$$I' = 235 \text{ mA}.$$

3 Cette fois, le courant passe d'une main aux deux pieds mais l'autre main ne touche aucun conducteur. C'est donc la résistance R_1 associée qui n'est traversée par aucun courant. Les résistances R_2 et R_3 ne sont plus associées de la même façon : désormais,

$$\frac{1}{R'_{23}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2 + R_3} \quad \text{soit} \quad R'_{23} = \frac{R_3(R_2 + R_3)}{R_2 + 2R_3}$$

si bien que

$$R'_{\text{eq}} = \frac{R_5}{2} + R_4 + \frac{R_3(R_2 + R_3)}{R_2 + 2R_3} + R_1 = 973 \, \Omega$$

et ainsi

$$I' = \frac{U}{R'_{\text{eq}}} = 236 \text{ A},$$

ce qui ne change pas grand chose au cas précédent.

C'est là tout l'intérêt d'un disjoncteur différentiel, qui compare l'intensité entrant et sortant de l'installation, et coupe « instantanément » le courant lorsqu'elles ne sont pas égales. Lorsque le courant part par le sol, il est donc directement coupé.

Exercice 7 : Pont de Wheatstone



- Pont diviseur de tension ;
- Loi des mailles, loi des nœuds.

1 Utilisons les notations de la figure 4. Les résistances R_1 et R_2 d'une part et R et R_3 d'autre part forment deux ponts diviseur de tension, donc

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad \text{et} \quad U_3 = \frac{R_3}{R + R_3} E.$$

Par la loi des mailles,

$$U_2 = U + U_3 \quad \text{d'où} \quad U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E - \frac{R_3}{R + R_3} E = \frac{R_2(R + R_3) - R_3(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)(R + R_3)} E$$

ce qui donne

$$U = \frac{R_2 R - R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R + R_3)} E.$$

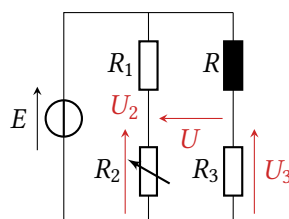
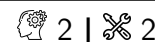


Figure 4 – Pont de Wheatstone.

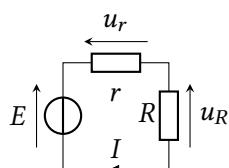
2 Le pont est équilibré lorsque

$$R_2 R - R_1 R_3 = 0 \quad \text{soit} \quad R = \frac{R_1 R_3}{R_2}.$$

Exercice 8 : Adaptation d'impédance



► Puissance électrique.



1 Par un pont diviseur,

$$u_R = \frac{R}{r + R} E$$

Ainsi,

$$\mathcal{P}_R = \frac{u_R^2}{R} = \frac{R^2}{R(r + R)^2} E^2 \quad \text{donc}$$

$$\boxed{\mathcal{P}_R = \frac{RE^2}{(R + r)^2}}$$

2 De même, $\mathcal{P}_r = \frac{rE^2}{(R + r)^2}$. Toute la puissance fournie par le générateur étant dissipée dans les résistances,

$$\mathcal{P}_{\text{tot}} = \mathcal{P}_R + \mathcal{P}_r = \frac{(R + r)E^2}{(R + r)^2} \quad \text{soit}$$

$$\boxed{\mathcal{P}_{\text{tot}} = \frac{E^2}{R + r}}$$

3 La puissance $\mathcal{P}_{\text{tot}}$ est toujours positive, vaut 0 si $R = 0$ et tend aussi vers 0 lorsque R est très grand, alors elle admet un maximum pour $R > 0$. Sa recherche passe par le calcul de la dérivée,

$$\frac{d\mathcal{P}}{dR} = \frac{1 \times (R + r)^2 - (2R + 2r)R}{(R + r)^4} E^2 = \frac{-R^2 + r^2}{(R + r)^4} E^2.$$

Ainsi, la dérivée est nulle et la puissance maximale pour

$$\boxed{R = R^* = r}$$

4 Exprimons le rendement,

$$\rho = \frac{\mathcal{P}_R}{\mathcal{P}_{\text{tot}}} = \frac{\frac{RE^2}{(R + r)^2}}{\frac{E^2}{R + r}} = \frac{R}{R + r}$$

Pour $R = R^* = r$, **le rendement ne vaut que 50 %** : la puissance fournie à la résistance R est certes maximale, mais beaucoup de puissance est perdue dans le générateur lui-même.

Exercice 9 : Point de fonctionnement d'une photodiode



► Caractéristiques courant-tension.

Le point de fonctionnement du montage est défini par le couple (U, I) permettant de satisfaire simultanément la loi de comportement de la photodiode et les contraintes imposées par le reste du montage. La caractéristique de la photodiode est donnée par l'énoncé, il reste donc à déterminer la relation entre U et I imposée par le montage.

Le circuit est à une seule maille, donc en tenant compte de l'orientation des tensions et d'après la loi d'Ohm,

$$U + RI - E = 0 \quad \text{soit} \quad I = \frac{E - U}{R}$$

Cette relation entre U et I se traduit graphiquement par une droite. Pour la tracer facilement, il faut trouver deux points particuliers, les plus simples à déterminer :

► la valeur de courant I pour laquelle la tension U est nulle (c'est-à-dire l'ordonnée à l'origine !) ici $I_0 = E/R = -0,4 \text{ mA}$;

► la valeur de tension U pour laquelle le courant I est nul, qui donne directement $U = E = -4 \text{ V}$.

En se basant sur ces deux points, on peut alors superposer la droite à la caractéristique, figure 5, et déterminer graphiquement le point d'intersection, c'est-à-dire le point de fonctionnement du montage, qui correspond à

$$U \simeq -1,3 \text{ V} \quad \text{et} \quad I \simeq -0,27 \text{ mA}.$$

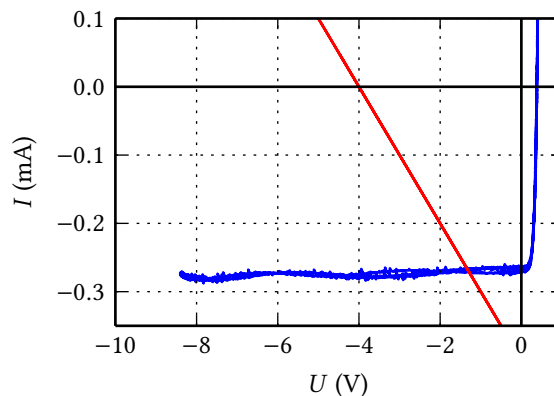
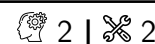


Figure 5 – Point de fonctionnement du montage à résistance de charge. La caractéristique de la photodiode, en bleu, est superposée à la contrainte imposée par le reste du montage, en rouge.

Exercice 10 : Alimentation stabilisée



- Puissance électrique ;
- Caractéristique courant-tension.

1 On commence par déterminer graphiquement I et U en superposant la caractéristique $I = U/R$ de la résistance à celle de l'alimentation stabilisée, voir figure 6. Pour $R = 1 \Omega$,

$$\begin{cases} I = 5 \text{ A} \\ U = 5 \text{ V} \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\mathcal{P} = UI = 25 \text{ W}.}$$

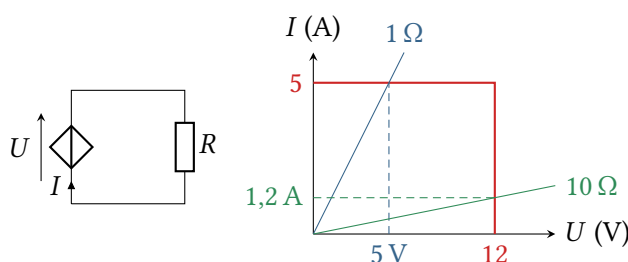


Figure 6 – Superposition des caractéristiques.

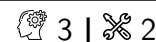
2 Cette fois,

$$\begin{cases} I = 1,2 \text{ A} \\ U = 12 \text{ V} \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \boxed{\mathcal{P} = UI = 14,4 \text{ W}.}$$

3 Graphiquement, la puissance dissipée correspond à l'aire du rectangle dont les sommets opposés sont l'origine et le point de fonctionnement. Elle est maximale lorsque le point de fonctionnement se trouve dans l'angle de la caractéristique, d'où

$$\boxed{\mathcal{P}_{\max} = 12 \times 5 = 60 \text{ W}.}$$

Exercice 11 : Montage amplificateur à ALI



► Loi des mailles, loi des nœuds.

Les notations utilisées sont celles de la figure 7.

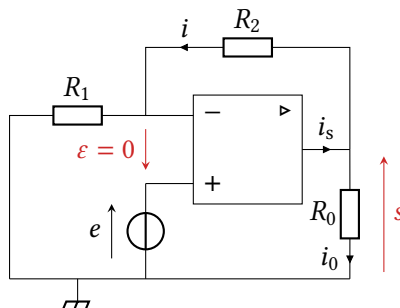


Figure 7 – Schéma du montage amplificateur à ALI.

1 D'après la loi des mailles,

$$e - \cancel{e} - R_1 i = 0 \quad \text{et} \quad e - \cancel{e} + R_2 i - s = 0.$$

On en déduit

$$i_s = \frac{e}{R_1} \quad \text{donc} \quad s = e + R_2 \times \frac{e}{R_1} \quad \text{soit} \quad s = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}_{=K} e.$$

2 Pour obtenir $K = 10$, il faut

$$R_2 = 9R_1 = 4,5 \text{ k}\Omega.$$

3 La présence de R_0 ne change pas la relation entre s et e . Par la loi des nœuds appliquée en sortie de l'ALI,

$$i_s = i + i_0 = \frac{e}{R_1} + \frac{s}{R_0} \quad \text{soit} \quad i_s = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{K}{R_0}\right) e.$$

4 En limite de saturation en tension,

$$s = V_{\text{sat}} = K e_{\text{lim}} \quad \text{d'où} \quad e_{\text{lim}} = \frac{V_{\text{sat}}}{K} = 1,5 \text{ V}.$$

En limite de saturation en courant,

$$i_s = I_{\text{sat}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{K}{R_0}\right) e'_{\text{lim}} \quad \text{d'où} \quad e'_{\text{lim}} = \frac{I_{\text{sat}}}{\frac{1}{R_1} + \frac{K}{R_0}} = 13,3 \text{ V}$$

C'est donc la saturation en tension qui limite en pratique le fonctionnement du montage.