

Les circuits électriques

1) Les deux types d'électricité

L'électricité positive : historiquement, elle était qualifiée de vitreuse car apparaissant sur du verre frotté avec de la soie

L'électricité négative : historiquement, elle était qualifiée de résineuse car apparaissant sur l'ambre qui est une résine fossile, frottée avec une peau de chat (le pauvre !!!)

Historiquement toujours, on utilisait un électroscope à feuille d'or pour mettre en évidence l'électricité statique. Ainsi, un bâton d'ambre, préalablement frotté et mis en contact avec la sphère métallique de la partie supérieure de l'électroscope, faisait apparaître une déviation des feuilles d'or (figure a). En chargeant à nouveau le bâton puis l'approchant à nouveau de la sphère, la déviation s'accroissait (figure b). Enfin en approchant un bâton de verre préalablement frotté, la déviation diminuait et pouvait s'annuler par mise en contact (figure c).



Benjamin Franklin donna d'abord une interprétation erronée en supposant l'existence d'un fluide électrique unique dont toute matière non chargée était dotée pour une certaine quantité, le frottement aboutissant à ce qu'un des deux corps frottés en ait en trop (c'est à dire en plus) et l'autre en moins.

Il faudra la découverte de particules chargées en moins (les électrons par Thomson en 1895) puis des particules chargées en plus (les protons) pour éteindre cette vision initiale et poser l'existence des deux types d'électricité, négative et positive et comprendre l'électricité vitreuse comme étant un excès de protons et l'électricité résineuse comme un excès d'électrons, un matériau non chargé ayant autant de protons que d'électrons.

On savait au 18ème siècle produire de l'électricité statique avec des machines à friction. On pouvait également conserver cette électricité (d'une ou de l'autre nature) dans des sortes de bouteilles

(**bouteille de Leyde**). Enfin on pouvait décharger cette électricité dans divers corps et en particulier sur le nerf d'une grenouille morte (la pauvre), ce que fit Galvani, un physiologiste, afin d'étudier l'effet de cette décharge sur la contraction musculaire. La drôle d'expérience que fit Galvani conduisit un de ses contemporains, Volta, à produire le premier générateur de courant continu : la pile de Volta.

2) La pile de Volta























En 1800, reprenant l'expérience de Galvani sur une cuisse de grenouille, Volta parvient à générer un courant durable en réalisant un empilement d'éléments formés d'une pièce de cuivre (ou d'argent) et d'une pièce de zinc prenant en sandwich un feutre imbibé d'acide. La première pile est née.



3) Les circuits électriques formés de dipôles

Un **circuit électrique** est un assemblage de **dipôles électriques** reliés par des fils de connexion et dont au moins un des dipôles est un générateur, par exemple une pile.

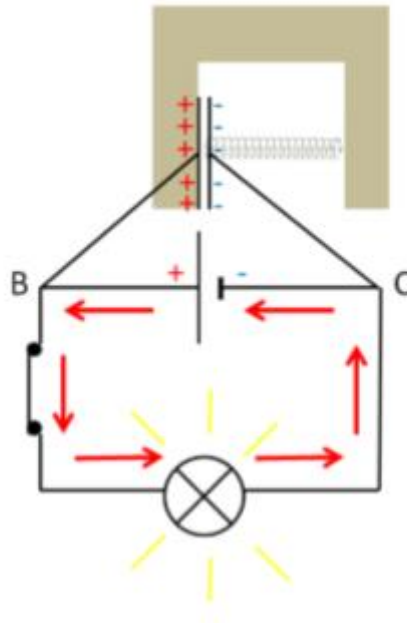
Un dipôle électrique est constitué de deux bornes (ou pôles). Il en existe différentes sortes qui sont représentées dans les schémas de circuits par des symboles normalisés. En voici les plus courants :

dipôle	nom	Symbole normalisé
	Générateur de courant variable	
	Générateur de courant continu	
	Lampe	
	Fil de connexion	
	Résistor	
	Interrupteur ouvert	
	Interrupteur fermé	
	Moteur électrique	
	Diode	
	Diode électroluminescente	
	Ampèremètre ou voltmètre	

4) Tension électrique

Notion :

La **tension** est une grandeur physique relative à deux points d'un circuit et qui ne peut être expliquée simplement. Elle suppose des connaissances mathématiques approfondies. Elle peut cependant être imagée de plusieurs façons. En voici une, la plus proche du concept à notre sens :



Branchons une pile en série avec un interrupteur et une lampe et rajoutons en dérivation de la pile, un **condensateur plan**, c'est-à-dire deux surfaces planes parallèles appelées **armatures** et mises en regard l'une de l'autre à très faible distance. En fermant l'interrupteur, la lampe s'allume et le condensateur se charge. On peut vérifier, à l'aide d'un électroscope, qu'une de ses armatures se charge d'électricité positive, l'autre d'électricité négative. C'est d'ailleurs comme cela qu'on a pu historiquement identifier la borne plus et la borne moins d'une pile.

Du fait de l'air qui sépare les deux armatures et qui est un isolant, les deux électricités du condensateur ne peuvent se rejoindre. Elles sont tenues à l'écart à faible distance. La mince couche d'air entre armatures joue un peu le rôle d'une vitre qui empêcherait d'un côté une bande de lapins mâles de rejoindre de l'autre une bande de lapines (c'est une image !!). Or les armatures chargées d'électricité différentes sont attirées l'une vers l'autre et ce, d'autant plus qu'elles sont fortement chargées. Si on immobilise une des armatures à un bâti et qu'on relie l'autre au même bâti par un ressort, ce dernier va se mettre en tension pour empêcher l'armature à laquelle il est relié de se coller à l'autre armature.

Ainsi, plus « forte » sera la pile, plus grande sera la tension du ressort.

Si le circuit de la lampe est ouvert, le ressort donnera une tension à vide de la pile. Si le circuit est fermé, il donnera une tension un peu inférieure.

Voilà pour simplifier, comment se représenter ce qu'est une tension électrique, même si c'est un peu plus compliqué dans la réalité.

Une tension apparaîtra même dans un circuit ouvert contrairement à un courant.

Appareil de mesure :

Une tension se mesure à l'aide d'un **voltmètre** monté en **dérivation**.

Branchement d'un voltmètre :

Un voltmètre possède deux bornes, une **borne V** et une **borne COM** (appelée ainsi car commune à l'utilisation en voltmètre et en ampèremètre) Reprenant le circuit précédent, pour mesurer la tension entre les points B et C notée U_{BC} on reliera la borne V du multimètre au point B du circuit à l'aide d'un fil de connexion et la borne COM au point C. On verra alors s'afficher une valeur comme 4,43 V par exemple. Si on inverse les branchements, le multimètre affichera la valeur opposée soit -4,43 V qui sera alors la tension entre le point C et le point B. Ainsi :

Une tension entre deux points B et C dans un circuit est une grandeur positive ou négative qui traduit une sorte de différence d'attraction de l'électricité positive entre les points B et C. Si elle est positive, l'électricité positive est plus attirée en B qu'en C. Si elle est négative, c'est le contraire. Une tension s'exprime en Volt et on a :

$$U_{CB} = -U_{BC}$$

Tension aux bornes des fils de connexion

Reprenons le circuit précédent. En mesurant la tension entre les bornes d'un fil de connexion, on obtient une valeur de tension de l'ordre du centième de volt ce qui est négligeable devant la tension mesurée aux bornes du générateur. On retiendra :

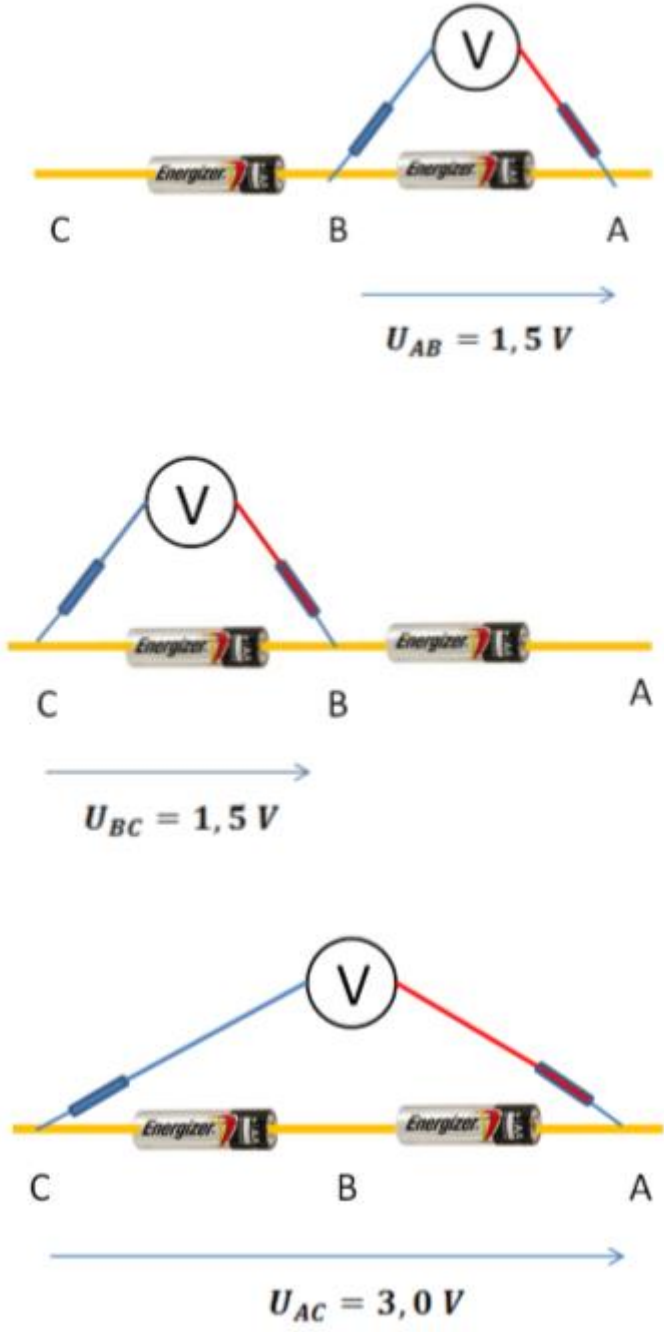
La tension aux bornes des fils de connexion d'un circuit est considérée comme nulle (en fait négligeable devant les autres.

Loi d'additivité des tensions :

En considérant trois points A, B, C quelconques d'un circuit, on constate la relation suivante appelée loi d'additivité des tensions :

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

Exemple d'usage : Mise en série de deux piles de 1,5 V



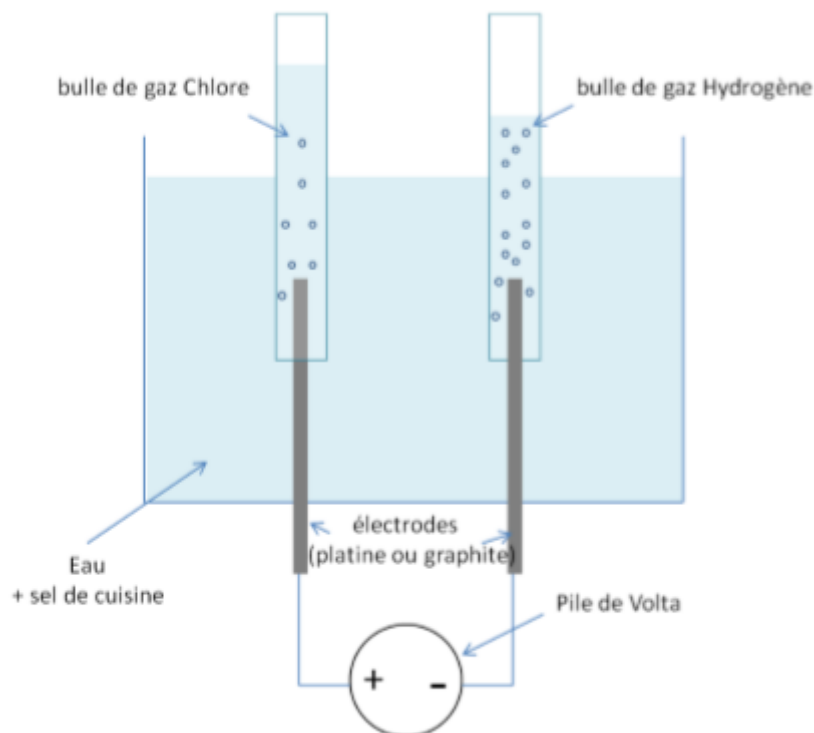
5) Intensité électrique

Notion :

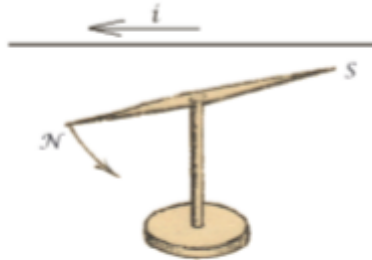
L'**intensité** du courant électrique est, comme la tension, une grandeur physique qui ne peut être expliquée simplement. Après avoir vu un bref aspect historique, nous pourrions en donner une image

Aperçu historique :

En fermant un circuit dans lequel figure un électrolyte, (solution contenant du sel par exemple) des bulles de gaz se forment à une ou aux deux électrodes selon la force du générateur mis en série avec cet électrolyte. Avec une batterie de 12 V par exemple et une solution faite d'eau pure dans laquelle on met du sel de cuisine, on voit se former de l'hydrogène à la borne moins et du chlore (toxique) à la borne plus. Cela traduit le fait que des réactions s'opèrent à la surface des électrodes et prouve que les électrodes échangent de l'électricité avec certaines substances dissoutes dans l'électrolyte (des substances donc chargées puisqu'attirées par les électrodes chargées et qu'on appellera plus tard des ions). C'est le témoignage du passage d'un courant électrique : S'il y a des bulles qui se forment il y a courant, s'il n'y en a pas, il n'y a pas de courant.



Or, en 1820, un savant danois du nom d'Oersted a observé qu'en mettant une aiguille aimantée sous un fil conducteur parcouru par un courant (comme en témoigne la formation de bulles) l'aiguille dévie. Et sa déviation est plus prononcée si le dégazage augmente. Il conçoit ainsi un premier instrument de mesure de l'intensité : l'ampèremètre.



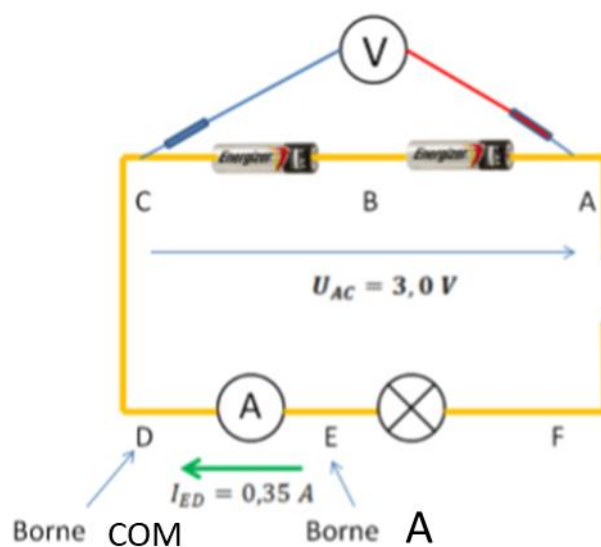
Les ampèremètres modernes sont un peu plus complexes, mais fonctionnent sur le même principe. Branchés en série, ils se comportent vis-à-vis du circuit comme un simple fil de connexion, mais le courant qui les traverse a des effets qui permettent de mesurer l'intensité de ce courant

Appareil de mesure :

L'intensité se mesure avec un ampèremètre (on utilise généralement un multimètre qui sert à la fois de voltmètre et d'ampèremètre)

Branchement d'un ampèremètre :

Un ampèremètre possède deux bornes, une borne A et une borne COM. Si on veut mesurer l'intensité du courant traversant l'ampèremètre d'un point E à un point D, il faut que le point E (que nous qualifierons de point amont) soit la borne A et que le point D (point aval) soit la borne COM, comme sur le circuit suivant.



L'ampèremètre affiche alors pour ce circuit la valeur de l'intensité du courant qui traverse la lampe de F vers E et l'ampèremètre de E vers D, ce que l'on peut écrire :

$$I_{FE} = I_{ED} = 0,35 \text{ A}$$

Si on inverse les branchements de l'ampèremètre, il affichera une valeur opposée :

$$I_{EF} = I_{DE} = -0,35 \text{ A}$$

Ainsi :

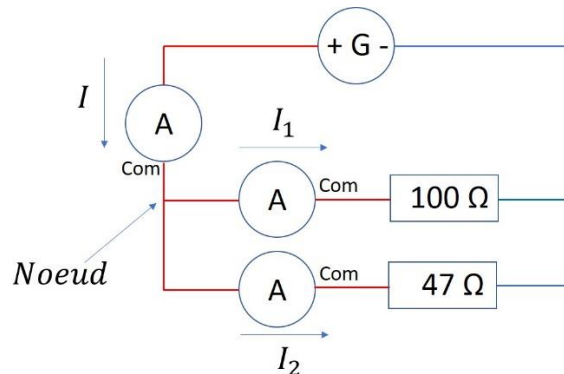
L'intensité du courant électrique est une grandeur positive ou négative qui traduit la quantité d'électricité véhiculée à travers une section du circuit, selon un sens considéré et par unité de temps. Son unité est l'Ampère (symbole A) ou Coulomb par seconde (symbole C/s)

Loi des nœuds :

Expérience :

On a réalisé un circuit avec deux dipôles (un résistor de 100Ω et un autre de 47Ω) alimentés en parallèle par un générateur de tension continue de 6 V. On a intégré dans le circuit trois ampèremètres afin de mesurer les intensités dans chacune des branches.

Le schéma du circuit est le suivant :



Voilà une photo du montage et des mesures en Ampère affichées par les ampèremètres, I pour l'intensité dans la branche principale (sortant du générateur), I_1 pour l'intensité dans la branche du résistor de 100Ω et I_2 pour l'intensité dans la branche du résistor de 47Ω :



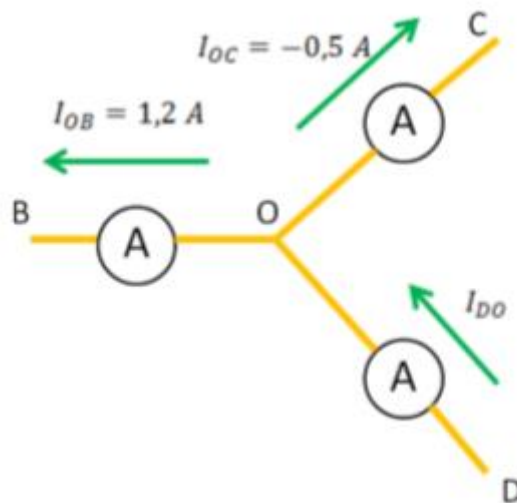
On constate que l'intensité sortant de la borne + du générateur (0,198 A) est égale à la somme des intensités entrant dans les résistors (0,064 A et 0,134 A respectivement) soit :

$$I = I_1 + I_2$$

Cette propriété est appelée loi des nœuds et s'énonce d'une façon plus générale sous la forme :

La somme des intensités algébriques des courants arrivant à un nœud est égale à la somme algébrique des intensités des courants qui en partent.

Exemple : Déterminer l'intensité I_{DO} du courant affichée par l'ampèremètre du bas :



Réponse : Il n'y a qu'une intensité algébrique qui arrive au nœud O à savoir I_{DO} et deux autres qui en partent (sans considérer leur signe), à savoir I_{OB} et I_{OC} . La loi s'écrit alors :

$$I_{DO} = I_{OB} + I_{OC}$$

Soit numériquement :

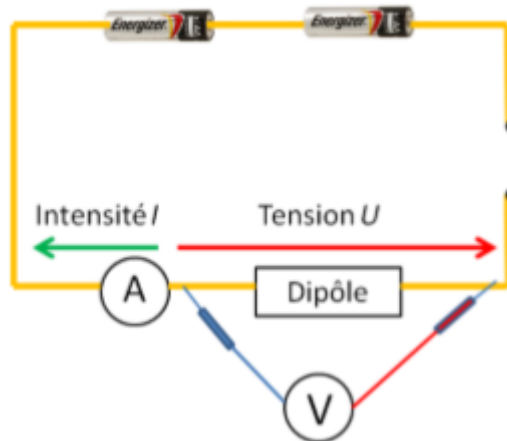
$$I_{D0} = 1,2 + (-0,5) = 0,7 \text{ A}$$

L'ampèremètre affichera donc 0,7 A

6) Caractéristique d'un dipôle. Cas particuliers du résistor et de la pile

a) Définition générale

Etant donné un dipôle passif (c'est-à-dire autre qu'un générateur), on peut brancher en série un ampèremètre et une pile, et en dérivation du dipôle, un voltmètre, comme indiqué sur le schéma, de façon à lire des valeurs de tension et d'intensité positive.



En réalisant l'expérience avec une, puis deux, puis trois et ainsi de suite, plusieurs piles en série, on peut faire varier la tension aux bornes du dipôle et relever les intensités le traversant correspondantes. On peut alors porter sur un graphique (intensité en abscisse, tension en ordonnée) les différents points obtenus et les relier par une courbe. Cette dernière est appelée **caractéristique du dipôle**. Nous allons étudier en b) la caractéristique d'un résistor et en déduire une loi appelée loi d'Ohm.

Pour un générateur, on peut faire de même, mais il faut inverser les bornes de l'ampèremètre et ajouter un résistor en série. C'est en changeant de résistor qu'on peut alors modifier la tension aux bornes du générateur ainsi que l'intensité qu'il débite et obtenir sa caractéristique. Nous allons étudier en b) la caractéristique d'une pile de 4,5 V.

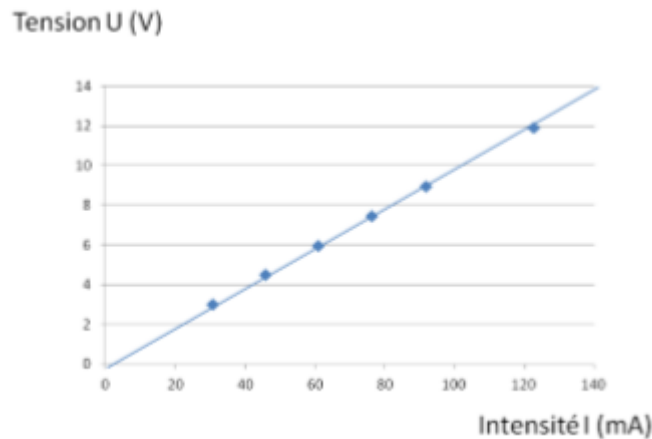
b) Caractéristique d'un résistor : Loi d'Ohm

On reprend le montage pour un dipôle passif donné ci-dessus, le dipôle étant un résistor.

Tableau des résultats d'expérience :

tension (V)	3,01	4,5	5,98	7,47	8,95	11,93
Intensité (mA)	30,7	45,9	61	76,3	91,8	122,7

Graphique associé au tableau fait à l'aide d'un tableur



On constate que les points du graphique s'alignent (assez remarquablement d'ailleurs) avec l'origine du graphique. Cela montre que la tension est proportionnelle à l'intensité. Il y a donc une loi mathématique qui s'exprime sous la forme :

$$U = R I$$

Cette loi est appelée loi d'Ohm en hommage à celui qui l'a découverte, un physicien vers 1827, un physicien allemand du nom de Georg Ohm.

***R* qui est le coefficient de proportionnalité entre intensité *I* et tension *U* s'appelle la résistance du dipôle et se mesure en Ohm (symbole Ω) ou encore Volt par Ampère. Il s'interprète comme étant la tension qu'il faut appliquer à un dipôle pour qu'il soit traversé par un courant de 1 Ampère.**

Dans notre exemple *R* peut être calculé à partir du rapport de *U* sur *I* pour le cinquième point qui semble être le plus proche de la droite passant le plus près de l'ensemble des points.

$$R = \frac{8,95}{0,0918} \approx 97,5 \Omega$$

Ceci est cohérent avec l'indication fournie sur le dipôle que nous avons utilisé pour les mesures et qui était un résistor de résistance 100 Ω

c) Caractéristique d'une pile

Montage :

Dans ce montage, nous avons successivement mis différents résistors, de résistances allant de 47 à 1000 Ω puis fait une mesure en court-circuit (analogue à un résistor de résistance nulle) et une mesure en circuit ouvert (analogue à un résistor de résistance infinie)

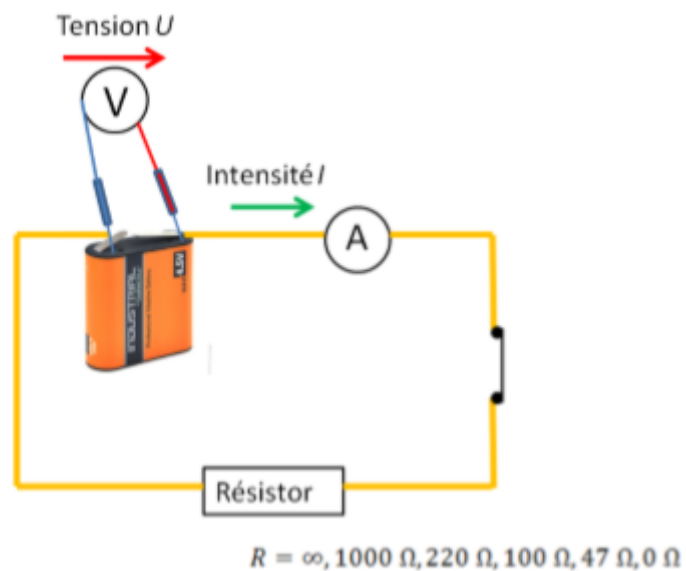
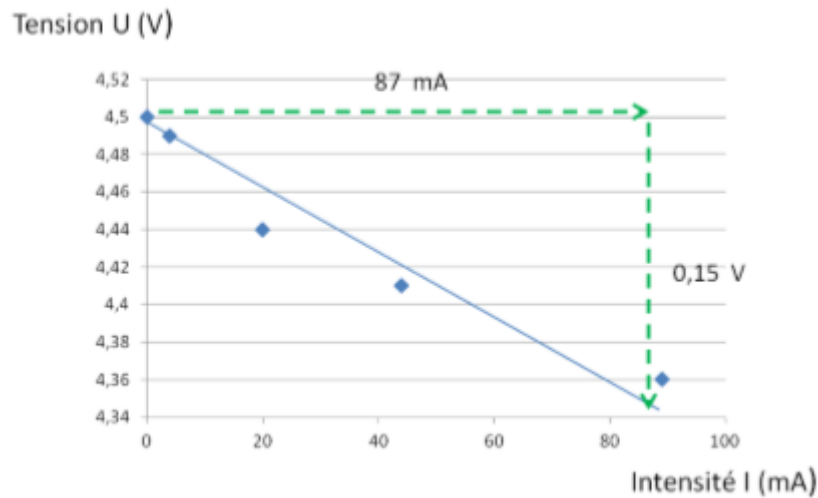


Tableau des résultats d'expérience :

Résistance (Ω)	infinie	1000	220	100	47	0
Intensité (mA)	0	4	20	44	89	6500
tension (V)	4,50	4,49	4,44	4,41	4,36	0,9

Graphique :



On observe ainsi que la pile délivre une tension moindre en circuit fermé qu'en circuit ouvert et que plus la résistance du résistor dans laquelle elle débite un courant est forte, plus la tension qu'elle délivre est faible.

Lorsque nous avons réalisé l'expérience, la tension mesurée présentait une certaine instabilité de l'ordre du centivolt. Les mesures expérimentales sont donc entachées d'erreur. Si on fait passer une droite au plus près des points de mesure, on peut dégager une loi mathématique de la forme :

$$U = E - r I$$

Avec :

$$E = 4,50 \text{ V}$$

$$r = \frac{0,15}{0,087} \approx 1,7 \Omega$$

E est la tension à vide (en circuit ouvert). On l'appelle force électromotrice de la pile et elle caractérise sa force. r est appelée résistance interne de la pile et s'évalue en Ohm.

Voyons pourquoi r est ainsi qualifiée de résistance interne de la pile. Considérons le circuit précédent dans le cas où le résistor a pour résistance 100Ω . Nous avons d'une part, par la caractéristique du générateur :

$$U = 4,50 - 1,7 I$$

D'autre part, par la caractéristique du résistor (loi d'Ohm) :

$$U = 100 I$$

Donc :

$$100 I = 4,50 - 1,7 I$$

Ceci est une équation mathématique d'inconnue l'intensité I . Sa résolution donne :

$$100 I + 1,7 I = 4,50$$

$$(100 + 1,7) I = 4,50$$

$$101,7 I = 4,50$$

$$I = \frac{4,50}{101,7} \approx 0,0442 A = 44,2 mA$$

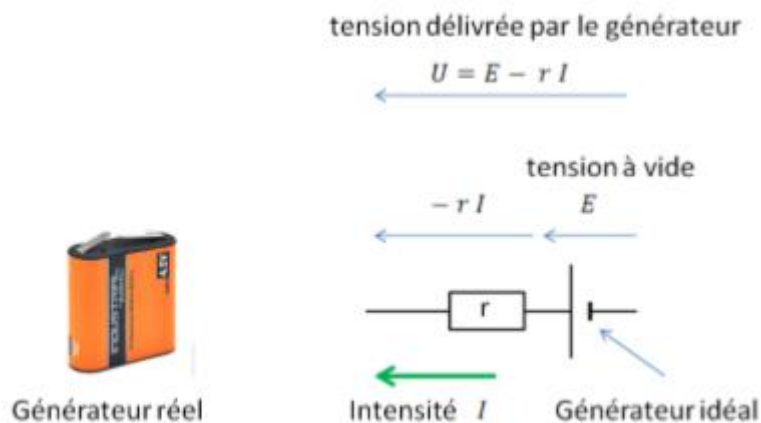
La tension s'en déduit par :

$$U = 100 I = 100 \times 0,0442 = 4,42 V$$

Nous constatons que cette tension n'est pas très différente de la tension à vide de la pile qui est 4,50 V. r a l'effet d'une résistance mise en série avec une pile idéale qui délivrerait une tension constante de 4,50 V.

Conclusion :

Un générateur de tension continue comme une pile délivre dans son domaine de fonctionnement, une tension qui est très proche de sa tension à vide mais plus faible. Afin d'en tenir compte, il faut le modéliser dans un circuit électrique par un générateur idéal délivrant une tension constante égale à sa force électromotrice et mis en série avec un résistor dont la résistance est la résistance interne du générateur selon le schéma :



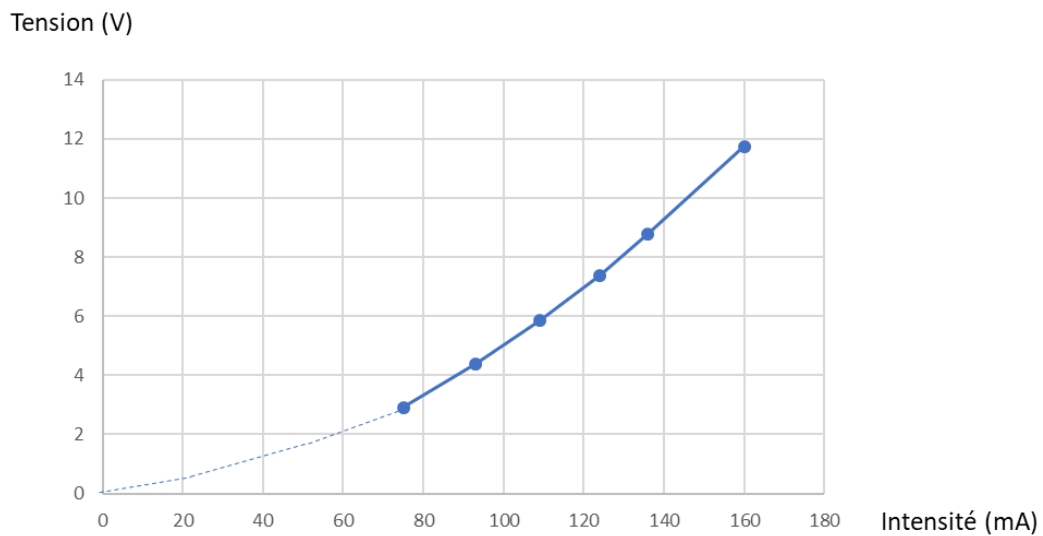
d) Caractéristique d'une lampe

On reprend le montage pour un dipôle passif donné en a), le dipôle étant une lampe.

Tableau des résultats d'expérience :

Intensité (mA)	75	93	109	124	136	160
Tension (V)	2,91	4,4	5,85	7,39	8,8	11,75

Graphique associé au tableau fait à l'aide d'un tableur :



On constate que les points du graphique ne s'alignent pas sur une droite passant par l'origine. Sur le graphique, la courbe a été prolongée jusqu'au point origine sur l'allure qu'elle aurait vraisemblablement pour des tensions comprises entre 0 et 3 V.

Cela montre que la tension n'est pas proportionnelle à l'intensité. **Une lampe n'obéit donc pas à la loi d'Ohm.**