



Application de la loi d'Ohm



Présenté par TryEngineering - www.tryengineering.org
Cliquez ici pour donner votre avis sur cette leçon.

Objet de la leçon

Démontrer la loi d'Ohm à l'aide de multimètres numériques. La loi d'Ohm est démontrée par le biais d'activités pratiques et ludiques. Les enseignants utilisent des multimètres pour recueillir et représenter graphiquement des données afin de montrer que la tension et le courant sont liés par des fonctions linéaires dans les résistors ordinaires et par des fonctions de puissance dans les ampoules électriques.

Sommaire de la leçon

La loi d'Ohm ($U = I \times R$) est démontrée par le biais d'activités pratiques et ludiques. Les enseignants utilisent des multimètres pour recueillir et représenter graphiquement des données afin de montrer que la tension et le courant sont liés par des fonctions linéaires dans les résistors ordinaires et par des fonctions de puissance dans les ampoules électriques.

Niveaux d'âge

10-18 ans.

Objectifs

- ✦ Etudier la loi d'Ohm.
- ✦ Apprendre à utiliser un multimètre numérique pour recueillir des données.
- ✦ Explorer les concepts de tension et de courant.

Résultats escomptés à la fin de la leçon

Au terme de ces activités, les élèves devraient acquérir une compréhension des sujets suivants :

- ✦ La loi d'Ohm
- ✦ Les relations entre la tension, le courant et la résistance dans un circuit électrique
- ✦ Le relevé, le tracé et la représentation graphique de données
- ✦ Les branchements de base et la construction d'un multimètre numérique pour la collecte de données

Loi d'Ohm : Introduction

Qu'est-ce que la loi d'Ohm ?

La loi d'Ohm est une équation mathématique qui explique le rapport entre la tension, le courant et la résistance dans les circuits électriques. Elle s'exprime comme suit :

$$U = I \times R$$

U = Tension (la tension est la différence de potentiel électrique entre deux points sur un fil conducteur. La tension se mesure en volts et provient de sources diverses comme les prises de courant et les piles.)

I = Courant (le courant se mesure en ampères. Le courant est le déplacement de particules chargées à travers un matériau conducteur entre la source de tension et une masse.)

R = Résistance (la résistance est l'opposition exercée par un corps au passage d'un courant électrique. La résistance se mesure en ohms. Les ampoules et les cafetières électriques sont des exemples d'objets avec une résistance.)

Activités de la leçon

Ces activités consistent à utiliser une pile d'une tension nominale de six volts (en reliant en série quatre piles sèches d'une tension nominale d'1,5 volt) en vue de :

- ✦ Faire passer du courant à travers un élément de circuit simple, puis mesurer et enregistrer le courant et la tension qui traversent l'élément, en faisant varier le nombre de piles d'une à quatre.
- ✦ Reporter sur le graphique les points qui représentent les tensions et courants enregistrés.
- ✦ Tracer une courbe de meilleur ajustement entre les points de données correspondant à l'élément testé.
- ✦ Répéter le processus pour deux ou trois différents éléments du circuit de résistance.
- ✦ Comparer les courbes et réaliser des observations sur la nature des courbes pour chaque élément.

La documentation fournie à l'enseignant consiste en :

- ✦ une fiche d'information sur la loi d'Ohm
- ✦ un guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons
- ✦ une annexe 1 : Suggestions de fournitures
- ✦ une annexe 2 : Instructions de montage d'un testeur de continuité
- ✦ une annexe 3 : Photos et schémas d'un montage secondaire avec supports de piles individuels
- ✦ une annexe 4 : Activité facultative « Isolants et conducteurs »

La documentation fournie aux élèves (pour lecture préalable) consiste en :

- ✦ une fiche d'information sur la loi d'Ohm
- ✦ des procédures pas à pas

Ressources/Matériaux

Voir les feuilles de travail des élèves et les documents de ressource aux enseignants.

Alignement sur les structures des programmes scolaires

Voir la fiche ci-jointe décrivant l'alignement des programmes scolaires.

Liens Internet

- ✦ TryEngineering (www.tryengineering.org)
- ✦ Musée virtuel IEEE (www.ieee-virtual-museum.org) (en anglais)
- ✦ International Technology Education Association Standards for Technological Literacy (en anglais) (www.iteawww.org/TAA/PDFs/ListingofSTLContentStandards.pdf)
- ✦ McREL Compendium of Standards and Benchmarks (en anglais) (www.mcrel.org/standards-benchmarks) Une compilation des normes en matière de contenu des programmes scolaires de la maternelle au secondaire, en formats recherche et navigation.
- ✦ Principes et normes en matière de mathématiques scolaires établis par le Conseil national américain des enseignants en mathématiques (en anglais) (www.nctm.org/standards)
- ✦ *National Science Education Standards* (en anglais) (www.nsta.org/standards)
- ✦ La loi d'Ohm (www.ohmslaw.com) (en anglais)

Lecture recommandée (en anglais)

- ✦ « Ohm's Law, Electrical Math and Voltage Drop Calculations », de Tom Henry. ISBN : 0945495269
- ✦ « A Short History of Nearly Everything », de Bill Bryson. Éditeur : Broadway. ISBN : 0767908171

Activité d'écriture facultative

- ✦ Citer des exemples de résistors à la maison. Dresser une liste de tous les exemples d'objets contenant une résistance que l'on trouve dans une cuisine.

Références

Ralph D. Painter
section Côte ouest de la Floride, Etats-Unis, de l'IEEE
URL : <http://ewh.ieee.org/r3/floridawc>



Pour les enseignants :

Alignement sur les structures des programmes scolaires

Remarque : Tous les plans de leçons de cette série sont alignés sur les normes nationales pour l'enseignement des sciences (*National Science Education Standards*), établies par le Conseil national de recherche des États-Unis (National Research Council) et approuvées par l'Association nationale des enseignants des sciences des États-Unis (National Science Teachers Association), et si applicable, sur les normes internationales d'enseignement de la technologie pour l'alphabétisation technologique (International Technology Education Association's Standards for Technological Literacy) ou sur les principes et normes en matière de mathématiques scolaires établis par le Conseil national américain des enseignants en mathématiques (National Council of Teachers of Mathematics' Principals and Standards for School Mathematics).

◆ Normes nationales pour l'enseignement des sciences de la CM2 à la quatrième (10 à 14 ans)

NORME DE CONTENU A : Enquête scientifique

Au terme de leurs activités, tous les élèves devraient acquérir

- ✦ Les aptitudes nécessaires pour réaliser des enquêtes scientifiques
- ✦ Une compréhension de l'enquête scientifique

NORME DE CONTENU B : Sciences physiques

Au terme de leurs activités, tous les élèves devraient acquérir une compréhension de :

- ✦ Le transfert d'énergie

◆ Normes nationales pour l'enseignement des sciences de la troisième à la terminale (15 à 18 ans)

NORME DE CONTENU A : Enquête scientifique

Au terme de leurs activités, tous les élèves devraient acquérir

- ✦ Les aptitudes nécessaires pour réaliser des enquêtes scientifiques
- ✦ Une compréhension de l'enquête scientifique

NORME DE CONTENU B : Sciences physiques

Au terme de leurs activités, tous les élèves devraient acquérir une compréhension de :

- ✦ Les interactions entre l'énergie et la matière

◆ Normes pour l'alphabétisation technologique- Tous âges

Conception

- ✦ Norme 10 : Les élèves acquerront une compréhension du rôle du dépannage, de la recherche et du développement, de l'invention et de l'innovation, et de l'expérimentation dans la résolution des problèmes.

Le monde, objet de conception

- ✦ Norme 16 : Les élèves acquerront une compréhension et des aptitudes de sélection et d'utilisation des technologies énergétiques et électriques.

◆ Principes et normes en matière de mathématiques scolaires (10 à 14 ans)

Normes de mesure

- Mettre en œuvre les techniques, outils et formules appropriés pour déterminer des mesures.

- ✦ utiliser des points de référence standard pour sélectionner les méthodes adéquates d'estimation des mesures.

◆ Principes et normes en matière de mathématiques scolaires (14 à 18 ans)

Normes de mesure

- Comprendre les attributs mesurables des objets, ainsi que les unités, systèmes et procédés de mesure

- ✦ prendre des décisions sur les unités et échelles qui soient appropriées aux problématiques faisant intervenir des mesures.

- Mettre en œuvre les techniques, outils et formules appropriés pour déterminer des mesures.

- ✦ analyser la précision, l'exactitude et les erreurs approximatives dans les situations de mesure.
- ✦ utiliser l'analyse unitaire pour vérifier les calculs de mesures.

La loi d'Ohm



Pour les enseignants :

Ressources aux enseignants - Fiche d'information sur la loi d'Ohm

Qu'est-ce que la loi d'Ohm ?

La loi d'Ohm est une équation mathématique qui explique la relation entre la tension, le courant et la résistance dans les circuits électriques. Elle s'exprime comme suit :

$$U = I \times R$$

U = Tension (la tension est la différence de potentiel électrique entre deux points sur un fil conducteur. La tension se mesure en volts et provient de sources diverses comme les prises de courant et les piles.)

I = Courant (le courant se mesure en ampères. Le courant est le déplacement de particules chargées à travers un matériau conducteur entre la source de tension et une masse.)

R = Résistance (la résistance est l'opposition exercée par un corps au passage d'un courant électrique. La résistance se mesure en ohms. Les ampoules et les cafetières électriques sont des exemples d'objets avec une résistance.)

La résistance est le plus simple des trois éléments de circuit passif.

Il existe trois éléments de circuit électrique passif : le condensateur, qui emmagasine l'énergie sous forme de champ électrique ; la bobine d'induction, qui emmagasine l'énergie sous forme de champ magnétique et le résistor, qui dissipe l'énergie au lieu de l'emmagasiner. Cet exercice concerne le résistor uniquement, le plus simple des trois éléments de circuit passif. Deux types de résistors (ou conducteurs ohmiques) sont testés : les résistors linéaires qui ont une résistance constante ou fixe, et l'ampoule électrique, qui a une résistance non linéaire variable selon la quantité de courant qui traverse l'ampoule.

Primauté de la tradition dans la notation.

Tandis que la représentation de la résistance par la lettre « R » est évidente, l'utilisation des lettres « U » et « I » pour représenter la tension « U » produite dans le résistor traversé par un courant « I » relève de la tradition. En anglais, la tension est représentée par la lettre « E », qui vient de « Electromotive force » (force électromotrice), le terme d'origine désignant la quantité qui tend à pousser des charges électriques à travers un circuit. Il est aujourd'hui d'usage courant d'appeler la force électromotrice simplement par le terme « tension », soit d'une source comme une pile, soit du potentiel généré dans un résistor traversé par une charge électrique. De même, aux premiers stades du développement de la théorie électrique, la quantité de charge qui circulait dans un circuit sur une période donnée était appelée « intensité », une grandeur aujourd'hui communément appelée « courant » et exprimée en ampères (amps). Pour les besoins de cet exercice, nous ferons référence à la grandeur « U » pour désigner la « tension » qui entraîne le déplacement de la charge électrique à travers le résistor et à la grandeur « I » pour désigner le « courant », c'est-à-dire la quantité de charge qui traverse le résistor à un moment donné. La loi d'Ohm définit la résistance comme le rapport de la tension dans l'élément par le courant qui le traverse.

$$U = I R \quad \text{Loi d'Ohm}$$

$$R = E / I \quad \text{Résistance définie par la loi d'Ohm.}$$

La loi d'Ohm



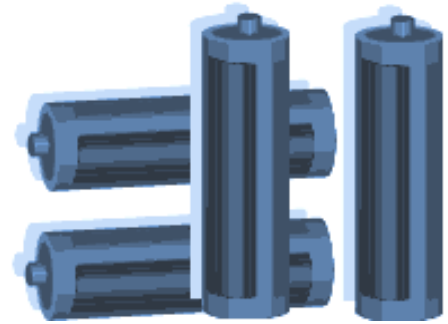
Pour les enseignants :

Ressources aux enseignants – Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons

But de la leçon

Ces activités consistent à utiliser une pile d'une tension nominale de six volts (en reliant en série quatre piles sèches d'une tension nominale d'1,5 volt) en vue de :

- ✦ Faire passer du courant à travers un élément de circuit simple, puis mesurer et enregistrer le courant et la tension qui traversent l'élément, en faisant varier le nombre de piles d'une à quatre.
- ✦ Reporter sur le graphique les points qui représentent les tensions et courants enregistrés.
- ✦ Tracer une courbe de meilleur ajustement entre les points de données correspondant à l'élément testé.
- ✦ Répéter le processus pour deux ou trois différents éléments de circuit.
- ✦ Comparer les courbes et réaliser des observations sur la nature des courbes pour chaque élément.



Matériel

Un résistor de 47 ohms, un autre de 100 ohms et une ampoule de lampe torche n° 40 (6,3 volts, 150 mA en nominal) sont les trois éléments de circuit recommandés pour cet exercice. Le matériel illustré ici fait intervenir un testeur de continuité constitué d'un support de quatre piles AA reliées en série avec une mini-douille à vis. Le fil nu relié au support de pile et le fil nu relié à la douille sont terminés sur deux petites plaques de renforcement en laiton. Les objets dont la continuité sera testée sont utilisés pour combler l'écart étroit entre les plaques de renforcement en laiton. Des instructions complètes expliquant comment monter le testeur de continuité sont fournies dans l'annexe 1.

L'utilisation de piles C ou D, soit dans un support de quatre piles, soit dans des supports de piles individuels reliés en série conviendra tout aussi bien pour cet exercice. Des schémas de principe et des photos du montage secondaire avec supports de piles individuels sont présentés dans l'annexe 2.

Même si l'exercice peut être réalisé avec un seul compteur, il est préférable d'utiliser deux multimètres par poste de travail. Un multimètre est réglé sur l'échelle de 200 milliampères pour mesurer le courant qui traverse l'élément du circuit testé et un second multimètre est réglé sur l'échelle de 20 volts pour mesurer la différence de potentiel (tension) dans l'élément du circuit testé. Pratiquement n'importe quel modèle de multimètre numérique ou analogique peut être employé. D'autre part, trois ou quatre fils d'essai courts avec pinces crocodile sont requis pour réaliser toutes les interconnexions. Une liste complète du matériel et des coûts estimés est fournie dans l'annexe 3.

Pour les enseignants :
Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

Collecte des données et tracé des courbes

Suivez les instructions pas à pas fournies dans la documentation de l'annexe 5 distribuée aux élèves afin de recueillir les données et de tracer les courbes U-I pour l'ampoule et un ou deux résistors fixes.

La figure 4 montre le graphique et la feuille de données présentant les données types relevées par les élèves avec l'ampoule et les résistors.

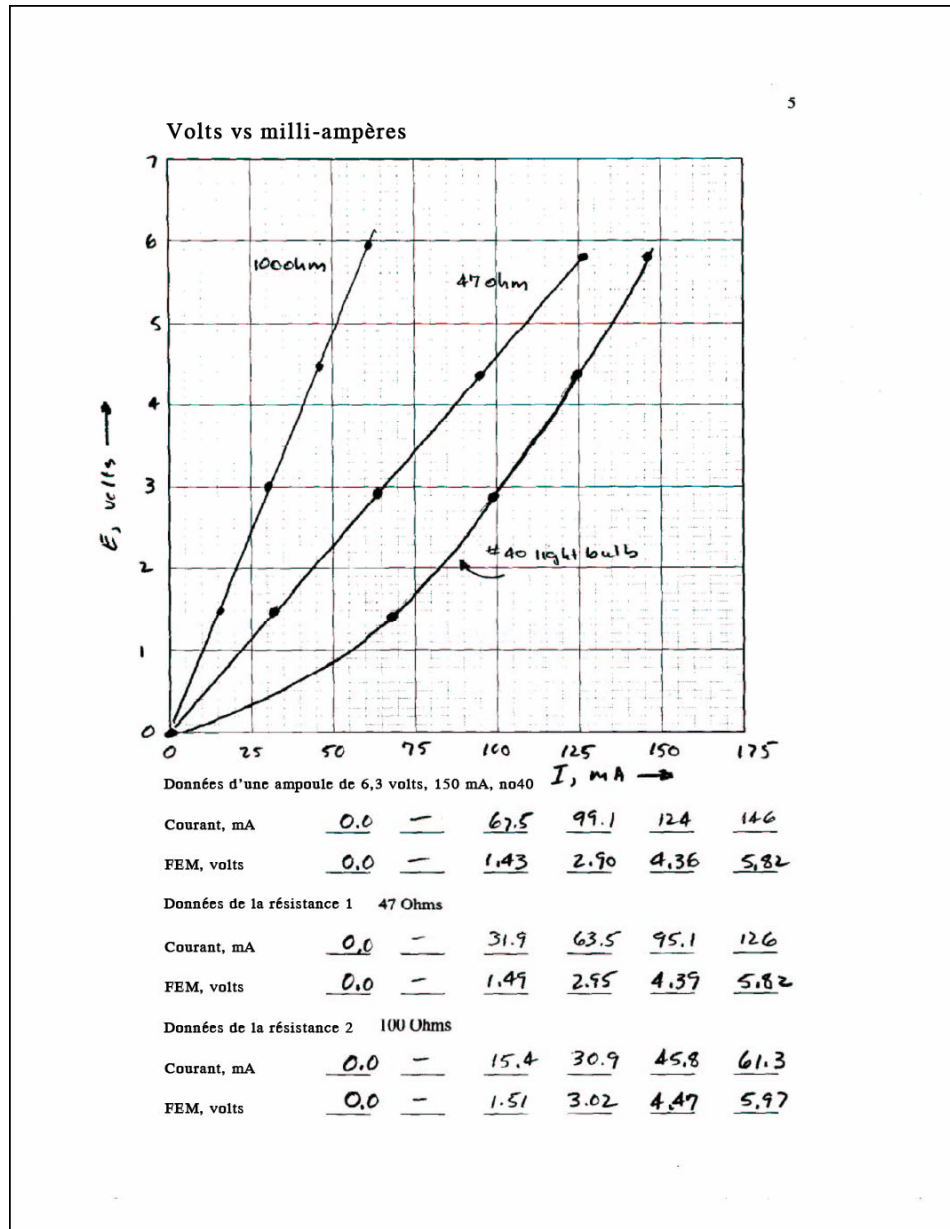


Figure 4

Une fois que les élèves ont relevé les données et tracé les courbes sur les graphiques, ils peuvent entamer leurs observations sur la relation entre les tensions et les courants mesurés dans les résistors. Demandez aux élèves de réaliser les activités de découverte décrites dans les pages suivantes. Selon vos élèves, ces activités de découverte peuvent être effectuées en individuel ou en groupe. Les valeurs utilisées comme exemples dans l'activité de découverte ci-dessous proviennent des données types relevées par les élèves montrées dans la figure 4.

Pour les enseignants :
Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

Découverte d'un exemple de la loi d'Ohm

1. Dans votre graphique, tracez une ligne horizontale au niveau $U = 5$ volts et tracez des lignes verticales descendant des intersections de la ligne horizontale et des courbes correspondant aux résistors de 100 et 47 ohms, comme montré dans le schéma suivant.

Reportez les valeurs, en milliampères, de I_{100} et I_{47} , dans les espaces blancs ci-dessous, puis convertissez ces valeurs en ampères en multipliant par 1 amp / 1 000 milliampères.

$$I_{100} = \underline{52} \text{ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \underline{0,052} \text{ amp.}$$

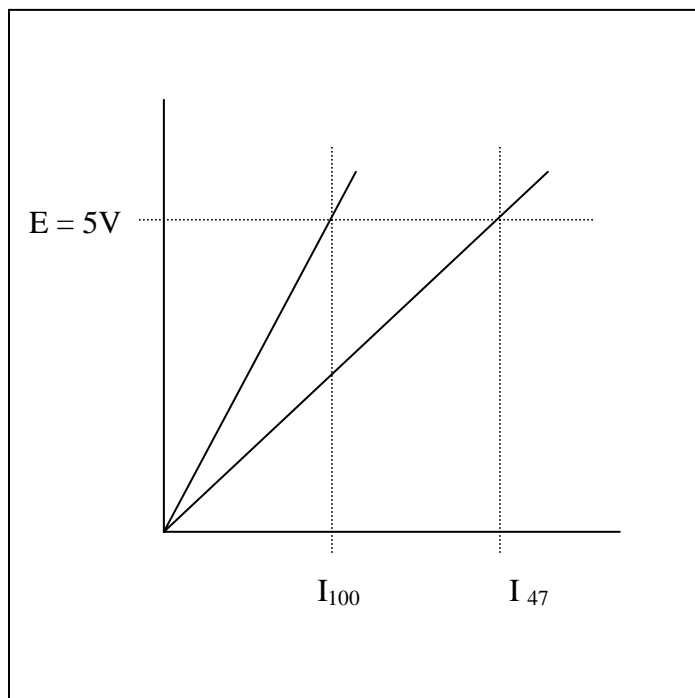
$$I_{47} = \underline{108} \text{ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \underline{0,108} \text{ amp.}$$

2. À partir des valeurs en amps de I_{100} et I_{47} , calculez les résistances R_{100} et R_{47} .

$$R_{100} = 5 \text{ V} / I_{100} = 5 \text{ V} / 0,052 \text{ A} = \underline{96} \text{ ohms.}$$

$$R_{47} = 5 \text{ V} / I_{47} = 5 \text{ V} / 0,108 \text{ A} = \underline{46} \text{ ohms.}$$

Comparez les valeurs R_{100} et R_{47} obtenues dans la question 3 ci-dessus aux valeurs nominales 100 et 47 ohms des résistors.



Pour les enseignants :

Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

On constate de manière évidente que la résistance d'un résistor fixe correspond à la pente de la ligne qui définit la relation entre la tension et le courant. Une autre manière de formuler ceci est d'observer que la tension qui traverse le résistor est proportionnelle au courant qui le traverse. La résistance est tout simplement la constante de proportionnalité entre la tension et le courant.

3. Écriture des équations U-I pour les résistors fixes.

Les équations de la ligne sur les graphiques U-I peuvent être écrites en substituant les valeurs R_{100} et R_{47} déduites des données précédentes.

Pour le résistor de 100 ohms

$$U = R_{100} I = (\underline{96} \text{ ohms}) I$$

Et pour le résistor de 47 ohms

$$U = R_{47} I = (\underline{46} \text{ ohms}) I$$

Insérez une valeur de 0,050 amp (50 milliampères) dans les équations précédentes et calculez les tensions résultantes pour les résistors de 100 et 47 ohms.

Pour le résistor de 100 ohms

$$U = R_{100} 0,050 \text{ amp} = \underline{96} \text{ ohms} \times 0,050 \text{ A} = \underline{4,8} \text{ volts.}$$

De la même manière, pour le résistor de 47 ohms

$$U = R_{47} 0,050 \text{ amp} = \underline{46} \text{ ohms} \times 0,050 \text{ A} = \underline{2,3} \text{ volts.}$$

Reportez ces deux points sur vos graphiques pour confirmer que les points se trouvent sur ou très près des lignes correspondant aux résistors de 100 et 47 ohms.

Paires ordonnées à représenter graphiquement :

Point de données du résistor 100 ohms : 50 mA, 4,8 V

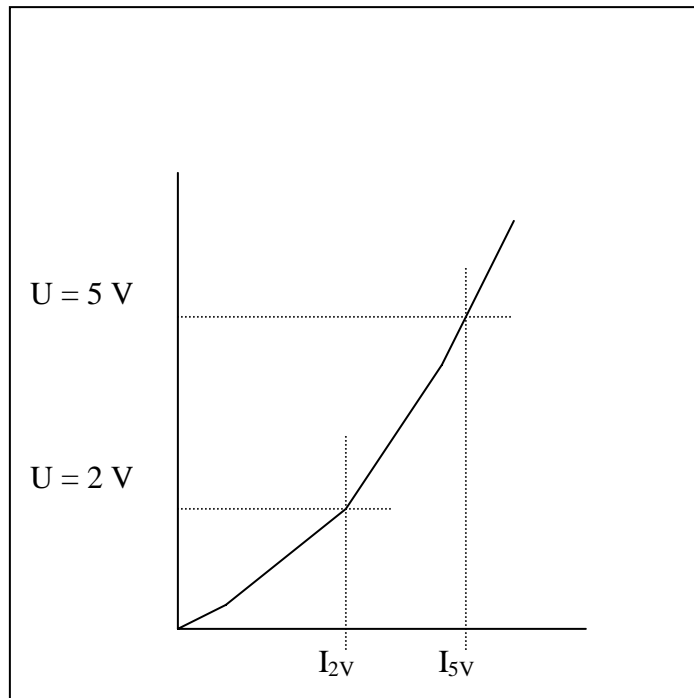
Point de données du résistor 47 ohms : 50 mA, 2,3 V

Pour les enseignants :
Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

4. Écriture d'une équation U-I pour l'ampoule.

Prenez maintenant le cas de l'ampoule. Vu que la courbe U-I de l'ampoule n'est pas une ligne droite, comment définit-on sa résistance ? En fait, la résistance de l'ampoule est définie comme le rapport de la tension au courant, comme dans le cas des résistors fixes. Or, l'exercice suivant démontrera que la résistance n'est plus une valeur fixe.

La courbe U-I de l'ampoule est illustrée dans le schéma ci-dessous. Tracez deux lignes horizontales aux niveaux $U = 5 \text{ V}$ et $U = 2 \text{ V}$ de sorte qu'elles croisent la courbe, tracez deux lignes verticales descendant des points d'intersection et lisez les valeurs I_{2V} et I_{5V} sur l'échelle des milliampères.



Reportez les valeurs, en milliampères, de I_{2V} et I_{5V} , dans les espaces blancs ci-dessous, puis convertissez ces valeurs en ampères en multipliant par $1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ milliampères}$.

$$I_{2V} = \underline{83} \text{ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \underline{0,083} \text{ amp.}$$

$$I_{5V} = \underline{136} \text{ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \underline{0,136} \text{ amp.}$$

Pour les enseignants :
Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

À partir des valeurs en amps de I_{2V} et I_{5V} , calculez les résistances R_{2V} et R_{5V} .

$$R_{2V} = 2 \text{ V} / I_{2V} = 2 \text{ V} / 0,083 \text{ A} = \underline{24} \text{ ohms.}$$

$$R_{5V} = 5 \text{ V} / I_{5V} = 5 \text{ V} / 0,136 \text{ A} = \underline{37} \text{ ohms.}$$

On constate une nette différence entre les valeurs R_{2V} et R_{5V} , ce qui n'est pas surprenant dans la mesure où la courbe U-I de l'ampoule n'est pas une ligne droite. L'écriture d'une équation exprimant la relation entre la tension et le courant qui traversent l'ampoule est plus compliquée que le simple fait de reconnaître que la résistance représente la pente de la courbe U-I, comme dans le cas des résistors fixes. Une équation parabolique de la forme $U = k I^2$ peut être dérivée en utilisant l'un quelconque des points de données. Toutefois, la courbe passera généralement par l'origine et par le point utilisé pour déduire la valeur k, mais d'autres points de données peuvent être situés relativement loin de la courbe. Des équations polynomiales plus sophistiquées passant par tous les points de données peuvent être dérivées, mais elles impliquent des traitements mathématiques qui n'entrent pas dans le cadre de cet exercice.

Dans cet exemple, le point 124 mA, 4,36 V sera utilisé pour calculer une valeur k :

$$k = U / I^2 = 4,36 \text{ V} / (124 \text{ mA})^2 = 0,000284 \text{ volt}/(\text{mA})^2$$

La relation entre la tension et le courant dans l'ampoule peut donc être approximée par l'équation ci-dessous, où U est en volts, I, en milliampères et k, en volts/(milliampères)².

$$U = k I^2 = 0,000284 \text{ volt}/(\text{mA})^2 I^2$$

Aux fins de comparaison, les données réelles de l'ampoule et les données d'ajustement de courbe sont reportées dans un graphique commun à la page suivante. À titre d'exemple, le premier point est calculé ci-dessous.

$$I = 67,5 \text{ mA, par conséquent, } U = [0,000284 \text{ volt}/(\text{mA})^2](67,5 \text{ mA})^2 = 1,29 \text{ V}$$

I, mA	<u>0,0</u>	<u>67,5</u>	<u>99,1</u>	<u>124</u>	<u>146</u>
-------	------------	-------------	-------------	------------	------------

U = k I ²	<u>0,0</u>	<u>1,29</u>	<u>2,78</u>	<u>4,36</u>	<u>6,04</u>
----------------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Pour les enseignants :
Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

Courbes U-I pour les données mesurées et ajustement de la courbe parabolique de l'ampoule.

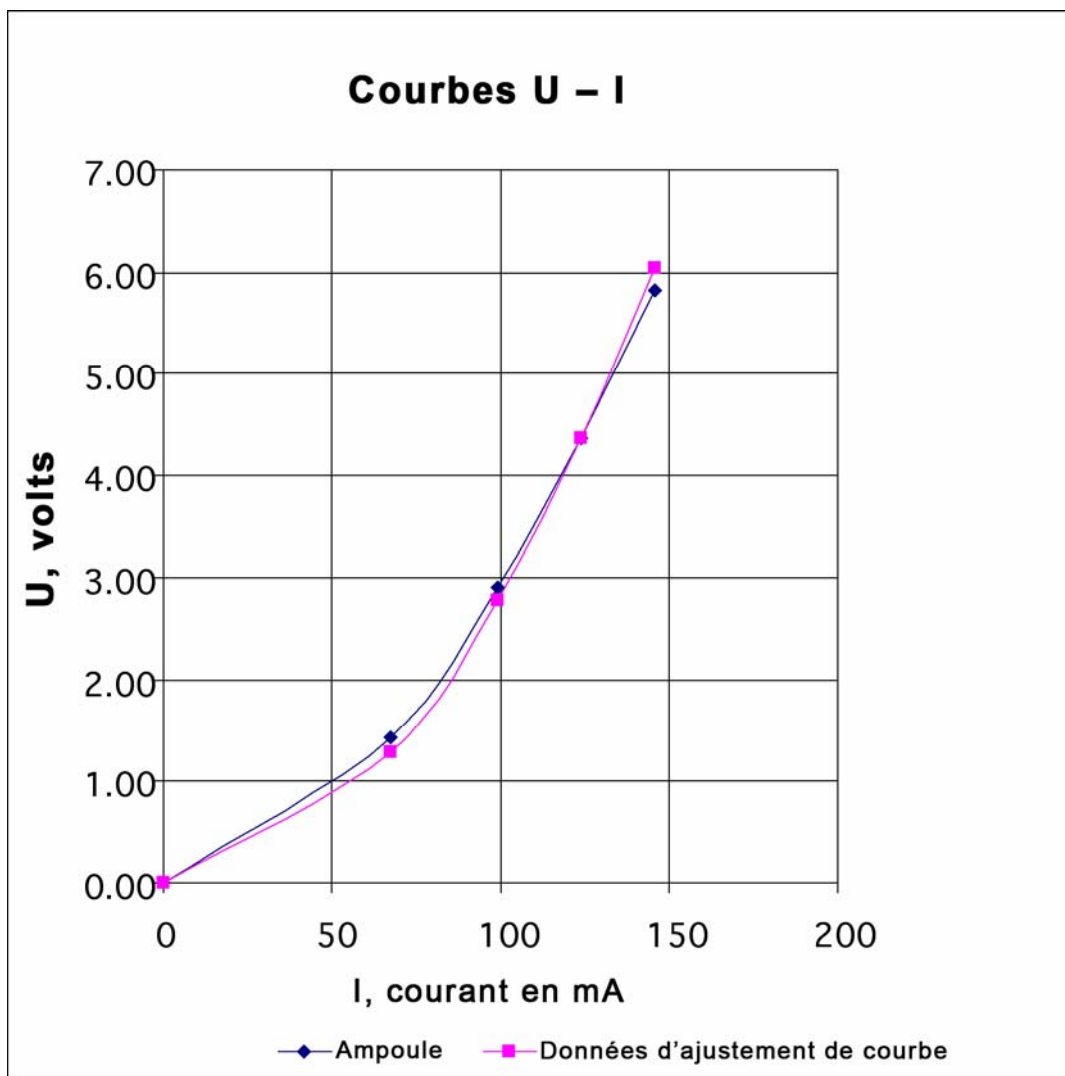
Données relevées avec l'ampoule n°40, 6,3 volts, 150 mA,

I, courant, mA	0	67,5	99,1	124	146
U, fem, volts	0,00	1,43	2,90	4,36	5,82

$$k = U / I^2 = 4,36 \text{ V}/(124\text{mA})^2 = 0,000284 \text{ V}/\text{mA}^2$$

Ajustement de la courbe parabolique pour les données de l'ampoule de 6,3 volts, 150 mA, n°40

I, courant, mA	0	67,5	99,1	124	146
U, fem, volts = $k I^2$	0,00	1,29	2,78	4,36	6,04



Pour les enseignants : Guide pas à pas pour l'exécution du plan de leçons (suite)

Faire le lien mathématique

La plupart des élèves de niveau secondaire reconnaîtront immédiatement que l'équation $y = m x + b$ correspond à l'équation d'une ligne dans le plan x-y, que « m » représente la pente de la ligne et que la ligne passe par le point « b » sur l'axe y. D'autre part, ils reconnaîtront aussi que l'équation $y = m x$ est un cas spécial où la ligne passe par l'origine du plan x y. Cependant, il semble peu probable, dans la plupart des cas, que les élèves reconnaissent que la loi d'Ohm, généralement formulée sous la forme « $U = I R$ », est également l'équation d'une ligne droite passant par l'origine d'un plan où « U » est représenté sur l'axe vertical et « I » sur l'axe horizontal. Le but de cet exercice est d'aider les élèves à faire le lien entre les concepts abstraits appris en algèbre 1 et les grandeurs physiques de la force électromotrice (tension) et du courant électrique.

Dans le cas d'un résistor fixe, la loi d'Ohm est la simple expression de la relation proportionnelle entre la force électromotrice en volts et le courant en ampères. En règle générale, la loi d'Ohm applicable aux circuits à courant continu, s'écrit sous la forme suivante :

$$U = I R \quad \text{Loi d'Ohm}$$

Où « U » représente la force électromotrice exprimée en volts, « I » représente le courant électrique en ampères et « R » représente la résistance en ohms.

Dans le cas d'un résistor fixe ordinaire, « R » est une constante qui représente la proportionnalité entre les variables « U » et « I ».

Si $U = y$, $I = x$ et $b = 0$, on constate tout de suite que l'équation est de la forme $y = m x + b$ et que R représente la pente de la ligne tracée sur le plan U - I.

Le fait d'écrire la loi d'Ohm avec des indices inférieurs et de réordonner les valeurs R et I met en évidence la correspondance entre les valeurs U, R et I et les valeurs y, m et x sous la forme de pente en un point d'une équation linéaire.

$$U_y = R_m I_x$$

Calculatrices graphiques

Les valeurs de tension et de courant mesurées dans les résistors et dans l'ampoule peuvent être entrées dans une calculatrice graphique (de type TI-83), afin de dériver des équations linéaires ou bicarrées correspondant au meilleur ajustement. L'analyse de données physiques à l'aide de calculatrices graphiques est un autre bon moyen de montrer aux élèves le lien entre des concepts mathématiques abstraits et des cas concrets.



Pour les enseignants :

Annexe 1 : Approvisionnement et coûts des fournitures

Avis de non-responsabilité : Les sources et coûts indiqués ci-après sont fournis à titre d'information et de commodité uniquement et ne constituent en aucun cas une approbation ou une recommandation de notre part concernant des fournisseurs ou produits particuliers. La mention d'un produit par son nom, son modèle ou son numéro de pièce n'est pas une garantie de sécurité ou d'adéquation dudit produit à un usage particulier. Les prix indiqués sont les prix pratiqués au cours des derniers mois de l'année 2003, issus de l'expérience personnelle de l'auteur, et sont reportés ici à titre d'information uniquement. Ceci ne constitue en aucun cas une offre de vente de ces produits par IEEE ou l'auteur.

Coordonnées de quelques-uns des fournisseurs cités ici

- ✦ Omnitron Electronics (www.omnitronelectronics.com) 954-574-0345
- ✦ Radio Shack (www.radioshack.com)

Magasins d'électronique		Radio Shack		
Description	N° de pièce Radio Shack			
Support de piles, 4 piles AA	270-391A			
Support de pile, 1 pile AA	270-401A			
Douille à vis	272-357			
Câbles de liaison	278-1156C lot de 10			
Résistor, 1/2 watt, 47 ohms	271-1105 lot de 5			
Résistor, 1/2 watt, 100 ohms	271-1108 lot de 5			
Ampoule, n° 40, 6,3 V, 150 mA	272-1128 lot de 2			
Fil électrique, 22, 20 ou 18 AWG, multibrins, couleur indifférente	278-1225 paquet de 3			
Multimètre numérique	22-810			
Brasure tendre, 60-40, colophane	64-009E (226 g, 0,8 mm dia.)			
Fournisseurs électroniques en ligne		Omnitron Electronics*		
Description	N° de pièce Omnitron Electronics			
Câbles de liaison	TL-6B paquet de 10			
Multimètre numérique	M-1004			
Quincailleries et magasins de bricolage				
Description	Article			
Plaques de renforcement, laiton, 12,7 x 50,8 mm	Stanley Classic Brassware 80-3770, lot de 3			
Plaques de renforcement, laiton, 12,7 x 50,8 mm	Brainerd solid brass 50651, lot de 4			
Planche en bois, taille nominale : 25,4 x 152,4 mm (taille réelle : 19,05 x 139,7 mm)	Planche blanche 25,4 x 152,4 mm x 2,4 m de long No. 2			
Piles AA	Paquet de 30 piles Ray O Vac alkaline			
Vis à bois à tête plate n° 4 - 12,7 mm de long	Paquet de 100			
Vis à bois à tête plate n° 4 - 19,05 mm de long	Paquet de 100			
Papier abrasif, fin, 120 grains.	Paquet de 5 feuilles			

Le coût total pour 30 postes de travail est d'environ 400 euros.

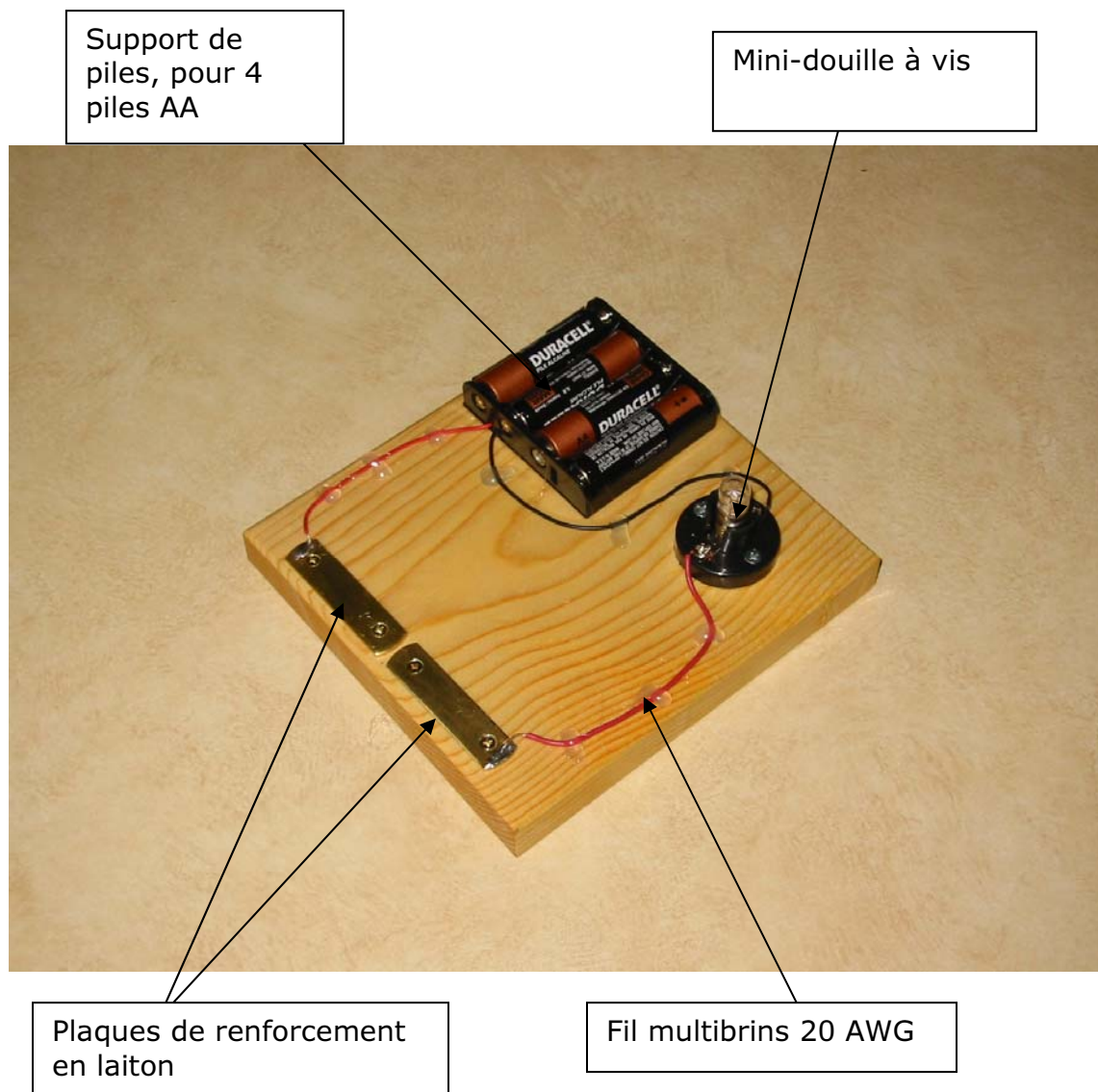
La loi d'Ohm



Pour les enseignants :

Annexe 2 : Instructions de montage d'un testeur de continuité

Les pièces du testeur de continuité illustré ici sont montées sur une planche en bois de 15 cm de long coupée dans une pièce de bois aux dimensions nominales de 25,4 mm par 152,4 mm (taille réelle : 19,05 x 139,7 mm). Il n'est pas essentiel de respecter à la lettre les dimensions de la planche et le positionnement exact des composants. Le support de piles est monté sur la planche au moyen de deux vis à bois à tête plate n° 4 de 12,7 mm de long. La douille est montée sur la planche au moyen de deux vis à bois à tête plate n° 4 de 19,05 mm de long. Les fils multibrins 20 AWG sont fixés sur la planche avec de la colle appliquée au moyen d'un pistolet d'encollage à chaud. Les plaques en laiton sont des plaques de renforcement en laiton massif de 12,7 x 50,8 mm, disponibles dans les quincailleries, les magasins de bricolage et les menuiseries. Les fils sont soudés sur les plaques en laiton à l'aide d'une brasure tendre à base de colophane d'alliage 60-40. Des informations supplémentaires sur le matériel sont fournies dans l'Annexe 1.

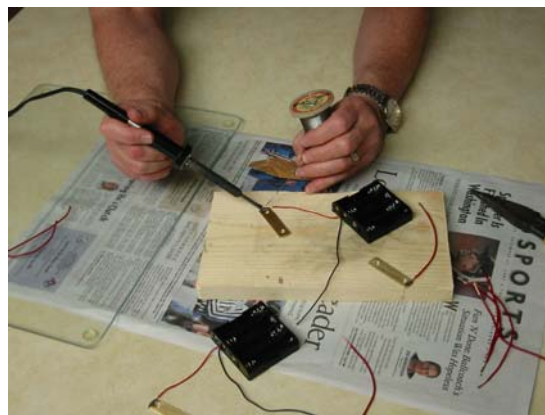


Pour les enseignants :
Annexe 2 : Instructions de montage d'un testeur de continuité (suite)

Les plaques en laiton sont recouvertes d'un finissage de vernis pour empêcher le ternissage. Mais ce vernis n'est pas conducteur et doit donc être entièrement éliminé des plaques en laiton. Ce vernis doit également être éliminé pour faciliter la soudure. Pour ce faire, utilisez du papier abrasif fin (120 grains).



Les joints à brasure tendre peuvent être réalisés avec un petit fer à souder de 25 watts. Les fils ont été fixés sur les plaques en laiton avant de monter celles-ci et le support de piles sur la planche.



Les pièces avant le montage sont illustrées dans la photo de droite.

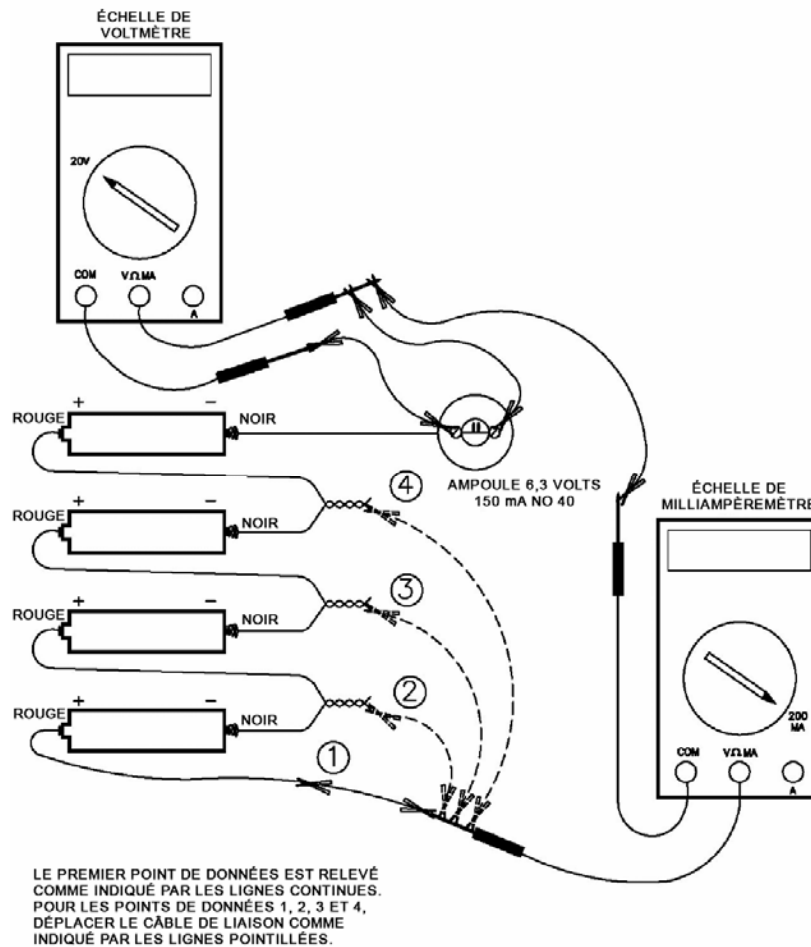


La loi d'Ohm



Pour les enseignants :

Annexe 3 : Photos et schémas d'un montage secondaire avec supports de piles individuels



La loi d'Ohm



Pour les enseignants :
Activité facultative

Annexe 4 : Activité « Isolants et conducteurs »

L'activité « Isolants et conducteur » est une bonne manière d'introduire l'activité « La loi d'Ohm » ou d'entamer une discussion sur la nature des conducteurs, des isolants et des semi-conducteurs. La planche de conductivité est un excellent outil pédagogique pour les élèves de tous âges, des classes primaires au lycée.

Les élèves se voient remettre une série de matériaux parmi lesquels ils doivent identifier les objets conducteurs et les objets non-conducteurs. Lors du tri initial, ils doivent reconnaître les conducteurs en tant que matériaux permettant de produire de la lumière, quelle qu'en soit l'intensité, et les non-conducteurs en tant que matériaux en présence desquels aucun signe de lumière n'est visible.



Suggestions de matériaux :

- ✦ Non-conducteurs : Papier, bâtonnet de glace, élastique, paille en plastique, ficelle.
- ✦ Conducteurs : Diode de redresseur (par ex. 3A, 50 V Radio Shack 276-1141), résistor d'1/2 watt/47 ohms, résistor d'1/2 watt/100 ohms, mine de crayon, papier aluminium, pièces de monnaie, ongle en acier, fil en cuivre.

Pour les enseignants :

Activité facultative

Annexe 4 : Activité « Isolants et conducteurs » (suite)

Une fois qu'ils ont effectué le tri initial, vous pouvez demander aux élèves de séparer les objets conducteurs en deux groupes : un premier groupe contenant les objets avec lesquels la lumière de l'ampoule est très vive et un deuxième groupe contenant les objets avec lesquels la lumière de l'ampoule est sensiblement plus faible. Le premier groupe comprendra des objets fabriqués à partir de métaux courants comme l'aluminium, le cuivre et le fer.

Le deuxième groupe comprendra des objets qui conduisent suffisamment l'électricité de façon à allumer l'ampoule, mais pas de manière aussi intense que les conducteurs métalliques, tels que le résistor de 47 ohms, le résistor de 100 ohms, la diode et la mine de crayon.

Demandez aux élèves de comparer la luminosité de l'ampoule dans un montage en série avec le résistor de 47 ohms par rapport à la luminosité de l'ampoule produite avec le résistor de 100 ohms. Si les piles ne sont plus très neuves, le filament de l'ampoule brillera probablement à peine avec un résistor de 100 ohms.

La diode est le seul matériau qui conduise le courant dans une direction et pas dans l'autre. Une discussion sur le fonctionnement de la diode est une bonne manière d'introduire une discussion sur les semi-conducteurs.

La mine de crayon est un autre matériau très intéressant. Il est important de préciser aux élèves que la mine de crayon ne contient pas de métal, mais une forme de carbone appelée « graphite ». Le fait que les diamants sont aussi entièrement constitués d'atomes de carbone, mais sont également de bons isolants, montre clairement que les matériaux doivent leurs propriétés de conduction électrique non seulement au type d'atomes présents, mais aussi à la disposition des atomes dans une structure cristalline particulière.

On pourrait croire que la mine de crayon contient du métal car elle a l'aspect du plomb. Le graphite est donc un bon exemple de conducteur non métallique. Le graphite est aussi un excellent lubrifiant capable de supporter de hautes températures. Comme le graphite est glissant sans être visqueux comme l'huile de graissage, il est utilisé pour graisser les verrous et les chaînes de vélo. Grâce à ses doubles propriétés de lubrifiant et de conducteur, le graphite est un excellent matériau pour faire glisser les contacts électriques. Par exemple, des balais en graphite sont utilisés pour transmettre le courant électrique aux armatures rotatives des moteurs électriques, tels que ceux utilisés dans les moteurs de démarrage automobile, les aspirateurs, les perceuses électriques à main et d'autres appareils.

La loi d'Ohm



Ressource aux élèves

Fiche d'information sur la loi d'Ohm

Qu'est-ce que la loi d'Ohm ?

La loi d'Ohm est une équation mathématique qui explique la relation entre la tension, le courant et la résistance dans les circuits électriques. Elle s'exprime comme suit :

$$U = I \times R$$

U = Tension (la tension est la différence de potentiel électrique entre deux points sur un fil conducteur. La tension se mesure en volts et provient de sources diverses comme les prises de courant et les piles.)

I = Courant (le courant se mesure en ampères. Le courant est le déplacement de particules chargées à travers un matériau conducteur entre la source de tension et une masse.)

R = Résistance (la résistance est l'opposition exercée par un corps au passage d'un courant électrique. La résistance se mesure en ohms. Les ampoules et les cafetières électriques sont des exemples d'objets avec une résistance.)

La résistance est le plus simple des trois éléments de circuit passif.

Il existe trois éléments de circuit électrique passif : le condensateur, qui emmagasine l'énergie sous forme de champ électrique ; la bobine d'induction, qui emmagasine l'énergie sous forme de champ magnétique et le résistor, qui dissipe l'énergie au lieu de l'emmagasiner. Cet exercice concerne le résistor uniquement, le plus simple des trois éléments de circuit passif. Deux types de résistors (ou conducteurs ohmiques) sont testés : les résistors linéaires qui ont une résistance constante ou fixe, et l'ampoule électrique, qui a une résistance non linéaire variable selon la quantité de courant qui traverse l'ampoule.

Primauté de la tradition dans la notation.

Tandis que la représentation de la résistance par la lettre « R » est évidente, l'utilisation des lettres « U » et « I » pour représenter la tension « U » produite dans le résistor traversé par un courant « I » relève de la tradition. En anglais, la tension est représentée par la lettre « E », qui vient de « Electromotive force » (force électromotrice), le terme d'origine désignant la quantité qui tend à pousser des charges électriques à travers un circuit. Il est aujourd'hui d'usage courant d'appeler la force électromotrice simplement par le terme « tension », soit d'une source comme une pile, soit du potentiel généré dans un résistor traversé par une charge électrique. De même, aux premiers stades du développement de la théorie électrique, la quantité de charge qui circulait dans un circuit sur une période donnée était appelée « intensité », une grandeur aujourd'hui communément appelée « courant » et exprimée en ampères (amps). Pour les besoins de cet exercice, nous ferons référence à la grandeur « U » pour désigner la « tension » qui entraîne le déplacement de la charge électrique à travers le résistor et à la grandeur « I » pour désigner le « courant », c'est-à-dire la quantité de charge qui traverse le résistor à un moment donné. La loi d'Ohm définit la résistance comme le rapport de la tension dans l'élément par le courant qui le traverse.

$$U = I R$$

Loi d'Ohm

$$R = U / I$$

Résistance définie par la loi d'Ohm.



Feuille de travail des élèves Procédure pas à pas

En supposant que l'ampoule n° 40 est le premier élément de circuit à tester, montez le matériel comme indiqué dans la figure 1 ou dans le montage secondaire illustré dans l'annexe 2.

Il est extrêmement important de veiller à ce que le compteur connecté à travers la douille soit réglé sur l'échelle de 20 volts avant de brancher le compteur sur le circuit. Si le compteur connecté à travers la douille est réglé sur l'échelle actuelle, ceci engendre une condition de court-circuit risquant de faire sauter le fusible dans le compteur. De même, il est important que le compteur utilisé pour mesurer le courant soit réglé sur une échelle de 200 milliampères ou plus avant de le brancher sur le circuit, ou le courant tiré risque de faire sauter le fusible dans le compteur.

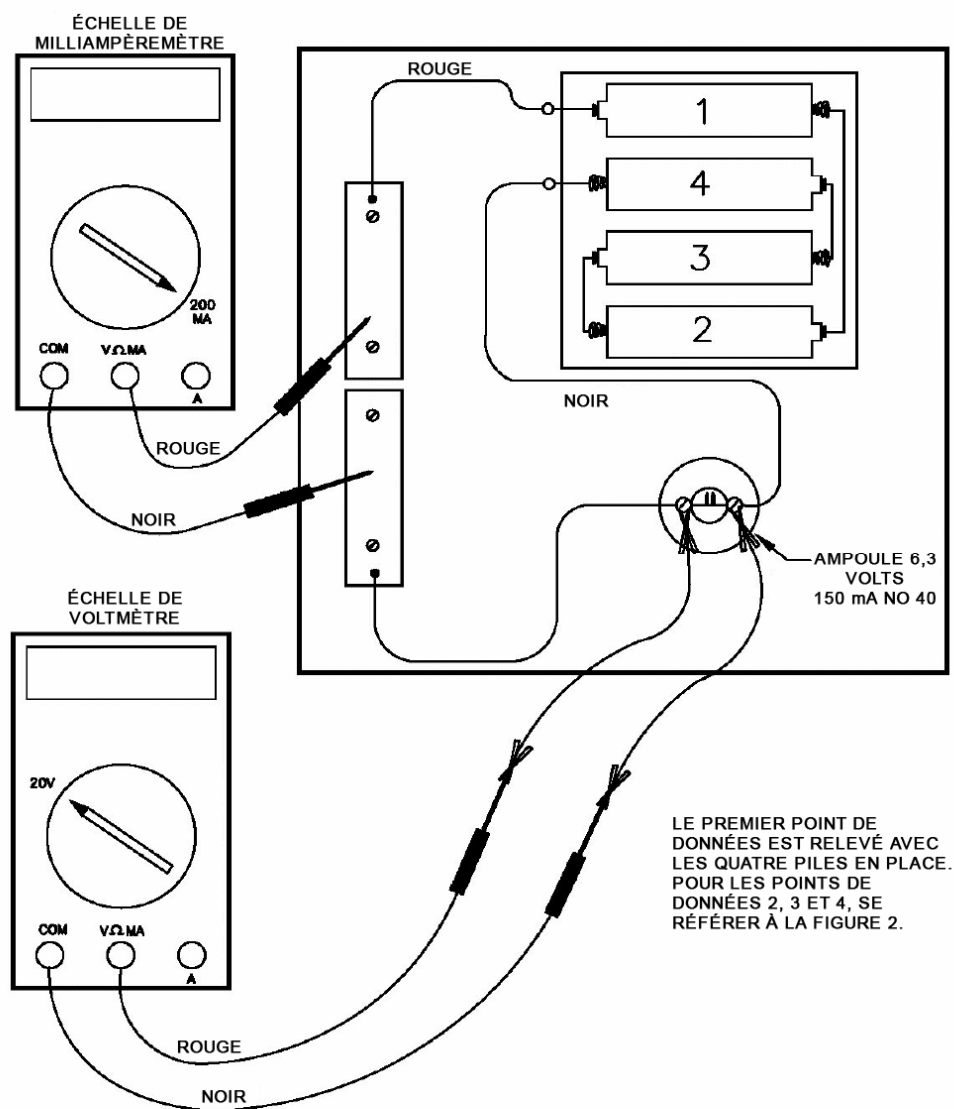


Figure 1

Feuille de travail des élèves

Procédure pas à pas (suite)

Prélèvement des données

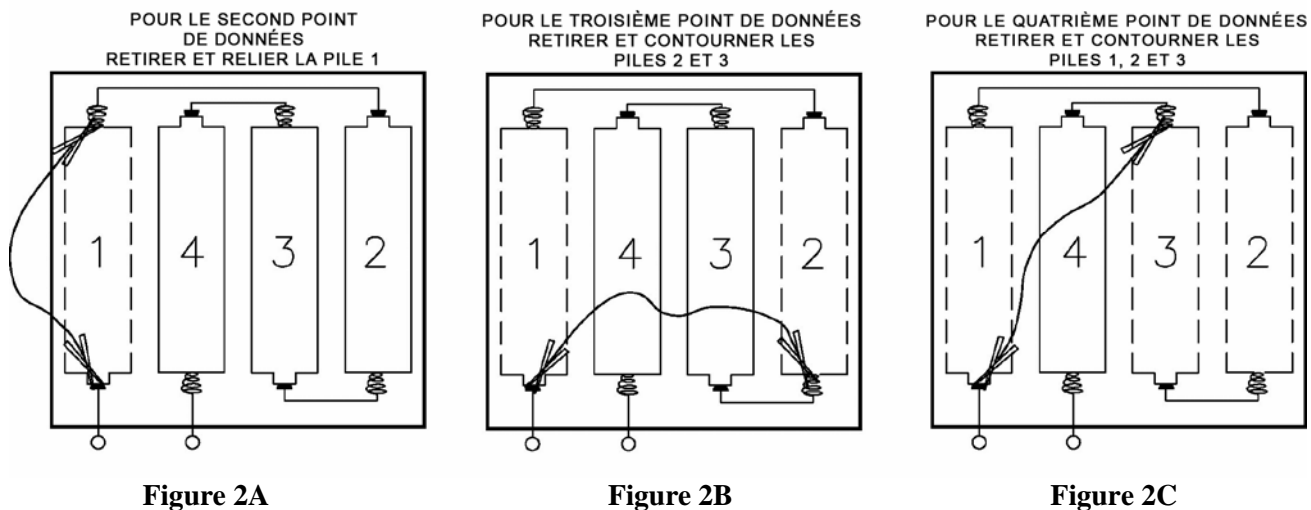
Après avoir placé les quatre piles dans le support de piles, mesurez et notez sur la feuille de données la tension et le courant qui traversent l'ampoule en vue d'obtenir le premier point de données.

Retirez et contournez la pile n° 1 comme indiqué dans la figure 2A, en laissant trois piles dans le support. À nouveau, mesurez et notez sur la feuille de données la tension et le courant qui traversent l'ampoule en vue d'obtenir le second point de données.

À présent, retirez et contournez les piles n° 1 et 2 en ne laissant que deux piles dans le support, comme indiqué dans la figure 2B. À nouveau, mesurez et notez sur la feuille de données la tension et le courant qui traversent l'ampoule en vue d'obtenir le troisième point de données.

Enfin, retirez et contournez les piles n° 1, 2 et 3 en ne laissant qu'une seule pile dans le support, comme indiqué dans la figure 2C. À nouveau, mesurez et notez sur la feuille de données la tension et le courant qui traversent l'ampoule en vue d'obtenir un quatrième point de données.

Etant donné qu'aucun courant ne circule dans l'ampoule quand toutes les piles sont retirées du support, le courant zéro et la tension zéro peuvent être déduits en tant que cinquième point de données.

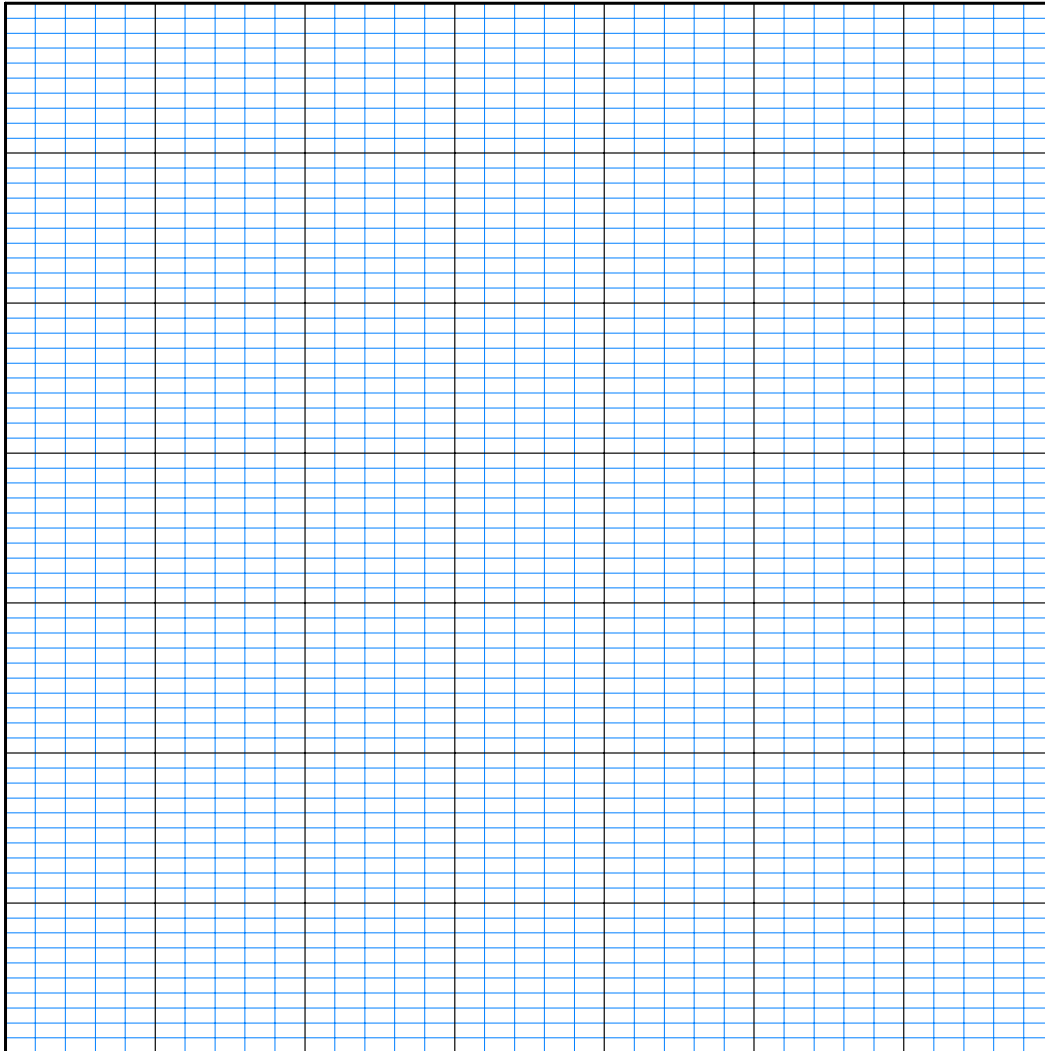


Reportez les points dans le graphique et tracez la courbe

Préparez une feuille de papier millimétré avec le courant en milliampères sur l'échelle horizontale et la tension en volts sur l'échelle verticale, comme illustré à la page suivante. Idéalement, l'échelle horizontale s'étendra de 0 à 175 milliampères et l'échelle verticale, de 0 à 7 volts. Reportez les cinq points de données mesurés avec l'ampoule et reliez-les en traçant une courbe de meilleur ajustement.

Feuille de travail des élèves
Procédure pas à pas (suite)

U en volts vs I en milliampères.



Données relevées avec l'ampoule n°40, 6,3 volts, 150 mA,

I, courant, mA 0,0 _____

U, fem, volts 0,0 _____

Données relevées avec le résistor 1 47 Ohms

I, courant, mA 0,0 _____

U, fem, volts 0,0 _____

Données relevées avec le résistor 2 100 ohms

I, courant, mA 0,0 _____

U, fem, volts 0,0 _____

Feuille de travail des élèves

Procédure pas à pas (suite)

Mise à l'essai des résistors

La marche à suivre pour mesurer et enregistrer les données de chaque résistor est pratiquement identique à celle appliquée avec l'ampoule. Les détails exacts de branchement du résistor au circuit sont illustrés dans la figure 3.

Toutefois, n'oubliez pas de retirer l'ampoule de la douille afin que le courant ne contourne pas le résistor et ne surcharge le milliampèremètre. Ceci risquerait également de faire sauter le fusible dans le milliampèremètre.

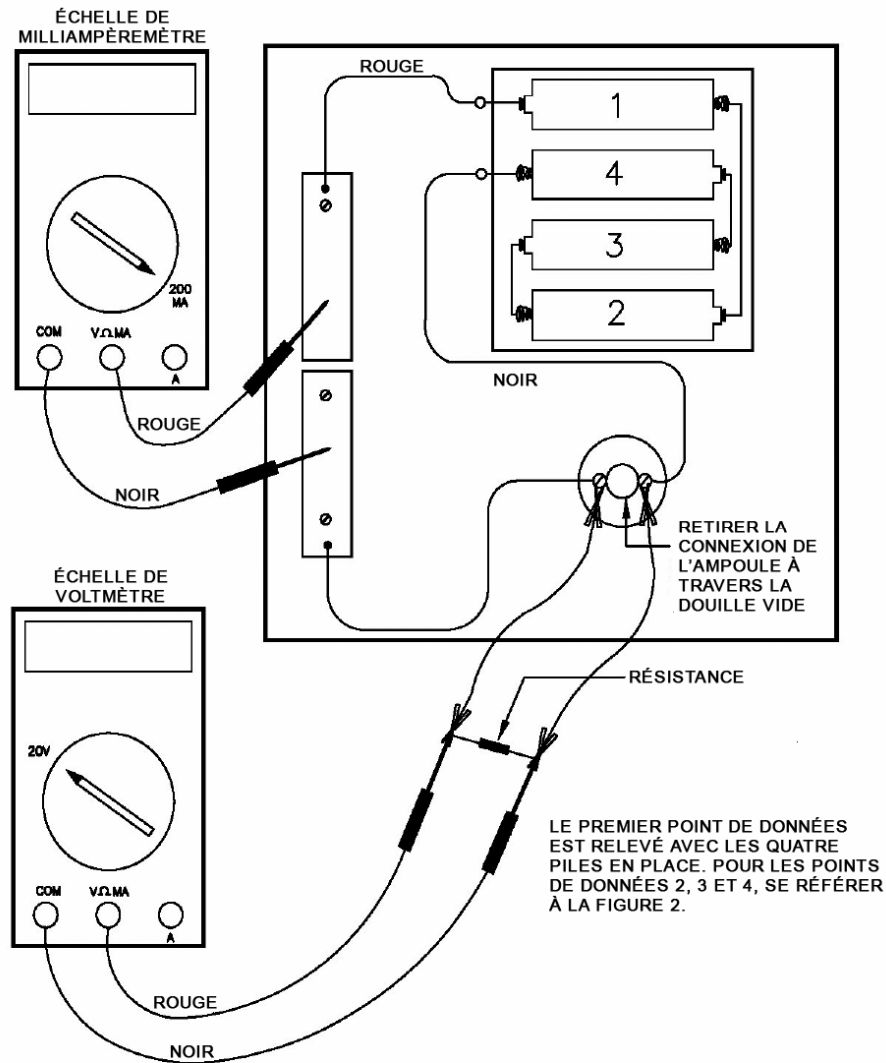


Figure 3

Une fois le premier point de données du résistor mesuré et enregistré, retirez et contournez une pile à la fois afin d'obtenir les deuxième, troisième et quatrième points de données de la résistance. La procédure de retrait et de contournement des piles est la même que pour l'ampoule, comme illustré dans les figures précédentes 2A, 2B et 2C. Comme pour l'ampoule, le cinquième point de données correspondant au zéro milliampère et au zéro volt est déduit pour les résistors. Les données relevées avec l'ampoule et les résistors peuvent être reportées sur la même feuille et sur le même graphique afin de faciliter la comparaison des courbes obtenues avec chaque élément.

Feuille de travail des élèves

Procédure pas à pas (suite)

Découverte de la loi d'Ohm

1. Tracez une ligne horizontale sur votre graphique au niveau $U = 5$ volts et tracez des lignes verticales qui descendent des intersections de la ligne horizontale et des courbes obtenues avec les résistors de 100 et 47 ohms, comme illustré dans le schéma ci-dessous.

Reportez les valeurs, en milliampères, de I_{100} et I_{47} , dans les espaces blancs ci-dessous, puis convertissez ces valeurs en ampères en multipliant par 1 amp / 1 000 milliampères.

$$I_{100} = \text{_____ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \text{_____ amps.}$$

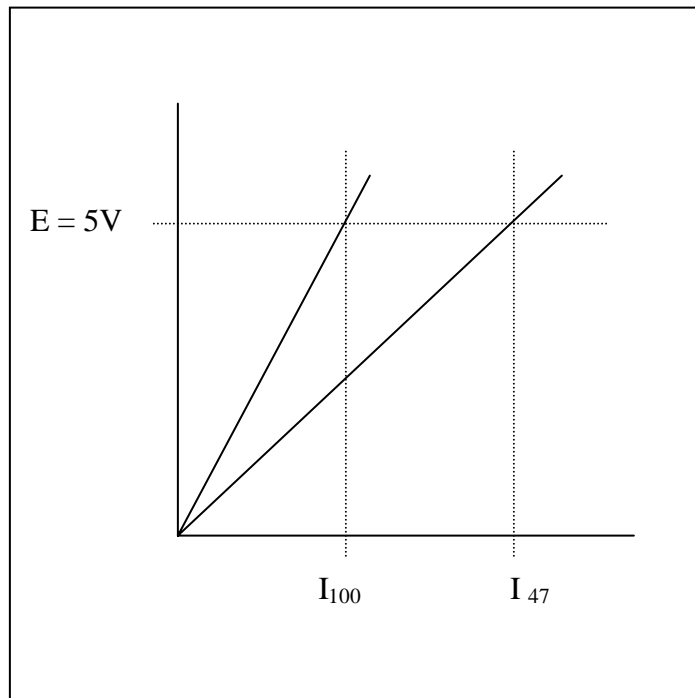
$$I_{47} = \text{_____ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \text{_____ amps.}$$

2. À partir des valeurs en amps de I_{100} et I_{47} , calculez les résistances R_{100} et R_{47} .

$$R_{100} = 5\text{V} / I_{100} = \text{_____ ohms.}$$

$$R_{47} = 5\text{V} / I_{47} = \text{_____ ohms.}$$

Comparez les valeurs R_{100} et R_{47} obtenues dans la question 3 ci-dessus aux valeurs nominales 100 et 47 ohms des résistors.



Feuille de travail des élèves

Procédure pas à pas (suite)

On constate de manière évidente que la résistance d'un résistor fixe correspond à la pente de la ligne qui définit la relation entre la tension et le courant. Une autre manière de formuler ceci est d'observer que la tension qui traverse le résistor est proportionnelle au courant qui le traverse. La résistance est tout simplement la constante de proportionnalité entre la tension et le courant.

3. Écriture des équations U-I pour les résistors fixes.

Les équations de la ligne sur les graphiques U-I peuvent être écrites en substituant les valeurs R_{100} et R_{47} déduites des données précédentes.

Pour le résistor de 100 ohms

$$U = R_{100} I = (\text{_____ ohms}) I$$

Et pour le résistor de 47 ohms

$$U = R_{47} I = (\text{_____ ohms}) I$$

Insérez une valeur de 0,050 amp (50 milliampères) dans les équations précédentes et calculez les tensions résultantes pour les résistors de 100 et 47 ohms.

Pour le résistor de 100 ohms

$$U = R_{100} 0,050 \text{ amp} = \text{_____ ohms} \times 0,050 \text{ A} = \text{_____ volts.}$$

De la même manière, pour le résistor de 47 ohms

$$U = R_{47} 0,050 \text{ amp} = \text{_____ ohms} \times 0,050 \text{ A} = \text{_____ volts.}$$

Reportez ces deux points sur vos graphiques pour confirmer que les points se trouvent sur ou très près des lignes correspondant aux résistors de 100 et 47 ohms.

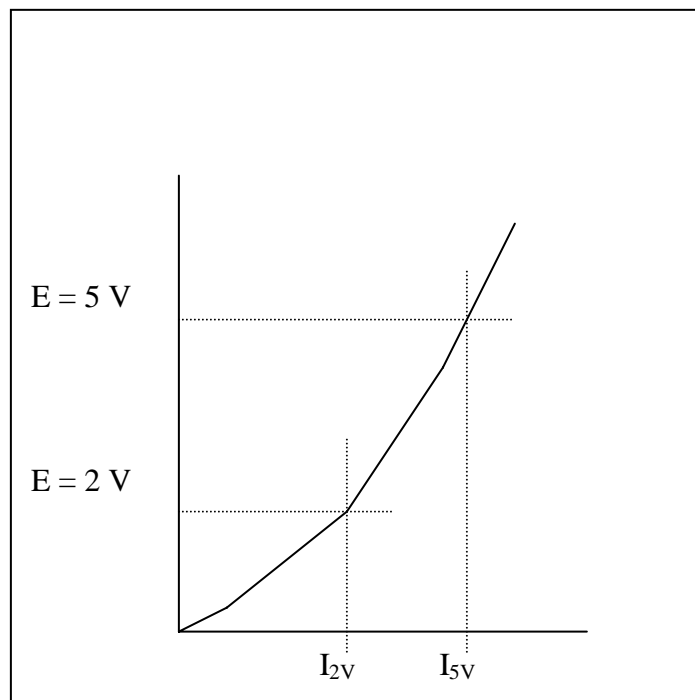
Feuille de travail des élèves

Procédure pas à pas (suite)

4. Écriture d'une équation U-I pour l'ampoule.

Prenez maintenant le cas de l'ampoule. Vu que la courbe U-I de l'ampoule n'est pas une ligne droite, comment définit-on sa résistance ? En fait, la résistance de l'ampoule est définie comme le rapport de la tension au courant, comme dans le cas des résistors fixes. Or, l'exercice suivant démontrera que la résistance n'est plus une valeur fixe.

La courbe U-I de l'ampoule est illustrée dans le schéma ci-dessous. Tracez deux lignes horizontales aux niveaux $U = 5 \text{ V}$ et $U = 2 \text{ V}$ de sorte qu'elles croisent la courbe, tracez deux lignes verticales descendant des points d'intersection et lisez les valeurs de I_{2V} et I_{5V} sur l'échelle des milliampères.



Reportez les valeurs, en milliampères, de I_{2V} et I_{5V} , dans les espaces blancs ci-dessous, puis convertissez ces valeurs en milliampères en multipliant par 1 amp / 1 000 milliampères.

$$I_{2V} = \text{_____ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \text{_____ amps.}$$

$$I_{5V} = \text{_____ mA} \times (1 \text{ amp} / 1\,000 \text{ mA}) = \text{_____ amps.}$$

Feuille de travail des élèves

Procédure pas à pas (suite)

À partir des valeurs en amps de I_{2V} et I_{5V} , calculez les résistances R_{2V} et R_{5V} .

$$R_{2V} = 2 \text{ V} / I_{2V} = 2 \text{ V} / \text{_____ A} = \text{_____ ohms.}$$

$$R_{5V} = 5 \text{ V} / I_{5V} = 5 \text{ V} / \text{_____ A} = \text{_____ ohms.}$$

On constate une nette différence entre les valeurs R_{2V} et R_{5V} , ce qui n'est pas surprenant dans la mesure où la courbe U-I de l'ampoule n'est pas une ligne droite. L'écriture d'une équation exprimant la relation entre la tension et le courant qui traversent l'ampoule est plus compliquée que le simple fait de reconnaître que la résistance représente la pente de la courbe U-I, comme dans le cas des résistors fixes. Une équation parabolique de la forme $U = k I^2$ peut être dérivée en utilisant l'un quelconque des points de données. Toutefois, la courbe passera généralement par l'origine et par le point utilisé pour déduire la valeur k, mais d'autres points de données peuvent être situés relativement loin de la courbe. Des équations polynomiales plus sophistiquées passant par tous les points de données peuvent être dérivées, mais elles impliquent des traitements mathématiques qui n'entrent pas dans le cadre de cet exercice.

Utilisez les données relevées pour le point avoisinant 4,5 volts afin de calculer une valeur k :

$$k = U / I^2 = \text{_____ V} / (\text{_____ mA})^2 = \text{_____ V} / \text{mA}^2$$

Utilisez le résultat de votre calcul de k afin de générer une courbe U-I prédite pour l'ampoule. Par commodité, utilisez les mêmes valeurs de courant que vous avez mesurées avec l'ampoule pour calculer les valeurs prédites de tension dans l'ampoule.

I, mA 0 _____ _____ _____ _____

$U = k I^2$ 0 _____ _____ _____ _____

À titre de comparaison, tracez la courbe U-I prédite pour l'ampoule sur votre graphique d'origine. La courbe prédite reproduit-elle précisément les données de test obtenues sur toute la plage de fonctionnement de l'ampoule ?