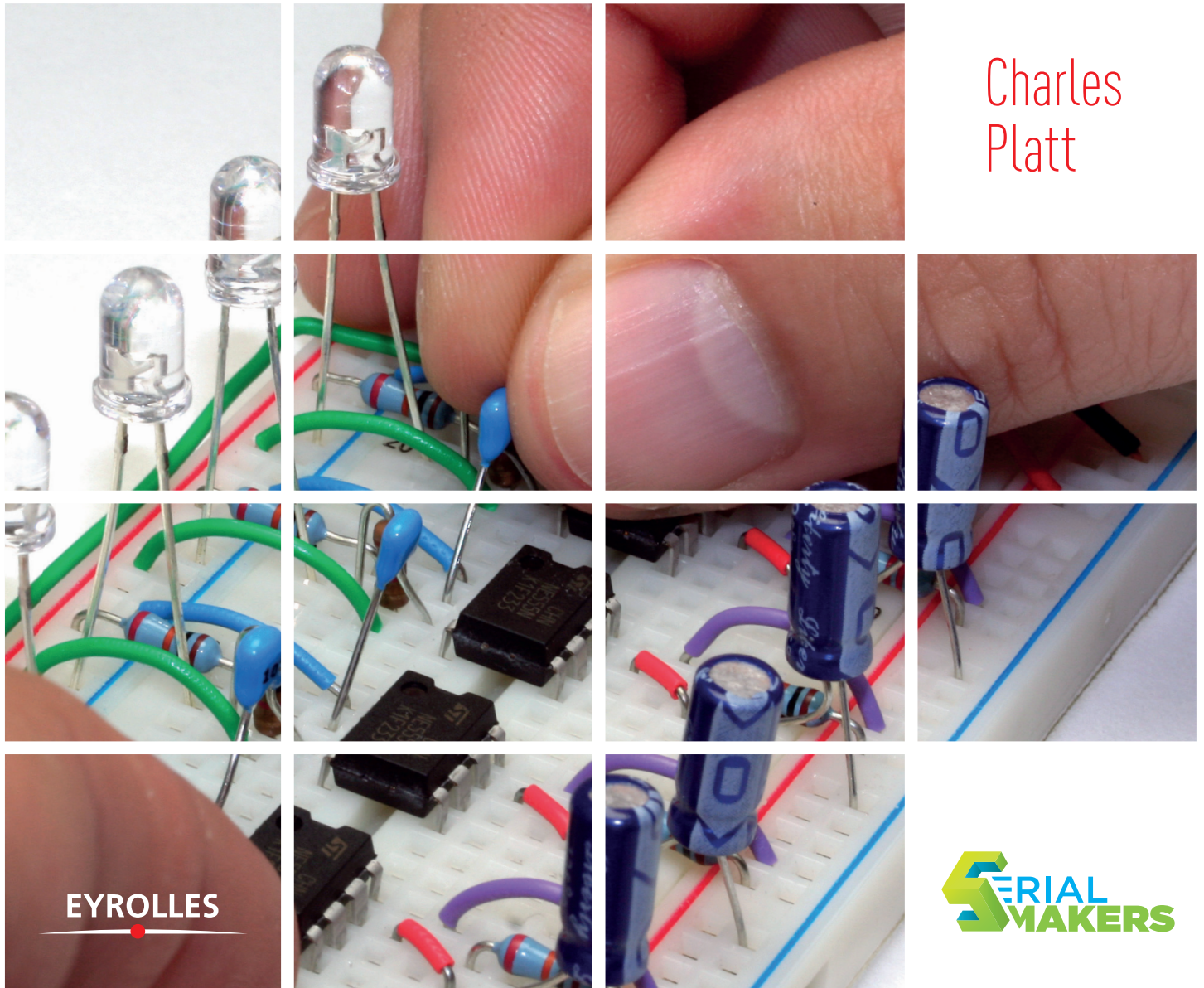


# L'ÉLECTRONIQUE EN PRATIQUE

**34** expériences ludiques

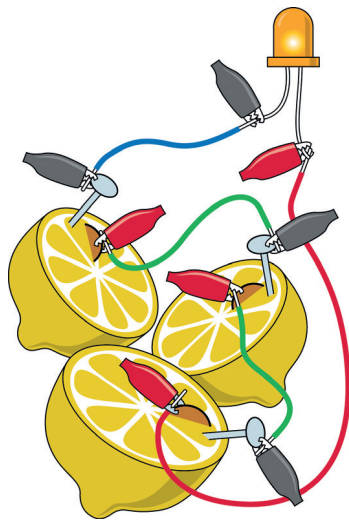
2<sup>e</sup> édition

Charles  
Platt



EYROLLES

**SERIAL  
MAKERS**



## Un peu de théorie, beaucoup de pratique !

Vous souhaitez vous mettre à l'électronique, mais à condition de pratiquer tout de suite ? Vous voulez en connaître les grands fondements, mais sans risquer l'overdose de théorie ? Avec ce livre d'introduction, vous commencerez à monter des circuits simples dès la première page.

Par le biais de 34 expériences, toutes plus amusantes les unes que les autres, vous découvrirez les principaux composants et les concepts essentiels de l'électronique. Vous

serez guidé pas à pas dans la réalisation de montages de plus en plus complexes, allant d'un commutateur basique aux circuits intégrés, d'une LED qui clignote aux microcontrôleurs programmables. Ludique, inventif, foisonnant d'illustrations (plus de 500 photos, schémas et dessins), écrit dans un langage vivant et accessible, cet ouvrage remarquable met l'électronique à la portée de tous. Entièrement refondue et révisée, cette deuxième édition comporte beaucoup de nouveaux projets, en privilégiant les composants bon marché et les cartes Arduino.

### À qui s'adresse ce livre ?

- Aux électroniciens en herbe, amateurs, bricoleurs, bidouilleurs, geeks, étudiants, musiciens...
- À tous les makers qui souhaitent découvrir l'électronique par la pratique.

---

### Dans ce livre, vous apprendrez notamment à :

- vous aménager un bel espace de travail, équipé de tous les outils nécessaires
- identifier les principaux composants électroniques et leurs fonctions dans un circuit
- fabriquer une alarme anti-intrusion, une radio, un bijou électronique, un testeur de réflexes et un verrou à combinaison

**Charles Platt** est un passionné d'électronique depuis son enfance. Auteur de plusieurs ouvrages de science-fiction, il a enseigné le graphisme, puis est devenu l'un des principaux rédacteurs du magazine *Wired*. Aujourd'hui, il contribue régulièrement à la revue américaine *Make*, bien connue des makers.

**Make:**  
makezine.com

# **L'électronique en pratique**



# L'électronique en pratique

2<sup>e</sup> édition

Charles Platt

*Avec les photos et illustrations de l'auteur*

EYROLLES



ÉDITIONS EYROLLES  
61, bld Saint-Germain  
75240 Paris Cedex 05  
www.editions-eyrolles.com

Authorized French translation of the English edition of *Make: Electronics*, 2<sup>nd</sup> Edition, ISBN 978-1-680-45026-2 © 2015 Helpful Corporation, published by Maker Media Inc. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Traduction autorisée de l'ouvrage en langue anglaise intitulé *Make: Electronics*, 2<sup>nd</sup> Edition de Charles Platt (ISBN : 978-1-680-45026-2), publié par Maker Media, Inc.

Adapté de l'anglais par Jean Boyer

Composition : Soft Office (38)

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Charles Platt pour les photos et illustrations de la présente édition

© Groupe Eyrolles, 2016, pour la présente édition, ISBN : 978-2-212-14425-3

*Aux lecteurs de la première édition de L'électronique en pratique qui ont contribué,  
par leurs nombreuses idées et suggestions, à ce deuxième opus.*

*Et en particulier à Jeremy Frank, Russ Sprouse, Darral Teeple, Andrew Shaw, Brian Good,  
Braham Patel, Brian Smith, Gary White, Tom Malone, Joe Everhart, Don Girvin, Marshall Magee,  
Albert Qin, Vida John, Mark Jones, Chris Silva et Warren Smith.*

*Certains d'entre eux m'ont également aidé à corriger quelques erreurs dans le texte de l'ouvrage.  
Les retours de mes lecteurs sont inestimables.*





# Avant-propos

Tout le monde utilise des appareils électroniques, mais sans trop savoir comment ils fonctionnent.

Peu importe, me direz-vous. Si vous savez conduire une voiture sans connaître le principe d'un moteur à combustion, vous pouvez certainement utiliser un iPod en ignorant tout des circuits intégrés.

Alors pourquoi devriez-vous apprendre l'électricité et l'électronique ? J'y vois trois raisons principales :

- Si les technologies vous sont familières, vous contrôlerez davantage votre environnement au lieu de le subir. Si votre appareil électronique ne fonctionne plus, vous serez plus à même de le réparer au lieu d'éprouver un sentiment d'incompétence.
- L'apprentissage de l'électronique peut être amusant s'il est bien mené. Les outils sont relativement bon marché, un dessus de table suffit pour travailler et vous pouvez n'y consacrer qu'un temps limité.
- La maîtrise de l'électronique peut accroître votre valeur dans votre cadre professionnel, voire vous conduire à une carrière totalement nouvelle !

## Apprendre par la pratique

La plupart des ouvrages d'initiation commencent par des définitions et des faits, puis vous amènent progressivement à l'étape de montage d'un circuit simple.

À l'école, l'étude des sciences suit le plus souvent un plan similaire. C'est ce que j'appellerais *l'apprentissage par l'explication*.

Ce livre procède de manière inverse. Dès les premières pages, vous serez plongé dans le sujet et amené à assembler des composants afin d'observer ce qui se passe. Je

suis persuadé que cette méthode *d'apprentissage par la pratique* est plus amusante, plus intéressante et plus marquante.

On retrouve cet apprentissage par la pratique dans le monde de la recherche, lorsque les scientifiques observent un phénomène qu'aucune théorie ne peut expliquer : ils commencent alors par l'étudier pour essayer de le comprendre. Nous allons procéder à l'identique, à notre niveau bien sûr.

En cours de route, vous commettrez certainement quelques erreurs. Ne vous en souciez pas : ces erreurs sont bénéfiques, elles constituent la meilleure façon d'apprendre. Dans le livre, je vous demanderai même de brûler et de démonter des composants, car c'est une excellente façon d'en connaître les limites. Comme nous n'utiliserons que des tensions faibles, vous ne courrez aucun risque d'électrocution et, si vous limitez le flux du courant en respectant les procédures décrites, il n'y aura aucun danger que vous vous brûliez les doigts ou déclenchiez un incendie !



### Ne dépassez pas les limites !

*Même si je pense que toutes les expériences décrites dans cet ouvrage sont sans risque, n'essayez pas de dépasser les limites indiquées. Suivez toujours les instructions et prêtez attention aux différents avertissements, signalés par l'icône ci-dessus. Si vous franchissez les limites imparties, vous vous exposerez à des risques inutiles.*

## L'apprentissage sera-t-il difficile ?

Je pars du principe que vous n'avez aucune connaissance préalable en électronique. Par conséquent, les toutes premières expériences seront extrêmement simples : pour créer un circuit, vous n'aurez même pas besoin de soudure ni de cartes de prototypage, il vous suffira de maintenir les fils avec des pinces crocodile.

Je ne pense pas que l'électronique amateur soit difficile à comprendre. Bien sûr, si vous souhaitez l'étudier de façon formelle et inventer vos propres circuits, cela peut devenir plus ardu. Mais dans ce livre, les outils et les fournitures seront très abordables, les objectifs clairement définis, et les seules connaissances mathématiques nécessaires se résumeront aux opérations d'addition, de soustraction, de multiplication et de division.

## Comment ce livre est-il structuré ?

En règle générale, il existe deux façons de présenter les informations dans ce genre d'ouvrage : sous forme de travaux pratiques, ou bien dans des textes de référence plus formels. Dans ce livre, j'utiliserai les deux méthodes.

Vous trouverez des travaux pratiques dans les sections commençant par :

- « Expérience »
- « De quoi avez-vous besoin ? »
- « Attention »

Les expériences sont au cœur de ce livre. Elles ont été classées afin que les connaissances acquises au fur et à mesure soient utilisées dans les projets suivants. Je vous suggère de réaliser les expériences en suivant leur ordre de présentation, si possible en n'en sautant aucune.

Vous trouverez des textes de référence dans les sections commençant par :

- « Fondamentaux »
- « Théorie »
- « Historique »

Ces sections sont importantes. Toutefois, libre à vous de naviguer entre ces textes comme vous le souhaitez. Ainsi, vous pouvez très bien en sauter certains pour y revenir plus tard.

## Si quelque chose ne fonctionne pas

Il n'y a en général qu'une seule façon de réaliser un circuit fonctionnel, alors qu'il en existe des centaines qui conduiront à des erreurs. La chance est souvent contre vous, à moins que vous ne procédiez très attentivement et méthodiquement.

Je sais combien il est frustrant de constater que les composants assemblés ne réalisent pas ce que l'on attend d'eux, mais si votre circuit ne fonctionne pas, suivez la procédure de recherche d'erreurs de la section « Fondamentaux : recherche des erreurs » page 68.

## Pour aller plus loin

Lorsque vous aurez réalisé toutes les expériences décrites dans ce livre, vous aurez acquis les grandes bases de l'électronique. Si vous souhaitez en savoir davantage, je vous conseille de lire ensuite *L'électronique en pratique 2*, également publié aux éditions Eyrolles. Cet ouvrage un peu plus complexe, qui utilise le même concept d'apprentissage par la pratique que le premier, permet d'acquérir un niveau « intermédiaire » en électronique.

Je ne suis pas qualifié pour écrire un ouvrage de niveau supérieur. En conséquence, je n'ai pas l'intention de publier un ouvrage qui pourrait s'intituler *L'électronique en pratique 3* !

Si vous souhaitez par la suite vous perfectionner en électronique, je vous recommande l'ouvrage en anglais de Paul Scherz *Practical electronics for inventors*. Rassurez-vous, il est inutile que vous soyez un inventeur pour le trouver intéressant.

# Nouveautés de la seconde édition

L'ensemble du texte de ce livre a été réécrit, tandis que la plupart des photos et schémas ont été remplacés.

Des **plaques d'essais à bus unique** sont dorénavant utilisées tout au long de l'ouvrage (comme dans *L'électronique en pratique 2*, paru également aux éditions Eyrolles), afin de réduire le risque d'erreurs de câblage. Ce changement a nécessité un nouveau câblage des circuits, mais je pense que cela en valait la peine.

Des **plans montrant la disposition des composants** ont remplacé les photos des circuits sur plaques d'essais. Je pense que ces plans sont plus clairs.

Les **vues internes des connexions des plaques d'essais** ont été redessinées afin de correspondre aux modifications indiquées ci-dessus.

De **nouvelles photos** des outils et fournitures ont été ajoutées. Pour les éléments de petites dimensions, j'ai utilisé une règle graduée afin de préciser l'échelle.

Quand cela était possible, j'ai utilisé les composants les moins coûteux. J'ai également réduit l'ensemble de ce que vous devez acheter.

Trois expériences ont été totalement revues :

- Le projet des dés électroniques, qui employait des circuits intégrés de la série 74LS, fait maintenant appel à des circuits de la série HC, afin d'être cohérent avec le reste du livre et conforme aux usages récents.
- Le projet qui comportait un transistor unijonction a été modifié en utilisant un multivibrateur astable constitué de deux transistors.
- Le projet traitant des microcontrôleurs emploie désormais des cartes Arduino, très populaires dans la communauté des makers.

Par ailleurs, deux projets faisant intervenir du plastique ABS ont été supprimés, car de nombreux lecteurs les trouvaient peu intéressants.

Enfin, la mise en page de cette seconde édition a été modifiée afin de rendre l'ouvrage plus agréable à lire et mieux adapté aux liseuses. Elle permet également de faciliter les actualisations futures du texte : nous souhaitons en effet que ce livre demeure à jour et utile pour de nombreuses années à venir !



# Table des matières

<b>1. Les bases</b> .....	<b>1</b>
Matériel du chapitre 1 .....	1
Expérience 1 : goûtez à l'électricité ! .....	6
Expérience 2 : maltraitez une pile ! .....	11
Expérience 3 : votre premier circuit .....	17
Expérience 4 : une résistance variable .....	20
Expérience 5 : fabriquons une pile .....	31
<b>2. Principes de commutation</b> .....	<b>39</b>
Matériel du chapitre 2 .....	39
Expérience 6 : une commutation très simple .....	48
Expérience 7 : étude d'un relais .....	56
Expérience 8 : un oscillateur à relais .....	62
Expérience 9 : le temps et les condensateurs .....	70
Expérience 10 : un interrupteur à transistor .....	78
Expérience 11 : son et lumière .....	85
<b>3. Notions plus avancées</b> .....	<b>93</b>
Matériel du chapitre 3 .....	93
Expérience 12 : une jonction de deux fils .....	101
Expérience 13 : grillez une LED ! .....	113
Expérience 14 : une lumière pulsée pour vêtement .....	115
Expérience 15 : alarme anti-intrusion, première partie .....	123

<b>4. Circuits intégrés</b>	<b>133</b>
Matériel du chapitre 4	133
Expérience 16 : émission d'une impulsion	137
Expérience 17 : créez un son	146
Expérience 18 : l'alarme d'intrusion (presque) terminée	154
Expérience 19 : testeur de réflexes	167
Expérience 20 : apprentissage de la logique	179
Expérience 21 : un code secret	189
Expérience 22 : une course de vitesse	198
Expérience 23 : hésitations et rebonds	206
Expérience 24 : les dés magiques	211
<b>5. Et après ?</b>	<b>223</b>
Matériel du chapitre 5	223
Personnalisez votre espace de travail	223
Expérience 25 : autour du magnétisme	228
Expérience 26 : un générateur de tension	231
Expérience 27 : démontez un haut-parleur	236
Expérience 28 : faites réagir une bobine	239
Expérience 29 : filtrez certaines fréquences	242
Expérience 30 : autour de la distorsion	251
Expérience 31 : une radio sans soudure ni alimentation	255
Expérience 32 : quand le matériel rencontre le logiciel	261
Expérience 33 : évaluer son environnement	273
Expérience 34 : des dés plus sophistiqués	279
Sujets inexplorés	290
Conclusion	290
<b>6. Outils, composants et fournitures</b>	<b>291</b>
Rechercher et acheter en ligne	291
Listes des fournitures et composants	296
Achat des outils	304
Fournisseurs	306
<b>Index</b>	<b>309</b>
<b>Remerciements</b>	<b>313</b>
<b>À propos de l'auteur</b>	<b>315</b>

# Les bases

# 1

Dans l'expérience 1, je veux que vous goûtiez à l'électricité, littéralement ! Vous allez étudier le courant électrique et découvrir ce qu'est la résistance, pas uniquement sous forme de composants et de fils, mais dans ce qui vous entoure.

Les expériences 2 à 5 vont vous montrer comment mesurer et comprendre la pression et le flux électrique. Pour terminer, vous verrez comment générer de l'électricité avec des objets usuels, sur un coin de table.

Même si vous avez déjà acquis des connaissances en électronique, je vous encourage à réaliser ces expériences avant de vous aventurer dans la suite de ce livre. Elles sont amusantes et permettent de clarifier certains concepts de base.

## Matériel du chapitre 1

Chaque chapitre de ce livre commence par une description illustrée des outils, composants et fournitures nécessaires pour réaliser les expériences décrites. Une fois que vous serez familier avec ce type de matériel, vous pourrez consulter le chapitre 6 où est listé tout le matériel requis pour les expériences de cet ouvrage.

J'appelle *outils* le matériel, allant des pinces au multimètre, qui vous sera toujours utile, même en dehors du cadre de cet ouvrage. Les *fournitures*, telles que fils et soudure, seront employées au fil des projets, mais les quantités que je recommande devraient être suffisantes pour toutes les expériences de ce livre. Les *composants* seront listés par projets.

## Multimètre



**Figure 1-1.** Ce type de multimètre à aiguille ne convient pas à votre besoin. Vous devez choisir un multimètre numérique.

Je commence par le multimètre, parce que je considère que c'est l'outil le plus essentiel. Il vous indiquera la tension entre deux points d'un circuit, ou combien de courant traverse un circuit. Il vous aidera à trouver une erreur de câblage et il pourra aussi évaluer un composant, déterminer sa résistance électrique – ou sa capacité, qui représente son pouvoir de stockage d'une charge électrique.

Si vous êtes débutant, ces termes vous paraissent peut-être confus et vous pouvez penser qu'un multimètre est complexe et difficile à utiliser. Ce n'est pas le cas. Il vous facilitera l'apprentissage, car il vous révèle ce que vous ne pouvez pas voir.

Vous ne devez pas acheter un multimètre de type ancien, comportant une aiguille qui se déplace au-dessus d'une échelle graduée (figure 1-1). Il s'agit d'un multimètre *analogique*.

Vous devez vous procurer un multimètre *numérique*, qui affiche numériquement les valeurs. Je vous en présente quatre ci-après.

La figure 1-2 montre le multimètre numérique le moins coûteux que j'ai pu trouver. Il ne permet pas de mesurer des résistances de grandes valeurs ou des tensions très basses, sa précision est faible et il ne mesure pas les capacités. Néanmoins, si votre budget est serré, il vous aidera dans les projets de ce livre.



Figure 1-2. Le multimètre le moins cher.

Le multimètre de la figure 1-3 offre une meilleure précision et plus de possibilités. Un outil de ce type est un excellent choix de départ pour apprendre l'électronique.



Figure 1-3. Tout multimètre similaire à celui-ci est un très bon choix de départ.

L'exemple de la figure 1-4 est un peu plus cher (deux à trois fois plus que celui de la figure 1-3), mais bien mieux fabriqué. Ce modèle particulier n'est plus disponible, mais vous pouvez trouver de nombreux multimètres similaires. Le fabricant Extech, depuis longtemps sur le marché, maintient ses standards de qualité, face à ses concurrents cassant les prix.



Figure 1-4. Multimètre de meilleure qualité, mais plus onéreux.

La figure 1-5 montre le modèle que je préfère, à l'heure où j'écris ces lignes. Il est solide, possède toutes les fonctionnalités que je désire et mesure une large gamme de valeurs avec une excellente précision. Évidemment, il coûte environ vingt fois le prix du modèle le moins cher. Il faut le considérer comme un investissement à long terme.



Figure 1-5. Un produit de grande qualité.

### Quel multimètre acheter ?

Pour débiter, vous n'avez pas besoin d'un multimètre coûteux. Cependant, le multimètre le plus économique risque de présenter des limites, par exemple le remplacement difficile de son fusible interne ou, pire, une rapide destruction des contacts de son contacteur rotatif.



Appliquez la règle suivante pour définir un rapport qualité/prix acceptable : cherchez le modèle le moins cher et doublez son prix.

Indépendamment du prix du multimètre, vous devez orienter votre choix d'achat en fonction des caractéristiques et fonctionnalités suivantes.

## Les gammes

Un multimètre peut mesurer une multitude de valeurs. Il lui faut posséder un moyen de limiter ses mesures. Certains appareils ont des *gammes manuelles* : c'est vous qui choisissez le domaine correspondant à la valeur qui vous intéresse en tournant un bouton.

D'autres multimètres possèdent des *gammes automatiques*, ce qui est plus pratique car vous n'avez qu'à connecter l'appareil et attendre qu'il détermine tout de lui-même. Le mot-clé, cependant, est « attendre ». À chaque mesure, avec un multimètre automatique, vous devez attendre quelques secondes pour qu'il évalue la valeur. Personnellement, j'ai tendance à être impatient, c'est pourquoi je préfère les multimètres manuels. Autre problème des multimètres à gammes automatiques, puisque vous n'avez pas vous-même choisi la gamme de mesure, vous devez réaliser quelle unité il a décidé d'utiliser. Par exemple, la différence entre K et M lors de la mesure d'une résistance électrique est un facteur 1 000.

*Je vous suggère d'utiliser un multimètre à gamme manuelle pour vos premières expériences. Vous aurez ainsi moins de risques de commettre des erreurs et cela vous coûtera moins cher.*

Normalement, on devrait vous préciser en magasin si un multimètre offre le choix automatique ou manuel de la gamme de mesure. Dans le cas contraire, une photo de son commutateur de sélection devrait vous permettre de le déterminer. Le multimètre de la figure 1-4 propose la sélection automatique des gammes de mesure, à la différence des autres multimètres présentés ici.

## Valeurs mesurées

Le bouton de sélection vous indique également le type de mesures possibles. Au minimum, vous pouvez espérer les fonctions suivantes.

- **Volt (V), ampère (A) et ohm ( $\Omega$ )** (voir figure 1-6). Vous ne savez peut-être pas encore ce que signifient ces paramètres, mais ils sont fondamentaux.

Votre multimètre doit aussi être capable de mesurer des milliampères (mA) et des millivolts (mV). Cela n'est pas toujours visible sur le bouton de sélection, mais doit figurer dans ses caractéristiques.



**Figure 1-6.** Trois exemples du symbole oméga, utilisé pour représenter l'ohm, unité de résistance électrique.

- **DC/AC** (*Direct Current/Alternating Current*), plus fréquemment utilisés pour le marquage des cadrans de multimètres que leurs homologues francisés CC/CA (Courant continu/Courant alternatif). Ces options peuvent être choisies à l'aide d'un bouton-poussoir DC/AC ou à partir du bouton rotatif principal. Un bouton-poussoir est plus pratique.
- **Test de continuité.** C'est une fonction pratique, qui vous permet de vérifier les mauvaises connexions ou les coupures d'un circuit électrique. Idéalement, un signal sonore devrait être émis lors du test. Dans ce cas, il sera représenté par un symbole en forme de point entouré par des lignes semi-circulaires, comme illustré sur la figure 1-7.



**Figure 1-7.** Ce symbole indique la fonction de test de continuité de circuit, avec retour sonore. C'est une fonction très pratique.

Pour un faible coût supplémentaire, vous pourrez acheter un multimètre qui réalise les mesures suivantes, dans l'ordre d'importance :

- **Capacitance.** Les condensateurs sont des petits composants nécessaires dans la majorité des circuits électroniques. Habituellement, la valeur des plus petits n'est pas marquée sur leur corps. La possibilité de les mesurer peut donc être importante, particulièrement lorsqu'ils sont mélangés ou tombés de leur boîte. Les multimètres bas de gamme n'offrent généralement pas cette possibilité. Lorsqu'elle existe, cette fonction est généralement indiquée par la lettre F signifiant farad, leur unité de mesure. L'abréviation CAP est parfois utilisée.
- **Test des transistors,** indiqué par la présence de petits trous marqués E, B, C et E. Vous devez enficher votre transistor dans ces trous. Cela vous permet de vérifier la façon dont le transistor doit être incorporé dans un circuit, ou s'il est hors service.
- **Fréquence (Hz).** C'est une fonction peu importante pour les expériences de ce livre, mais qui pourrait en revanche vous être utile si vous envisagez de poursuivre l'acquisition de vos connaissances.

Toute autre fonction est sans intérêt.

*Si vous êtes toujours indécis au sujet du choix du multimètre à acheter, poursuivez la lecture de ce livre afin d'avoir une meilleure idée de la façon dont cet appareil va être utilisé dans les expériences 1, 2, 3 et 4.*

## Lunettes de sécurité

Pour l'expérience 2, vous souhaitez peut-être utiliser des lunettes de sécurité. Le modèle en plastique le moins cher conviendra pour cette simple aventure ; en effet, le risque d'explosion d'une pile est quasiment inexistant et il ne se produirait pas avec force.

Des lunettes de vue traditionnelles représentent une alternative acceptable. Vous pourrez également regarder l'expérience au travers d'un morceau de plastique transparent (par exemple, découpé dans une bouteille en plastique).

## Piles et connecteurs

Les piles et leurs connecteurs étant partie intégrante d'un circuit, je les classe comme composants (voir chapitre 6).

Pratiquement toutes les expériences de ce livre utilisent une source d'alimentation électrique de 9 V. Une pile ordinaire suffira pour commencer. Par la suite, je conseillerai un adaptateur secteur, mais vous n'en avez pas encore besoin.

Pour l'expérience 2, il vous faudra une paire de piles de type AA (ou LR6). Ces piles devront être alcalines ; vous ne devrez pas réaliser cette expérience avec une batterie rechargeable, quelle qu'elle soit.

Afin de relier la batterie au circuit, vous aurez besoin d'un connecteur pour la pile de 9 V (figure 1-8), ainsi que d'un support pour une seule pile AA (figure 1-9). Un seul support sera suffisant, mais je vous suggère de vous procurer au moins trois connecteurs de pile 9 V pour un usage futur.



Figure 1-8. Connecteur permettant de relier une pile de 9 V.

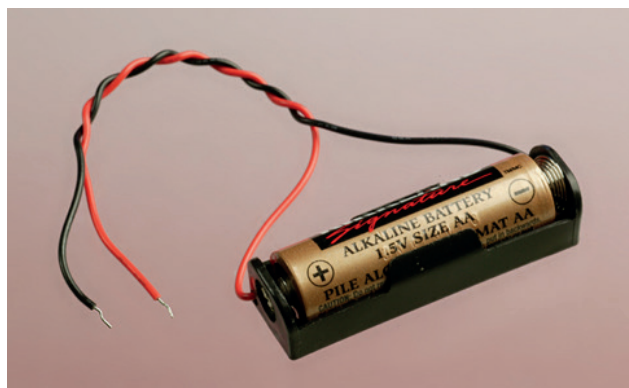
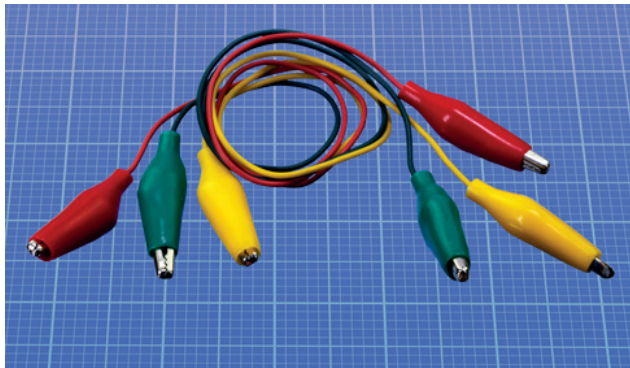


Figure 1-9. Vous aurez besoin d'un support tel que celui-ci pour une pile AA. Évitez d'utiliser un coupleur de piles.

## Cordons de test

Vous utiliserez des cordons de test afin de relier les composants entre eux dans les premières expériences. Les cordons que je préconise possèdent une *pince crocodile* à chacune des extrémités de leur fil (figure 1-10). Chaque pince permet de réaliser une liaison en se greffant sur quelque chose et en y demeurant solidement attaché, libérant ainsi vos mains.

Vous ne devez pas utiliser de cordons possédant une fiche à chaque extrémité. Ils sont parfois appelés  *fils de pontage*.



**Figure 1-10.** Cordons de test équipés d'une pince crocodile à chaque extrémité.

Dans ce livre, les cordons de test sont classés dans les outils (voir chapitre 6).

## Potentiomètre

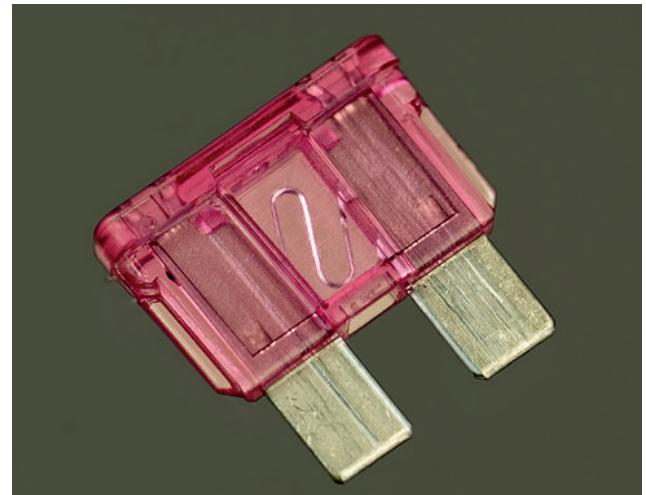


**Figure 1-11.** Potentiomètres ordinaires nécessaires pour les premières expériences.

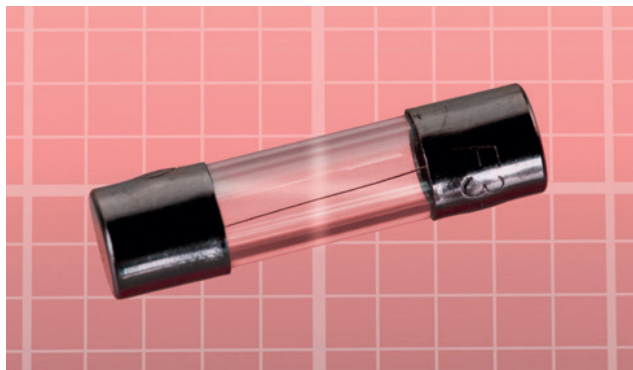
Un potentiomètre fonctionne à la manière du réglage de volume d'une chaîne stéréo ancienne. Les modèles représentés sur la figure 1-11 sont considérés comme volumineux selon les normes récentes, mais c'est ce dont vous avez besoin, car ils peuvent recevoir les pinces crocodiles des cordons de test. Un potentiomètre d'environ 2,5 cm de diamètre est à préférer. Sa résistance doit être de 1K.

## Fusibles

Un fusible interrompt un circuit si trop de courant électrique le traverse. Il est conseillé de vous procurer des fusibles utilisés dans les automobiles, prévus pour une intensité de 3 A (figure 1-12) et qui sont également faciles à relier aux cordons de test. De plus, il est facile d'observer l'élément à l'intérieur. Les fusibles pour automobiles sont vendus selon une grande variété de tailles, mais à condition de choisir des fusibles de 3 A, leurs dimensions importent peu. Achetez-en trois afin de prévenir leur destruction volontaire ou accidentelle. Si vous préférez, un fusible à cartouche en verre de 3 A comme celui de la figure 1-13 conviendra, bien qu'il soit plus difficile à utiliser (disponible chez les revendeurs de composants électroniques).



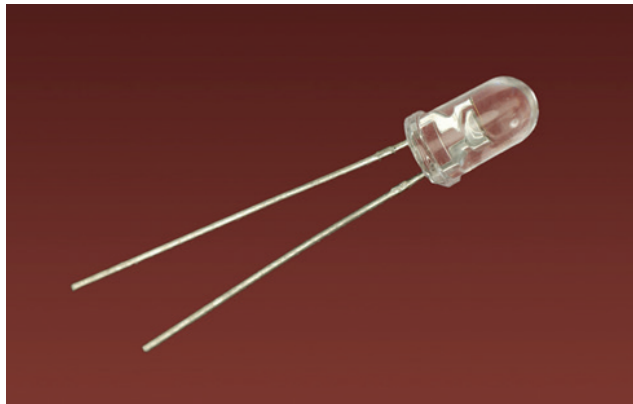
**Figure 1-12.** Ce type de fusible pour automobile est plus facile à manipuler que les fusibles à cartouche utilisés dans les équipements électroniques.



**Figure 1-13.** Vous pouvez utiliser un fusible à cartouche tel que celui-ci, mais les pinces crocodiles ne s'y agripperont pas très facilement.

## Diodes

Plus communément appelées LED, elles se présentent sous différentes formes et dimensions. Celles que nous allons utiliser sont des voyants souvent appelés *LED standards à fils* dans les catalogues. L'exemple de la figure 1-14 a un diamètre de 5 mm, mais un diamètre de 3 mm est parfois plus facile à loger dans un circuit où la place est limitée. L'une ou l'autre conviendra.



**Figure 1-14.** Diode (LED) de diamètre 5 mm.

Tout au long de ce livre, je me référerai aux *LED génériques*. Cela sous-entend les moins chères, n'émettant pas une forte intensité lumineuse et couramment disponibles en couleur rouge, jaune ou verte. Elles sont souvent vendues par petit lot et utilisées dans tellement d'applications que je vous suggère d'en acheter au moins une douzaine.

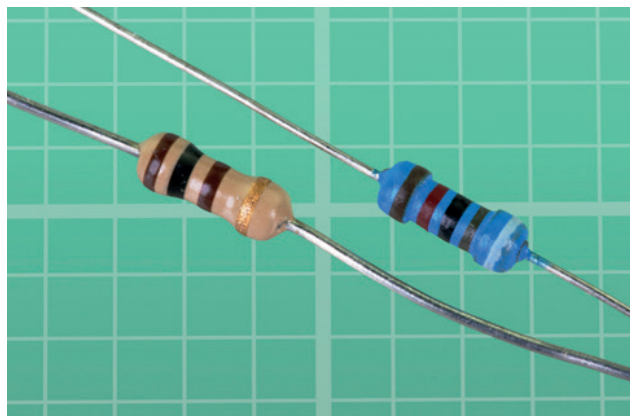
Certaines LED génériques sont enrobées par une résine plastique transparente mais elles émettent une lumière de couleur lorsqu'un courant leur est appliqué. D'autres

LED sont encapsulées dans un matériau de couleur identique à celle de leur flux lumineux. N'importe quel type conviendra.

Dans quelques expériences, des *LED à faible intensité* seront préférables (voir chapitre 6). Elles sont un peu plus coûteuses, mais sont plus sensibles. Par exemple, dans l'expérience 5, où vous allez générer une faible intensité électrique à l'aide d'une pile improvisée, vous obtiendrez un meilleur résultat avec une LED à faible intensité.

## Résistances

Vous aurez besoin de résistances de plusieurs valeurs afin de limiter la tension et l'intensité dans diverses parties de vos circuits. Elles ressemblent à celles de la figure 1-15. La couleur de leur corps n'a pas d'importance. Par la suite, nous étudierons le code couleur des anneaux indiquant la valeur.



**Figure 1-15.** Deux résistances de ¼ W correspondant au type dont vous aurez besoin.

Il est inutile de vous limiter aux valeurs listées dans chaque expérience : achetez un assortiment de résistances courantes (voir chapitre 6).

Vous n'aurez pas besoin d'autres composants pour réaliser les expériences 1 à 5. Alors commençons !

## Expérience 1 : goûtez à l'électricité !

### De quoi avez-vous besoin ?

- 1 pile de 9 V
- 1 multimètre



### Pas plus de 9 V !

Pour cette expérience, vous devez utiliser uniquement une pile de 9 V. N'essayez pas avec une tension supérieure, n'utilisez pas une pile plus grosse pouvant délivrer davantage de courant. Par ailleurs, si vous avez des attaches métalliques sur les dents, soyez prudents de ne pas les toucher avec la pile. Plus important, n'appliquez jamais le courant électrique d'une pile de taille quelconque sur une plaie de votre peau.

## Procédure

Après avoir humidifié votre langue, mettez-la en contact avec les deux bornes de la pile, comme sur la figure 1-16.



**Figure 1-16.** Un amateur intrépide testant les caractéristiques d'une pile alcaline.

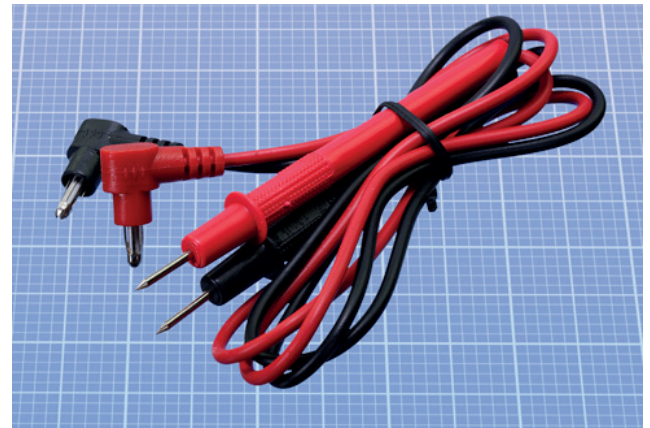
Ressentez-vous ce picotement ? Maintenant, laissez de côté la pile, tirez la langue puis, essuyez son extrémité pour l'assécher avec précaution en utilisant un mouchoir. Touchez à nouveau les bornes de la pile avec votre langue, vous devriez ressentir un picotement plus faible.

Que se passe-t-il ? Vous pouvez utiliser votre multimètre pour le savoir.

## Réglez votre multimètre

Votre multimètre possède-t-il une pile préinstallée ? Sélectionnez n'importe quelle fonction avec le bouton rotatif, regardez alors si l'écran affiche un nombre. Si rien n'est visible, vous devez ouvrir le multimètre et y insérer une pile convenable avant de pouvoir l'utiliser. Pour savoir comment faire, reportez-vous à la notice qui accompagne votre appareil.

Les multimètres sont fournis avec un cordon de couleur rouge et un de couleur noire. Chaque fil possède une fiche à une de ses extrémités et une pointe de mesure (appelée aussi pointe de touche) à l'autre. Insérez les fiches dans le multimètre, puis reliez les pointes de touche aux parties du circuit où vous désirez savoir ce qui se passe (figure 1-17). Les pointes détectent l'électricité ; elles ne génèrent rien de significatif. Lorsque vous intervenez sur les circuits des expériences, qui mettent en jeu des tensions et intensités de faibles valeurs, les pointes de touche ne peuvent pas vous provoquer de choc (à moins que vous ne vous blessiez avec leur extrémité pointue).



**Figure 1-17.** Cordons d'un multimètre, se terminant par des pointes métalliques.

Les multimètres possèdent pour la plupart trois connecteurs femelles, quelquefois quatre (figures 1-18, 1-19 et 1-20).

Voici les règles générales :

- Une des connexions devrait être marquée COM. C'est le point commun pour toutes les mesures. Insérez-y le cordon noir et laissez-le en place.

## Expérience 1 : goûtez à l'électricité !

- Une autre connexion devrait être identifiée par le symbole  $\Omega$ , ainsi que la lettre V. Elle sert pour la mesure des résistances et des tensions. Insérez le cordon rouge dans cet emplacement.
- Parfois, la connexion tension/résistance peut également être utilisée pour la mesure des faibles intensités en mA... ou un autre point de connexion existe pour cela, nécessitant que vous déplaciez parfois le fil rouge. Nous y reviendrons.
- Un connecteur additionnel pouvant être marqué 2 A, 5 A, 10 A, 20 A ou quelque chose de similaire, indiquant une valeur maximale en ampères, peut être à utiliser pour la mesure d'intensités élevées. Nous n'en aurons pas besoin pour les projets de ce livre.



Figure 1-20. Autre exemple de connecteurs d'un multimètre.



Figure 1-18. Remarquez le marquage des connecteurs de ce multimètre.

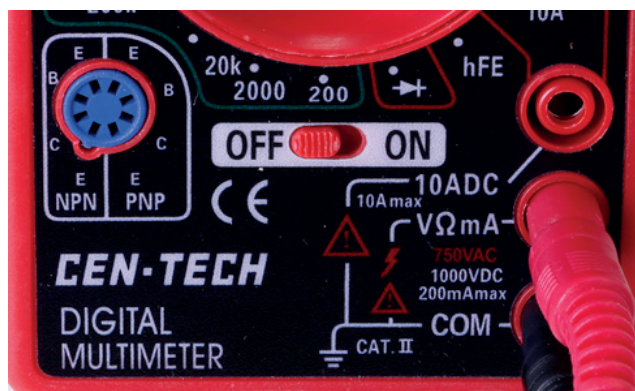


Figure 1-19. Les connecteurs de ce multimètre sont présentés différemment.

## Fondamentaux : les ohms

Vous allez évaluer la valeur de la résistance de votre langue. Mais qu'est-ce donc qu'un ohm ?

On mesure les distances en kilomètres, les masses en kilogrammes et les températures en degrés centigrades. De façon similaire, on mesure la résistance électrique en ohms, une unité internationale utilisée en hommage à Georg Simon Ohm, qui était un pionnier de l'électricité.

Le symbole grec  $\Omega$  indique des ohms. Cependant, pour des résistances supérieures à 999  $\Omega$ , la lettre majuscule K est utilisée, signifiant kilo-ohm (ou kilohm) et équivalant à un millier d'ohms. Par exemple, une résistance de 1 500  $\Omega$  sera notée 1,5K.

Au-dessus de 999 999  $\Omega$ , la lettre majuscule M est utilisée, signifiant mégaohm (ou mégohm), représentant un million d'ohms et souvent appelée *meg* dans le langage technique courant.

La figure 1-21 montre une table de conversion.

Ohms	Kilo-ohms	Mégaohms
1 $\Omega$	0,001K	0,000 001M
10 $\Omega$	0,01K	0,000 01M
100 $\Omega$	0,1K	0,000 1M
1 000 $\Omega$	1K	0,001M
10 000 $\Omega$	10K	0,01M
100 000 $\Omega$	100K	0,1M
1 000 000 $\Omega$	1 000K	1M

Figure 1-21. Table de conversion des multiples communs de l'ohm.

En Europe, les lettres R, K ou M se substituent à la virgule, afin de réduire le risque d'erreurs. Ainsi, dans un schéma de circuit européen, 5K6 signifie 5,6K, 6M8 signifie 6,8M et 6R8 signifie 6,8  $\Omega$ . Je n'utiliserai pas cette notation dans ce livre, mais vous pourrez la rencontrer dans certains schémas d'autres sources.

Un matériau qui présente une résistance très élevée au passage du courant électrique est appelé un *isolant*. La plupart des plastiques ainsi que les gaines colorées des câbles sont des isolants.

Un matériau ayant une résistance très faible est un *conducteur*. Les métaux tels que le cuivre, l'aluminium, l'argent et l'or sont d'excellents conducteurs.

## Résistance de votre langue

Observez le commutateur rotatif de votre multimètre, vous devriez trouver au moins une position identifiée par le symbole  $\Omega$ . Sur un multimètre à gamme automatique, pointez le bouton vers le symbole  $\Omega$  comme le montre la figure 1-22, appliquez délicatement les pointes de touche sur votre langue et attendez que le multimètre choisisse automatiquement la gamme de mesure. Vérifiez l'apparition de la lettre K sur l'écran.



**Figure 1-22.** Sur un multimètre à gamme automatique, tournez simplement le bouton vers le symbole  $\Omega$ .

Sur un multimètre manuel, vous devez choisir la gamme de mesure appropriée. Pour votre langue, vous choisirez probablement 200K (200 000  $\Omega$ ). Notez que les nombres gravés autour du bouton rotatif sont des valeurs maximales ; ainsi, 200K signifie « pas plus de 200 000  $\Omega$  » et 20K signifie « pas plus de 20 000  $\Omega$  » (figures 1-23 et 1-24).



**Figure 1-23.** Un multimètre manuel nécessite que vous choisissiez la gamme de mesure.



**Figure 1-24.** Avec un multimètre manuel différent, le principe reste le même.

Mettez les pointes de touche en contact avec votre langue en les éloignant d'environ 2,5 cm. Notez la valeur indiquée par le multimètre, qui devrait avoisiner 50K. Retirez les pointes de mesure, tirez la langue et utilisez un mouchoir pour la sécher avec précaution, comme précédemment. Sans laisser votre langue s'humidifier, répétez le test précédent, la valeur lue devrait être plus élevée. Si vous utilisez un multimètre manuel, vous devrez peut-être choisir une gamme plus élevée pour faire la mesure.

*Quand votre peau est humide, sa résistance électrique diminue. Ce principe est utilisé par les détecteurs de mensonge car une personne qui ment, en condition de stress, transpire plus abondamment.*

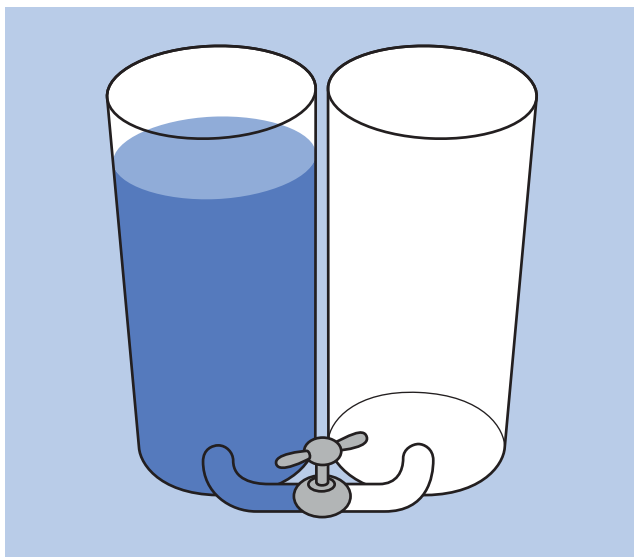
Voici la conclusion que votre test permet d'apporter. Une plus faible résistance permet le passage d'un courant plus important. Ainsi, durant le test initial de votre langue, un courant plus élevé avait provoqué un picotement plus important.

## Fondamentaux : à l'intérieur d'une pile

Lorsque vous avez utilisé la pile pour le premier test de votre langue, je n'ai pas pris le temps d'expliquer comment elle fonctionne. Il est temps que je rectifie cet oubli.

Une pile de 9 V contient des produits chimiques qui libèrent des électrons (particules chargées d'électricité). Ceux-ci, suite à une réaction chimique interne, circulent d'une électrode à l'autre. Imaginez deux réservoirs d'eau, l'un rempli et l'autre vide. Si les réservoirs sont reliés ensemble par un tuyau et un robinet, l'eau circulera de l'un vers l'autre jusqu'à ce que leurs niveaux soient égaux (figure 1-25). De même, lorsque vous établissez un circuit électrique entre les deux pôles d'une pile, les électrons passent de l'un vers l'autre, même si le circuit se limite à l'humidité de votre langue.

Les électrons circulent plus facilement au travers de certaines substances (langue humide) que d'autres (langue sèche).



**Figure 1-25.** Vous pouvez imaginer une pile comme deux réservoirs d'eau reliés entre eux.

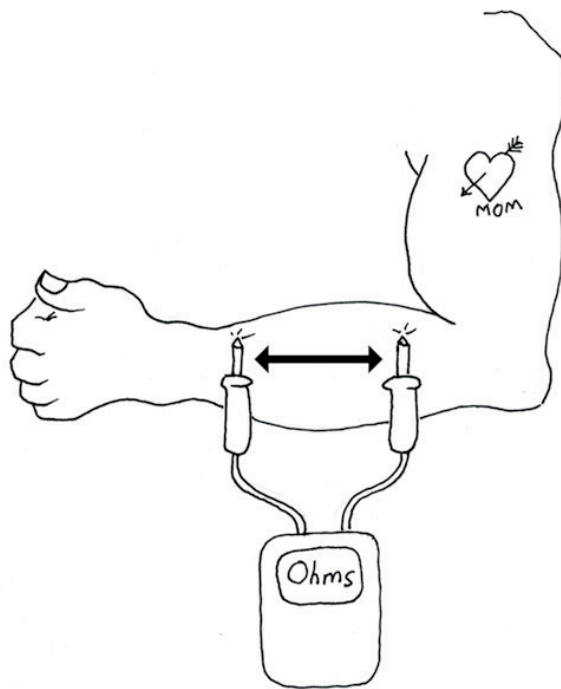
## Approfondissons

Le test de votre langue n'était pas facilement maîtrisable car la distance entre les pointes de mesure pouvait varier d'une mesure à l'autre. Pensez-vous que cela puisse avoir un impact ? Essayons de le déterminer.

Maintenez les pointes de votre multimètre de façon à ce qu'elles soient à 2,5 cm l'une de l'autre. Appliquez-les sur votre langue humide. Éloignez maintenant les pointes de 5 cm et essayez à nouveau. Quelles valeurs avez-vous obtenues à l'aide de votre multimètre ?

Lorsque l'électricité parcourt une distance plus courte, elle rencontre moins de résistance. De ce fait, le courant augmente.

Répétez la même expérience avec votre bras (figure 1-26). Faites varier la distance entre les pointes de mesure par pas égaux, par exemple de 2,5 cm, et notez la résistance indiquée par votre multimètre. Pensez-vous qu'en doublant la distance entre vos pointes de touche, la résistance indiquée par votre multimètre va doubler ? Comment le prouver ?



**Figure 1-26.** Faites varier la distance entre les pointes de mesure et notez les valeurs lues sur votre multimètre.

Si la résistance que votre multimètre doit mesurer est trop importante, vous verrez apparaître un message d'erreur, comme la lettre L, au lieu d'une valeur numérique. Essayez de mouiller votre peau et répétez le test ; vous devriez alors obtenir une valeur. En fonction de l'évaporation de l'eau sur votre peau, sa résistance va changer. Vous voyez comme il est difficile de contrôler tous les paramètres lors d'une expérience. Les paramètres aléatoires sont connus sous la dénomination de *variables incontrôlables*.



Il subsiste une variable dont je n'ai pas encore parlé : c'est la pression exercée par chaque pointe de mesure sur la peau. Si vous appuyez plus fortement, la résistance devrait diminuer. Pouvez-vous le démontrer ? Quelle expérience pourriez-vous réaliser permettant d'éliminer cette variable ?

Si vous vous lassez de la mesure de la résistance de votre peau, essayez de plonger les pointes de touche dans un verre d'eau. Ensuite, faites dissoudre du sel dans l'eau et mesurez à nouveau. Je suppose que vous avez déjà entendu dire que l'eau conduit l'électricité ; la raison n'en est pas si simple. Les impuretés de l'eau jouent un rôle important.

À votre avis, que va-t-il se passer si vous mesurez la résistance d'une eau sans aucune impureté ? La première étape consistera à obtenir une eau pure. L'eau purifiée possède en général des minéraux ajoutés après purification ; ce n'est donc pas ce dont vous avez besoin. L'eau de source non plus n'est pas totalement pure. Ce qu'il vous faut, c'est de l'eau distillée. Vous constaterez que sa résistance, par centimètre d'espacement entre les pointes, est supérieure à celle de votre langue. Essayez pour le vérifier.

## Historique : l'homme qui a découvert la résistance

Georg Simon Ohm est né en Bavière en 1787 et a travaillé dans l'ombre la majeure partie de sa vie. Il a étudié la nature de l'électricité à partir de fils métalliques qu'il fabriquait lui-même.

Malgré des moyens limités et de faibles connaissances en mathématiques, Ohm parvient à démontrer, en 1827, qu'une part de la résistance d'un conducteur, tel que le cuivre, est inversement proportionnelle à l'aire de sa section et que le courant qui la traverse est proportionnel à la tension, dans des conditions de température constante. Quatorze ans plus tard, la Royal Society of London reconnaît l'importance de ses travaux et le récompense de la Médaille Copley. Aujourd'hui, sa découverte est connue sous le nom de *loi d'Ohm* (voir expérience 4).



Figure 1-27. Georg Simon Ohm, après avoir été honoré pour son travail de pionnier, effectué dans l'ombre en bonne part.

## Nettoyage et recyclage

Votre pile ne devrait pas avoir été endommagée ou déchargée de façon importante par cette expérience. Vous pouvez à nouveau l'utiliser.

N'oubliez pas d'éteindre le multimètre avant de le ranger !

## Expérience 2 : maltraitez une pile !

Pour mieux appréhender la puissance électrique, vous allez maintenant réaliser ce que la plupart des livres déconseillent : créer un court-circuit à l'intérieur de la pile, à savoir une mise en connexion directe entre les deux pôles d'une source d'alimentation.

## Attention : utilisez une pile de faible puissance

Certains courts-circuits peuvent être très dangereux. Ne court-circuitiez jamais une prise électrique de votre habitation : cela provoquerait un fort claquement accompagné d'un éclair lumineux, le fil ou l'outil utilisé serait