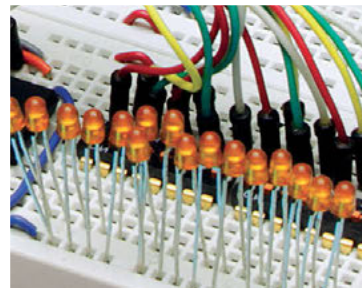
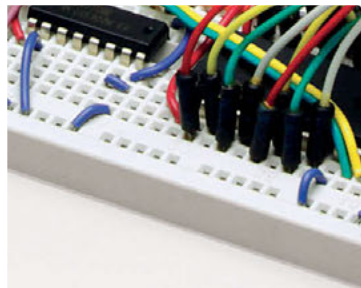
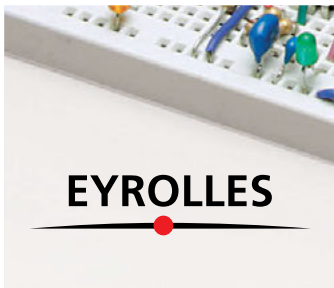
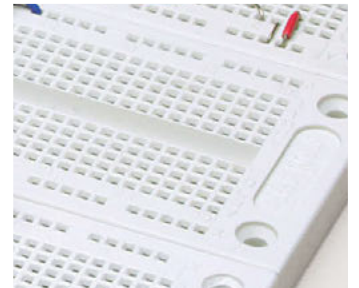
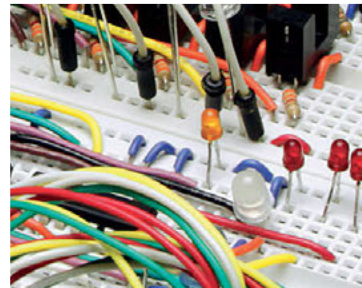
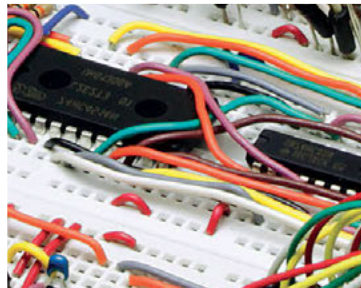
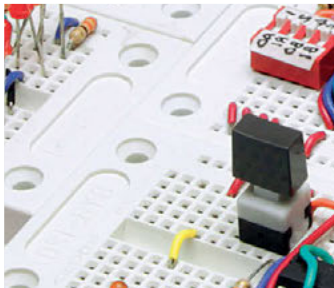
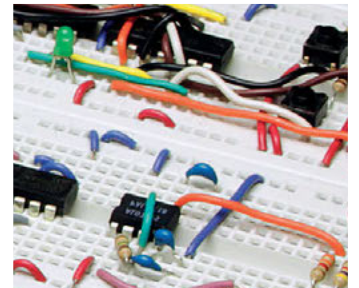
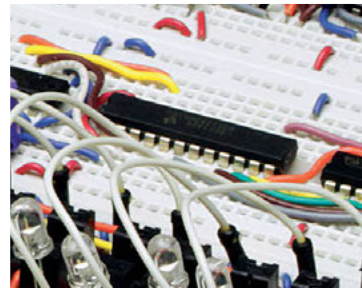
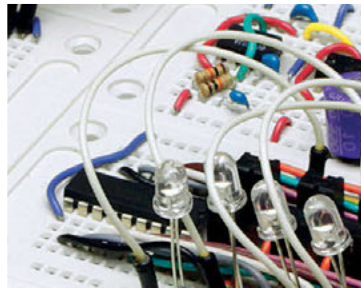
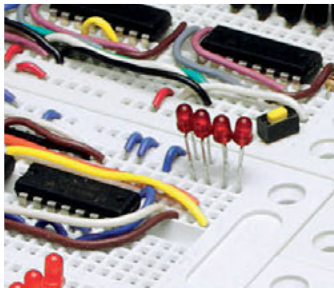
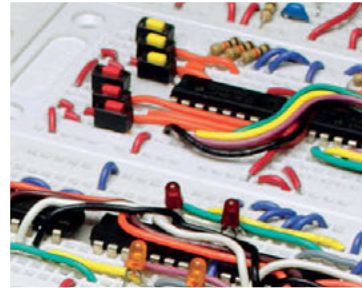
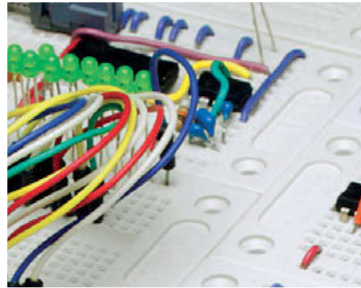
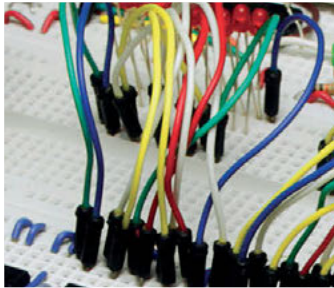


L'ÉLECTRONIQUE EN PRATIQUE 2

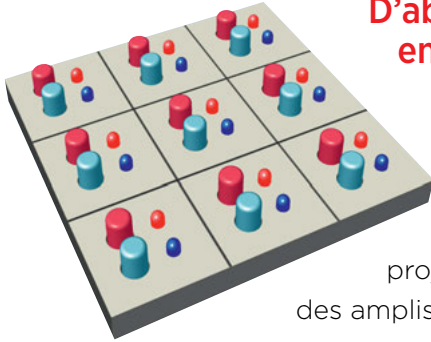
36 expériences ludiques

Charles
Platt



EYROLLES

SERIAL
MAKERS



D'abord, on pratique, ensuite on explique !

L'électronique ne se résume pas qu'à des résistances, des condensateurs, des transistors et des diodes. Savez-vous qu'il existe une infinité de projets faisant appel à des comparateurs, des amplis-op ou encore des capteurs ?

Après le best-seller *L'électronique en pratique* de Charles Platt, lisez la suite du même auteur pour vous en convaincre. Grâce à 36 nouvelles expériences, cet ouvrage vous emmènera à la découverte d'une multitude de composants : amplis-op, comparateurs, compteurs, encodeurs, décodeurs, multiplexeurs, registres à décalage, bargraphes, timers, réseaux Darlington, phototransistors...

À qui s'adresse ce livre ?

- Aux électroniciens en herbe, amateurs, bricoleurs, bidouilleurs, geeks, étudiants, musiciens...
- À tous les makers qui souhaitent approfondir leurs connaissances en électronique.

Dans ce livre, vous apprendrez à :

- mettre au point un testeur de télépathie avec des portes NAND, NOR et XNOR
 - construire un contestataire de bruit avec des amplis-op et des condensateurs de liaison
 - créer une version électronique du *Yi Jing* avec un décodeur et un compteur binaire
 - fabriquer un jeu de la fente magique avec un timer, un compteur et un multiplexeur
-

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 de la communauté des makers.

Make:
makezine.com

L'électronique en pratique

2

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: More Electronics* ISBN 978-1-449-34404-7 © 2014 Helpful Corporation. 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: More Electronics* de Charles Platt (ISBN : 978-1-449-34404-7), publié par Maker Media, Inc.

Adapté de l'anglais par Jean Boyer

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, 2015, pour la présente édition, ISBN : 978-2-212-14179-5

*À la mémoire de mon père, Maurice Platt, qui m'a montré
que le métier d'ingénieur était un beau métier enrichissant.*

Remerciements

À l'époque des tubes à vide, j'ai découvert l'électronique avec mes camarades d'école. Nous étions « geeks » avant même que ne soit inventé le mot. Patrick Fagg, Hugh Levinson, Graham Rogers et John Witty m'ont alors montré quelques possibilités. Cinquante ans plus tard, Graham a bien voulu contribuer à la réalisation de ce livre.

C'est Mark Frauenfelder qui m'a poussé à prendre l'habitude de créer. Gareth Branwyn m'a aidé à écrire *L'Électronique en pratique* et Brian Jepson en a permis la suite. Ce sont les trois meilleurs éditeurs que j'ai connus et ils sont aussi trois de mes très bons amis. La plupart des auteurs n'ont pas cette chance.

Je suis également reconnaissant envers Dale Dougherty fondateur, président et « Chief Executive Officer » de Maker Media Inc. à Sébastopol (Californie) pour avoir

initié ce mouvement que je n'avais jamais imaginé devenir si important, et pour m'avoir accueilli comme contributeur.

Fredrik Jansson m'a conseillé et corrigé lorsque je travaillais à ce projet. Sa patience et sa bonne humeur m'ont été précieuses.

La vérification du contenu a été assurée par Philipp Marek. Ne critiquons pas Philipp ou Frederik si des erreurs subsistent dans ce livre. Rappelons-nous qu'il est plus facile pour moi de commettre une erreur qu'à d'autres de la trouver.

Les circuits ont été réalisés et testés par Frank Teng et A. Golin, leur aide fut appréciée.

Je remercie également Kara Ebrahim et Kristen Brown du département production pour leur consciencieuse attention, ainsi qu'Amanda Kersey, correctrice.

Avant-propos

Ce livre se situe précisément où mon précédent ouvrage *L'Électronique en pratique* s'arrêtait. Vous allez retrouver ici des thèmes que je n'avais pas pu aborder en détail dans le premier tome, et en découvrir d'autres totalement nouveaux qui n'avaient pas été traités par manque de place.

Vous remarquerez également que j'approfondis les aspects techniques dans ce livre, afin d'offrir une meilleure compréhension des concepts. J'ai cependant essayé de rendre cet « apprentissage par la découverte » le plus distrayant possible.

Quelques-uns des sujets traités ici ont fait l'objet d'articles dans le magazine américain *Make*. J'ai toujours beaucoup de plaisir à écrire dans cette revue, mais le format imposé par ce type de publication limite l'importance des explications et le nombre des illustrations. En revanche, je peux dans cet ouvrage couvrir de façon plus exhaustive et plus intelligible les thèmes abordés.

J'ai choisi de ne pas développer ici les microcontrôleurs : expliquer leur mise en œuvre et leurs langages de programmation de manière précise exigerait beaucoup trop de place. D'autres ouvrages se chargent de décrire les familles de microcontrôleurs. Je proposerai dans ce livre différentes façons de recréer ou de simplifier les projets étudiés en utilisant des microcontrôleurs, mais je vous laisserai le soin de continuer en ce sens par vous-même.

De quoi aurez-vous besoin ?

Connaissances préalables

Vous devrez avoir de bonnes connaissances de base des sujets couverts dans le livre précédent, à savoir tension, courant, résistance, loi d'Ohm, condensateurs, inter-

rupteurs, soudure, utilisation des plaques de montage sans soudure et portes logiques. Bien entendu, libre à vous d'acquérir ces notions à partir d'autres ouvrages d'introduction à l'électronique. Mais si vous avez lu *L'Électronique en pratique* et que vous en avez retenu l'essentiel, vous avez peut-être oublié quelques notions spécifiques, aussi je rappellerai rapidement quelques principes, mais sans les réexpliquer en détail.

Outillage

Je suppose que vous disposez déjà des équipements suivants qui ont tous été décrits dans *L'Électronique en pratique* :

- multimètre ;
- fil de câblage de section 0,22 mm² (75 cm de chaque couleur avec un minimum de 4 couleurs) ;
- pince à dénuder ;
- pinces plates ;
- fer à souder et fil à souder décapant ;
- platine de montage (selon le type préféré décrit ci-après) ;
- pile de 9 V ou une alimentation à courant continu pouvant délivrer entre 9 V DC et 12 V DC sous une intensité de 1 A.

Composants

Dans l'annexe située en fin d'ouvrage, j'ai mentionné tous les composants dont vous aurez besoin pour réaliser les différents projets. Vous y trouverez également la liste des principaux fournisseurs de matériel électronique en France.

Fiches techniques

J'ai déjà évoqué les fiches techniques dans *L'Électronique en pratique*, je ne peux cependant éviter de rappeler combien ces fiches sont essentielles. N'hésitez pas à vous y référer avant d'utiliser un composant pour la première fois.

Si vous recherchez une référence via un moteur de recherche traditionnel, vous trouverez probablement une demi-douzaine de sites proposant la visualisation de leurs fiches techniques. Ces sites sont organisés pour leur profit et non pour vous être agréable. Vous devrez donc probablement cliquer de façon répétitive pour avoir accès à chaque page de caractéristiques, chaque site vous soumettant autant de publicités que possible.

Vous gagnerez du temps en cherchant une référence sur le site de son fournisseur comme <http://www.mouser.fr> : vous aurez alors la possibilité de visualiser l'ensemble de sa fiche technique sous forme d'un document PDF. Cela sera plus facile à lire et à imprimer.

Comment utiliser cet ouvrage ?

Il existe quelques différences notables dans le style et l'organisation de ce livre par rapport au précédent.

Schémas

Dans *L'Électronique en pratique*, les schémas étaient tracés « à l'ancienne », utilisant des croisements pontés partout où une connexion croisait une autre sans s'y relier. J'avais utilisé cette représentation car elle réduisait le risque de commettre des erreurs dues à une mauvaise interprétation du circuit. Ici, comme mes lecteurs ont désormais suffisamment de pratique pour bien lire les schémas, il était plus important de se conformer aux règles les plus communément utilisées. Examinez la fig. 1 pour comprendre.

Par ailleurs, comme dans *L'Électronique en pratique*, j'ai utilisé la convention européenne pour éliminer les décimales dans les valeurs des composants. Ainsi, les valeurs 3,3 K et 4,7 K sont représentées respectivement par 3K3 et 4K7. Je préfère toujours cette écriture car les virgules décimales sont toujours difficiles à identifier dans un document de mauvaise qualité.

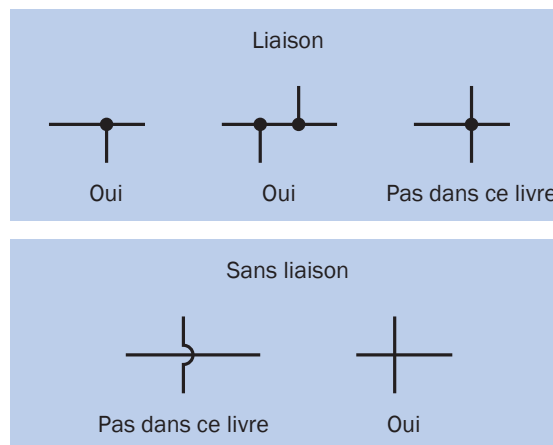


Figure 1. En haut : dans tous les schémas de ce livre, les conducteurs reliés électriquement le seront par un point noir. Toutefois, on évitera le dessin de droite, car il ressemble trop à un pont où il n'y a pas de connexion entre les conducteurs. En bas : pour symboliser des conducteurs qui se croisent sans connexion électrique, on utilisera ici le dessin de droite, plus courant.

Dimensions

Les circuits intégrés (et bien d'autres composants) comportent habituellement des fils de connexion, également nommés « broches », qui sont insérés dans des trous des circuits imprimés. Ces fils, sur les composants dits « traversants », espacés par un intervalle d'un dixième de pouce (0,1", soit 2,54 mm), sont faciles à saisir entre vos doigts.

La vision idyllique de compatibilité universelle à l'échelle humaine a été brouillée par l'arrivée du système métrique. Certains fabricants sont ainsi passés d'un espace standard entre broches de 2,54 mm à 2 mm, gênant alors ceux qui utilisent des plaques de circuits perforées à 2,54 mm (0,1"). Autre cas de figure où les millimètres se sont imposés, l'incontournable LED utilisée comme voyant possède le plus souvent un diamètre de 5 mm. Or c'est un peu trop grand pour un trou de 3/16", mais pas assez pour se loger dans un perçage de 13/64".

Ce livre, dont l'édition originale est américaine, utilise de préférence les pouces, mais l'équivalence en unités métriques est également indiquée lorsque cela s'avère nécessaire. Pour votre information, deux tables de conversion millimètres/fractions de pouces sont disponibles dans l'ouvrage *L'Électronique en pratique*, pages 125 et 126.

Un problème plus important provient du fait que l'intégralité de l'industrie électronique utilise maintenant la technologie des composants montés en surface. Au lieu d'un espacement de 0,1» entre fils, il n'y a plus de fils ou broches mais des plots à souder, et un composant a souvent une largeur de 2,54 mm, voire moins. Pour réaliser un circuit à partir de ces composants, il est nécessaire de recourir à des pinces miniatures (pinces à épiler), un microscope et un fer à souder spécifique, ce qui est faisable, mais personnellement, je ne trouve pas cela agréable. C'est pourquoi vous ne trouverez aucun projet dans ce livre utilisant des composants montés en surface.

Calculs mathématiques

Même si vous ne rencontrerez pas beaucoup de calculs dans ce livre, il est important que vous les compreniez.

J'ai choisi d'utiliser une notation habituellement employée en programmation. L'astérisque (*) symbolise la multiplication, tandis que le slash (/) est utilisé comme symbole de la division. Lorsque des opérations seront placées entre parenthèses, vous devrez les effectuer en premier dans vos calculs. Lorsque des parenthèses seront incluses dans d'autres parenthèses, celles placées les plus à l'intérieur seront prioritaires. Par exemple :

$$A = 30 / (7 + (4 * 2))$$

Ici, vous devez commencer par multiplier 4 par 2 pour obtenir 8, puis ajouter 7 au résultat ce qui donne 15, que vous utiliserez comme diviseur de la valeur 30. En conclusion, A vaut 2.

Organisation

Contrairement au livre précédent, celui-ci a une structure de base linéaire, principalement pour être plus en adéquation avec l'utilisation des matériels de lecture portatifs (ordinateurs, tablettes ou liseuses) qui ne s'accommodent guère de la quantité et de la variété des détails qui pourraient être répartis sur une double page imprimée. J'espère que vous lirez cet ouvrage du début jusqu'à la fin, au lieu de sauter de section en section.

Le premier projet établit les concepts qui seront ensuite utilisés dans le second montage. Celui-ci pose les bases utilisées dans le troisième projet, et ainsi de suite. Si vous ne suivez pas cette progression, vous irez donc au devant de certaines difficultés.

Vous trouverez cinq principaux types de sections dans ce livre, identifiées par leur titre.

- **Expériences** : ce sont les travaux pratiques. Ils représentent le principal fil conducteur de cet ouvrage.
- **En bref** : lorsque j'introduirai un nouveau concept, je récapitulerai souvent les notions à mémoriser pour une utilisation future.
- **Fondamentaux** : il s'agit de brèves digressions au cours desquelles je fournirai des informations supplémentaires qui me semblent intéressantes ou utiles, même si elles ne sont pas strictement indispensables pour réaliser un projet. Après un bref aperçu, je vous laisserai vous informer davantage sur le sujet par vous-même.
- **Pour aller plus loin** : comme je n'ai pas assez de place dans ce livre pour décrire en détail toutes les variantes d'un projet, je citerai ici quelques déclinaisons possibles.
- **Attention** : de temps en temps, je signalerai des actions à éviter, car elles pourraient conduire à des erreurs gênantes, nuire à vos composants, ou plus rarement représenter un danger pour votre personne.

Si quelque chose ne fonctionne pas

Il y a en général une seule façon de réaliser un circuit qui soit fonctionnel, alors qu'il en existe des centaines conduisant à des erreurs l'empêchant de fonctionner. La chance est souvent contre vous, à moins que vous ne procédiez très attentivement et méthodiquement. Je sais combien il est frustrant quand les composants assemblés ne réalisent pas ce que l'on attend d'eux, mais si vous rencontrez un problème, vous devriez déceler la plupart des erreurs commises en suivant ces instructions.

1. Reliez le fil noir de votre multimètre, réglé pour la mesure des tensions continues, au pôle négatif de la source d'alimentation (sauf si l'expérience précise une autre méthode). Assurez-vous que votre circuit soit mis en marche. Reliez alors le fil rouge de votre multimètre en divers points du câblage de votre circuit pour déterminer la présence éventuelle de tensions erronées ou absentes.

2. Vérifiez avec attention que tous les fils de liaison aboutissent exactement là où ils doivent se situer sur la plaque de montage.

Lors de l'utilisation d'une platine de montage, deux erreurs reviennent très souvent : l'insertion d'un fil de liaison une rangée avant ou après celle où il devrait se situer, et le positionnement de deux composants ou connexions adjacents sur la même rangée, alors que la liaison interne à la plaque d'essai va les court-circuiter. La fig. 2 présente ces deux erreurs. Assurez-vous que vous les avez bien assimilées !

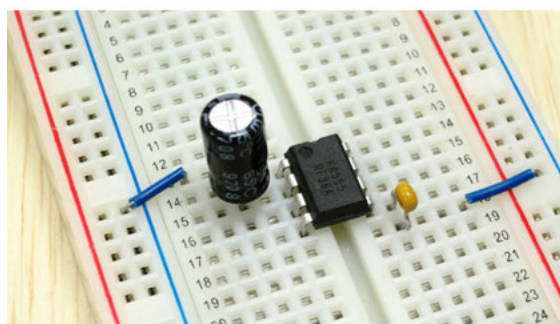
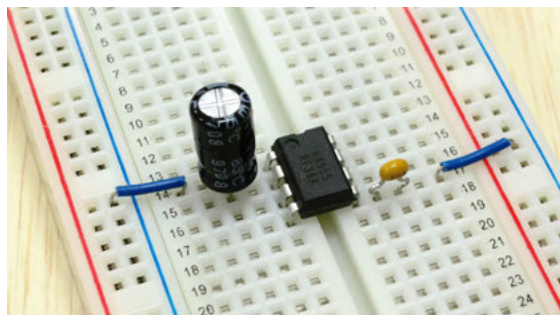


Figure 2. Les deux erreurs les plus fréquemment commises sur une plaque de montage (en haut), et corrigées (en bas).

Sur la photo du haut, les fils du condensateur électrochimique sont insérés entre les rangées 13 et 15 de la plaque, mais comme ils sont cachés dans cette vue, il est facile de placer par erreur une extrémité du fil bleu dans la rangée 14. Sur la droite, la broche 5 du composant est supposée être découplée (mise à la masse) par un condensateur céramique. Or, tous les trous d'une même rangée étant reliés, le condensateur est court-circuité et le composant est relié directement à la masse. La photo du bas montre les erreurs corrigées.

Si l'alimentation est correctement appliquée à votre circuit, et si les composants et les fils de liaison sont correctement positionnés sur la plaque de montage,

cinq autres points doivent être vérifiés en cas de dysfonctionnement.

Orientation des composants

Les boîtiers des circuits intégrés doivent être enfichés fermement dans la plaque. Vérifiez qu'aucune broche ne soit pliée, sous le composant ou vers l'extérieur, et donc non insérée ou mal enfichée dans la plaque de montage.

Les diodes et les condensateurs polarisés doivent être correctement positionnés.

Mauvaises connexions

Parfois (c'est rare mais cela arrive), un composant peut être mal connecté à la plaque de montage. S'il fonctionne par intermittence de façon inexplicable, ou si la tension est nulle, essayez de réinsérer les composants. Selon mon expérience, ce problème se produira plutôt si vous utilisez une plaque d'essai de mauvaise qualité, peu coûteuse, ou si vous utilisez des fils de connexion de section inférieure à $0,2 \text{ mm}^2$.

Valeurs des composants

Vérifiez que toutes les valeurs des résistances et des condensateurs sont correctes. Ma façon de procéder consiste à contrôler à l'aide du multimètre la valeur de chaque résistance avant de la mettre en place. Cela prend du temps mais peut permettre d'en gagner sur le long terme. J'en reparlerai plus loin.

Détériorations

Les circuits intégrés et les transistors peuvent avoir été endommagés par des tensions inappropriées, une polarité incorrecte ou par l'électricité statique. Gardez des pièces de rechange que vous pourrez ainsi utiliser en remplacement.

Fatigue

Quand tout échoue, faites une pause ! Travailler de manière obsessionnelle pendant de longues périodes peut réduire votre champ visuel vous empêchant de voir ce qui ne va pas. Si vous portez votre attention vers quelque chose de différent pendant quelques instants, et si vous revenez à votre problème ensuite, la solution peut soudainement apparaître évidente.

Pour aller plus loin

Une fois que vous aurez réalisé tous les projets de ce livre, je pense que vous aurez acquis de solides connaissances en électronique. Mais ne vous attendez pas à un troisième tome, car je ne suis pas assez compétent pour écrire un ouvrage encore plus avancé !

Si vous souhaitez approfondir vos connaissances, penchez-vous sur les sujets que je n'ai pas traités dans cet ouvrage, à savoir la théorie de l'électronique, ainsi que la conception et le test des circuits. Si vous concevez un circuit vous-même, vous devez en comprendre le principe, en prévoir le comportement et avoir la possibilité de le vérifier après l'avoir réalisé. Pour cela, vous aurez besoin d'un oscilloscope et de logiciels de simulation de circuits. Vous trouverez une liste de logiciels gratuits sur Wikipédia. Certains de ces simulateurs vous indiquent le fonctionnement des circuits numériques digitaux, d'autres sont spécialisés dans les circuits analogiques, certains couvrent les deux. Ces sujets vont toutefois bien au-delà de l'objectif d'un livre de vulgarisation et sont probablement éloignés de la vision que la plupart des personnes ont de l'électronique, qu'elles considèrent plutôt comme un hobby et non comme un métier.

Si vous souhaitez étudier davantage la théorie électronique, je vous recommande le livre *Practical Electronics for Inventors* de Paul Scherz (McGraw-Hill, 2013). Rassurez-vous, vous n'avez nullement besoin d'être un inventeur pour le trouver utile.

J'ai toujours pensé qu'il existait un besoin pour une encyclopédie des composants électroniques. Je me suis souvent demandé pourquoi un tel ouvrage n'existait pas, alors j'ai décidé d'en écrire un moi-même.

Le premier volume de mon ouvrage *Encyclopedia of Electronic Components* est maintenant disponible en anglais. Deux autres volumes suivront pour un total de trois. Alors que *L'Électronique en pratique* est un manuel d'enseignement par l'expérience, le format encyclopédique permet un accès rapide à l'information. Il est également plus technique et écrit dans un style moins agréable pour le lecteur mais conduisant directement au sujet. Personnellement, je pense qu'une encyclopédie des composants offre un moyen inestimable de se remémorer les propriétés et applications de tous les composants que vous pourriez être amené à utiliser.

Bonne lecture !

Table des matières

Introduction	1	4	Mesure de la lumière	27	
Source d'alimentation	1	Utilisation des phototransistors	28		
Régulation	1	En bref : les phototransistors	28		
Prototypage	2	Fondamentaux : photons et électrons	28		
Câblage	3	En bref : le 555	28		
Grippe-fils	5	En bref : les circuits CMOS et bipolaires	31		
Rangement des composants	6	5	Un son effrayant	33	
Vérifications	7	Pour aller plus loin	34		
1	La colle résistante	9	6	Marche-arrêt simple et sûr	37
Un amplificateur à base de colle	9	Comparaisons	37		
Que se passe-t-il ?	10	En bref : les comparateurs	38		
Représentation d'un transistor NPN	11	La réaction	38		
Attention : brochages non standards	11	L'hystérésis	39		
Fondamentaux : conducteurs et isolants	12	Le symbole	41		
Pour aller plus loin	12	En bref : les signes + et -	41		
2	Relevé de valeurs	13	La sortie	41	
Prérequis	13	En bref : plus d'infos sur les comparateurs	42		
Comportement des transistors	13	À l'intérieur du circuit intégré	43		
Attention : multimètre en danger !	16	Le circuit redessiné	43		
Abréviations et fiches techniques	16	Attention : comparateurs inversés	44		
Tension et amplification en courant	17	Comparaison avec un microcontrôleur	44		
En bref : les tensions	20	Pour aller plus loin : système de sécurité basé sur un laser	45		
Pour aller plus loin : mesures à l'ancienne	20	7	Interrupteur chronophotonique	47	
En bref : les transistors	21	Attention : évitez les tensions dangereuses	47		
Réponses concernant l'exemple du diviseur de tension	21				
3	De la lumière au son	23			
Tonalité audio photosensitive	23				

Principe du circuit	48	Fondamentaux : origines de la contre-réaction négative	80
Test du circuit	50	Repousser les limites	80
Détails concernant le relais	50	No pain, no gain !	81
Condensateur de liaison	50	Phase 1 : tensions de sortie	82
Découvrez l'intérieur d'un réveil	51	Phase 2 : tensions d'entrée	82
Attention : pas de réveil branché sur le secteur !	51	Phase 3 : le tracé	84
Observez l'intérieur	51	Phase 4 : le gain	84
Alimentation du réveil	52	Est-ce correct ?	85
Comment retentit-il ?	53	Réduire les écarts	86
Utilisez le son produit	54	Les circuits de base	86
Connectez le réveil	56	Circuits de base sans alimentation symétrique	87
Comment cela devrait fonctionner	56	En bref : les amplificateurs opérationnels	89
Tests	57		
Connexion du relais à la lampe	58	12 Un amplificateur fonctionnel	91
Attention : prudence avec le secteur électrique	58	Le circuit intégré 386	91
Pour aller plus loin	59	Le circuit amplificateur	92
Et maintenant ?	59	Recherche de dysfonctionnement	93
8 Aventures sonores	61	13 Parlez doucement	95
Amplifiez	61	Fondamentaux : l'histoire de Widlar	95
Présentation de l'électret	61	Pas à pas	95
M'entendez-vous ?	62	Détection	96
Fondamentaux : l'essentiel sur les microphones	63	Cela fonctionnera-t-il ?	96
Les hauts et les bas sonores	64	Fondamentaux : translation de tension	98
9 Des millivolts aux volts	67	Suite du contestataire de bruit	99
Mise en place		Question de puissance	101
d'un condensateur	67	Échec ?	102
Présentation de l'amplificateur opérationnel	68	Encore un détail	102
Quelle est la différence ?	68		
Une paire parfaite	69	14 Une contestation réussie	105
10 Du son à la lumière	73	Tout est dans le timing	105
Combinaison LED-transistor	73	Résumé des modifications	107
La LED ne s'allume pas	74	Le test au bruit	108
La LED s'illumine en permanence	74	Pour aller plus loin	108
La LED clignote régulièrement	74	Est-ce réalisable avec un microcontrôleur ?	109
11 Le besoin de négation	75	Et après ?	109
Mesures perturbantes	75	15 C'est tellement plus logique!	111
Amplification en courant continu	75	Test de télépathie	111
Les secrets de l'amplification	76		
Stimulant électronique	79		
Gain	79		

Fondamentaux : PES	111	19 Décoder la télépathie	145
Préparation	111	Test du décodeur	145
En bref : les circuits logiques	113	Rappel sur le système binaire	148
La logique PES	114	Câblage	148
Réalisation	114	Brochage du décodeur	150
Améliorations	116		
16 Testeur de télépathie amélioré!	117	20 Décoder Pierre, Feuille, Ciseaux	153
Êtes-vous prêt ?	117	La logique	153
Révélez la tricherie	118	Spécifications	154
Indiquez l'échec	118	Un circuit OR indisponible	154
Les conflits	118	Sauvé par un NOR	155
Démêlez l'affaire	119	Réalisez la version simplifiée	156
Traduisez le graphique	119	Pour aller plus loin	159
Optimisation	121	Décodage	159
Réalisation	122		
Détails	125	21 La fente magique	161
La différence numérique	125	Multiplexez	161
Faites encore mieux	125	Déplacez vos liaisons	162
Pas si simple ?	126	En bref : les multiplexeurs	162
Peut-on utiliser un microcontrôleur ?	126	Brochage du multiplexeur	163
		Applications des multiplexeurs	163
		Comparaison entre multiplexeur analogique et digital	164
		En bref : les différentes sortes de multiplexeurs-démultiplexeurs	165
17 Pierre, Feuille, Ciseaux! ..	127	Conception du jeu	165
Histoire de probabilités	127	Comptage des fentes	166
Fondamentaux : la théorie des jeux	128	Conception du circuit	167
La logique	128	Réalisez la platine de jeu	169
Lequel est activé ?	129	Test de la fente magique	169
Qui triche ?	130	Qui gagne ?	170
Fondamentaux : les réseaux de portes logiques ..	130	Les gains	170
		Expliquer les probabilités	171
		Fondamentaux : les autres configurations de jeu	172
		Et avec un microcontrôleur ?	172
18 Place aux interrupteurs ..	133	22 Logiquement audible	173
Fondamentaux : une porte XNOR faite d'interrupteurs d'éclairage	133	Fondamentaux : le thérémine	173
Revenez au jeu	133	Audiophonie logique	173
Identifiez l'interrupteur	135	XOR audible	173
Prévenez la tricherie	136	Tout se mélange	174
Match nul	138		
Câblage	138		
Câblage antitriche	142		
Conclusion	142		

23 Un projet casse-tête	177
Fondamentaux : le roi anglais des énigmes	177
Déplacements de pions	177
La grille logique	178
Utilisez des circuits logiques	179
Le jeu d'Ovide commuté	180
Pour aller plus loin	181
Solution de l'énigme	182
24 Additionnez	183
Les cinq règles du calcul binaire	183
Des bits aux états logiques	184
Fondamentaux : l'option NAND	186
Votre petit additionneur personnel	187
Câblage de l'additionneur	187
25 Améliorez votre additionneur	191
Le retour du décodeur	191
Entrée par dipswitchs	192
Présentation d'un encodeur	193
Autres fonctions d'un encodeur	193
Fondamentaux : la puissance du système binaire	194
Fondamentaux : réalisez votre encodage	194
Pour aller plus loin : autres alternatives d'entrée	195
Et des interrupteurs ?	195
Pour aller plus loin : additionneur binaire à interrupteurs	195
Remplissez un tableau	196
Description des interrupteurs	196
Pour aller plus loin : autres possibilités	197
26 Faites tourner les anneaux	199
Démonstration de l'anneau	199
Attention : incompatibilités entre temporisateurs	199
Brochage peu pratique	199
En bref : les barrettes de connexion	201
En bref : les compteurs en anneau	201

Réalisez un jeu	202
Fonctions additionnelles	203
Réglage final du jeu	204
Pour aller plus loin	205
Utiliser un microcontrôleur	206

27 Décalage des bits

27 Décalage des bits	207
Pas de rebonds !	207
Spécificités	207
Démonstration du décalage des bits	208
En bref : les registres à décalage	210
Brochage	210
Fondamentaux : les trains d'impulsions	210
Applications modernes	211

28 Le Yi Jing électronique

28 Le Yi Jing électronique	213
Les hexagrammes	213
L'affichage	214
La voie directe et les tiges	214
Les nombres	215
Échantillons aléatoires	216
Comportement du montage	217
Précisions	218
Barres lumineuses ou LED	218
Réalisation du Yi Jing électronique	220
Assemblage et vérifications	223
Utilisation du Yi Jing électronique	223
Réalisation finale	224

29 Les capteurs usuels

29 Les capteurs usuels	225
L'interrupteur magnétique miniature	225
Test d'un interrupteur Reed	226
Fonctionnement	226
Capteur de niveau	227
Jauge de carburant	227
En bref : les interrupteurs magnétiques	228
Substitution facile	229
Installation d'un interrupteur magnétique	229
Fondamentaux : la polarité magnétique	230
Types d'aimants et approvisionnement	230
Formes des aimants	230
Pour aller plus loin : les courants de Foucault	232
Attention : dangers des aimants	233

30 Les capteurs masqués	235	Non-décideur rotationnel	263
Test d'un capteur à effet Hall	235	Hasard renforcé	265
Applications	237		
En bref : les capteurs à effet Hall	238	34 Contrôle du milieu ambiant	267
Types de capteurs	238	Un timer commandé	
Idées d'utilisation	239	par un autre	267
Pour aller plus loin : jeu de lancer de billes		Contrôle de la température	268
miniature	239	Facteurs aléatoires	269
Pliage du plastique	240	Automatisation du circuit de randomisation	269
Le circuit électronique	241	Fondamentaux : limitation du comptage	270
		Réglage de la vitesse	271
31 L'optique électronique	243	En bref : les thermistances	271
Les capteurs de lumière actifs	243	Rendre une thermistance plus aléatoire	272
Attention : mort lente des capteurs !	244	Le capteur d'humidité	272
Quelques chiffres	245	Contrôle de l'humidité	272
Test d'un capteur infrarouge	245	L'accéléromètre	273
Test de la LED infrarouge	246	Le capteur tactile	273
Test du phototransistor	247	Les problèmes de l'empirisme	274
Test logique	247	L'aléatoire est-il aléatoire ?	274
Variantes	247		
En bref : les capteurs optiques transmissifs	248	35 Le registre à décalage à rétroaction linéaire	277
Les fentes magiques améliorées	248	Connaître votre LFSR	277
Validation du concept	248	En bref : au sujet du registre à décalage	
Schéma	250	à rétroaction linéaire	278
Réalisation	251	Observez de près le décalage de bits	279
Le coffret	252	Le problème des zéros	280
		La nécessité de non-répétition	280
		Attention : singularité des portes XNOR	282
32 Améliorez le jeu d'Ovide	255	Déroulez le test	283
L'option logique	255	Les uns et les zéros	284
Commutez à nouveau	256	Problème de pondération	285
Problèmes magnétiques	257	Sautez la valeur 254	285
Pour aller plus loin : utilisation		Partagez l'entrée d'horloge	286
d'un microcontrôleur	258	Y a-t-il d'autres possibilités ?	286
		Valeur de départ	286
		Pour aller plus loin : autres jeux	
33 Détection des rotations	259	et autres nombres	287
Définition d'un encodeur rotatif	259	LED clignotantes	287
Spécifications	259	Sélection d'une fente	287
Train d'impulsions	260	Variante du compteur en anneau	287
Attention : encodeurs de mauvaise qualité	260	Tonalités aléatoires	288
À l'intérieur d'un encodeur	260	Contrôle du Yi Jing électronique	289
Utilisation des encodeurs	261		
Rendez cela aléatoire	262		
Décideur rotatif	262		

Pour aller plus loin : randomisation par microcontrôleur	289	Schéma de la seconde partie	296
36 Le degré de paranormalité d'un individu	291	Test du testeur	298
Derniers diagrammes logiques	291	Quelle est l'imprévisibilité de la perception extrasensorielle ?	299
Abordons la seconde partie	292	La puissance du triangle	300
Logique d'entrée	293	Les probabilités de John Walker	300
Le signal « prêt »	293	Conclusion	303
Initialisation aléatoire	293	Annexe Principaux fournisseurs et liste du matériel	305
Deux portes XOR additionnelles	294	Index	331
Le timing explique tout	294		
Comptage de toutes les tentatives	296		

Introduction

Dans *L'Électronique en pratique*, j'avais émis quelques suggestions à propos de l'espace de travail, des composants et des outils, entre autres choses. Certains de ces conseils doivent maintenant être revus, tandis que d'autres vont être répétés ou développés.

Source d'alimentation

La plupart des circuits de ce livre peuvent être alimentés par une pile de 9 volts, qui a l'avantage d'être non seulement économique mais aussi une source de tension stable sans parasite ni bruit. Cependant, la tension d'une pile diminue notablement au cours de son utilisation et peut varier, d'un instant à l'autre, selon l'intensité qu'elle doit fournir. Disposer d'une alimentation variable, capable de délivrer une tension de 0 V à 20 V en courant continu (20 V DC), voire plus, est un réel avantage mais pourrait coûter plus que vous ne souhaitez dépenser. Un compromis raisonnable pourrait être l'achat d'un bloc alimentation secteur délivrant une tension unique de 12 V, facilement transformable en 9 V DC ou 5 V DC à l'aide d'un régulateur de tension, afin d'alimenter la plupart des expériences de ce livre. Un régulateur de tension coûte moins d'1 € et un bloc alimentation capable de fournir un courant continu de 1 A (1000 mA), environ 10 €, le tout restant économique.

Vous pourriez être tenté de choisir un chargeur de téléphone portable, particulièrement si vous en avez un inutilisé, le téléphone étant hors d'usage. La plupart de ces chargeurs délivrent une tension de 5 V DC ce qui ne conviendrait pas pour les projets nécessitant 9 V DC. De plus, étant destinés à la charge des batteries, leur tension de sortie est parfois réduite quand leur charge absorbée augmente.

En définitive, si vous avez un budget réduit et n'envisagez pas de construire des versions permanentes de certains projets, une pile de 9 V fera l'affaire. Dans le cas contraire, investissez dans un bloc secteur économique délivrant une tension de 12 V.

Régulation

De nombreuses expériences nécessitent une tension continue régulée de 5 V DC. Pour cela, vous aurez besoin des composants suivants :

- régulateur de tension LM7805 ;
- condensateurs en céramique de 0,33 μ F et 0,1 μ F ;
- résistance de 2K2 ;
- interrupteur de type SPST ou SPDT de type traversant, pour circuit imprimé, dont les broches pourront s'insérer dans les trous de la plaque de montage ;
- diode LED ordinaire.

La fig. I-1 page suivante montre comment ces composants peuvent être insérés dans la partie haute d'une platine de montage, créant un bus positif à gauche et un bus négatif à droite de la platine, ce qui correspond à la configuration que j'utiliserai dans la plupart des projets.

La pile de 9 V utilisée ici peut bien évidemment être remplacée par un bloc secteur. Assurez-vous que ce bloc délivre une tension continue de 7 V DC minimum. Afin d'éviter de générer des pertes calorifiques excessives, il ne devrait pas dispenser une tension supérieure à 12 V DC.

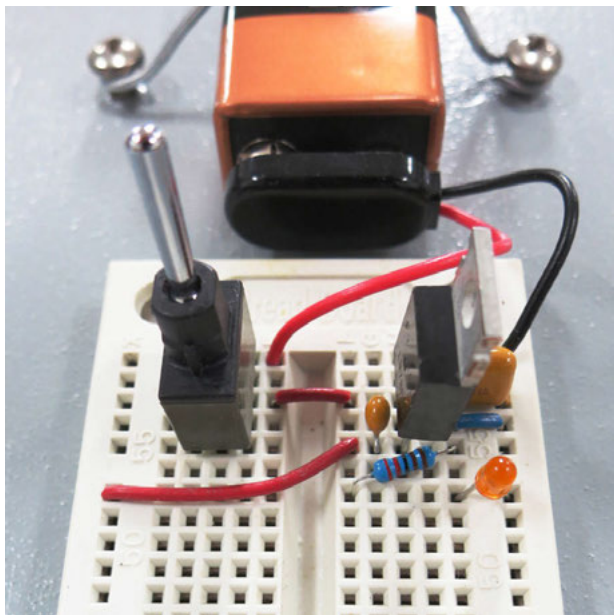


Figure I-1. Placement des composants permettant de générer une tension continue réglée de 5V.

La fig. I-2 présente le schéma de ce circuit. Les condensateurs devront être utilisés même si une pile alimente le montage, ils garantissent un fonctionnement correct du régulateur de tension.

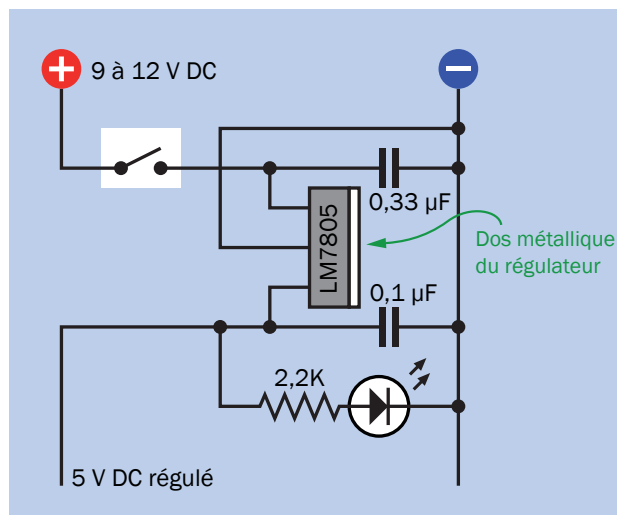


Figure I-2. Schéma de l'alimentation réglée 5V continu.

Je suggère que vous ajoutiez un interrupteur et une diode LED ce qui est plus pratique. Si votre circuit ne fonctionne pas, il est intéressant de vérifier l'allumage de la LED, confirmant ainsi que le montage est bien

alimenté. De plus, lorsque vous devrez modifier le circuit d'un projet, vous apprécierez de pouvoir couper puis remettre l'alimentation sans difficulté. J'ai placé une résistance de valeur relativement élevée en série avec la diode LED afin d'économiser la pile dans le cas où vous en utiliseriez une.

Prototypage

Dans *L'Électronique en pratique*, j'utilisais des plaques de montage ayant un bus d'alimentation sur chacun des ses côtés les plus longs, vous aviez ainsi les lignes alimentation négatives et positives des deux côtés de la plaque.

Dans ce livre, j'ai décidé d'utiliser un modèle de platine plus simple, présentant une seule ligne d'alimentation de chaque côté tel que montré sur la fig. I-3.

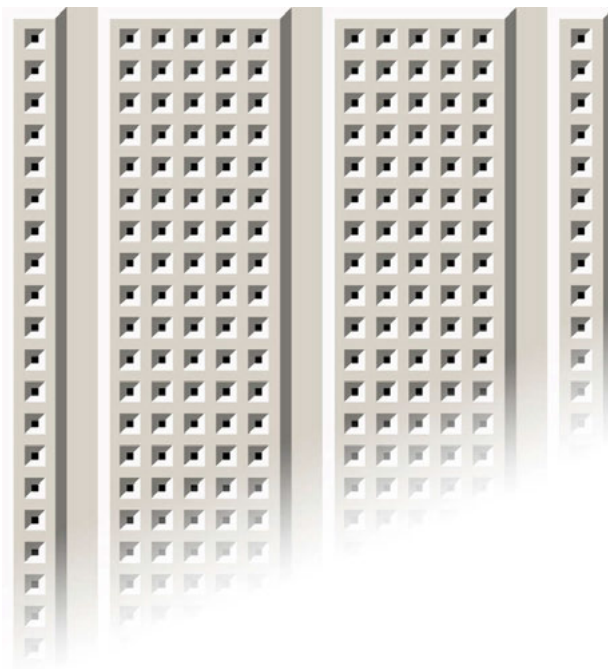


Figure I-3. Apparence extérieure d'une platine ne possédant qu'une seule ligne d'alimentation de chaque côté. Tous les circuits de ce livre seront définis pour ce type de plaque.

Plusieurs raisons justifient ce changement.

- Les platines de ce type sont beaucoup plus économiques, particulièrement si vous les achetez directement en Asie via eBay. Ne soyez pas déconcerté par les noms de ces vendeurs, tels que « hero-

fengstore » ou « kunkunh ». À l'heure de parution de ce livre, vous pouvez vous procurer ces plaques pour quelques euros seulement, si vous n'êtes pas découragé par la durée d'acheminement, parfois de plusieurs semaines. Pour plus de conseils en ce qui concerne l'approvisionnement de composants, reportez-vous à l'annexe de l'ouvrage.

Si vous achetez plusieurs platines de montage, vous pourrez conserver les circuits précédents sur leurs plaques alors que vous en utiliserez une neuve pour chaque nouveau circuit.

- Si vous souhaitez réaliser une version permanente d'un circuit en soudant ses composants sur un circuit imprimé, le plus simple serait d'utiliser des plaques d'essai à souder en époxy ou bakélite ayant des pistes de même configuration que celle des plaques de montage sans soudures.

Ces types de plaques ont la plupart du temps une seule ligne de bus de chaque côté (la référence SYB-120 60x12 est une plaque d'essais à une seule ligne d'alimentation comportant 600 points, correspondant à celle utilisée dans les expériences de cet ouvrage. Elle peut être commandée en ligne pour quelques euros).

Ainsi, si la configuration est identique, le transfert des composants à partir de la platine de montage sans soudure sera facilité.

- Les retours d'expérience des lecteurs m'ont appris qu'ils avaient tendance à commettre plus d'erreurs en utilisant des plaques de montage avec double bus d'alimentation sur chaque côté. Ces erreurs peuvent être coûteuses et gênantes, certains composants n'ayant pas une grande tolérance à l'inversion de polarité.

Il est important que vous ayez en tête une image des connexions internes de la platine utilisée, c'est pourquoi je présente à nouveau une image du précédent livre. La fig. I-4 est une vue en écorché de la plaque d'essai.

Rappelez-vous que de nombreuses platines de montage ont des bus d'alimentation interrompus en plusieurs points autorisant ainsi l'utilisation de sources de tension différentes selon les endroits de la plaque. Je n'ai pas l'intention de recourir à cette possibilité, et je vous conseille, lorsque vous utilisez une nouvelle plaque, de vérifier avec un multimètre si les lignes d'alimentation ne sont pas interrompues. Dans le cas

contraire, vous devrez recourir à un fil pour ponter chaque coupure. Si vous oubliez cette précaution, votre circuit pourrait ne pas fonctionner.

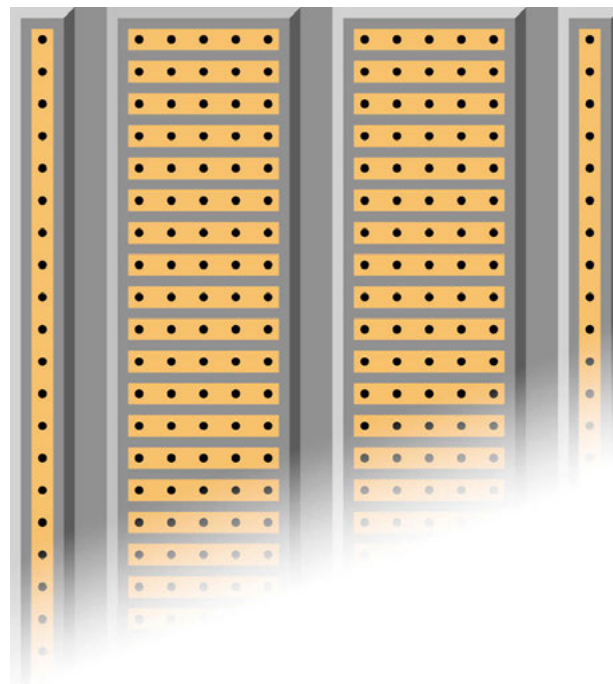


Figure I-4. Vue écorchée montrant les conducteurs internes d'une plaque de montage.

Câblage

De temps en temps, je reçois un e-mail d'un lecteur, accompagné d'une photo montrant un circuit conçu sur une plaque de montage, ne fonctionnant pas, et me demandant pourquoi. Si le lecteur a utilisé des fils souples possédant un petit embout à chaque extrémité, ma réponse est toujours la même : je ne peux pas vous aider car, même si j'avais le circuit face à moi, je ne serais toujours pas en mesure de proposer une autre recommandation que de retirer tous les fils et de réaliser à nouveau le câblage.

Les fils d'interconnexion pour les plaques d'essai sont faciles et rapides à connecter, j'ai souvent succombé à leur attrait mais je l'ai souvent regretté car, si vous faites une seule erreur, vous aurez beaucoup de difficulté à la repérer au milieu de cet enchevêtrement de fils.

Dans la plupart des photos de ce livre, vous remarquerez que j'utilise des fils de liaison flexibles avec embouts pour réaliser les connexions avec l'extérieur de la platine utilisée. En revanche, sur la plaque, j'utilise des petits fils rigides, dénudés à chaque extrémité. Il est infiniment plus aisé de trouver une erreur en utilisant ce type de fils.

Si vous achetez des kits de fils rigides prédécoupés, vous verrez qu'ils sont colorés en fonction de leur longueur. Or, ce n'est pas très pratique ; il serait préférable d'utiliser une couleur de fil en rapport avec sa fonction. Par exemple, une connexion aboutissant à la ligne d'alimentation positive du bus doit être rouge, peu importe sa longueur. Deux fils placés parallèles seront de couleurs différentes et contrastées afin de ne pas les confondre. Et ainsi de suite. De cette façon, je peux observer une plaque, rapidement déterminer son fonctionnement et trouver une erreur de câblage plus aisément.

Peut-être pensez-vous que prédécouper vous-même vos fils est trop fastidieux. En ce cas, j'ai une suggestion à vous faire. La fig. I-5 montre la méthode que j'utilise pour préparer mes fils de liaison.

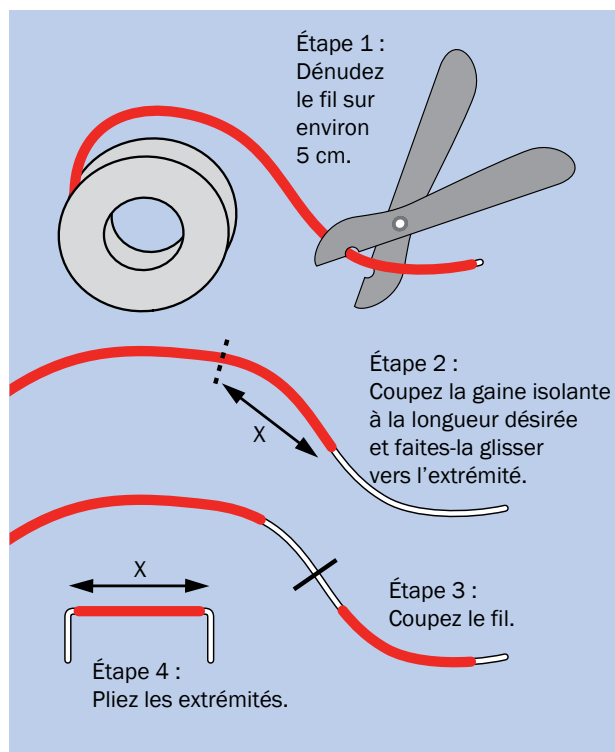


Figure I-5. Une façon simple de créer des fils de liaison pour une plaque de montage.

Commencez par retirer une petite longueur d'isolant (environ 5 cm) et jetez-la. Ensuite, estimez la distance que votre fil doit couvrir sur la plaque. Appelons « X » cette distance. Reportez cette longueur sur l'isolant du fil comme à l'étape 2 et placez votre pince à dénuder à l'endroit du pointillé. Poussez ensuite la gaine isolante du fil vers l'extrémité du fil à environ 1 cm de cette extrémité. Coupez ensuite le fil au niveau de la ligne noire continue. Pliez les extrémités pour terminer.

Afin de trier et ranger les fils ainsi prédécoupés, vous pouvez réaliser un calibre de longueur de fil. Cet outillage sera également utile pour plier les fils à la longueur désirée. Il s'agit simplement d'un morceau de plastique ou de contreplaqué de forme triangulaire avec des découpes en escalier le long de la diagonale, comme indiqué sur les fig. I-6 et I-7.

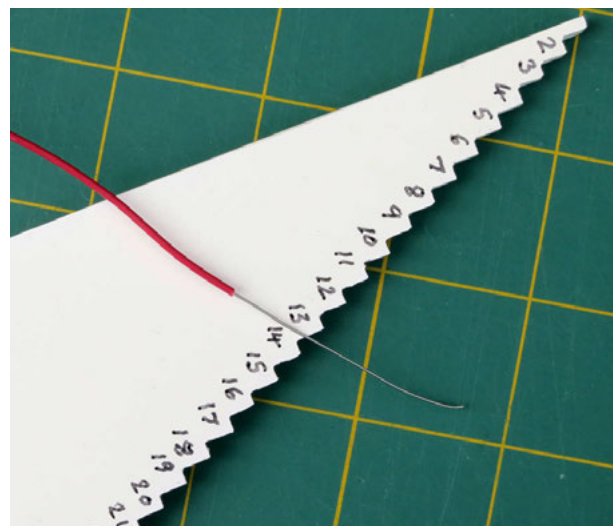


Figure I-6. Calibre fait maison pour plier et trier les fils utilisés sur les plaques d'essai (gradué en pas de 2,54 mm).

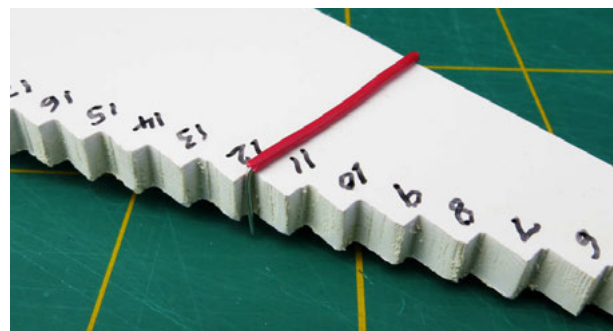


Figure I-7. Vérification d'un fil de longueur 28 mm (1,1", soit 11 pas) à l'aide du calibre.

Notez que pour prendre en compte l'épaisseur du fil lors du pliage, les créneaux du calibre devront être découpés en réduisant leur longueur d'1,6 mm environ. Une autre méthode pour vérifier la longueur des fils pliés consiste à utiliser une plaque de circuit imprimé perforé au pas de 2,54 mm (0,1").

Rappelez-vous que les trous d'une plaque d'essai sont espacés de 2,54 mm (0,1" ou un pas élémentaire), verticalement et horizontalement, l'espace plein au centre de la platine ayant une largeur de 3 pas soit 7,62 mm. En ce qui concerne le diamètre des fils à utiliser, la section de 0,2 mm² (calibre USA AWG24) est de loin le meilleur choix. Un diamètre inférieur (calibre USA AWG26) n'assurerait pas de bons contacts alors qu'un diamètre supérieur (calibre USA AWG22) serait difficile à insérer.

Vous pourrez trouver des lots de fils sur eBay. Personnellement, j'utilise des fils de dix couleurs différentes : rouge, orange, jaune, vert, bleu (plusieurs teintes bleues), noir, marron, violet, gris et blanc. Si vous êtes rigoureux et affectez une couleur à chaque connexion sur la platine en fonction de sa fonction, vous simplifierez beaucoup votre travail.

Jetez à nouveau un œil à la fig. 2 page 2, pour vous remémorer les deux causes d'erreurs de câblage les plus fréquentes. Vous pensez peut-être que vous ne ferez jamais de telles erreurs de câblage, mais je les ai moi-même commises lorsque j'étais fatigué ou quand j'avais travaillé au-delà du raisonnable.

Grippe-fils

Dans *L'Électronique en pratique*, j'ai évoqué des mini grippe-fils que vous pouvez enficher sur les cordons d'un multimètre. Ils sont parfois difficiles à trouver mais un large choix de grippe-fils et de cordons de mesure répondant à l'objectif recherché est disponible par exemple chez Selectronic. La fig. I-8 montre un grippe-fil noir inséré sur une pointe de touche de multimètre, le rouge étant déconnecté. Cette configuration est, selon moi, un bon compromis. Vous pouvez ainsi accrocher le grippe-fil noir à un fil de masse quelconque dans votre circuit et utiliser la pointe de touche rouge pour vérifier vos tensions aux différents points du circuit. Ces grippe-fils réalisent une excellente liaison avec les conducteurs, ils ne devraient pas entraîner de perturbation, apportant tout au plus une résistance d'un ou deux ohms aux connexions.



Figure I-8. Grippe-fils permettant aux pointes de touche de votre multimètre de s'accrocher à une connexion, vous évitant de devoir tenir les pointes de touche en place.

La fig. I-9 illustre le mécanisme d'un grippe-fil lorsqu'il est en position ouverte, le ressort le ramenant en position accrochée étant poussé. Sur la fig. I-10, le ressort est relâché permettant au grippe-fil de s'accrocher au fil d'une résistance.



Figure I-9. Grippe-fil ayant son crochet ouvert en poussant le ressort de maintien.

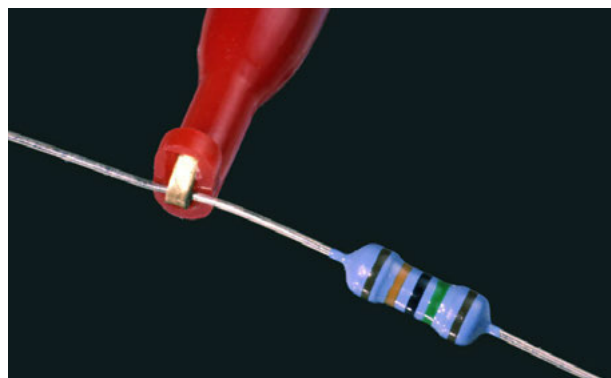


Figure I-10. En relâchant le ressort, le grippe-fil exerce une pression ferme sur un fil de résistance.

On peut également utiliser des cordons munis de pinces crocodiles à chaque extrémité (voir la fig. I-11) comme autre solution, un cordon avec pince crocodile étant relié à une pointe de touche, l'autre pointe de touche étant utilisée pour vérifier différents points du circuit. J'en reparlerai plus loin dans ce livre lorsque vous aurez besoin d'avoir une main libre non occupée à maintenir un cordon de mesure sur un fil. Personnellement, je pense que les grippe-fils sont plus adéquats mais si vous ne souhaitez pas encombrer en permanence vos pointes de touche, le cordon à deux pinces crocodiles est une alternative.



Figure I-11. Ce type de cordon possédant une pince crocodile à chaque extrémité peut être utilisé comme alternative, reliant une extrémité à une pointe de touche, l'autre étant reliée au circuit en cours de vérification.

Vous pouvez également vous procurer des cordons possédant un grippe-fil à chaque extrémité comme ceux de la fig. I-12. Vous en trouverez par exemple chez Selectronic sous l'appellation « Cordon grippe-fil » référence 14.9003-10.



Figure I-12. Cordon ayant un grippe-fil à chaque extrémité, utile là où une pince crocodile pourrait provoquer un court-circuit avec un conducteur voisin.

Ces cordons présentent l'avantage d'être munis de grippe-fils plus petits que les pinces crocodiles qui, sur des connexions rapprochées, pourraient toucher un conducteur voisin et provoquer ainsi un court-circuit.

Rangement des composants

Pour le stockage des condensateurs, la taille réduite des condensateurs céramiques multicouches rend mes recommandations du livre *L'Électronique en pratique* dépassées. Les petits composants se rangent plus facilement dans de petites boîtes, comme celles qu'utilisent les passionnés de la création de bijoux.

Les magasins spécialisés en loisirs créatifs proposent toutes sortes de boîtes de rangement de perles comme celles de la fig. I-13. Les condensateurs céramiques se répartiront facilement dans celles-ci à couvercle vissé d'environ 2,5 cm de diamètre. Cela me permet de garder toutes les valeurs de base (0,01 μF et supérieures) à portée de mains sur ma table, dans une boîte d'à peine 20 cm de côté. Par ailleurs, il est important que chaque récipient se ferme par un couvercle vissé, afin d'éviter que les condensateurs se répandent sur le sol et se mélangent en cas de chute accidentelle. Les condensateurs se ressemblent tous, il serait donc fastidieux de devoir à nouveau les trier.



Figure I-13. Les condensateurs céramiques récents sont si petits qu'une boîte à perles est idéale pour leur rangement.

En ce qui concerne les résistances, je suggère de réduire la longueur de leurs fils, ainsi elles pourront également être entreposées dans des petits récipients. Il est rare en effet d'utiliser la longueur totale des fils des résistances et si cela s'avère parfois nécessaire, il est plus judicieux

d'avoir recours à un fil de liaison isolé sur la plaque de montage. La fig. I-14 montre une solution pour ranger les résistances des 30 valeurs les plus usuelles. Comme pour les condensateurs, cela évite que les résistances ne se dispersent si vous bousculez la boîte. Chaque compartiment peut recevoir environ 50 résistances (voir la fig. I-15).



Figure I-14. Une boîte à perles légèrement plus grande convient pour les résistances si leurs fils sont réduits en longueur.



Figure I-15. Cinquante résistances peuvent être rangées dans ces petits flacons.

Vérifications

Lorsque je construis un circuit, j'essaie de vérifier régulièrement la valeur de chaque composant, résistance ou condensateur, avant de le placer sur la plaque. Un condensateur céramique de 10 μF et un autre de 0,1 μF apparaissent presque identiques, deux résistances de valeurs 1K et 1M également, à l'exception d'une bande de couleur différente. Si des valeurs de composants sont mélangées, vous vous retrouverez face à des erreurs de fonctionnement qui vous laisseront perplexes.

Afin de simplifier la vérification des résistances, j'utilise une petite platine d'essai avec des fils reliés aux cordons de mesure d'un multimètre à calibre automatique comme le montre la fig. I-16. Il ne me reste alors qu'à insérer chaque résistance dans la plaque, la vérification prenant ainsi moins de 5 secondes. La plaque de montage n'ajoutant que quelques ohms à la valeur de la résistance ne perturbe généralement pas la vérification qui ne nécessite pas la connaissance précise de la valeur. Je dois juste être sûr de ne pas commettre une erreur significative. Pour la même raison, le multimètre le moins cher conviendra parfaitement à cette opération.



Figure I-16. Vérification simple des valeurs des résistances avant de les utiliser dans un projet.

J'en ai fini avec cette introduction, entrons maintenant dans le vif du sujet en passant aux expériences !

La colle résistante

Je souhaite commencer par une expérience simple et amusante, car je pense que l'électronique devrait toujours comporter une part récréative.

Pour ce montage, je vais utiliser de la colle et du carton. Je suis bien conscient que ces matériaux ne sont pas couramment utilisés dans les livres d'électronique, mais ils vont nous permettre d'aborder deux sujets. En premier lieu, cela va nous rappeler que l'électricité ne se limite pas qu'à des fils et des cartes. Deuxièmement, cette expérience va nous conduire à la connaissance détaillée du composant le plus vital et fondamental qu'est le transistor bipolaire. Enfin, cela va nous mener à une discussion au sujet des ions, de la résistance électrique et de la résistivité.

Je pense que si vous avez lu *L'Électronique en pratique*, vous avez déjà appris les bases du fonctionnement des transistors, mais, après une petite récapitulation, j'irai au-delà de leur principe de fonctionnement.

Pour rappel, vous trouverez la liste des composants nécessaires à chaque expérience dans l'annexe de cet ouvrage.

Un amplificateur à base de colle

La fig. 1-1 présente le plan de la réalisation. Le carton sert de support au circuit, vous n'utiliserez pas de plaque de montage pour ce projet. Commencez par enfoncer les fils du transistor dans le carton. Le transistor 2N2222 est commercialisé sous deux versions, l'une avec une encapsulation métallique, l'autre avec un enrobage en plastique noir. Si vous utilisez le type métallique, l'ergot métallique devra se situer à gauche selon l'orientation de la figure. Si vous utilisez le type en plastique noir, le 2N2222 ou PN2222, le côté plat devra se trouver à

droite – mais si vous avez acheté la variante P2PN2222 (souvent mentionnée comme équivalente des autres références), vous devrez placer le côté plat à gauche. Contrôlez la référence avec une loupe et vérifiez dans le paragraphe « Symbologie » si vous n'êtes pas sûr.

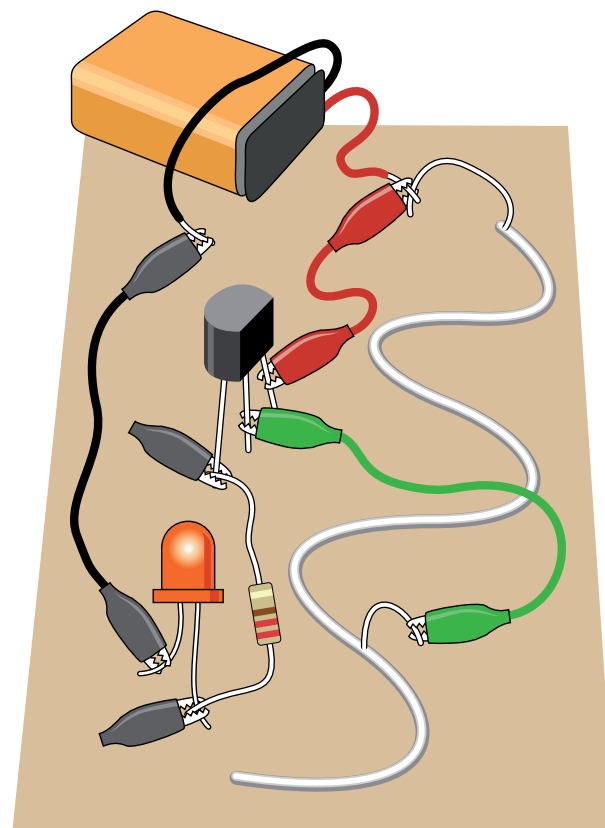


Figure 1-1. Pour votre première expérience, vous avez besoin d'un transistor, d'une résistance de 220Ω, d'une pile de 9V, de cordons de liaison, de fils de câblage, de colle blanche et de carton.

Reliez les composants comme indiqué. Le fil le plus long de la diode LED est à droite et le fil court à gauche. La résistance reliée au fil le plus long de la LED a une valeur de $220\ \Omega$. Prenez garde à ce que les pinces crocodiles ne se touchent pas entre elles au niveau de leurs liaisons aux fils du transistor. Maintenant utilisez votre flacon de colle blanche liquide (la colle Elmer est recommandée pour cette expérience) pour réaliser une trace de colle en zigzag d'environ 30 cm de long et de 3 mm de large. Déposez la colle du haut vers le bas tel qu'indiqué sur la fig. 1-2. Prenez soin de ne pas interrompre le filet de colle.

Pourquoi la colle Elmer est-elle conseillée ? Simplement parce qu'il s'agit d'une colle courante qui possède les caractéristiques électriques souhaitées pour cette expérience. Ce n'est pas un isolant mais ce n'est pas non plus un bon conducteur électrique. Toutefois, une autre colle blanche devrait permettre d'obtenir des résultats comparables.

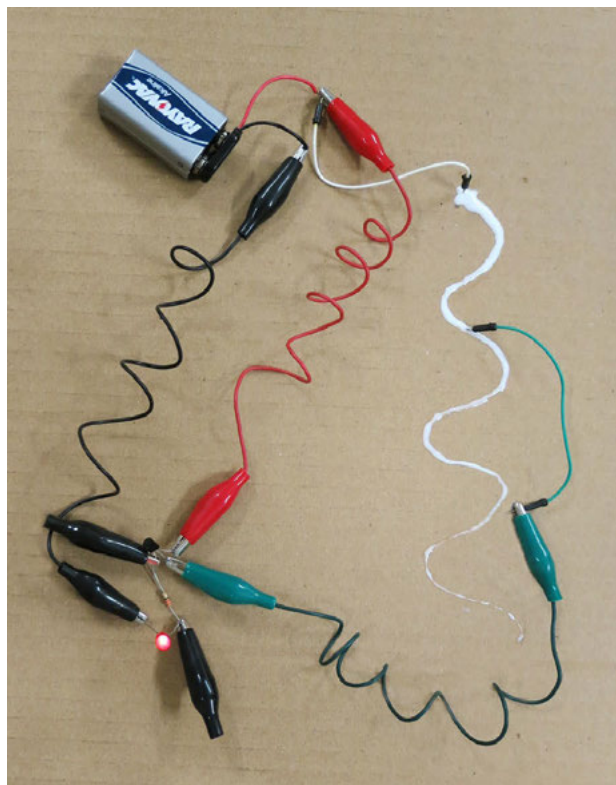


Figure 1-2. Le circuit en action, au cas où vous doutiez de son fonctionnement.

Vous devez agir rapidement avant que la colle ne sèche. Prenez le fil vert (connecté au fil central du transistor) et touchez le trait de colle en son milieu. La LED

devrait s'illuminer vivement. Maintenant, touchez le trait de colle à son extrémité en bas, la LED devrait alors s'allumer avec une luminosité plus faible.

Si vous avez lu mon précédent ouvrage, vous aurez deviné pourquoi – mais je vais vous le réexpliquer ici.

Que se passe-t-il ?

Le trait de colle que vous avez tracé doit avoir une résistance totale d'environ 1 mégohm, communément appelé mégohm (du haut vers le bas du trait) soit environ 4K par cm. Si vous voulez vérifier avec votre multimètre, utilisez un morceau de fil pour rallonger les cordons de mesure afin de ne pas enduire ces derniers de colle.

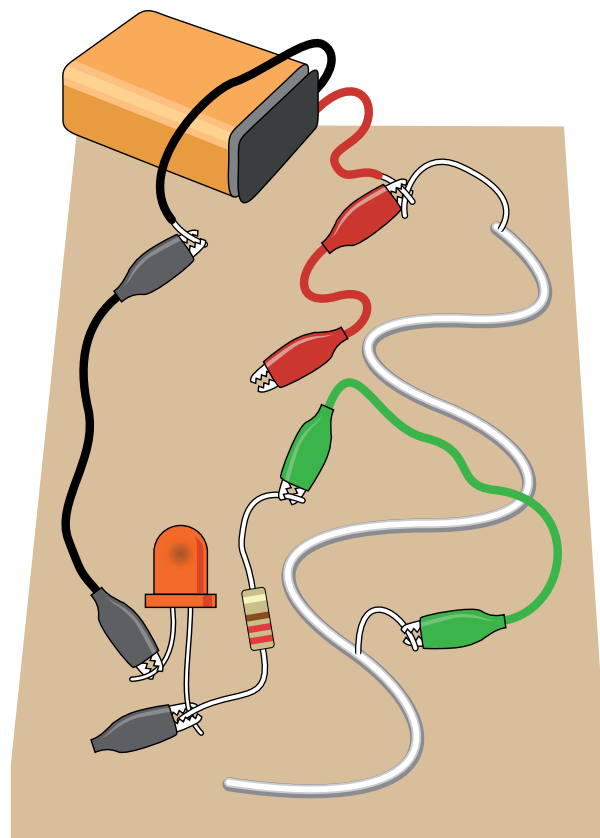


Figure 1-3. Lorsque le transistor n'amplifie pas le courant traversant la LED, la résistance de la colle est trop forte pour fournir assez d'intensité pour l'allumer.

Le transistor agit comme un amplificateur. Il augmente le courant traversant sa base (le fil central). La sortie amplifiée est disponible à son émetteur (fil de gauche sur la fig. 1-1). Dans cette expérience, le courant de base

du transistor a été réduit en le faisant passer à travers le trait de colle qui a une résistance importante. La LED réagit en fonction du courant qui la traverse et montre ainsi ce qui se passe en faisant varier son intensité lumineuse.

Pour avoir une impression visuelle de la façon dont le transistor agit, retirez-le du circuit selon la fig. 1-3 ci-contre. La pince crocodile verte doit maintenant être reliée avec la résistance reliée en série avec la LED, celle-ci doit rester éteinte. La résistance de la colle est si élevée que l'intensité traversant la LED est trop faible pour provoquer son allumage. Si vous déplacez la pince crocodile verte en haut du trait de colle à environ 5 mm de l'extrémité où est relié le pôle positif de la pile, la LED devrait s'illuminer faiblement.

Représentation d'un transistor NPN

Si vous avez des difficultés pour vous souvenir du symbole d'un transistor NPN et du brochage du composant utilisé, reportez-vous à la fig. 1-4 pour vous le rappeler.

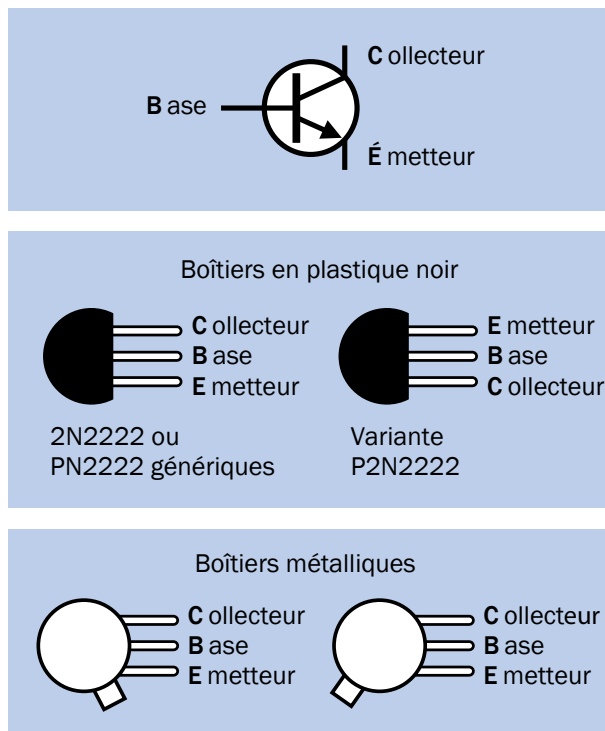


Figure 1-4. Schéma simplifié du transistor NPN, et représentation simplifiée des composants vus de dessus. Voir la remarque importante concernant l'inversion des fils sur le P2NP2222.

L'ergot du boîtier métallique pourra se trouver orienté différemment mais il sera toujours placé plus près du fil de connexion à l'émetteur du transistor que des autres fils. En ce qui concerne le symbole de schématique, vous savez que c'est un transistor NPN car la flèche pointe vers l'extérieur (mnémotechnique anglais : **Never Point iN**).

Attention : brochages non standards

Depuis longtemps, lorsque l'on observait un transistor à boîtier plastique par le dessus en plaçant le méplat à sa droite, les connexions étaient toujours identifiées Collecteur, Base et Émetteur du bas vers le haut. Certains fabricants ont appelé ces transistors PN2222 mais en conservant le brochage identique.

Pour des raisons qui demeurent obscures, aux environs de 2010, une variante portant la référence P2N2222 a été produite par On Semiconductor, Motorola et peut-être d'autres fabricants. Ses performances étaient identiques à celles du 2N2222 mais le brochage de ses fils était inversé.

Si vous cherchez sur Internet un fournisseur du 2N2222 ce qui serait normal, le 2N2222 étant la référence générique la plus répandue pour ce transistor, il se pourrait que le P2N2222 vous soit proposé car votre texte de recherche est inclus dans P2N2222. Si vous achetez ce composant, ses caractéristiques étant identiques, vous risquez de le relier de façon erronée dans votre circuit.

Phénomène aggravant, les transistors fonctionnent jusqu'à un certain point lorsque leurs connexions sont inversées mais de façon dégradée. Ainsi, vous pouvez utiliser le P2N2222 de façon erronée et obtenir un résultat, toutefois, ce ne sera pas tout à fait ce que vous attendiez. Si vous découvrez votre erreur et connectez correctement votre P2N2222, il y a de fortes chances que votre circuit ne fonctionne toujours pas tel que vous l'espérez, votre transistor pourrait en effet avoir été endommagé par cette inversion de polarité.

Quiconque achetant des composants doit être attentif à vérifier les références et bien tenir compte des configurations décrites à la fig. 1-4. Et, comme toujours, il est important de contrôler en détail les fiches techniques.

Fondamentaux : conducteurs et isolants

Apprenez davantage de cette expérience en attendant que la colle sèche. Plus la colle sera sèche, moins la LED réagira. Pour quelle raison ? Une partie de l'eau contenue dans la colle s'évapore avec le temps tandis que le reste est absorbé par le carton.

Pour mémoire, dans le livre *L'Électronique en pratique*, nous avons vu que le courant électrique est un flux d'électrons. Les atomes ou molécules qui présentent un surplus ou un déficit d'électrons sont appelés des ions. Je ne sais pas de quoi la colle blanche est constituée, mais apparemment elle comporte un composé chimique qui autorise le transfert d'ions. L'eau contenue dans la colle facilite ce transfert car les ions se déplacent dans l'eau.

L'eau en elle-même n'est pas un très bon conducteur. Pour le prouver, vous devez utiliser de l'eau purifiée – pas celle disponible à votre robinet, qui contient des impuretés minérales. De l'eau pure ou eau distillée, obtenue en la faisant bouillir afin de générer de la vapeur, (laissant les impuretés dans le récipient), ensuite condensée. On parle de moins en moins d'eau distillée car sa production est très consommatrice en énergie. On trouve le plus souvent de l'eau « désionisée » habituellement obtenue par un processus « d'osmose inversée ». Désionisée signifie qu'il n'y a pas d'ions dans cette eau n'est-ce pas ? Sans surprise, cette eau ne devrait donc pas très bien conduire l'électricité.

Insérez les pointes de touche de votre multimètre, espacées de quelques centimètres, dans un récipient d'eau distillée ou désionisée. Vous devriez mesurer une résistance de plus de 1 mégohm. Dissolvez du sel dans l'eau, la résistance mesurée devrait chuter radicalement, le sel étant une source d'ions.

Vous vous demandez peut-être où se situe la frontière entre conducteur et isolant. Pour répondre à cette question, vous devez savoir comment la résistivité est mesurée. C'est simple : si R est la résistance d'un objet exprimée en ohms, A étant sa surface en mètres carrés et L sa longueur en mètres :

$$\text{Résistivité} = (R * A) / L$$

La résistivité est mesurée en ohm-mètre. Un très bon conducteur a une résistivité d'environ 0,00000003 ohm-mètre, soit 3 divisé par 100 millions. À l'opposé, un très bon isolant tel que le verre présente une résistivité d'environ 1 000 000 000 000 (un trillion) d'ohm-mètres.

À mi-chemin se situent les semi-conducteurs. Le silicium, par exemple, a une résistivité d'environ 640 ohm-mètres, mais cette valeur peut être réduite en « dopant » le silicium avec des impuretés et en le polarisant par un potentiel électrique afin d'encourager l'écoulement des électrons qui le traversent.

Quelle est la résistivité de la colle blanche ? Je vous laisse le soin de la déterminer à l'aide de votre multimètre. Et le carton ? Sa résistivité est si élevée, comment pourriez-vous la mesurer ? Voyez si vous pouvez imaginer une façon de le réaliser ?

Pour aller plus loin

En recommençant l'expérience 1, que se passe-t-il si vous utilisez une trace de colle trois ou quatre fois plus large ? Et si vous placez deux LED en parallèle ou en série ?

Peut-être pensez-vous connaître ce que sera le résultat. Il est toutefois toujours bon de vérifier ses prédictions en les mettant en œuvre.

J'ai mentionné précédemment que si vous connectiez le transistor de façon erronée, il pourrait malgré tout fonctionner. Il peut en effet supporter une faible tension inverse entre base et émetteur (moins de 6 V environ), mais l'utilisation d'une pile de 9 V pourrait provoquer une destruction du transistor. Est-ce que cela arrive si vous le tentez ? Et si oui, pourquoi ? Si vous cherchez plus d'information à ce sujet, vous serez amené à découvrir par vous-même comment sont structurées les différentes couches constitutives d'un transistor et comment les charges transitent d'une couche à une autre. Cela peut être utile à connaître.

Après avoir ainsi inversé un transistor dans un circuit, il pourrait avoir été détruit partiellement et ne devrait pas être utilisé dans d'autres circuits. Vous pouvez toutefois vous en servir à des fins de test dans l'expérience suivante et comparer ses performances avec celles d'un autre transistor n'ayant pas subi ces dommages.

Relevé de valeurs

Voici mon plan. Dans les prochaines expériences, je vais vous montrer quelques composants non étudiés dans *L'Électronique en pratique*. Les trois premiers seront les suivants :

- le phototransistor ;
- le comparateur ;
- l'amplificateur opérationnel.

Ces composants auront un rôle qui vous distraira et vous intéressera dans les expériences 3 à 14.

Vous devrez également vous familiariser avec les sujets tels que le design de circuit, particulièrement avec des composants analogiques. Nous utiliserons ensuite des circuits digitaux tels que :

- les portes logiques ;
- les décodeurs, encodeurs et multiplexeurs ;
- les compteurs et registres à décalage.

Enfin, je vous parlerai du hasard et des capteurs.

Mais tout d'abord, je veux être sûr que nous sommes au même niveau en ce qui concerne quelques concepts de base. Quand bien même vous pensez être familier avec ces concepts, les personnes les mieux informées peuvent toujours avoir quelques lacunes. Vous aurez besoin de ces informations pour comprendre les sections à venir.

Prérequis

Vous trouverez la liste des composants nécessaires pour chaque expérience dans l'annexe située à la fin de ce livre.

Je suppose que vous disposez déjà de l'alimentation stabilisée 5 V DC (courant continu) telle que celle de la fig. I-2. Chaque fois que vous voyez le mot « réglé » dans un schéma, une alimentation utilisant un LM7805 et les deux condensateurs seront nécessaires. Dans cette expérience, vous avez besoin d'une tension réglée pour réaliser des mesures précises.

Comportement des transistors

En électronique, les nombres sont inévitables. En fait, vous pouvez les considérer comme des amis, puisqu'ils vont vous dire ce qui se passe. Il est également indispensable de réaliser des mesures précises car, si vos mesures sont approximatives, les nombres ne vous guideront pas correctement et deviendront alors inutiles.

Ainsi, je veux réitérer la première expérience en utilisant un potentiomètre ajustable au lieu d'un trait de colle blanche et un multimètre au lieu d'une banale diode LED afin que vous puissiez évaluer les performances du circuit. (Cela sera similaire à l'expérience 10 du livre *L'Électronique en pratique* en approfondissant le sujet de l'amplification.)

Êtes-vous capable de réaliser des mesures précises ? Nous allons le savoir maintenant.

Étape 1

Réglez votre multimètre afin de mesurer des microampères en courant continu. Selon le multimètre que vous utilisez, vous devez simplement insérer le fil rouge dans la borne prévue pour la mesure du courant et positionner le sélecteur sur ampères. Si votre multimètre ne permet pas la sélection automatique de la gamme, choisissez la gamme microampères manuellement.

Quoi qu'il en soit, assurez-vous de bien mesurer du courant continu et que le fil rouge est correctement inséré dans la borne « ampères ».

Utilisez votre appareil de mesure comme sur la fig. 2-1.

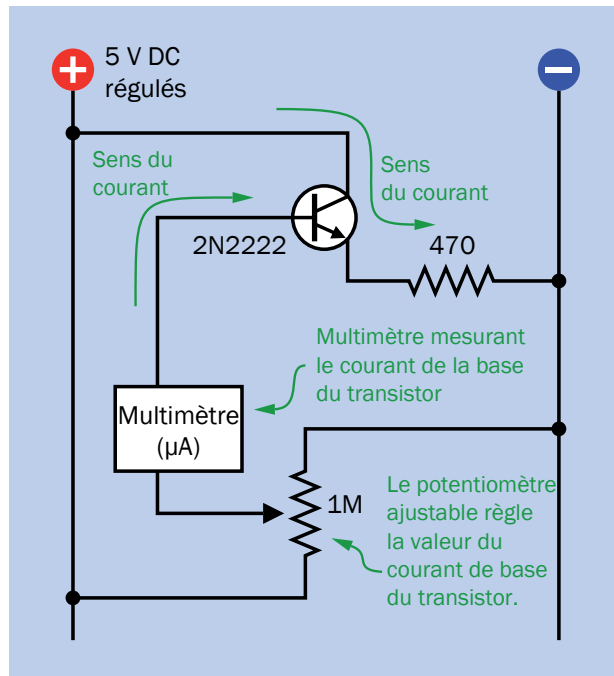


Figure 2-1. Le multimètre mesure le courant circulant dans la base du transistor.

Si vous avez une quelconque difficulté pour interpréter ce schéma, reportez-vous à la fig. 2-2. Celle-ci montre un multimètre à réglage de gamme manuel, mesurant le courant entre le curseur du potentiomètre et la base du transistor 2N2222 en utilisant des fils de liaison flexibles, munis de griffe-fils. Les fils rouge et noir torsadés situés à droite sur la figure amènent l'alimentation régulée 5 V DC à la plaque de montage. L'affichage du multimètre est une valeur arbitraire.

Une vue rapprochée de cette platine d'essai est exposée sur la fig. 2-3. Les fils rouge et noir terminés par des embouts et insérés dans la platine proviennent du multimètre. Le potentiomètre ajustable est orienté de la même manière que dans le schéma et chacun de ses fils est inséré dans une rangée séparée de la plaque. Si vous tournez le potentiomètre de 90 degrés, deux de ses fils seraient insérés dans la même rangée de trous et cela ne fonctionnerait pas.

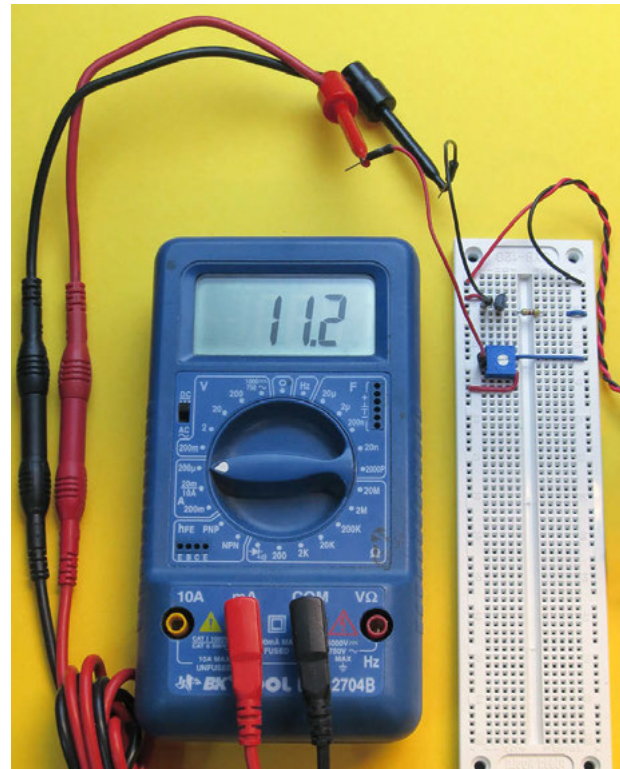


Figure 2-2. Branchement d'un multimètre mesurant en microampères le courant circulant entre le curseur du potentiomètre ajustable et la base du transistor 2N2222.

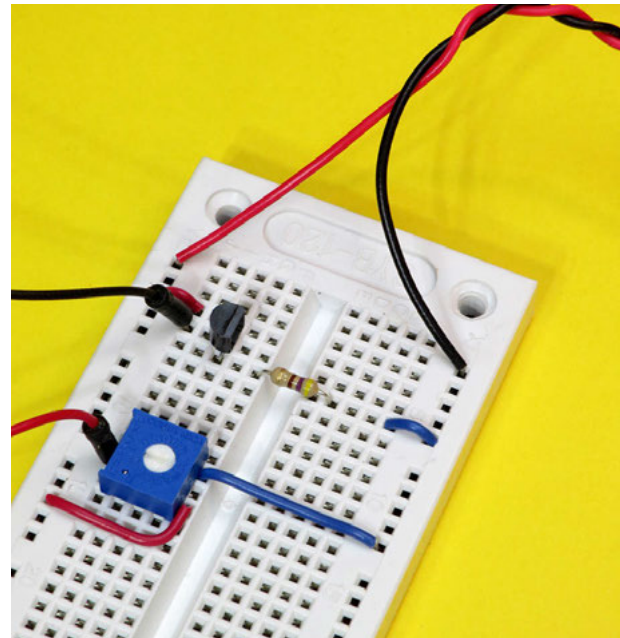


Figure 2-3. Vue rapprochée de la platine de la photo ci-dessus.

Ajustez le potentiomètre jusqu'à ce que le multimètre indique $5 \mu\text{A}$. Il s'agit du courant de base – le courant circulant depuis la gauche du potentiomètre vers la base du transistor.

Étape 2

Relevez et notez le courant de base. Disposer d'un cahier de notes dans votre laboratoire serait une bonne idée et vous pourriez vous en servir dès maintenant. Si vous enregistrez ainsi chaque expérience pas à pas, cela pourrait vous être utile pour vous en rappeler par la suite.

Étape 3

Déconnectez les fils du multimètre de la plaque de montage et remplacez-les par un fil de liaison. Modifiez le réglage du multimètre afin de mesurer des milliampères, s'il n'est pas à sélection de gamme automatique et placez le dans la position indiquée sur la fig. 2-4.

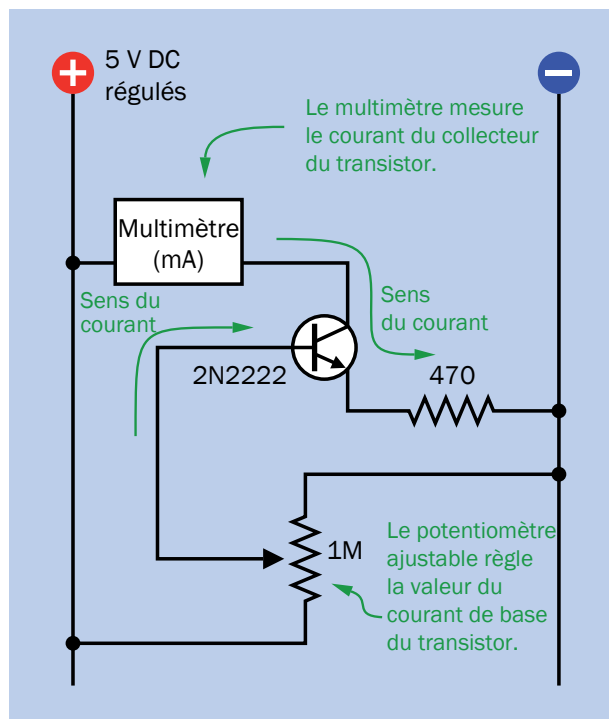


Figure 2-4. Le multimètre mesure maintenant le courant circulant dans le collecteur du transistor.

La fig. 2-5 montre une photo de cette configuration. Les deux extrémités d'un fil de liaison jaune ont été insérées à l'endroit où les fils du multimètre étaient précédemment positionnés (c'est-à-dire entre la base

du transistor et le point milieu du potentiomètre ajustable), et le multimètre est maintenant connecté entre la ligne d'alimentation positive et le collecteur du transistor.

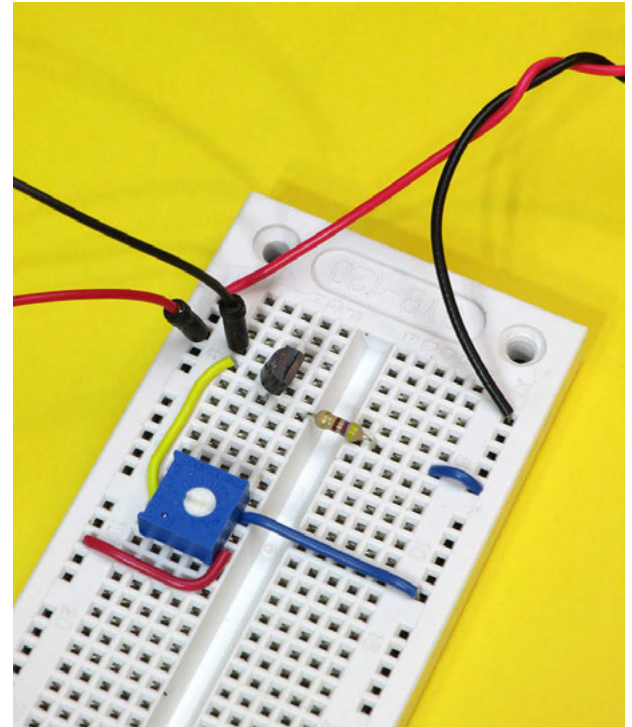


Figure 2-5. Les fils rouge et noir à gauche sont reliés au multimètre qui mesure maintenant le courant circulant dans le collecteur du transistor.

Étape 4

En plus du courant de base que vous avez noté précédemment, inscrivez maintenant la valeur lue sur le multimètre. Il s'agit du courant collecteur.

Étape 5

Revenez à l'étape 1, en réglant cette fois le potentiomètre afin d'ajouter $5 \mu\text{A}$ au courant de base. (N'oubliez pas de remettre votre multimètre en position microampères si nécessaire.)

Répétez ensuite les étapes 1 à 5 pour remplir un tableau de valeurs dans lequel le courant de base, noté dans la colonne de gauche, varie de $5 \mu\text{A}$ à $40 \mu\text{A}$ par pas successifs de $5 \mu\text{A}$ et notez dans la colonne de droite le courant collecteur mesuré à chaque étape. Il en résultera huit valeurs, ce qui n'est pas trop fastidieux à

relever, même si les modifications successives du branchement du multimètre sont répétitives. Le résultat devrait ressembler à celui des deux premières colonnes de la fig. 2-6. J'ai mesuré ces valeurs moi-même. Sont-elles similaires aux vôtres ?

Courant de base (I_B en μA)	Courant collecteur (I_C en mA)	Courant collecteur (I_C en μA)	I_C/I_B Valeur du gain bêta	Tension entre émetteur et masse
5	1,0	1 000	200	0,45
10	2,1	2 100	210	0,98
15	3,2	3 200	213	1,52
20	4,3	4 300	215	2,02
25	5,3	5 300	212	2,52
30	6,4	6 400	213	3,03
35	7,5	7 500	214	3,51
40	8,6	8 600	215	3,96

Figure 2-6. Comparaison entre le courant de base et le courant collecteur d'un transistor NPN.

Vous devez maintenant convertir chaque valeur du courant collecteur de milliampères à microampères pour pouvoir effectuer une division qui n'aura de sens que si les unités utilisées sont identiques. On compte 1 000 microampères dans un milliampère, il suffit donc de multiplier la valeur du courant collecteur que vous avez mesuré par 1 000 pour obtenir sa valeur en microampères. Vous pouvez constater le résultat dans la troisième colonne de la table de valeurs de la fig. 2-6.

Prenez maintenant votre calculatrice et divisez le courant collecteur par le courant de base pour chacune des huit paires de valeurs. Après avoir calculé une ou deux valeurs, vous devriez vous apercevoir que le rapport est pratiquement identique. Cela est inscrit dans la quatrième colonne de mon tableau.

Le courant collecteur divisé par le courant de la base représente le gain d'amplification en courant du transistor.

Attention : multimètre en danger !

Soyez prudent en effectuant les mesures d'intensité. Un courant excessif pourrait griller le fusible de votre multimètre. Il est recommandé de garder des fusibles

de rechange. De même, lorsque vous aurez terminé vos mesures d'intensité et mis votre multimètre à l'écart de votre circuit, vous pourriez oublier de remettre le fil rouge dans la borne permettant la mesure des tensions. Une bonne habitude consiste à remettre systématiquement le fil rouge dans la borne de mesure des tensions, car le multimètre est bien moins vulnérable dans cette configuration.

Abréviations et fiches techniques

Remarquez I_B et I_C sur la fig. 2-6. Rappelez-vous que cette lettre I est généralement utilisée pour indiquer une intensité. Ainsi, si vous pensez qu' I_B est le courant de base et I_C le courant collecteur, vous avez raison.

Vous retrouverez ces abréviations dans pratiquement toutes les feuilles de caractéristiques des transistors, elles indiquent en général la valeur maximale admissible. C'est une information primordiale. Lorsque vous commencerez à élaborer un projet vous-même, les valeurs maximales des courants de base et collecteur vous permettront de choisir un transistor qui ne risquera pas d'être surchargé.

Maintenant, selon vous, que signifie I_E ? Si vous pariez que cela représente le courant de l'émetteur, vous avez encore raison bien que cette abréviation soit moins utilisée. En effet, il s'agit de la combinaison d' I_B et I_C . L'intensité qui entre par le collecteur et la base ne peut en effet ressortir du transistor que par son émetteur, ainsi :

$$I_E = I_B + I_C$$

Voici quelques autres abréviations usuelles pour les transistors NPN.

- V_{CC} est la tension d'alimentation, cela signifie Tension à collecteur commun (*Voltage at Common Collector*) mais indique également la tension d'alimentation de tout circuit, même en l'absence de transistor.
- V_{CE} représente la différence de potentiel entre le collecteur et l'émetteur.
- V_{CB} représente la différence de potentiel entre le collecteur et la base.
- V_{BE} représente la différence de potentiel entre la base et l'émetteur.

Une fiche technique précisera également de façon habituelle la valeur bêta d'un transistor, en utilisant souvent la lettre grecque β . Cette valeur indique de combien le transistor amplifie son courant de base. Elle est simplement calculée en divisant I_C par I_B ce que vous avez effectué après l'étape 5. Remarquez que la quatrième colonne de la table de la fig. 2-6 est intitulée « Valeur du gain bêta ».

La régularité de la valeur bêta dans la quatrième colonne révèle que le transistor utilisé est un composant linéaire. En d'autres termes, si vous tracez le graphique de cette valeur, vous obtiendrez une ligne droite comme le montre la fig. 2-7.

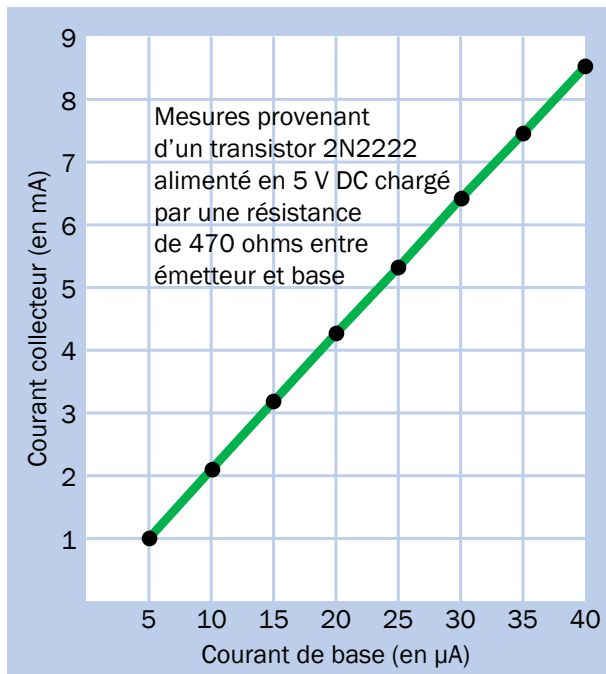


Figure 2-7. Graphique obtenu à partir des données des deux premières colonnes de la table précédente.

Vous pouvez créer un graphique à partir des valeurs obtenues en utilisant un logiciel de tracé de courbes (Microsoft Excel fera l'affaire) ou à l'ancienne sur papier. Votre cahier de notes devrait comporter quelques feuilles quadrillées ou millimétrées. Vous pourrez également télécharger et imprimer des fichiers PDF de différents papiers pour graphiques pour vos tracés sur Internet via la recherche « imprimer papier millimétré ».

À votre avis, pourquoi la valeur bêta n'est pas absolument identique pour chaque paire de valeurs mesurées ? Parce que votre multimètre n'est pas totalement

précis (particulièrement pour la mesure des faibles intensités en microampères), et votre transistor peut présenter de petites imperfections. Néanmoins, le coefficient d'amplification est suffisamment constant pour que ce transistor puisse être utilisé comme amplificateur de précision pour des signaux fluctuants comme les signaux audiophoniques. Lorsque l'on recourt un transistor comme un interrupteur, on ne se préoccupe pas vraiment de cela.

Comment se fait-il que les valeurs que vous avez mesurées ne soient pas identiques à celles que j'ai mesurées ? Il existe beaucoup de *variables hors contrôle*. En effet, votre multimètre et le mien proviennent de fabricants différents. Votre régulateur de tension peut également différer légèrement du mien. Les cordons de mesure peuvent ne pas entrer correctement en contact. La température de fonctionnement du transistor peut induire de faibles différences. Le monde est plein de variables hors contrôle. On ne peut jamais s'en défaire.

De plus, les transistors présentent des différences de fabrication. Une fiche technique indique parfois une plage de valeurs bêta que l'on peut trouver dans des composants du même type, même si votre équipement de mesure est très précis.

Les personnes qui créent des logiciels sont habituées à utiliser des valeurs absolument précises, mais, dans le monde du matériel, le mieux que l'on puisse faire est de réaliser des circuits qui produisent un résultat assez identique dans des situations variées. C'est ainsi !

Tension et amplification en courant

Peut-être vous rappelez-vous que, dans *L'Électronique en pratique*, le transistor était un amplificateur de courant. Les ouvrages d'introduction font toujours cette affirmation, et la valeur bêta est la mesure du gain en courant. Cependant, on oublie fréquemment de mentionner que la tension d'émetteur d'un transistor NPN a aussi tendance à varier selon les variations du courant de base pour autant que les autres paramètres (telle que la charge du transistor), demeurent identiques.

La fig. 2-8 montre le schéma qui va vous le prouver. La plupart des mesures de tensions sont réalisées entre le point du circuit que l'on étudie et le pôle négatif de l'alimentation (la masse). Vous ne devez pas mettre le multimètre en série avec la résistance de 470 Ω dans ce circuit ! Et n'oubliez pas de régler votre multimètre

pour la mesure de tensions et non d'intensités, en déplaçant le fil rouge sur la borne appropriée si cela est nécessaire (et c'est souvent le cas).

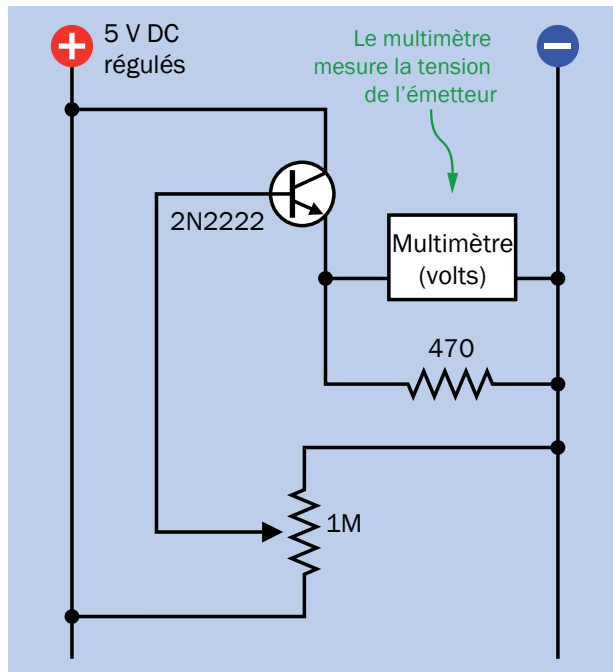


Figure 2-8. Dans cette configuration, le multimètre mesure la tension entre l'émetteur du transistor et le pôle négatif de l'alimentation (sans oublier de configurer le multimètre pour la mesure de tension et non d'intensité).

La cinquième colonne du tableau de la fig. 2-6 montre les mesures des tensions que j'ai relevées. J'ai utilisé ces valeurs pour tracer une autre courbe illustrée sur la fig. 2-9, comparant le courant de base avec la tension de l'émetteur. À nouveau, il s'agit d'une ligne quasiment droite.

Si un transistor est un amplificateur de courant, comment la tension d'émetteur peut-elle varier comme le courant ? Pour cela, réfléchissons à ce qui se passe à l'intérieur d'un transistor.

- L'augmentation du courant de base provoque une réduction effective de la résistance interne du transistor. C'est pourquoi le courant qui traverse le transistor augmente.
- De plus, le transistor est en série avec la résistance de 470 Ω, les deux composants réalisant ainsi une sorte de diviseur de tension.

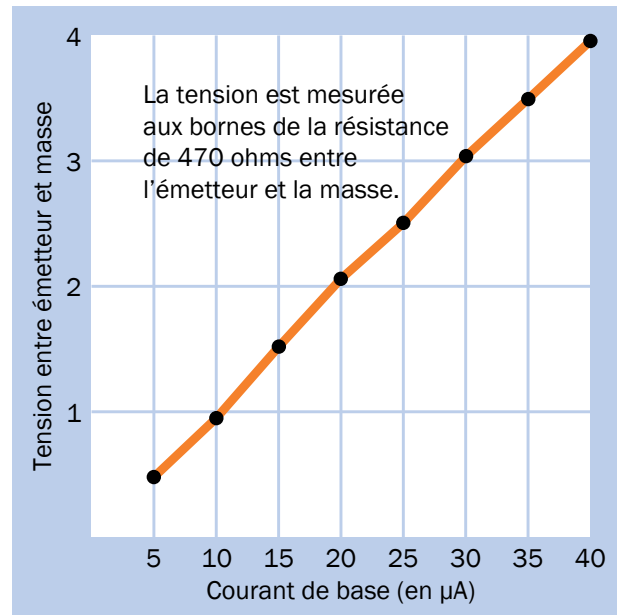


Figure 2-9. La tension d'émetteur varie pratiquement linéairement avec le courant de base dans un transistor 2N2222. Cette courbe a été tracée à partir des valeurs de la table précédente.

Dans *L'Électronique en pratique*, nous avons vu que lorsque deux résistances sont placées en série, elles divisent la tension à leurs bornes, en fonction de leurs résistances respectives. Si la première résistance a une valeur faible, elle ne bloque pas beaucoup la tension, la seconde résistance provoque alors une chute de tension plus importante et vice versa.

Examinez la fig. 2-10 ci-contre. Dans ce schéma, au lieu de mettre un transistor en série avec la résistance de 470 Ω, j'ai utilisé plusieurs autres résistances de valeurs variées. Pouvez-vous prévoir la tension qui sera mesurée aux points A, B, C et D ? C'est une expérience que vous pouvez réaliser rapidement vous-même. J'apporterai la réponse à cette question théorique à la fin de cette expérience.

Rappelons la formule de calcul de la tension au point milieu de deux résistances.

Dans la formule :

- V_M est la tension au point milieu ;
- V_{CC} est la tension d'alimentation ;
- R1 est la valeur de la résistance (en ohms) reliée au pôle positif ;
- R2 est la valeur de la résistance (en ohms) reliée au pôle négatif.

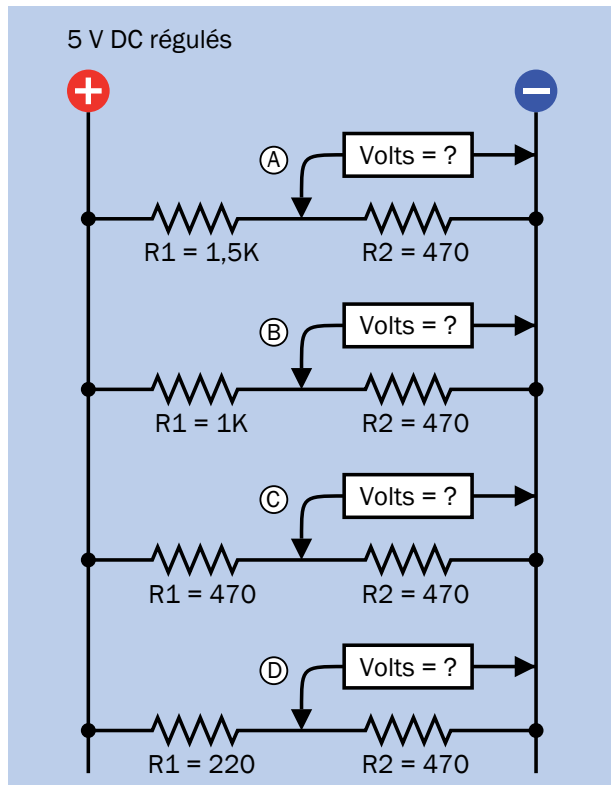


Figure 2-10. Le concept du diviseur de tension est fondamental en électronique. Assurez-vous que vous le comprenez clairement.

La formule est :

$$V_M = V_{CC} * (R2 / (R1 + R2))$$

Peut-être comprenez-vous maintenant pourquoi la tension de l'émetteur augmente quand le courant de la base s'accroît dans le circuit de la fig. 2-8. Le courant de base réduit la résistance interne du transistor. De ce fait, le transistor impose une résistance moins importante entre l'émetteur (où vous effectuez la mesure de tension) et le pôle positif de l'alimentation. En conséquence, la tension que vous mesurez augmente. Cela est illustré sur la fig. 2-11.

La tension d'émetteur ne peut jamais être supérieure à la tension d'alimentation. De même, la tension appliquée à la base du transistor sera comprise entre 0 volt et la tension d'alimentation.

Pourquoi ? La tension de base est issue du potentiomètre de 1M, qui agit comme un autre pont diviseur entre les deux pôles de l'alimentation.

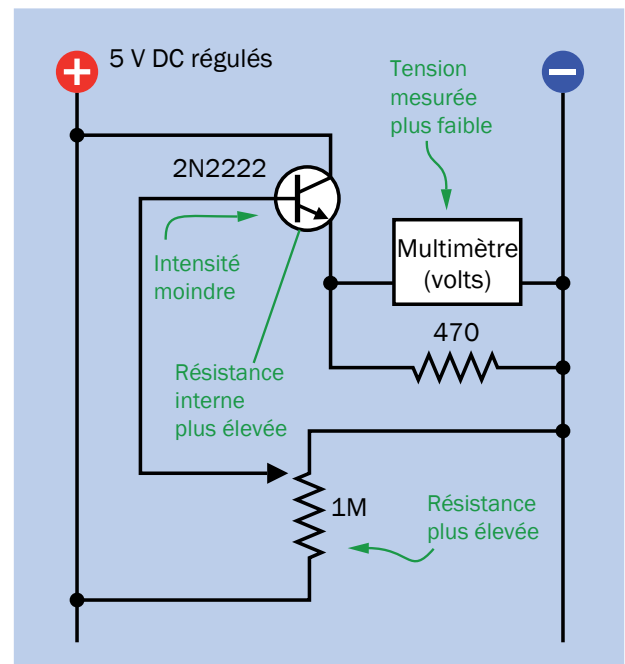
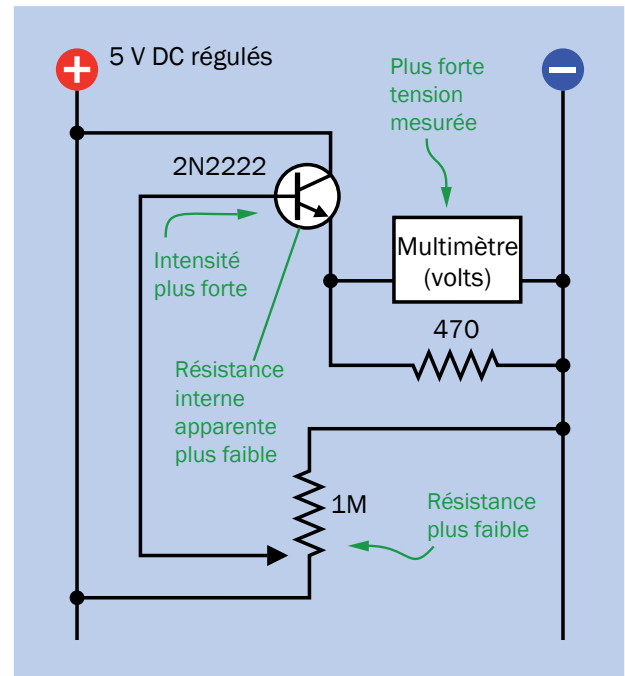


Figure 2-11. Conséquences d'un courant de base plus élevé (schéma du haut) et moins élevé (schéma du bas) dans un transistor NPN.

Puisque la tension d'émetteur ne peut pas dépasser celle de la base, nous pouvons conclure qu'un transistor bipolaire n'amplifie pas les tensions. Les variations de

la tension d'émetteur peuvent néanmoins être utiles comme vous le verrez quand vous commencerez à utiliser un phototransistor dans l'expérience 3.

En bref : les tensions

Jusqu'à présent, j'ai émis quelques hypothèses sans les justifier. J'ai considéré les points suivants.

- La tension positive dans un circuit est constante.
- Tous les points d'un circuit reliés au pôle négatif de l'alimentation ont un potentiel de 0 volt.
- Un calcul simple définit le comportement d'un pont diviseur.
- La mesure des tensions ou intensités peut être effectuée en n'importe quel point d'un circuit sans le perturber.

En pratique, ces affirmations ne sont pas tout à fait exactes !

V_{CC} peut être inférieure à V_{CC}

Toute source d'alimentation a ses limites. Si vous la chargez fortement avec un composant ou une faible résistance, cela peut diminuer sa tension. Le régulateur LM7805 s'oppose parfaitement à cette tendance mais il n'est pas parfait non plus.

Le niveau zéro peut être plus grand que zéro

Nous considérons que la masse est à 0 volt. En réalité, plusieurs composants évacuent du courant dans la liaison de masse, et le fil qui conduit ce courant vers la masse présente une faible résistance. Selon l'endroit où vous créez une liaison avec la masse, le potentiel de masse peut ne pas être précisément zéro relativement au pôle négatif de l'alimentation.

Les diviseurs de tension sont approximatifs

La tension au point milieu sera diminuée si vous y reliez un composant ayant une faible résistance qui, ainsi, y prélève du courant.

Les mesures perturbent les mesures

La mesure de tension (ou de courant) peut elle-même affecter les mesures effectuées, votre multimètre ayant sa propre résistance interne. Elle est certes très élevée mais pas infinie en position de mesure de tensions. Elle

est très faible mais pas nulle lorsque l'on mesure une intensité. Si la résistance interne de votre multimètre est différente de celle du mien, les valeurs que nous mesurerons seront différentes.

Pour aller plus loin : mesures à l'ancienne

Pour ceux qui, comme moi, aiment les gadgets, voici le meilleur moyen de répéter l'expérience 2.

Bien avant l'invention du multimètre multifonction et multigamme, il était possible d'acheter des appareils de mesure analogiques réservés à un seul usage (galvanomètres). Ils mesuraient des tensions en volts ou millivolts ou des intensités en ampères ou milliampères avec des gammes fixes. En fait, vous pouvez toujours vous procurer ces appareils et en installer une paire dans votre circuit de test de transistor, évitant ainsi de devoir déplacer alternativement votre multimètre.

Sur eBay, j'ai trouvé des petits appareils en provenance de Hong Kong pour à peine 5 € chacun. Vous pouvez également vous en procurer en magasin ou sur les sites de vente en ligne : ils sont légèrement plus chers mais vous les avez plus rapidement.

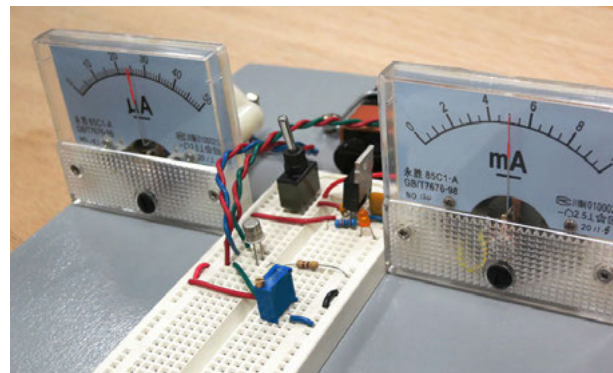


Figure 2-12. Deux galvanomètres indiquant immédiatement l'amplification en courant d'un transistor 2N2222. Le composant rectangulaire bleu au premier plan est un potentiomètre ajustable à vis.

Pour ma part, j'en ai choisi un ayant une échelle de mesure de 0 μ A à 50 μ A, l'autre de 0 mA à 10 mA. Ces gammes de mesures correspondaient exactement à ce dont j'avais besoin. Je les ai reliés comme indiqué sur la fig. 2-12. J'ai eu plaisir à observer les aiguilles et leur mouvement parfaitement synchrone alors que je réglais le potentiomètre ajustable. Ce n'est peut-

être pas la façon habituelle de se divertir un samedi soir (ou même un lundi soir) mais cela constituait une démonstration vivante.

En bref : les transistors

Certaines personnes prennent plaisir à travailler avec des nombres. D'autres pas. J'ai pensé qu'il pourrait être plus agréable d'assembler quelques composants entre eux et d'observer ce qui se passe (avec ou sans colle blanche). Plus vous avancez en électronique, plus il est important de comprendre réellement comment cela fonctionne, et pour cela, vous avez besoin d'un peu d'arithmétique. Il ne vous en coûtera pas trop car dans un circuit fonctionnant en courant continu, vous aurez rarement à dépasser la complexité des multiplications et des divisions. Dans les circuits analogiques, des calculs mathématiques sont nécessaires mais cela se situe au-delà de l'objectif de ce livre.

Voici ce que vous devez retenir de cette simple démonstration.

- Un transistor bipolaire est un composant linéaire, ce qui signifie que le rapport entre l'intensité entrant dans son collecteur et l'intensité entrant dans sa base est pratiquement constant et le graphique de ces deux variables est proche d'une droite.
- La valeur bêta d'un transistor est son gain en courant – le rapport entre l'intensité entrant dans son collecteur et l'intensité entrant dans sa base.
- La tension d'émetteur d'un transistor bipolaire NPN varie avec le courant, à condition que l'émetteur ait une charge constante.
- Un transistor bipolaire n'est pas un amplificateur de tension puisque la tension de son émetteur ne peut pas dépasser celle de sa base.

Quelques données supplémentaires :

- La *polarisation directe* (*forward bias*) appliquée à un transistor NPN est une tension positive de sa base par rapport à son émetteur. Une *polarisation inverse* (*negative bias*) signifie que la base a une tension inférieure à celle de l'émetteur. Évitez cela car c'est dangereux pour le transistor.
- La *région de coupure* (*cutoff region*) se situe où VBE (la polarisation directe) est inférieure à environ

0,6 V. Dans cette zone, les porteurs de charges à l'intérieur du transistor ne sont pas suffisamment excités et rien ne se passe. Un très faible courant appelé *courant de fuite* (*leakage*), traverse le composant lorsqu'il est insuffisamment polarisé directement. Ceci permet à un transistor d'être utilisé en interrupteur.

- La *zone active* d'un transistor est la zone où il fonctionne en amplificateur de courant. La limite haute de cette région se situe quand la résistance interne entre le collecteur et l'émetteur diminue tellement qu'elle ne présente quasiment aucune limite au courant y circulant. C'est la *zone de saturation* dans laquelle une surchauffe interviendra.

Un transistor peut bien entendu également surchauffer dans la zone active si on ne limite pas le courant qui y circule. Il faut toujours placer une charge résistive (résistance ou tout autre composant résistif) en série avec un transistor. N'appliquez jamais les deux pôles d'une alimentation directement entre le collecteur et l'émetteur d'un transistor.

Les fiches techniques précisent des valeurs telles que $V_{CE(SAT)}$ qui indiquent les limites de saturation. Ces fiches peuvent paraître rébarbatives, lorsque par exemple elles ne mentionnent pas la définition de certains termes ou lorsqu'aucun schéma d'application typique du composant n'y figure. Elles sont néanmoins essentielles si vous décidez d'être créatif et souhaitez modifier des circuits ou en créer d'autres. Lorsque vous utilisez un composant nouveau, il est sage de rechercher sa fiche technique et d'en imprimer le contenu pour pouvoir s'y référer ultérieurement.

Réponses concernant l'exemple du diviseur de tension

A. $5 * (470 / 1\ 970) =$ environ 1,2 V

B. $5 * (470 / 1\ 470) =$ environ 1,6 V

C. $5 * (470 / 940) =$ 2,5 V

D. $5 * (470 / 690) =$ environ 3,4 V

Assez de nombres, maintenant ! Il est temps de jouer avec la lumière.