

fonctionnent à très basse tension. Il faut faire attention à cette caractéristique dès que la résistance est employée sous une tension supérieure à (ou proche de) sa tension maximale, comme c'est le cas par exemple quand elle est reliée directement sur le secteur 230 V<sub>ac</sub> (la valeur de 230 V<sub>ac</sub> est en effet une valeur efficace, la valeur crête est 1,41× plus élevée, ce qui correspond à 320 V crête environ). Il fut une époque où la tension du secteur, de 220 V<sub>ac</sub> donnait une tension crête voisine de 310 V. Les résistances qui supportent 300 V pouvaient à la limite suffire, on comptait alors sur la petite marge de sécurité que le fabricant était obligé d'octroyer au composant, et on « oubliait » son vieillissement prématuré (pas celui du fabricant). Cette façon de faire, peu professionnelle, n'était bien sûr pas recommandée à l'époque, et l'est encore moins aujourd'hui. Si vous devez utiliser une résistance de 2 MΩ sous une tension de 230 V, vous utiliserez une unique résistance de 2 MΩ qui supporte une tension d'au moins 350 V ou vous mettrez en série deux résistances classiques de 1 MΩ/250 V chacune. Il est important dans ce deuxième cas que les deux résistances aient *grosso modo* la même valeur (pas besoin d'une précision à l'ohm près) pour une répartition équitable des tensions.

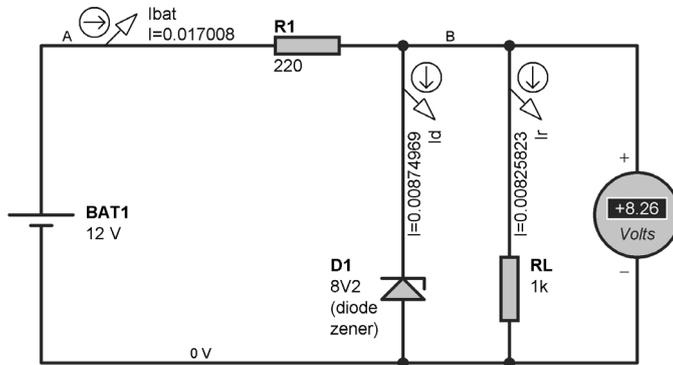
### Résistances sensibles aux conditions ambiantes (lumière, température, humidité)

Si la valeur des résistances classiques dépendait de la lumière ou de l'humidité ou si elle doublait avec une élévation de température de 10 °C, on aurait des chaînes haute-fidélité et des autoradios qui se comporteraient sans doute de façon étrange quand viendrait l'été ou l'hiver. Heureusement, ce n'est pas le cas : les résistances qui réagissent à de tels paramètres extérieurs sont classées dans une catégorie bien à part et sont justement utilisées pour ces caractéristiques particulières. On trouve ainsi :

- ♦ **Varistances** : leur valeur décroît quand la tension à leurs bornes dépasse une certaine valeur, heureusement connue à l'avance. Ce

type de composant est principalement utilisé pour assurer une protection contre les surtensions. On peut par exemple en trouver câblées en parallèle sur l'arrivée secteur d'une alimentation secteur, en sortie d'un onduleur ou en parallèle sur un *tweeter* (haut-parleur d'aigus) dans une enceinte Hi-Fi.

- ♦ **Humidistances « résistives »** : leur valeur diminue quand le taux d'humidité augmente, et inversement. Il ne faut pas confondre ce composant peu précis avec les humidistances capacitatives dont la valeur varie aussi avec l'humidité mais qui nécessitent impérativement d'être insérées dans un oscillateur pour fonctionner (en fait, les deux types d'humidistance – résistive et capacitive – doivent être utilisés en alternatif pour un fonctionnement convenable).
- ♦ **Photorésistances (LDR, *Light Dependent Resistor*)** : leur valeur diminue d'autant plus que la lumière qui les frappe est plus forte. La valeur résistive de tels composants peut être de plusieurs mégohms dans l'obscurité et descendre à quelques dizaines ou quelques centaines d'ohms quand ils sont fortement éclairés. Première application, fort logique d'ailleurs : la détection de présence ou d'absence de lumière. À ne pas confondre avec les photodiodes et les phototransistors, qui eux aussi réagissent à la quantité de lumière qui les frappe mais sont classés dans la catégorie des semi-conducteurs.  
Exemple : LDR03, LDR04 (petite), LDR720, LDR1000 (grosse).
- ♦ **Thermistances à CTN ou CTP** : leur valeur varie en fonction de la température.  
CTP = Coefficient de Température Positif, la résistance augmente quand la température augmente.  
(En anglais *PTC* : *Positive Temperature Coefficient*)  
CTN = Coefficient de Température Négatif, la résistance augmente quand la température diminue.  
(En anglais *NTC* : *Negative Temperature Coefficient*)



**Figure 2.3.4.c** - Mesure de la tension aux bornes de D1 et  $R_L$ . Cette tension correspond à peu de chose près à la tension zener de la diode D1 (la tension réelle aux bornes de la diode zener varie un peu autour de sa tension nominale en fonction du courant qui la traverse). La somme des courants  $I_r$  (à travers  $R_L$ ) et  $I_d$  (à travers D1) est égale au courant total  $I_{bat}$  à travers R1 et débité par la batterie BAT1.

de tension BAT1 provoque le passage d'un courant donné à travers les trois composants R1, D1 et  $R_L$ . Son intensité dépend de la valeur de chaque composant, mais une chose est sûre, l'intensité du courant qui circule dans R1 est égale à la somme de l'intensité des courants qui circulent dans D1 et dans  $R_L$ . Détaillons un peu tout cela dans le schéma de la figure 2.3.4.c : on y a ajouté un voltmètre en parallèle sur D1 et  $R_L$  et des « sondes de courant » sur les lignes de liaison.

Dans ce nouveau schéma, on voit aussi les courants qui circulent dans les différentes branches du montage grâce aux « ampèremètres »  $I_{bat}$ ,  $I_d$  et  $I_r$  insérés localement (flèches avec valeur numérique exprimée en ampères). Les valeurs mesurées confirment que le courant  $I_{bat}$  de 17 mA (0,017 A) est bien égal à la somme des courants  $I_d$  et  $I_r$ , respectivement de 8,75 mA et 8,25 mA (valeurs arrondies). Tout l'art de ce type de montage consiste à trouver la bonne valeur de R1 pour garantir le respect des points suivants :

- ♦ l'intensité du courant qui circule dans la diode zener ne doit pas être trop faible pour que la diode travaille dans de bonnes conditions, mais elle ne doit pas être trop élevée pour ne pas la griller, même si  $R_L$  est déconnectée ;
- ♦ le courant restant (limité par R1, qui ne traverse pas la diode D1) doit être suffisant pour faire fonctionner correctement le

montage raccordé en sortie (circuit représenté par  $R_L$ ).

Dans les faits, le calcul de R1 est très simple si on connaît la consommation du circuit à alimenter et si cette consommation ne varie pas trop. Si la consommation du circuit ( $R_L$ ) varie trop ou si elle est inconnue, on ne peut plus se contenter de ce montage simple, il faudra en choisir un autre plus efficace (mise en œuvre d'un régulateur de tension intégré par exemple, cela sera vu plus loin).

Une diode zener peut aussi être utilisée pour créer une tension de référence stable dans un montage comparateur de tension. C'est ainsi qu'avec peu de moyens on peut réaliser un indicateur de tension pour batterie qui allume une LED quand la tension de la batterie est trop faible. C'est ce que montre le schéma de la figure 2.3.4.d.

Nous n'allons pas détailler le fonctionnement du schéma de la figure 2.3.4.d car nous en sommes encore au début de notre apprentissage de l'électronique, mais nous allons tout de même en voir le principe général. Le composant U1 est un circuit intégré de type amplificateur opérationnel (AOP pour Amplificateur OPérationnel ou ALI pour Amplificateur Linéaire Intégré). Ce composant possède deux broches d'entrée (une inverseuse et l'autre non-inverseuse) et une broche de sortie. Câblé comme il l'est ici, le comportement de l'AOP est le suivant :

## 4.3 Décomposition composant par composant

153

sant pour voir ce qui se passe. Cette expérience pratique simple est le parfait complément de ce que l'auteur d'un montage peut donner comme explication de texte. Notez qu'on effectue souvent ce genre d'exercice non pas pour expérimenter mais parce qu'on n'a pas en stock la valeur exacte du composant en question... Dans ce cas on espère simplement que le circuit va fonctionner et on croise les doigts. C'est assez formateur.



montée en inverse et ne conduit pas dans l'état normal de fonctionnement. Elle ne conduit que si une tension inverse se présente, ce qui est le cas quand la tension présente aux bornes de la bobine du relais disparaît et que le relais se décolle. Cette tension inverse créée par le relais lui-même causerait presque à coup sûr des dommages irréversibles au composant qui commande le relais si elle n'était endiguée par la diode. Le schéma de la figure 4.3.1.a montre un exemple d'une telle application.

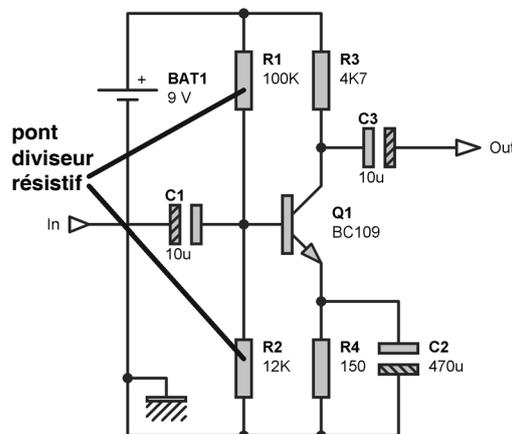
### 4.3.1 Reconnaître une diode de protection

Dans certains circuits électroniques, une diode est ajoutée pour protéger une partie du circuit dans lequel elle se trouve. Dans certains cas de figure, cette diode est montée dans le sens passant, dans d'autres cas elle est montée en inverse et ne conduit que sous certaines conditions « critiques ».

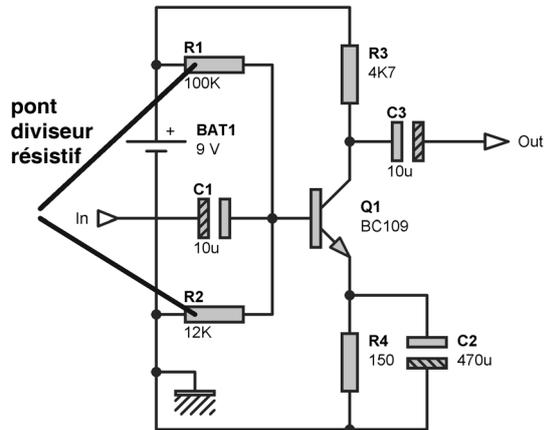
Par exemple, on ajoute une diode de roue libre en parallèle sur un relais commandé par un circuit intégré logique ou un transistor. Cette diode est

### 4.3.2 Reconnaître un pont diviseur résistif

C'est un réflexe qui vient avec le temps, toutefois on repère très vite deux résistances à la verticale, l'une au-dessus de l'autre. C'est souvent le cas dans les étages amplificateurs linéaires à transistors par exemple, comme le montre l'exemple de la figure 4.3.2.a où les résistances R1 et R2 forment un pont diviseur dessiné de façon « conventionnelle ».



**Figure 4.3.2.a** - Exemple d'étage amplificateur à transistor : les deux résistances R1 et R2 constituent un pont diviseur résistif pour la polarisation de base de Q1.



**Figure 4.3.2.b** - Ce schéma est rigoureusement identique au schéma de la figure 4.3.2.a. La seule différence réside dans la façon dont les deux résistances R1 et R2 sont dessinées. D'un point de vue électrique, elles forment là aussi un pont diviseur de tension.

### 4.3.6 Analyse minutieuse d'un schéma

Voici maintenant deux exemples de schémas « simples » dans lesquels on cherche à connaître le rôle de chaque composant. Le premier schéma est un préamplificateur RIAA<sup>11</sup> pour platine à disque vinyle (figure 4.3.6.a). Je vous laisse lire les commentaires portés directement sur le schéma.

Pourquoi appliquer une amplification non linéaire et aussi « tordue » au signal audio restitué par la tête de lecture qui parcourt le disque vinyle ? Parce que pour des raisons de limites physiques au moment de la gravure et de qualité acoustique au moment de la lecture, les disques vinyles sont gravés avec très peu de graves et avec beaucoup d'aigus. Avec ce type de préamplificateur correcteur, les graves qui manquent sont fortement amplifiés et les aigus qui sont en trop sont moins amplifiés (c'est relatif, on considère qu'ils sont atténués par rapport au reste). Cela redonne au son qu'on écoute une consistance normale. Si on utilisait un amplificateur linéaire qui amplifie de la même façon toutes les fréquences (comme le fait un préamplificateur pour microphone), le son du disque vinyle serait restitué avec beaucoup trop d'aigus et manquerait cruellement de graves, il serait vraiment très désagréable à écouter ! Notez pour finir qu'il est très facile de transformer ce préamplificateur RIAA en préamplificateur linéaire (sans correction de la courbe de réponse en fréquence). Il suffit pour cela de remplacer le quadruplet de composants [R4, R5, C3, C4] par une unique résistance de quelques dizaines à quelques centaines de k $\Omega$ .

La figure 4.3.6.b (page 158) montre le schéma d'un oscillateur à rapport cyclique variable qui peut servir à régler la luminosité d'une lampe à

incandescence ou d'un paquet (plusieurs branches) de LED, ou encore à faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu.

Avant même de décortiquer le schéma, on s'aperçoit que le circuit est composé de deux sous-ensembles distincts : l'oscillateur à base de porte logique CD4093 et l'amplificateur de courant basé sur un transistor MOSFET de puissance (Q1) qui permet l'usage du montage dans une large palette d'applications ; entre ces deux parties, il y a une simple résistance (R2).

### 4.4 Différentes façons de dessiner la même chose

Sur un schéma électronique, l'orientation des composants électroniques n'est pas imposée, même si la logique pousse à prendre (et ensuite à garder) quelques réflexes. On peut les disposer comme on veut, horizontalement ou verticalement, voir en biais, pourquoi pas. Le tout est de garder une certaine cohérence pour que le tout soit bien lisible ; là, le bon sens l'emporte généralement. Si en France nous sommes habitués à écrire ou lire un texte de gauche à droite et de haut en bas, pourquoi ne pas essayer de garder cet usage pour un schéma électronique ? En effet il est très fréquent que sur un schéma on trouve un signal qui se promène d'un endroit à un autre, c'est le cas notamment dans un amplificateur audio ou vidéo, ou encore un détecteur de « quelque chose » : un signal électrique (peu importe sa forme) entre dans un circuit et en sort transformé. Dans ce cas, il n'est pas du tout illogique de représenter l'entrée du système sur la gauche d'un schéma et la sortie sur la droite. Bien sûr il est des cas où le schéma est tellement volumineux qu'on ne peut pas le faire tenir en entier sur une seule « ligne ». Dans ce cas, on peut le décomposer en plusieurs sous-ensembles qui tiennent sur une ou plusieurs feuilles. Les deux schémas de la figure 4.4.a (page 159)

11. RIAA : la *Recording Industry Association of America* a établi une norme d'enregistrement et de lecture de disques vinyles.

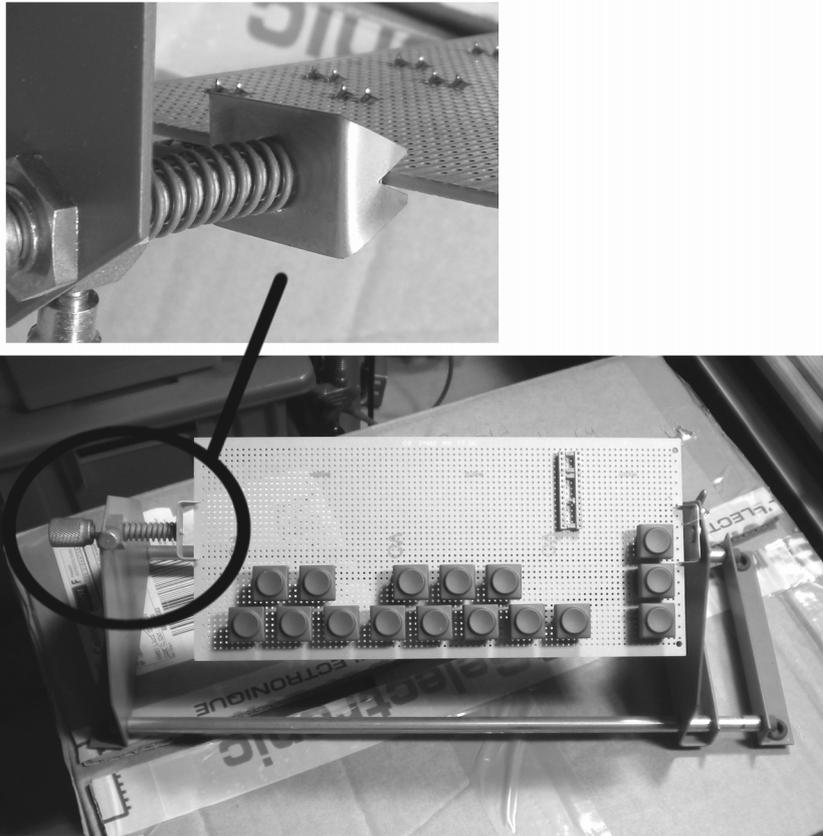


Figure 11.2.3.a - Ce petit appareil bien pratique permet de maintenir le circuit imprimé dans la position désirée.

## 11.3 Petit outillage

### 11.3.1 Tournevis et pinces

Les tournevis et les pinces sont souvent utilisés en électronique, en électricité générale et en mécanique. Les outils requis pour l'électronique sont globalement plus petits car les composants manipulés (tenus, pliés ou coupés) sont petits. On trouve des écarts de prix énormes entre certaines pinces et d'autres. Bien sûr cela est lié aux différences de qualité qui peuvent être extrêmes. On imagine sans peine qu'un ensemble de dix outils

vendu 10 € le lot ne vaudra pas une pince vendue 15 € l'unité. Pour débuter en électronique, mieux vaut éviter les tournevis ou les pinces de piètre qualité. Choisir les premiers prix vous conduira à repasser commande bien plus vite que vous ne le pensiez, surtout si vous vous acharnez à votre atelier tous les soirs de la semaine et tous les week-ends. Pour ce qui est des petits tournevis appelés « tournevis d'horloger » ou « tournevis de précision » (en général cinq ou six tournevis différents dans une même boîte plate en plastique), évitez absolument la « boîte à 1 € » comme de la figure 11.3.1.a.