

électronique

n°46

juillet 1992

22 F/160 FB/7,80 FS

mensuel

élect

stéthoscope pour mécanicien
avertisseur thermostatique
foudre électronique
avec circuits imprimés

à lire: comment fonctionnent
le microscope électronique
les cristaux liquides

explorez l'électronique

M2510 - 46 - 22,00 F



SOMMAIRE ELEX N°46

6 ➤ James Prescott Joule

26 ➤ mots croisés

58 ➤ petites annonces gratuites

I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

4 ➤ Rési & Transi : bande dessinée

27 ➤ système K : le multivibrateur astable

10 ➤ **le microscope électronique**

20 ➤ les cristaux liquides

54 ➤ semi-conducteurs enduits d'erreur

R · É · A · L · I · S · A · T · I · O · N · S

8 ➤ avertisseur thermostatique

14 ➤ compte-jours

17 ➤ détecteur de cathode

24 ➤ mini-anémomètre

32 ➤ sirène

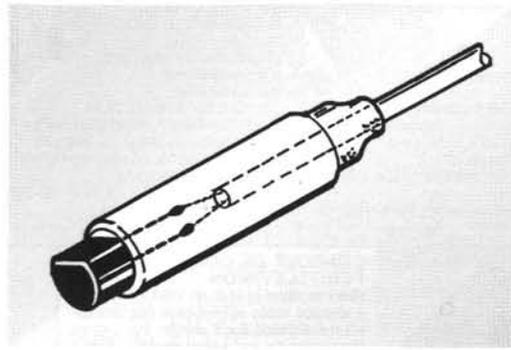
34 ➤ borne acoustique

37 ➤ foudre électronique
avec circuits imprimés

43 ➤ indicateur de position

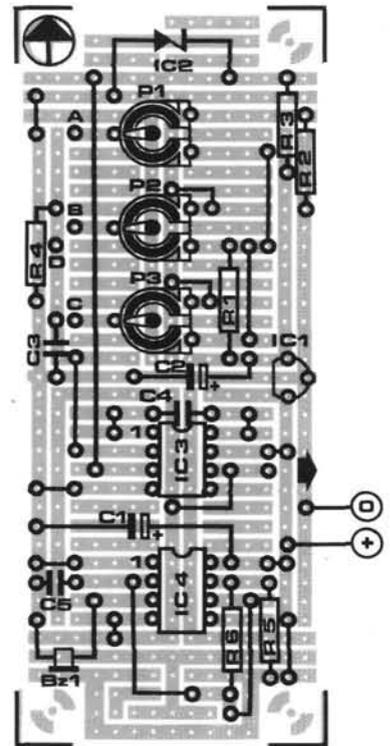
46 ➤ stéthoscope pour mécanicien

50 ➤ circuit "anti-ronfleur (se)"



avertisseur thermostatique

pour tous usages...



Retour à la nature et à une alimentation saine. Mangez les fruits et les légumes de votre jardin. D'accord, mais en hiver ? Eh bien, il faut faire des conserves. Chaque sorte de fruit ou de légume demande une cuisson à une température différente, si on veut les meilleurs résultats. Plutôt que de rester devant le stérilisateur à surveiller le thermomètre, pourquoi ne pas construire cet avertisseur thermostatique qui vous appellera quand il sera temps de réduire le gaz ? Vous ne faites pas de conserves ? Vous faites peut-être de la photo ; alors vous avez besoin de faire chauffer le bain-marie à 30°C ; ou alors vous gravez des circuits imprimés et vous savez que la meilleure température pour le perchlore est de 40°C...

**et pourquoi pas les conserves
puisque c'est la saison ?**

L'avertisseur thermostatique que nous vous proposons émet un signal sonore quand la température de l'eau atteint l'un des seuils prévus. Les trois seuils de température sont réglables indépendamment. L'étalonnage est des plus faciles, puisqu'il se fait simplement au voltmètre.

mesure de température

Suivant l'utilisation que vous prévoyez pour l'avertisseur, les seuils seront fixés entre 20°C et 100°C, par exemple à 60, 80 et 100°C pour le stérilisateur à conserves. La mesure de la température ne pose plus de problème pour la plupart de nos lecteurs, après les nombreux articles consacrés à ce sujet. Tout ce dont nous avons besoin se trouve sur le schéma de la **figure 1**. Éliminons tout d'abord les choses les plus connues : le circuit intégré IC4 est utilisé à la fois comme oscillateur et comme amplificateur de « puissance » pour attaquer le résonateur piézo qui sert d'avertisseur. Il n'a rien à voir avec le circuit de mesure proprement dit. Venons-en à la mesure

elle-même. Elle est effectuée par un capteur intégré de type LM335, à ne pas confondre avec le LM35, dont le fonctionnement est différent. Le LM335 se comporte comme une diode zener dont la tension caractéristique varie en fonction de la température. Notre capteur est alimenté par un régulateur de tension à travers une résistance série. La tension disponible au point commun à la résistance et au capteur est appliquée à l'entrée non-inverseuse d'un amplificateur opérationnel monté en comparateur.

À quoi va être comparée la tension qui représente la température ? À celle de l'entrée inverseuse, qui est fixée par le commutateur S1 à l'une des trois valeurs déterminées par les potentiomètres P1 à P3. Si la tension délivrée par le capteur dépasse celle du potentiomètre en service, la sortie du comparateur change d'état : elle passe au niveau haut, proche de la tension d'alimentation. La conséquence est que l'oscillateur, bloqué jusque-là par le niveau bas sur son entrée de remise à zéro, commence à osciller. Sa fréquence est fixée dans

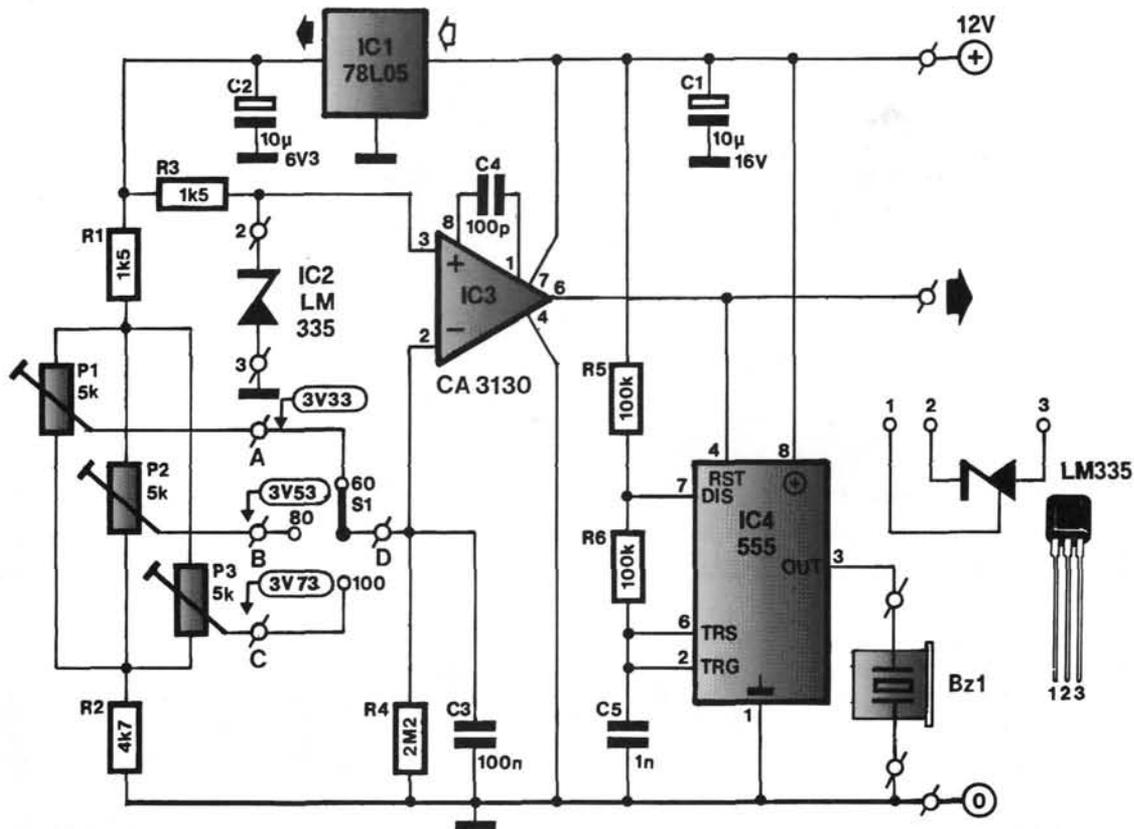


Figure 1 - La mesure de température est confiée à un circuit intégré spécialisé : une sorte de diode zener étalonée en température. Un comparateur, trois tensions de consigne, et le tour est joué. Le signal est donné à la fois sous forme acoustique, par le résonateur, et sous forme électrique, pour d'autres utilisations.

le domaine audible par les résistances R5/R6 et le condensateur C2. Il n'en faut pas plus pour que le résonateur fasse entendre son signal. Voilà tout pour le fonctionnement du thermostat. Vous voulez peut-être savoir aussi comment raccorder le capteur à la platine ? C'est une bonne question car il n'est pas conseillé de laisser le circuit entier dans l'eau bouillante. Le raccordement se fera de préférence par un câble blindé ; en effet, nous travaillons avec de faibles variations de tension, du même ordre de grandeur que les perturbations induites par le secteur omniprésent. Le blindage évitera les déclenchements intempestifs du thermostat. À l'autre bout du câble, le capteur est abrité dans un morceau de tube résistant aux températures qu'on veut surveiller. Une chute de corps de stylo à bille peut faire l'affaire, les soudures et le bout du câble seront noyés dans de la colle à deux composants ou dans une résine polymérisable (comme celle qui sert aux réparations de carrosserie en fibre de verre).

L'étalonnage peut se faire de deux façons : si vous disposez d'un thermomètre pour la gamme de températures qui vous intéresse, il suffit de lire ses indications et de régler les potentiomètres en conséquence. Si vous n'avez pas de thermomètre, vous pouvez régler les potentiomètres pour obtenir les tensions indiquées sur le schéma ; en effet, le capteur de température délivre une information absolue (à une petite déviation près), à savoir une tension de 10 mV par kelvin. Le zéro absolu étant à -273°C , la température d'ébullition de l'eau correspond à $(273^{\circ}\text{C} + 100^{\circ}\text{C}) \times 10$, soit 3730 mV. Le calcul est très simple : 10 mV par degré Celsius, plus 2,730 V pour le décalage du zéro. Nous avons parlé de la sortie acoustique du montage, mais pas de sa sortie électrique, sur la broche 6 du circuit intégré. Elle peut commander un autre circuit, comme un relais après adaptation des niveaux, ou l'entrée d'un automate plus complexe.

86746

liste des composants

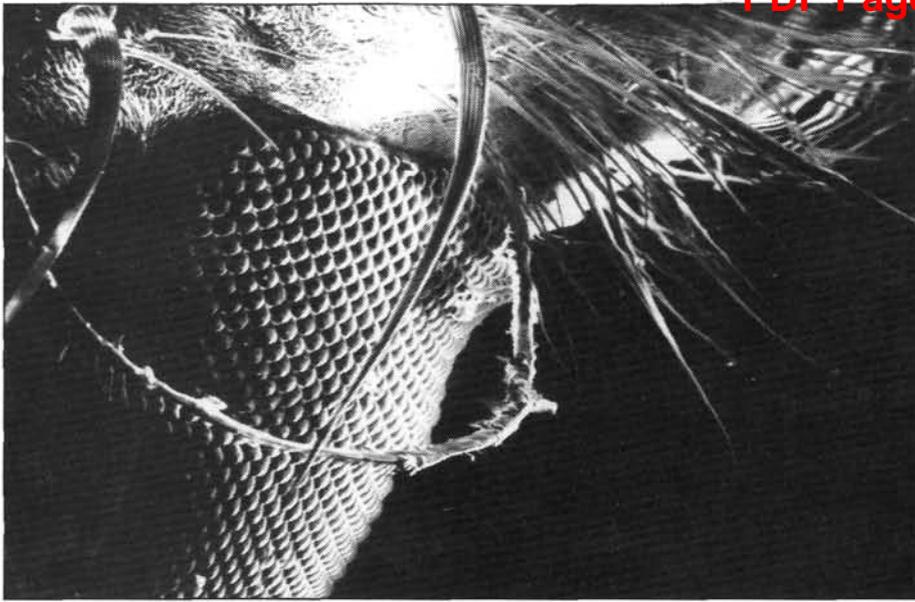
- R1, R3 = 1,5 k Ω
- R2 = 4,7 k Ω
- R4 = 2,2 M Ω
- R5, R6 = 100 k Ω
- P1 à P3 = 5 k Ω variable

- C1 = 10 μF /16 V
- C2 = 10 μF /6,3 V
- C3 = 100 nF
- C4 = 100 pF
- C5 = 1 nF

- IC1 = 78L05
- IC2 = LM335
- IC4 = 555

- S1 = commutateur à 30 positions
- Bz = résonateur piézo (sans oscillateur)

platine d'expérimentation de format 1



kilovolts pour nanomètres des électrons pour "voir"

Une photographie de cette revue, regardée à la loupe, montre qu'elle est constituée de points. Un œil nu situé à une distance de 25 cm ne voit pas ces points qui semblent contigus : il ne voit que des nuances de gris ou de noir. Sa **limite de résolution**, c'est-à-dire la plus petite distance entre deux objets qu'il voit séparés⁽¹⁾ est de l'ordre du dixième de millimètre. Le microscope optique permet de diminuer beaucoup cette limite de résolution et un œil exercé y distinguera des "objets" éloignés l'un de l'autre de quelques centièmes voire, très exceptionnellement, de quelques millièmes de microns⁽²⁾ (μm = millionième de mètre). On démontre que le **pouvoir séparateur** (amélioré quand la limite de résolution diminue) de l'ensemble œil-microscope optique dépend, entre autres choses, de la longueur d'onde du rayonnement utilisé pour l'observation. De là à songer à remplacer les photons, particules immatérielles

le microscope

où l'on bombarde au canon une antenne de papillon

(grains d'énergie) associées à une onde lumineuse (en résumé, la lumière visible), par des particules, matérielles cette fois, mais associées à des ondes un million de fois plus courtes, les électrons (ondes d'autant plus courtes que leur vitesse est plus grande) [...*plusieurs ouvrages de physique sont ici résumés...*] Ce songe n'était pas creux : il a donné naissance au microscope électronique et permit des découvertes que l'on peut qualifier de gigantesques, même si elles touchent à l'infiniment petit. Quoique cet appareil permette aussi une analyse très précise de la matière qu'il pénètre, nous nous bornerons à parler des "images" qu'il nous en renvoie.

Il existe, en gros, deux types de microscopes électroniques : à **transmission** et à **balayage**. Pour les microscopes à transmission, le faisceau d'électrons traverse la préparation (toujours très, très mince) sur toute sa surface et en projette une image agrandie sur un écran fluorescent : l'objet est vu par transparence et l'appareil fonctionne, grossièrement dit, comme un projecteur. Les électrons sont animés d'une grande vitesse et les tensions mises en jeu sont de l'ordre de la centaine de kilovolts voire du mégavolt (million de volts), pour certains microscopes à très haute tension. Leur pouvoir de séparation est de 50 à 100 fois celui des microscopes optiques, inférieur cependant à celui de leurs confrères à balayage, qui fonctionnent un peu différemment et dont nous allons voir plus en détail les différentes parties.

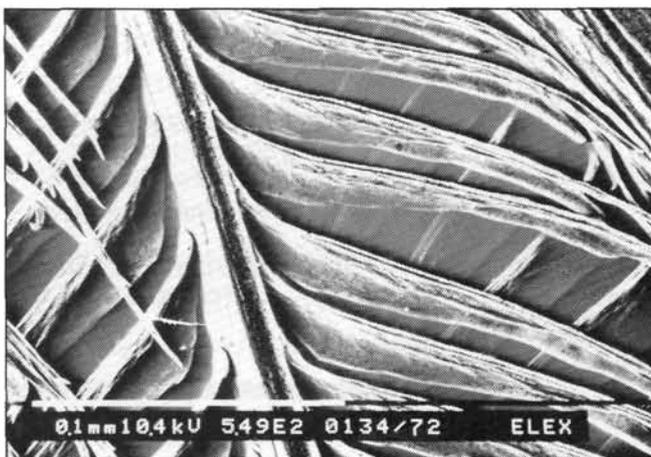


Figure 1 - À première vue, il est difficile de dire ce que représente ce cliché, c'est pourtant d'une antenne de papillon qu'il s'agit. Vous n'en avez d'ailleurs qu'environ deux dixièmes de millimètre, comme vous permet de le constater la ligne blanche qui surmonte l'étiquette. Sur cette dernière, quelques repères décrivent les conditions de la prise de vue : après la longueur (0,1 mm), la tension (10,4 kV) à laquelle est porté le filament (cathode) d'où sont issus les électrons du faisceau : 10400 volts !

Figure 2 - La chambre où l'on place "l'objet" (toujours de petites dimensions) est ouverte. On reconnaît, en haut à gauche, le détecteur qui capte les électrons secondaires, émis par la préparation. La grille qui le recouvre permet d'éliminer de l'observation les électrons primaires rétrodiffusés, réémis.

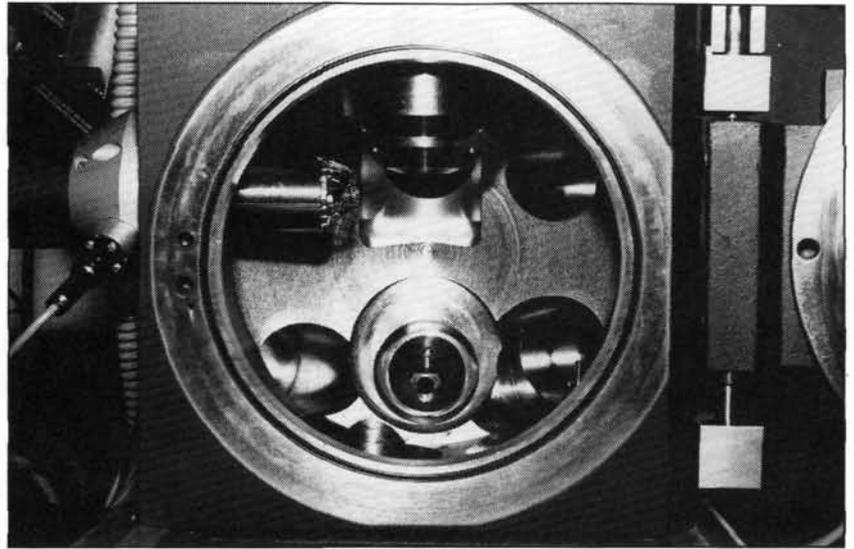
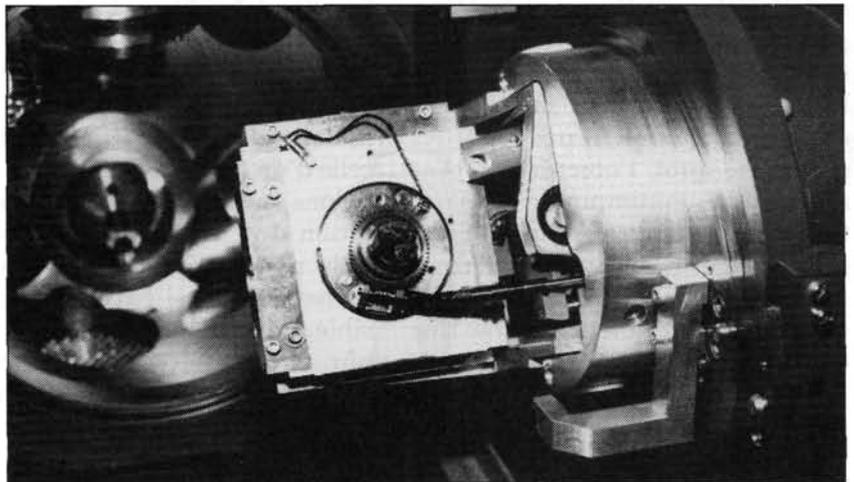


Figure 3 - La préparation est fixée sur la platine porte-objet, elle-même solidaire du mécanisme grâce auquel on la manœuvre de l'extérieur, contenu dans l'imposante porte. Il est ainsi possible de l'orienter et de la présenter au faisceau sous différents angles.



électronique

Dans ce type de microscopes on "éclaire" l'objet à observer avec un pinceau (faisceau très fin) d'électrons, au lieu de photons. La production du pinceau est à la charge du canon à électrons. Ensuite, comme le pinceau est constitué de particules matérielles, il va sans dire qu'il se déplace mieux s'il n'en rencontre pas d'autres sur son trajet : le microscope est donc pourvu d'une pompe, qui permet de créer à l'intérieur un vide poussé. Il n'y a pas à aller très loin pour rencontrer un dispositif semblable. Si vous n'avez pas d'oscilloscope ou d'ordinateur, au moins avez vous déjà vu un téléviseur : tous ces appareils sont dotés d'un canon à électrons, et d'une enceinte où ceux-ci peuvent se déplacer dans le vide. Le vide y est fait une fois pour toutes. L'intérieur du microscope, à la différence de celui du tube de télévision, est accessible. Il comporte une chambre dans laquelle on place "l'objet" à étudier sur une platine qui peut être mobilisée de l'extérieur. Un fois l'objet prêt

à être bombardé, depuis le tableau de commande, on lance la pompe à vide. Le vide établi, on effectue différents réglages, en observant leurs effets sur un écran de contrôle. Sur la **figure 1** vous pouvez voir à quels résultats on arrive avec un microscope électronique à balayage dont le pouvoir de résolution (pouvoir séparateur) et la profondeur de champ sont très grands : il ne s'agit pas d'une plume, encore moins

d'une feuille d'arbre, non, c'est une petite portion d'une des antennes d'un lépidoptère adulte, décédé, rasurez-vous, de mort naturelle (un papillon quoi). Les parties vues jusqu'ici sont communes à tous les types de microscopes électroniques. Le microscope électronique à balayage se distingue maintenant du microscope électronique à transmission par un **détecteur** dont le rôle, capital, est de

(1) Pour évacuer le problème de la distance à laquelle l'observateur se trouve, on parle plus volontiers de "distance angulaire" : gardez votre œil à 25 cm de la feuille et si la géométrie est votre dada, calculez l'angle que font les deux droites qui joignent votre œil aux deux points les plus proches l'un de l'autre que vous distinguez séparés.

(2) En (ultra)microscopie optique, si l'on peut parfois "voir" des objets dont les dimensions sont de l'ordre du milliardième de mètre (nanomètre), on ne peut en distinguer la forme et encore moins les détails. On voit où ils sont, seules leur existence et leur position sont mises en évidence.

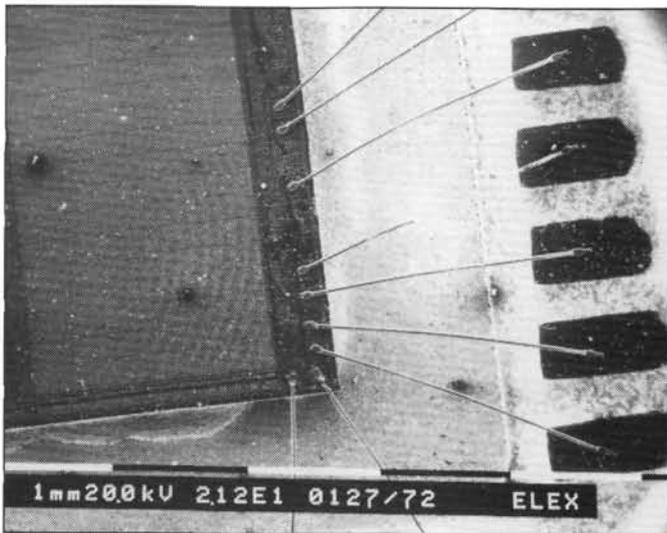


Figure 4 - L'intérieur d'une EPROM (circuit de mémoire programmable effaçable) dont la santé laisse beaucoup à désirer : elle présente un fil de connexion brûlé et quelques cratères qui ne disent rien qui vailent.

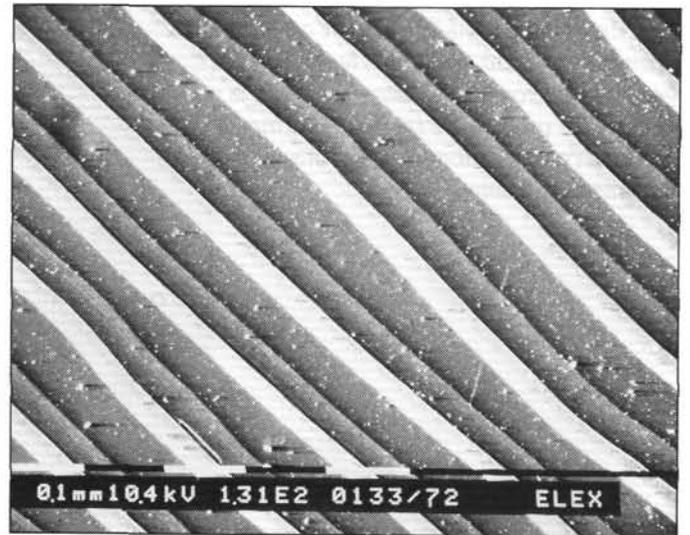


Figure 6 - Le sillon de ce microsillon qui paraissait propre à l'œil nu est cependant couvert de poussières.

capter les électrons secondaires, émis par la préparation lorsqu'elle est bombardée. Ce détecteur est visible sur le **figure 2** sous la forme d'un tube dont l'extrémité est recouverte d'une grille métallique portée à un potentiel positif de quelques centaines de volts par rapport à la terre. Pour commencer, un microscope électronique ne peut pas regarder n'importe quoi, l'objet à observer nécessite un minimum de **préparation** (d'où son nom), déterminante pour la qualité de l'image. On commence donc par le recouvrir, s'il n'est pas conducteur, d'une fine couche métallique destinée à améliorer le rendement en électrons secondaires émis lors du bombardement par le faisceau d'électrons issus du canon, comme nous le verrons

plus loin. L'or est utilisé dans la plupart des cas à cause de la qualité de surface particulièrement régulière qu'il offre, condition essentielle d'une bonne prise de vue. On utilise aussi le carbone. Cette préparation est ensuite posée sur une platine d'examen, mobilisable de l'extérieur et elle-même fixée sur une porte métallique qui ne diffère guère de celle d'un coffre-fort (**figure 3**). Rappelons en effet que toute la manipulation doit être effectuée sous un vide poussé ce qui nécessite une étanchéité aussi parfaite que possible. Comme le vide est long à établir, certains microscopes disposent d'un sas qui permet de limiter les contacts avec l'extérieur au minimum.

Une fois la porte fermée et le tube (ou le sas) vidé à l'aide de la pompe, la préparation peut être "balayée". Elle l'est, point par point, un peu comme l'écran d'un téléviseur, par un faisceau très fin d'électrons, de quelques dixièmes de nanomètres⁽³⁾. Sous l'effet du bombardement l'objet examiné émet lui-même des électrons secondaires vers un détecteur. Il en existe plusieurs types, nous n'en décrirons qu'un, fait d'une substance luminescente (un **scintillateur**), qui produit des photons envoyés à leur tour, par l'intermédiaire d'un guide de lumière vers un **photomultiplicateur**. Celui-ci, une cellule photoémissive, produit à partir des photons une quantité réglable d'électrons dirigés, enfin, vers un écran fluorescent. Le flux d'électrons émis par la préparation peut ainsi être amplifié en fonction des besoins : la clarté de son image sur l'écran en dépend.

Certains microscopes comme le STEM (*Scanning Transmission Electron Microscope*, microscope électronique à balayage et à transmission), allient les deux techniques. Il est possible de positionner le détecteur non plus à côté, mais au-dessous de la

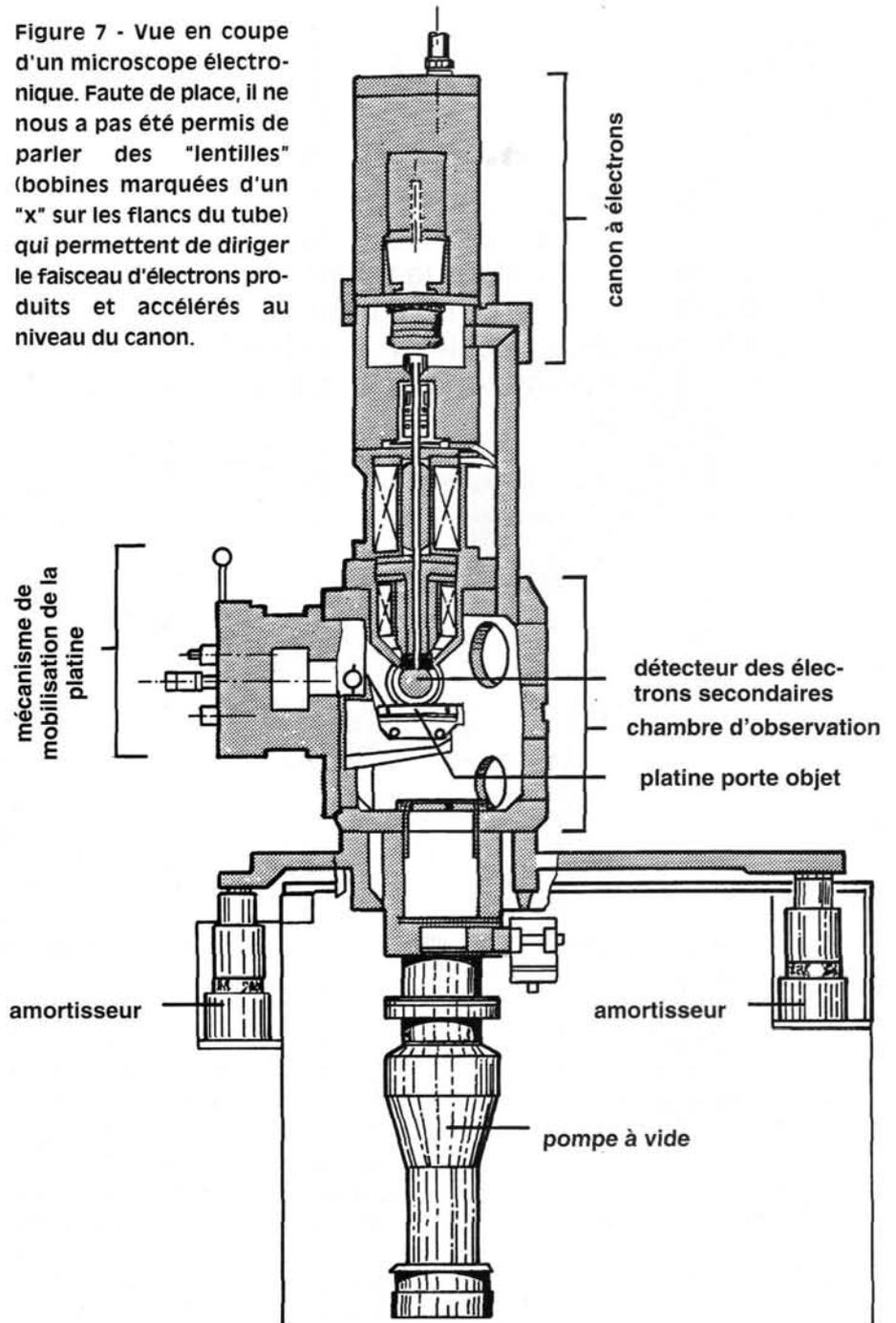


Figure 5 - Vue d'ensemble du microscope électronique. Sur la droite le microscope à proprement parler dont la porte est ouverte. Le tableau de commande, sur la gauche, permet de régler le grossissement, la qualité de l'image, la pompe à vide, les modes de balayage etc... C'est un peu différent d'un microscope optique.

préparation. Les électrons détectés sont alors ceux qui ne sont pas arrêtés. Cette méthode permet d'améliorer la résolution jusqu'à 5 nm. Elle sort cependant du cadre que nous nous sommes fixé pour cet article. Revenons au balayage simple. Le diamètre du faisceau d'électrons limite le pouvoir de résolution de l'appareil aux environs de 10 nm et les électrons qui traversent la préparation ne sont pas non plus sans influence sur cette qualité. La construction de l'image sur l'écran de contrôle est synchronisée sur les mouvements du pinceau. L'amplitude des mouvements de va-et-vient du pinceau sur la préparation est aussi faible que le **grandissement** obtenu est important. Pour imager notre propos, nous pouvons dire que le pinceau se comporte comme le balancier d'une horloge : même si la partie du balancier la plus proche de l'axe se meut très peu, celle qui en est la plus éloignée se déplace beaucoup. De même les très petits mouvements du pinceau d'électrons sur la préparation se traduisent sur l'écran par des déplacements de grande amplitude (tant mieux si ça vous fait penser au pantographe). Le résultat est une image agrandie sur l'écran de contrôle, qu'il ne reste plus qu'à photographier.

Il est difficile, en si peu d'espace, de faire le tour de la question, de montrer le fonctionnement d'un appareil qui permet de voir, sans que l'œil y ait sa part. La radio et la télé permettent d'entendre et de reconnaître des choses qui sont audibles et reconnaissables sans leur truchement. Il est possible avec des instruments comme les microscopes électroniques d'aller là où nous ne pourrions (jamais) aller. Il est possible de douter de la réalité des images que nous proposons en illustration... Comme il l'était, avant l'invention de l'avion ou du satellite, des images de la terre que nous donnaient les cartographes : de même que les marins le constataient pour les cartes, les biologistes, les chimistes, les métallurgistes, pour ne citer qu'eux, sont unanimes : ça marche !

Figure 7 - Vue en coupe d'un microscope électronique. Faute de place, il ne nous a pas été permis de parler des "lentilles" (bobines marquées d'un "x" sur les flancs du tube) qui permettent de diriger le faisceau d'électrons produits et accélérés au niveau du canon.



limites de résolution

Œil	0,1 mm
Loupe	5 μm
Microscope optique	200 nm
Microscope électronique	0,1 nm*

*de l'ordre du diamètre de l'atome

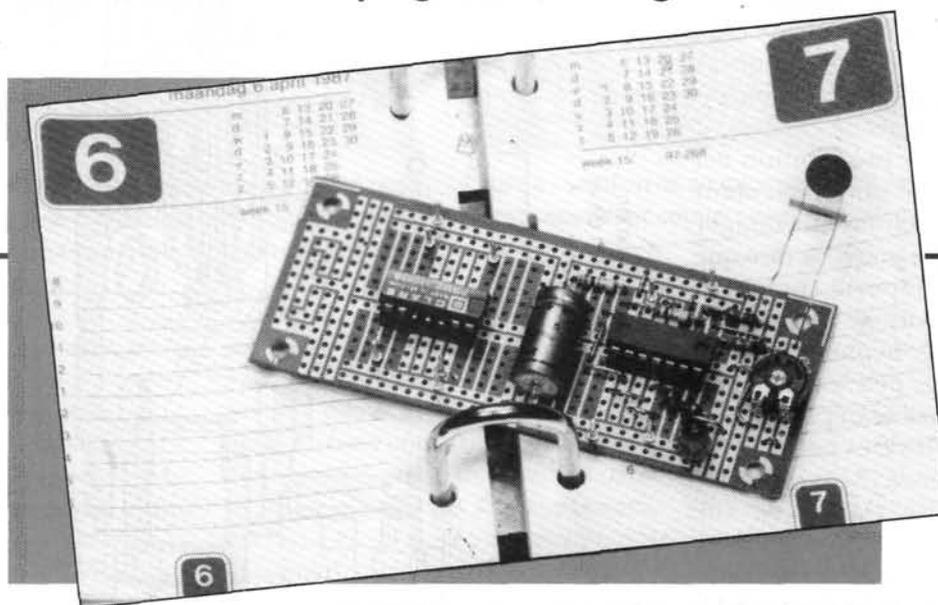


remerciements : Nous tenons à remercier le CETEHOR de Besançon, en la personne de Monsieur Christian BURON, dont le soutien technique et théorique nous a été du plus grand secours.

(3) Nanomètre = milliardième de mètre, le dixième de nanomètre correspond à l'angström, unité qui n'est plus légale.

compte-jours

L'utilité d'un montage dont la sortie change d'état quelque temps après le lever ou le coucher du soleil n'est pas à démontrer. Nous le publions en outre à cause de son intérêt didactique et parce qu'il permet, éventuellement, de rendre à la vie active une calculette, précocement abandonnée, qu'il utilise comme unité de comptage et d'affichage.



Si vous possédez une calculette du type décrit (inutilisée !), vous saurez à l'avenir comment disposer d'une de ses fonctions automatiquement. Tous les modèles ne conviennent malheureusement pas mais l'universalité de l'interface dont le montage est pourvu, un relais *reed*, autorise de nombreuses applications.

période de 24 h

Lorsque le jour se lève, la résistance de R1 chute, puisque, comme vous le montre la figure 1, elle dépend de la lumière (on l'appelle *Light Dependent Resistor*, pour favoriser les anglophones qui sont plutôt handicapés de la langue). La tension à l'entrée de l'opérateur N1 en profite pour prendre de la hauteur : elle est alors assez peu différente de la tension d'alimentation pour que la sortie, sur la broche 2, prenne l'état bas

(= niveau logique "zéro"), peu éloigné du potentiel de la masse. Le condensateur électrochimique C1, qui a pris le temps de se charger quand le circuit était dans l'obscurité, en profite pour se décharger lentement, puisque deux résistances de 10 MΩ limitent son débit. La tension aux bornes de ce condensateur, et donc à l'entrée du second opérateur, baisse si lentement qu'il lui faut presque une heure pour être reconnue pour un niveau logique 0. À ce moment-là, la sortie de N2 (broche 4) prend l'état haut (niveau logique "un"). Ce changement d'état a deux sortes d'effets : la sortie du circuit (broche 6 de N3) passe à 0, signe qu'un nouveau jour s'est levé, ce dont témoigne à sa façon la LED D1, qui s'éteint, puisque la sortie commune des opérateurs N5 et N6 est à 1.

(1) Le nyctémère ici n'a rien à voir avec l'illustre Hémère (voir fête d'). C'est un espace de temps comprenant un jour (*héméra*, en grec, "jour" et *nuktos* "nuit"), soit 24 heures en principe sous nos latitudes. Rien à voir non plus avec l'incestueuse injonction qui a donné son nom au groupe de musique N.T.M.

enregistrement électronique du nycthémère⁽¹⁾

L'obscurité retombée, la résistance de R1 augmente assez pour que la tension à l'entrée de N1 soit prise pour un 0 par cet opérateur, dont la sortie passe donc à 1. Le condensateur se recharge aussi lentement qu'il s'était déchargé et, au bout d'une heure environ, la LED D1 se rallume et la sortie de N3 repasse au niveau logique 1. Pourquoi retarder le processus d'une heure ? Vous devez bien vous douter qu'il ne faut pas que le circuit réponde à de trop brèves variations de l'éclairement (phares d'une voiture ou ombre passagère, par exemple) et puisqu'il compte les jours, il n'en est pas à une heure près.

Après ce que nous venons de dire, il paraît que la situation géographique de la photorésistance est importante. Le problème est sociologique ! Le composant doit, dans le présent cas de figure, ignorer les bienfaits de la civilisation qui font nos jours et nos nuits. Son choix, à l'opposé, n'a pas d'importance puisque la présence de P1 permet d'adapter le pont diviseur

aux besoins. C'est grâce à ce potentiomètre que le seuil de réponse du circuit à l'éclairement est réglé. Il est d'ailleurs conseillé d'effectuer ce réglage avant le câblage du condensateur, de façon à ne pas être contraint d'attendre une heure entre chaque retouche du curseur. Comme la position de celui-ci dépend des conditions locales, sa détermination est bien sûr laissée à vos talents d'expérimentateur.

Un mot encore sur C1 : son choix, contrairement à celui de la cellule photoconductrice (autre nom de la LDR) n'est pas indifférent. La qualité qui le détermine est un courant de fuite minimum. Si celui-ci était supérieur au courant de charge ou de décharge, la durée du retard imposé au circuit tendrait vers l'infini, ce qui n'est pas souhaitable, c'est le moins que l'on puisse dire. Pour limiter les dégâts, la tension de service de ce composant (63 V) est beaucoup plus élevée que la tension à laquelle il est soumis.

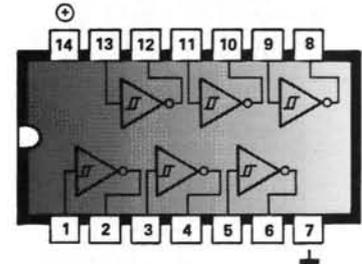


Figure 2 - Le relais reed ne permet pas seulement de piloter une calculatrice par l'intermédiaire de sa touche de facteur constant, il rend possible toutes les applications nécessitant une commutation jour/nuit.

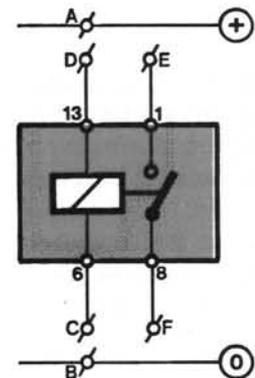
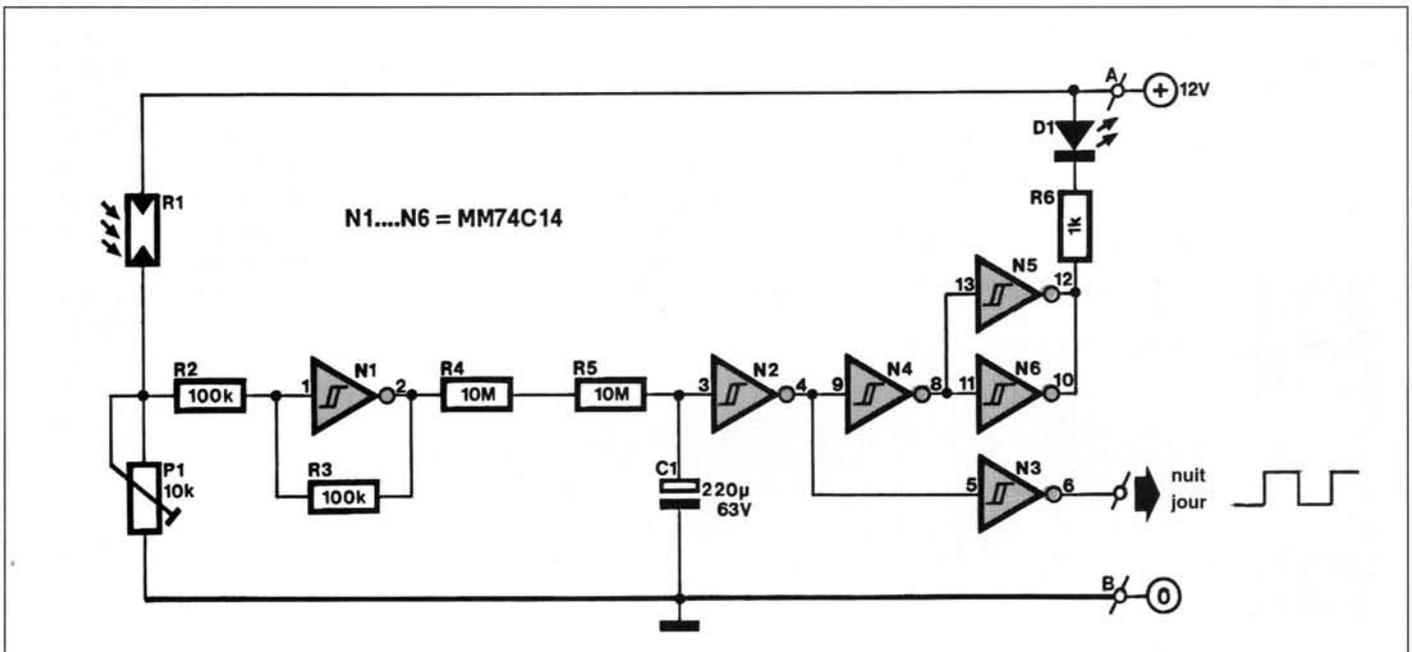


Figure 1 - Ce circuit, associé à un relais reed et à une calculatrice, permet de compter, décompter les jours qui séparent d'un jour J... Il n'est cependant pas limité à cette application.



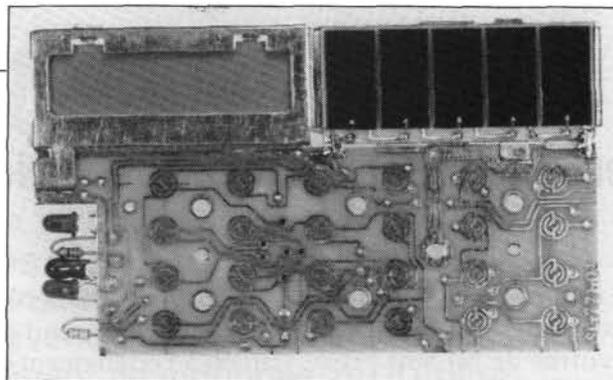
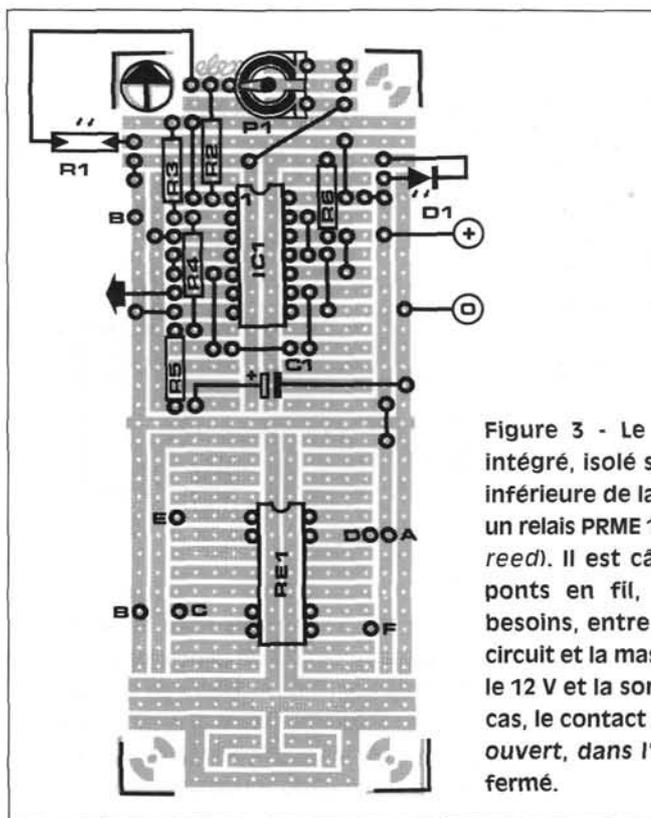


Figure 3 - Le composant intégré, isolé sur la moitié inférieure de la platine, est un relais PRME 15002B (relais reed). Il est câblé par des ponts en fil, suivant les besoins, entre la sortie du circuit et la masse, ou entre le 12 V et la sortie. Dans un cas, le contact au repos est ouvert, dans l'autre, il est fermé.

- R1 = LDR
- R2, R3 = 100 kΩ
- R4, R5 = 10 MΩ
- R6 = 1 kΩ
- P1 = 10 kΩ, ajustable
- C1 = 220 μF/63 V (63 V : voir le texte)
- D1 = LED
- IC1 = [MM] 74 C 14 (sextuple trigger-inverseur ou CD40106 ou MC14584)
- Re1 = relais Reed (Clare 15002 B, ou Günther, ou...)
- 1 platine d'expérimentation de format 1

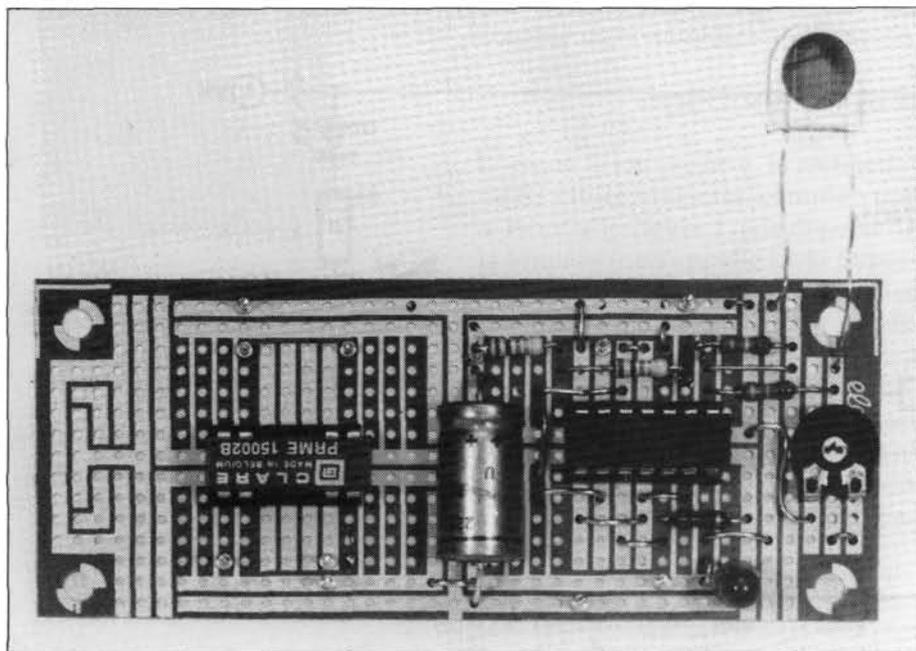
unité de comptage et d'affichage

Comme nous l'avons dit plus haut, le compte-jours nécessite l'unité de comptage et d'affichage d'une calculette, sauvée du rebut, de préférence. Un relais reed sert ici d'interface. La liaison n'est malheureusement pas possible avec toutes les "babasses" qui doivent impérativement posséder une touche de facteur constant (" + 1 " ou " - 1 "). Les contacts du relais, notés E et F sur la

figure 2, viennent se connecter en parallèle sur celle-ci. La bobine, contacts C et D, est évidemment branchée entre la sortie (broche 6) du circuit et sa masse. Après réglage, le dispositif peut commencer à compter ou à décompter et afficher sur l'écran de la calculette le nombre de jours passés ou restant, depuis... ou avant... À vous de voir.

Le dispositif peut évidemment trouver d'autres applications, (il est, de ce point de vue, assez universel) et allumer ou éteindre une lampe, par exemple, ou mettre sous tension un appareil. Dans la plupart des cas, à la suite du relais reed un autre intermédiaire est alors nécessaire : un second relais dont le pouvoir de coupure et la tension de service soient compatibles avec les courants et les tensions circulant dans le circuit commandé. Suivant les applications, il est possible de câbler le relais reed pour qu'il soit NO (ouvert au repos, *Normally Open*), ou NC (fermé au repos, *Normally Closed*). Celui-ci peut en effet être branché entre le "plus" de l'alimentation et la sortie du circuit, ou entre la sortie du circuit et la masse. Pour obtenir les mêmes effets (non pour la LED), on peut intervertir les positions de R1 et P1. Notez pour terminer que le circuit intégré n'est pas un 74[n'importe quoi]14, mais un 74 C 14 et qu'il peut donc être alimenté entre 3 V et 15 V : la tension de 12 V proposée, qui lui convient, serait excessive pour un 74 LS, ou un 74 HCT (auxquels il ne faut pas plus de 5 V), pour ne citer que ces familles.

87628



plus ne cherchez la cathode

Pour tester une diode ou en identifier les broches (anode-cathode), un ohmmètre, même rudimentaire, suffit.

À quoi bon un montage particulier puisqu'il suffit de mesurer la résistance de la diode dans un sens, puis dans l'autre ?

Si l'aiguille dévie fortement, quel que soit le sens de branchement du composant, c'est qu'il est bon pour la poubelle.

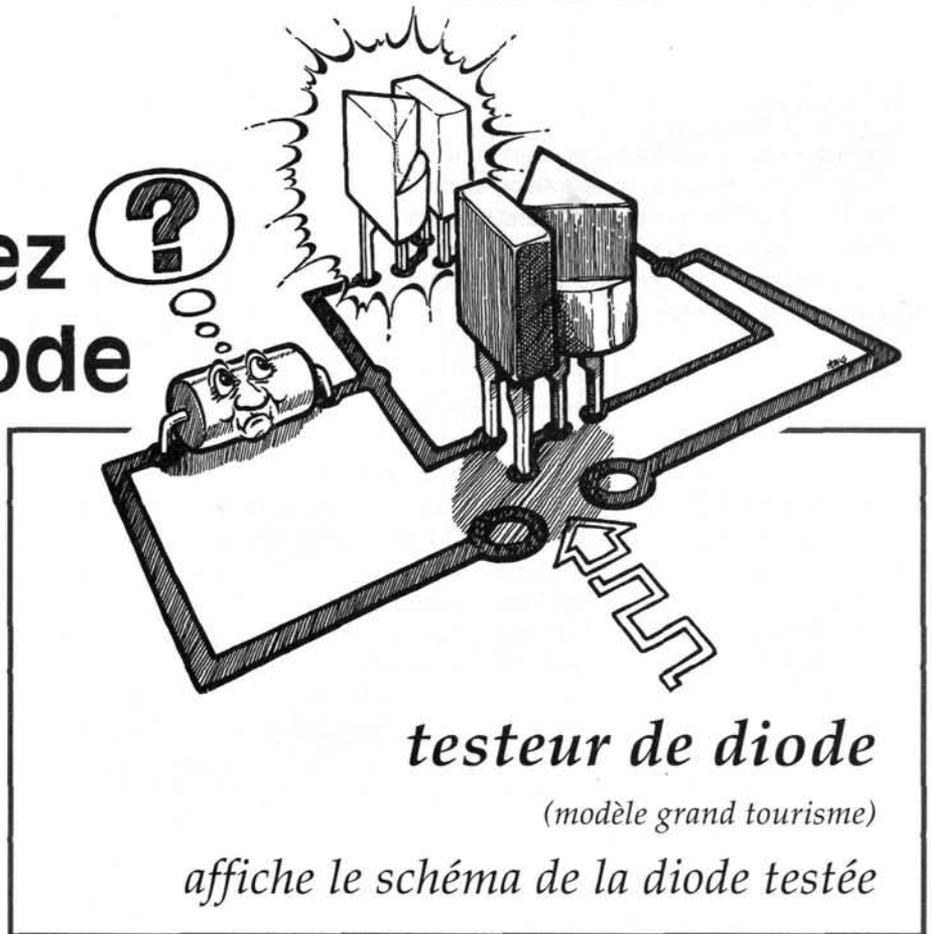
Si elle ne dévie que pour un sens de branchement de la diode, c'est que l'anode est reliée au moins et la cathode au plus de l'ohmmètre.

Alors ?

Cette méthode, assurément bonne, devient vite lassante si l'on a acheté les composants au kilo, ce qui arrive aux gros consommateurs ou à ceux qui ont voulu bénéficier des avantages d'une offre promotionnelle. Il devient alors nécessaire de simplifier le protocole opératoire, pour gagner un temps précieux et s'en sortir plus élégamment. L'électronique est là pour nous faciliter l'existence et non pour nous la compliquer : profitons-en. Les composants utiles sont vite collectés : un circuit intégré, deux diodes, quatre LED, deux résistances et deux condensateurs.

principe

La figure 1 présente une version simplifiée du circuit destinée à en simplifier la présentation. De quoi retourne-t-il ? Deux LED sont



câblées en série avec la diode à tester D_t . Le circuit des LED ne fait pas obstacle au courant. Qu'il circule dans un sens et c'est led1 qui s'allume ; qu'il circule dans l'autre, et c'est led2, jamais les deux. Si nous ajoutons D_t , ce bel équilibre est rompu car sa présence introduit un troisième cas de figure : que cette diode soit branchée en opposition et plus aucun

Figure 1 - Si la diode à tester (D_t) et la polarité de la tension de mesure sont d'accord, une des deux LED doit s'éclairer (il faut penser à limiter le courant dans les LED). La LED qui s'éclaire est câblée comme D_t . Pour que ça marche à tous les coups, il faut dans les cas 1a ou 1d, inverser la tension ou retourner D_t , et c'est justement ce que nous voulons éviter.

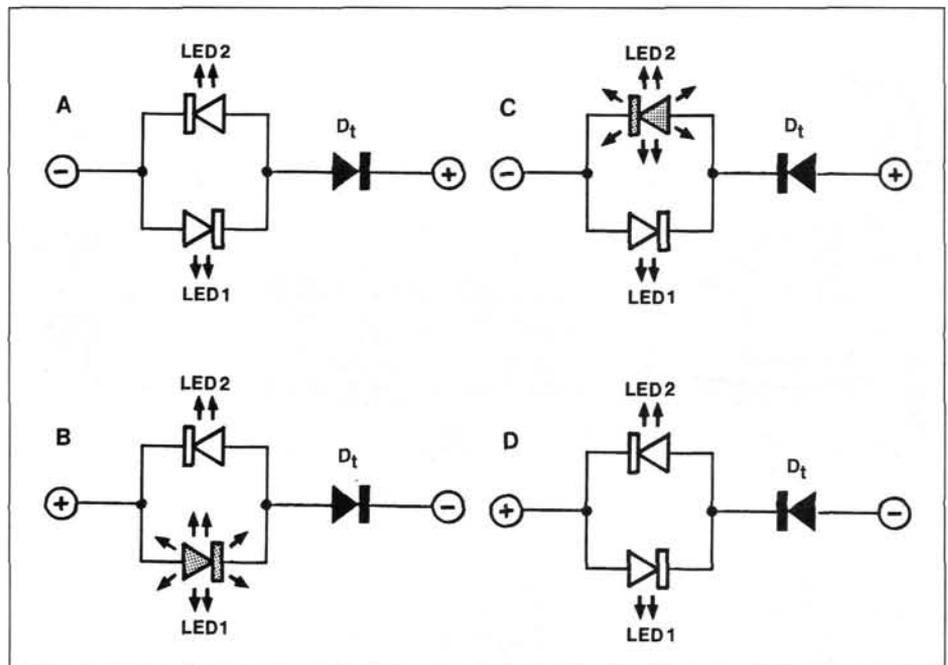
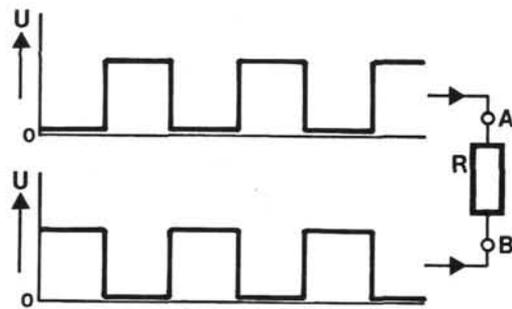


Figure 2 - Et si, au lieu d'une seule tension nous en utilisons deux, en opposition de phase, le courant passera tantôt dans un sens tantôt dans l'autre. La solution alternative est la bonne... Encore faut-il qu'il y ait un minimum de courant.



courant ne circule (cas 1a et 1b), aucune des deux LED ne brille. Qu'à cela ne tienne, pour qu'elles nous indiquent brillamment dans quel sens la diode est câblée, où est son anode et où sa cathode, nous ferons passer le courant tantôt dans un sens (1b) tantôt dans l'autre (1c). Ceci ne présente aucune difficulté pour qui dispose de deux signaux rectangulaires, symétriques et déphasés de 180° l'un par rapport à l'autre. C'est compliqué ? Pas autant que ça n'en a l'air : en fait, nous fabriquerons un signal rectangulaire et nous l'inverserons, nous aurons ainsi la chose et son "contraire". La figure 2 vous montre à quoi cela ressemble. Sur cette figure les connexions A et B correspondent aux plus et au moins du circuit de la figure 1. Ces bornes sont alternativement à zéro et à un.

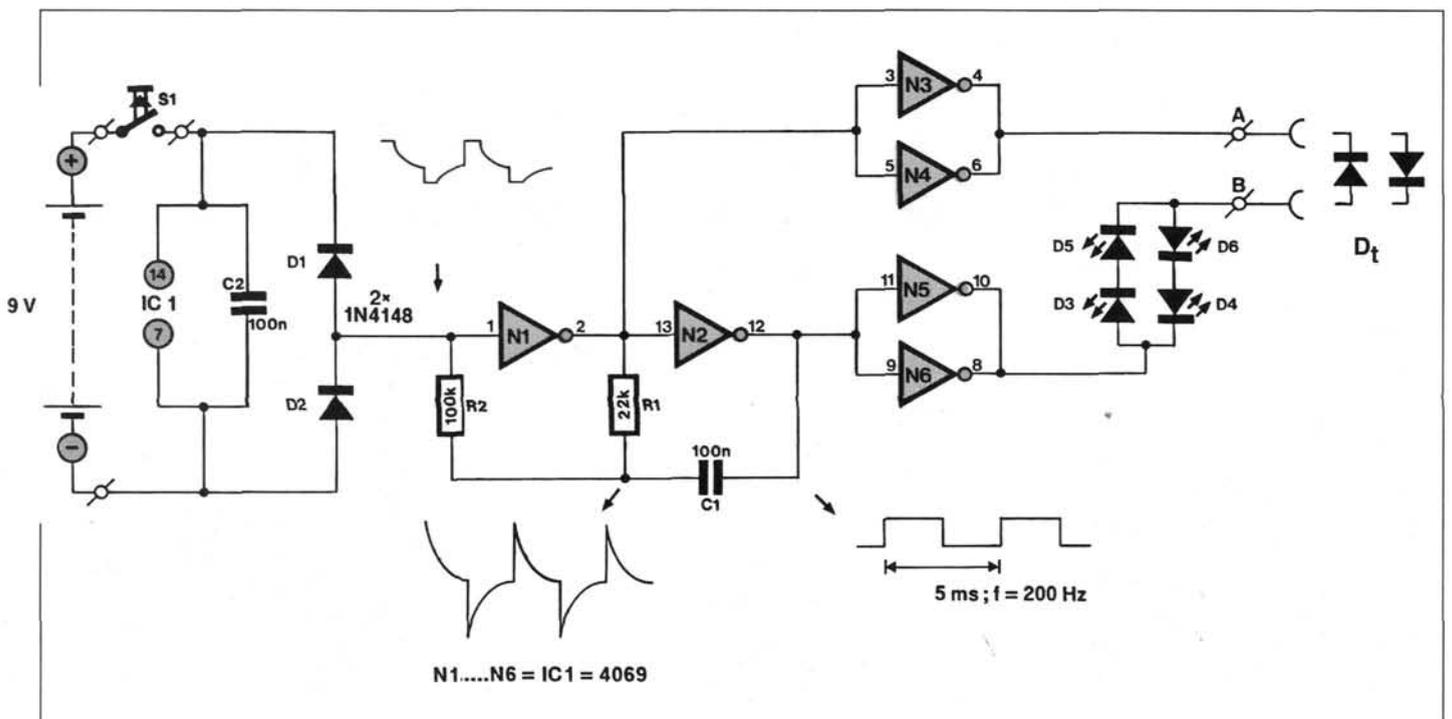
Si la borne A est à 0 V, il y a une tension sur B et si la borne B est à 0 V, il y a de la tension en A. Nous avons donc, une fois par période, les cas (1b) et (1c) qui permettront d'identifier la cathode et l'anode de la diode à tester.

opposition de phase sans supplément

L'oscillateur utilisé dans ce circuit (figure 3) délivre sans se faire prier les deux tensions nécessaires. C'est un oscillateur tout ce qu'il y a de plus ordinaire, pourvu seulement d'une seconde sortie. Sur les deux sorties (broche 2/13 et broche 12 du circuit intégré) les tensions sont rectangulaires, quasiment symétriques et en opposition de phase. Leur fréquence, pour les résistances choisies et la

capacité de C1, est d'environ 200 Hz. C'est suffisant pour donner l'impression que les LED D3 et D5 ou D4 et D6 brillent en continu. Vous avez bien lu. Les led1 et led2 de la figure 1 sont remplacées par deux paires de LED. Si vous pensez que c'est pour faire marcher le commerce que nous avons doublé de la sorte, vous avez (presque) tout compris. Enfin, si le commerce n'avait que ça pour marcher... Vous ne regardez pas les dessins humoristiques ? Le commerce propose des LED de forme triangulaire et rectangulaire : nous pouvons donc avec deux LED convenablement disposées dessiner le symbole d'une diode (figure 4), la triangulaire pour l'anode et la quadrangulaire pour la cathode. Encore ne faut-il pas se tromper en câblant : si A et B sont intervertis, le "schéma"

Figure 3 - À part le fait qu'il délivre deux signaux rectangulaires en opposition de phase sur ses sorties, "ordinaire" (broche 12) et "extraordinaire", (broche 2/13) cet oscillateur ne présente pas grande originalité. Grâce aux deux paires d'inverseurs-tampons qui suivent, les signaux peuvent alimenter les deux paires de LED "dessinatrices" en série avec la diode à tester.



liste des

composants

R1 = 22 kΩ
R2 = 100 kΩ

C1, C2 = 100 nF

D1, D2 = 1N4148

D3, D6 = LED

(voir le texte)

IC1 = 4069 (sextuple inverseur)

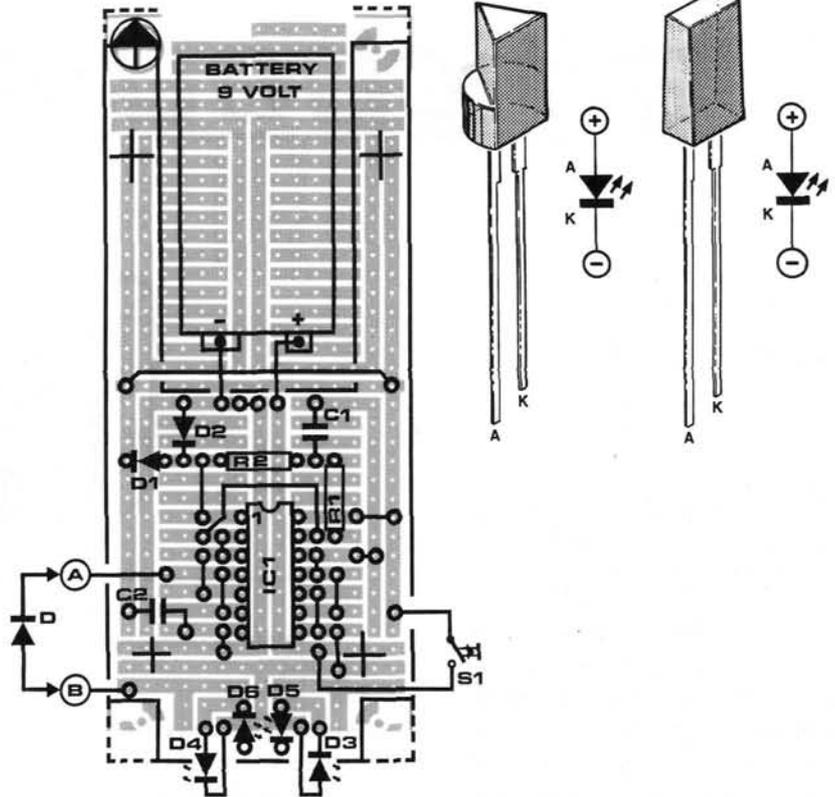
S1 = bouton poussoir ouvert au repos

1 platine d'expérimentation de format 1

éclairé ne correspond pas à la diode testée. On peut bien sûr tester le circuit à l'aide d'une diode dont les broches sont connues. Si la lecture ne lui correspond pas, la correction est facile.

Les LED ne sont évidemment pas pourvues des traditionnelles résistances de limitation de courant, puisqu'elles sont alimentées par les couples d'inverseurs N3/N4 et N5/N6 dont le débit ne peut pas mettre leur vie en danger. Une pile de 9 V alimente le circuit, qui n'est mis sous tension que lorsque l'on pousse S1, ouvert au repos. De cette façon, les jours de la pile ne sont pas comptés. On peut bien sûr préférer une lecture clignotante : il suffit alors d'augmenter la capacité de C1, c'est-à-dire d'augmenter la période des oscillations voire même de diminuer leur fréquence.

86787



LA PUBLICITÉ, ÇA COMPTE

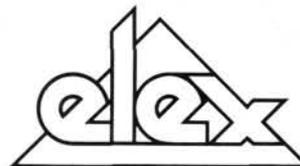
AUTANT POUR VOUS

QUE POUR NOUS

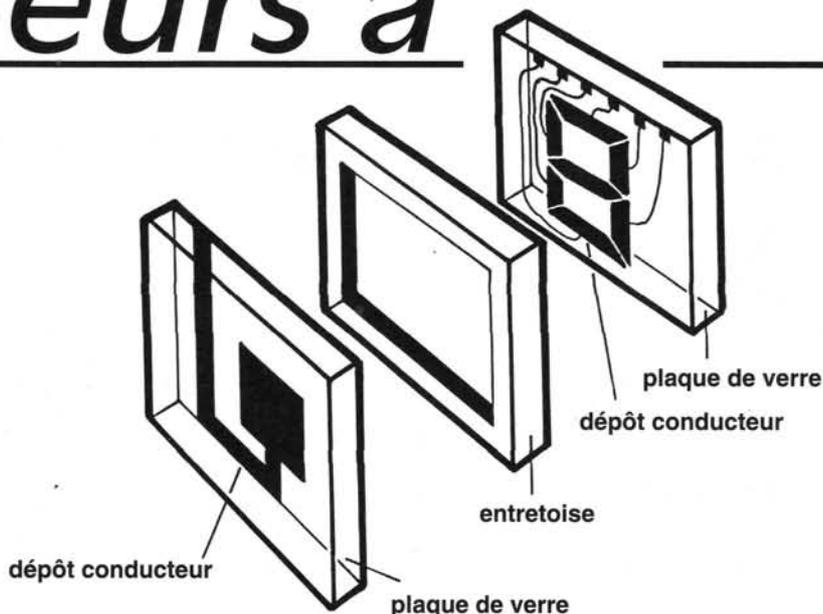
Cet espace aurait pu être le vôtre!

Téléphonez-moi:

BRIGITTE HENNERON
20 · 48 · 68 · 04



afficheurs à



Deux plaques de verre séparées par un liquide dont les propriétés sont celles des cristaux. Le liquide est à la fois le poisson et l'eau de cet "aquarium" dont le contenu peut s'animer sélectivement sous l'effet du champ électrique engendré lorsque les dépôts métalliques sont soumis à une tension.

– Elle n'affiche plus rien ma montre, l'écran LCD doit être fichu.

– Tu as dû monter la pile à l'envers. D'ailleurs on ne dit pas "écran LCD", le "D" signifie déjà "écran". *Liquid Crystal Display* signifie écran ou afficheur à cristal liquide...

– Cristal liquide ? Comment un cristal peut-il être liquide ?

– Tu n'as pas lu le numéro 13 d'ELEX ?

– Je ne connaissais pas encore la revue quand ce numéro-là est paru.

– Dommage...

– Alors, ce cristal ?

– Ce n'est pas un cristal.

– Faudrait savoir !

– C'est un liquide dont les propriétés optiques sont celles d'un cristal, un liquide optiquement anisotrope.

– Tout de suite les grands mots ! C'est liquide, ça doit être fait avec du pastis ?

– ... voyons d'abord *isotrope*, qui est le contraire d'*anisotrope*. Dans un milieu optiquement isotrope (*isos*, égal, et *tropê*, tour) la lumière se déplace à la même vitesse dans toutes les directions.

– "Optiquement" isotrope ? Pourquoi, il y a d'autres isotropies ?

– Bien sûr, mécanique par exemple. Si le bois par exemple était mécaniquement isotrope, il se fendrait dans tous les sens aussi facilement (ou aussi difficilement).

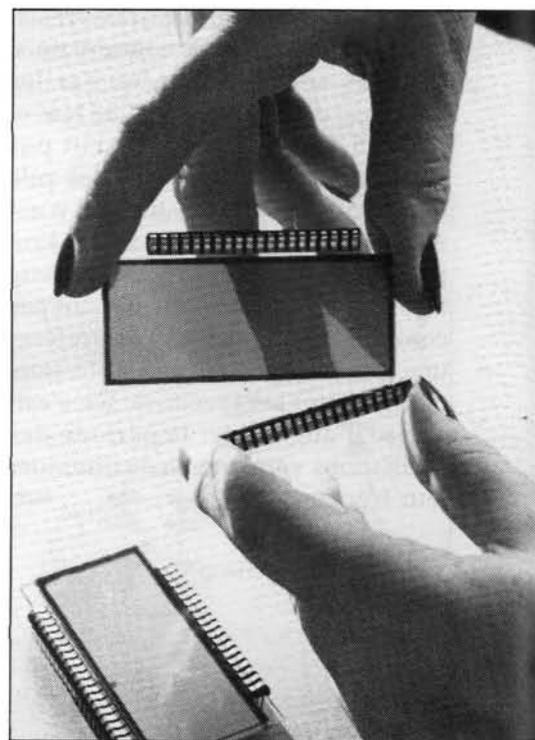
– Fendant ! Comme la sciure ?

– Confondant !... En optique, la hache est un rayon lumineux. Si le milieu qu'il parcourt est anisotrope,

il le traverse plus facilement dans un sens. Dans un cristal liquide, les molécules sont très longues et l'ensemble, ou une partie de celles-ci, sont orientées parallèlement les unes aux autres, un peu comme le sont les nervures du bois. Lorsqu'un rayon lumineux traverse le liquide parallèlement à la direction des molécules, il n'est pas arrêté et, compte tenu de la faible épaisseur de l'écran, les choses sont limpides. Si maintenant on perturbe l'ordre dans lequel les molécules sont rangées, elles font obstacle à la progression du rayon et celui-ci subit des modifications(*) qui permettent de les "voir".

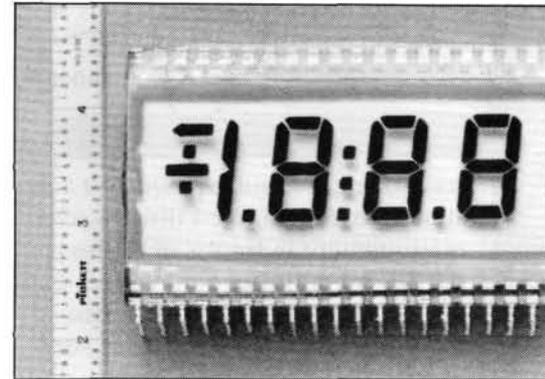
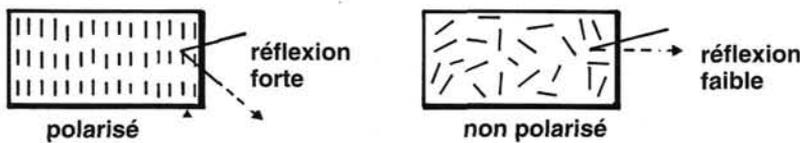
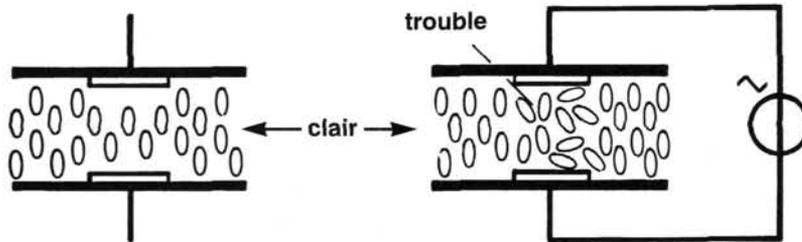
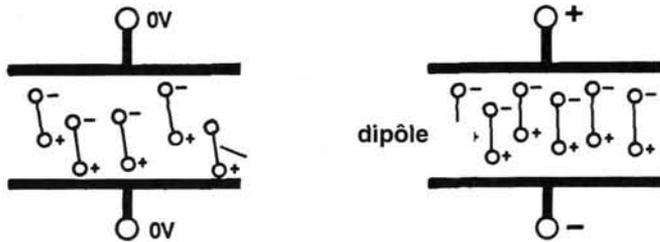
– Et comment troubler leur arrangement ?

– En les soumettant à un champ électrique. Les molécules d'un cristal liquide sont en effet *polaires*.



(*)La modification subie par le faisceau lumineux qui traverse un tel milieu est de deux ordres : il y a d'abord double réfraction puisque le milieu est biréfringent. Ceci veut dire que le faisceau se dédouble et que les deux faisceaux résultant sont brisés – il y a réfraction (brisure) lorsque, par exemple, un rayon passe de l'air dans l'eau, le rayon dans l'eau semble ne pas être dans le prolongement du rayon dans l'air. Vous le comprendrez en trempant simplement un bâton dans l'eau, il vous apparaîtra brisé – ensuite, les deux faisceaux résultant transportent de la lumière polarisée. Un rayon de lumière polarisée, pour parler simplement, est un rayon que, dans certaines conditions, un miroir ne pourra pas réfléchir (voir ELEX numéro 13, page 10, pour les détails).

cristaux liquides



faibles excitations extérieures électriques(**), pour ce qui nous concerne.

- Quels cristaux liquides utilise-t-on pour les afficheurs ?

- Ceux qui sont "cristaux liquides" à des températures usuelles. Ils doivent fonctionner correctement entre 0°C et 50°C. Tu as bien dû remarquer qu'en hiver, les indications de ta montre n'étaient pas toujours lisibles : les cristaux liquides craignent le froid. Ils craignent aussi le chaud qui peut affecter leur durée de vie. Il est important surtout que les molécules utilisées répondent rapidement au phénomène qui les commande et que leur conductibilité soit très basse.

- Mais comment produit-on le champ électrique qui les mobilise et comment peut-il être aussi sélectif, l'afficheur de ma montre n'est qu'une plaque de verre, il n'y a pas de conducteurs. Même par transparence, je n'ai rien vu.

- Ceci explique peut-être pourquoi ta montre ne fonctionne plus... Donc, si après l'avoir démontée tu l'avais mieux observée, tu te serais rendu compte que la plaque de verre était double et emprisonnait un liquide : c'est un récipient. Par transparence, la face interne de la plaque supérieure (ou inférieure) laisse deviner un ou plusieurs dessins qui rappellent, à s'y méprendre, les segments d'afficheurs à LED. Ces dessins sont faits d'un dépôt métallique très mince, au point d'être transparent, plus visible si tu regardes l'objet sous un

- Elles ne sont donc pas électriquement neutres ?

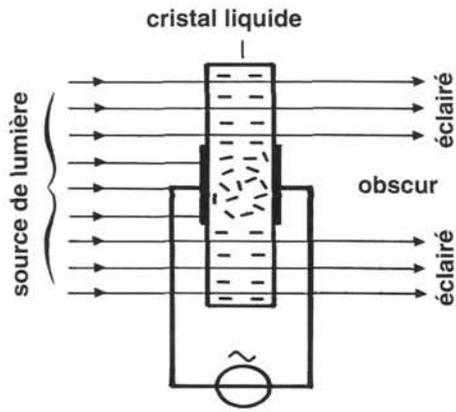
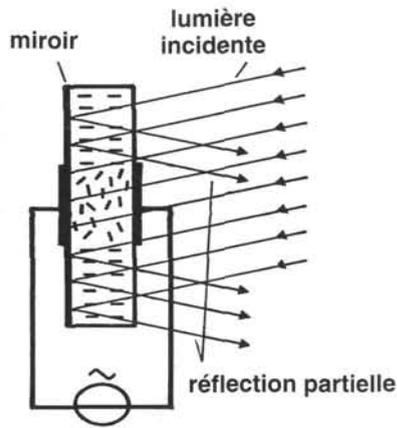
- Si, globalement, ce ne sont pas des ions : les charges électriques portées par la molécule s'équilibrent mais ne sont pas disposées régulièrement le long de celle-ci, si bien qu'une de ses extrémités est plus négative, et l'autre, bien sûr, plus positive. Le grand axe de la molécule, placée dans un champ électrique, s'oriente parallèlement aux lignes du champ ; si le champ est alternatif, la molécule a toutes les chances de tourner. Comme elle n'est pas seule à changer de position un certain désordre en résulte.

- Est-ce toujours ainsi que cela fonctionne ?

- Non, il existe plusieurs sortes de cristaux liquides. Dans certains, par exemple, les molécules s'alignent dans une direction perpendiculaire

au champ électrique. Elles sont polarisées "ventre-dos" et non plus "pied-tête", comme précédemment. Dans d'autres, les molécules sont réparties dans des plans parallèles et les axes des molécules d'un même plan sont parallèles, mais d'un plan à un autre, la direction générale des molécules tourne régulièrement. La structure de l'ensemble est torsadée (*twisted*, disent les anglophones). Certaines structures varient en fonction de la température, d'où l'utilisation des cristaux liquides pour la mesure de celle-ci, en biologie notamment... La physique des cristaux liquides est un vaste domaine, où s'est illustré notamment le prix Nobel de physique dont le nom est sur toutes les lèvres. On peut dire, pour résumer, qu'en matière d'affichage, on fait appel à la sensibilité de leurs propriétés optiques à de

(**) Dictionnaire de physique de Elie Levy, sous la direction de François Le Lionnais, aux P. U. F.



certain angle. L'autre plaque est aussi métallisée, comme l'illustre schématiquement la figure, et toutes ces parties métalliques sont reliées par des conducteurs très fins (indiscernables) aux connecteurs situés sur le bord. L'établissement d'une tension (alternative de préférence, la durée de vie du dispositif en est améliorée) entre l'électrode commune et une ou plusieurs des électrodes du dessin provoque un assombrissement du ou des segments concernés.

- Ce n'est pas très lumineux !
- C'est le moins que l'on puisse dire, ces afficheurs n'éclairent pas mais le

contraste qu'ils offrent à la lecture augmente avec la lumière qu'ils reçoivent : ils sont, de ce point de vue, comme la revue sur laquelle notre dialogue est imprimé, d'autant plus lisibles qu'ils sont mieux éclairés. Exactement le contraire de l'écran de ton téléviseur dont la lumière trop crue du jour efface l'image au regard, ou des LED, qui donnent beaucoup mieux la nuit. On ne peut pas reprocher aux LCD de ne pas fournir de lumière : un écran est conçu pour éclairer l'esprit (donner des informations) et non le paysage. On peut d'autant moins le leur

reprocher qu'ils sont très économes, en énergie et en volume.

- J'ai pourtant vu des écrans à cristaux liquides visibles dans l'obscurité.

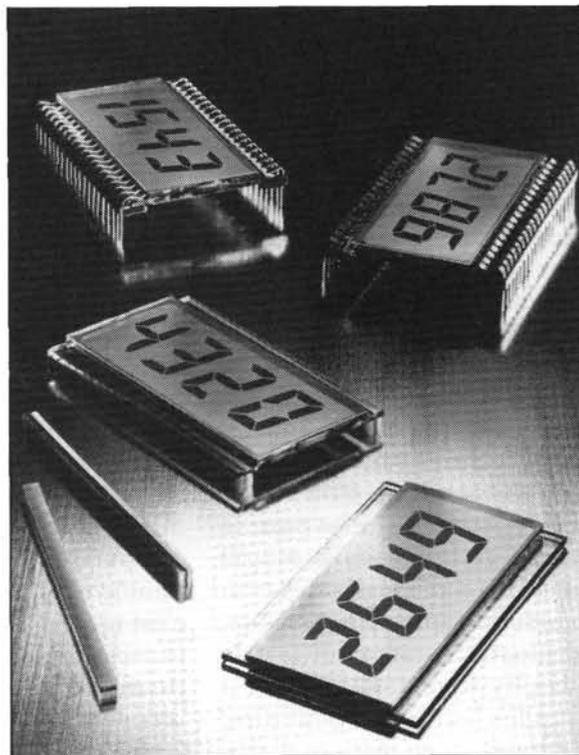
- C'est vrai, certains écrans sont éclairés par l'arrière. Cette source lumineuse auxiliaire permet d'améliorer le contraste, on parle alors de *mode transmission*, mais dans la plupart des autres cas, où la lumière ambiante suffit, les afficheurs sont à *mode réflexion*, la lumière est réfléchiée ou non suivant l'état optique des cristaux liquides qu'elle rencontre. Les deux modes peuvent être associés, comme dans le mot *transflexion*, qui les désigne.

- À quand la télé à cristaux liquides ?

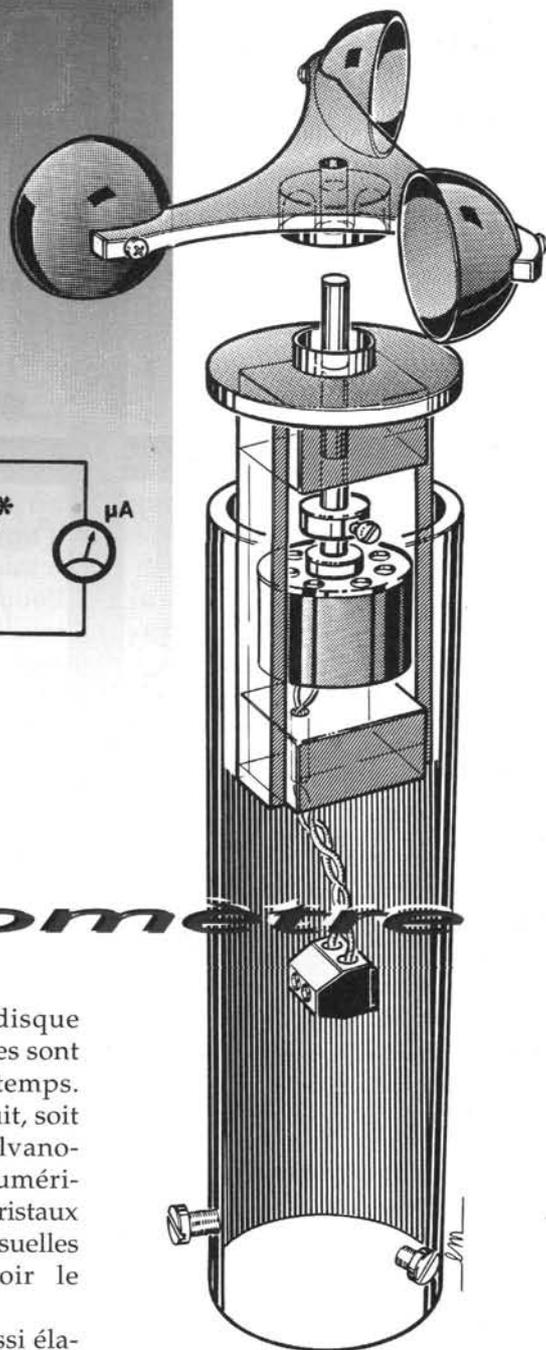
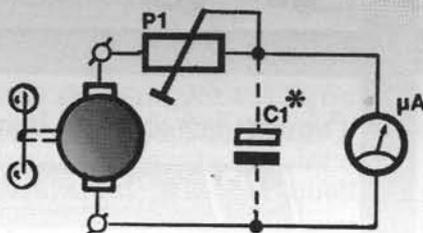
- Le type d'afficheur dont nous parlons a déjà quelques années derrière lui. Il ne diffère cependant pas dans son principe de ceux qui remplaceront peut-être les tubes de télévision. Les LCD équipent déjà la plupart des ordinateurs portables et certains affichent en couleur. On a même vu sur le marché de petits téléviseurs couleur à cristaux liquides, mais pour de plus grands écrans, il semble qu'il faille attendre encore, la rapidité de réponse des cristaux liquides utilisés laisse encore à désirer.

- Est-ce qu'ils seront fiables ?

- Tu veux sans doute parler de leur durée de vie. Il est assez difficile de savoir si un produit qui n'est pas encore commercialisé vivra vieux. C'est sans doute aussi le problème. Les constructeurs ne peuvent pas se permettre de lancer sur le marché un produit coûteux dont la durée de vie serait trop brève. Attendons. 87715



N'y a-t-il que les adeptes de la voile, ou les fanatiques de la météorologie (du lycée Bourdelle à Montauban ou d'ailleurs) à vouloir connaître la vitesse du vent ? Il semble que le commun des mortels en soit aussi curieux. Encore faut-il que l'appareil qui en permet la mesure soit abordable, financièrement et techniquement ! Nous donnons ici quelques pistes permettant une réalisation à moindres frais (frais : force 5 à 6).



mini-anémomètre

Depuis le numéro 27, en novembre 1990, ELEX ne s'est plus préoccupé du vent. De la mesure de sa vitesse en tout cas, il semble se soucier comme d'une guigne. Non que le sujet soit inintéressant, mais cette grandeur est, électroniquement, d'accès malaisé, si l'on met l'accent sur la maniabilité et la facilité d'emploi de l'appareil de mesure. En effet, de quoi se compose un anémomètre (du grec *anemos*, vent) puisque tel est le nom de l'objet ? D'une partie mécanique en rotation libre autour d'un axe et d'une partie électronique. La partie mécanique est constituée d'un disque, sur lequel des secteurs opaques alternent avec des secteurs transparents, solidaire d'une roue à godets que l'air peut faire tourner autour de son axe. Le disque, en tournant entre les deux dents d'une cellule photo-électrique à fourche, ferme ou ouvre cet interrupteur optique selon qu'il intercale des zones opaques ou transparentes entre le récepteur (un phototransistor) et l'émetteur (une diode électroluminescente). La vitesse de rotation du disque est donc traduite en impulsions électriques dont le nombre lui est proportionnel. Plus

le vent est rapide, plus le disque tourne vite et plus nombreuses sont les impulsions par unité de temps. La suite du montage les traduit, soit analogiquement, pour un galvanomètre à cadre mobile, soit numériquement pour un afficheur à cristaux liquides ou à LED, en unités usuelles (m/s; km/h; beaufort : voir le tableau).

Il est clair qu'un montage aussi élaboré sort des limites fixées pour l'instant à ELEX. Il y faudrait un plein cornet de *chips* peu habitués à nos colonnes et dont le moindre ne serait pas une EPROM. Nous pouvons cependant vous proposer une solution, moins précise, mais plus abordable.

magnétophone à cassette

Si vous avez récupéré un magnétophone à cassette, hors d'usage ou remplacé par un appareil beaucoup plus performant, il est temps de le démonter et d'en sortir le moteur. C'est une chose très intéressante qu'un moteur électrique de magnétophone : lorsqu'on applique une tension à ses bornes, il tourne, et réciproquement, si l'on entraîne son

Figure 1 - Voilà une façon de fabriquer un anémomètre. Elle est accessible à un bon bricoleur (on le devient en bricolant, s'instruisant de ses échecs). Une description plus exacte n'est pas possible puisque la construction dépend dans une large mesure du moteur que vous pourrez récupérer. Il faut en tout cas que l'axe de celui-ci se laisse assez facilement mobiliser : un des modèles que nous avons essayés au laboratoire nécessitait un vent de force 6 pour daigner commencer à tourner...

axe, on peut mesurer une tension à ses bornes. Ce moteur est donc réversible et peut travailler en dynamo, pas des plus efficaces, mais assez pour notre projet.

Tableau 1 - À l'aide des données de ce tableau et du compteur de vitesse d'une voiture, vous pourrez, un jour de calme plat, étalonner votre anémomètre de manière très acceptable.

Force (beaufort)	Vitesse (m/s)	Vitesse (km/h)	
0	<1	<1	calme – la fumée s'élève verticalement
1	0 à 2	1 à 5	très légère brise – la direction du vent est révélée par le sens de la fumée (une girouette reste immobile)
2	2 à 3	6 à 11	légère brise – le souffle du vent est perceptible sur le visage (une girouette ordinaire est mise en mouvement)
3	3 à 5	12 à 19	petite brise – les feuilles et les petites branches sont constamment agitées. Pavillons légers déployés.
4	5 à 8	20 à 28	jolie brise – le vent soulève la poussière et les papiers
5	8 à 11	29 à 38	bonne brise – les arbustes en feuilles balancent. Des vaguelettes créées se forment sur les lacs ou les étangs.
6	11 à 14	39 à 49	vent frais – les grandes branches et les fils télégraphiques bougent. L'usage des parapluies devient difficile.
7	14 à 17	50 à 61	grand frais – les arbres entiers sont agités. Il est pénible de marcher contre le vent.
8	17 à 20	62 à 74	coup de vent – les petites branches des arbres sont brisées.
9	20 à 24	75 à 88	fort coup de vent – le vent peut endommager les constructions légères (cheminées, ardoises arrachées)
10	24 à 28	89 à 102	tempête – rare à l'intérieur des terres. Graves dégâts aux constructions.
11	28 à 32	103 à 117	violente tempête – Très rare. Dommages étendus.
12	>32	>118	ouragan

Il souffle un vent de discordance entre les différentes sources consultées pour l'échelle de Beaufort (du nom du petit-fils d'Henti IV, l'amiral François de Vendôme, duc de Beaufort 1616-1669). Nous nous en sommes tenus aux indications de l'*Encyclopædia Universalis*, lesquelles ont paru conformes à ce que les loups de mer (pas si vieux que ça !) en cale sèche à la rédaction d'Ellex ont appris jadis dans leurs cours de météorologie.

construction

Vous commencez à voir où nous voulons en venir ? Cette dynamo est le cœur d'un moulin à vent dont il faut construire les ailes. Celles-ci sont faites d'un fil de cuivre rigide de 4 mm², par exemple, sur lequel sont attachées des demi-balles de ping-pong. La figure 1 donne une idée de l'ensemble. Le moteur peut, par exemple, être fixé dans un tube de PVC. Comme l'appareil doit travailler à l'extérieur et par tous les temps (à moins que vous n'ayez chez vous une soufflerie), il est recommandé de soigner l'étanchéité.

Deux fils sont ensuite soudés aux bornes de la dynamo pour y raccorder un microampèremètre, en série avec un potentiomètre ajustable de 100 Ω qui permet l'étalonnage. Comme la précision de la lecture dépend de la taille du cadran, il ne faut pas le prendre trop petit... À moins d'utiliser un module numérique universel, ou d'en récupérer un. L'ennui dans ce cas est qu'il faut en plus prévoir une alimentation.

étalonnage

C'est là que ça se corse. Pour étalonner un appareil, il faut en principe

en posséder déjà un, dit étalon : ça ne court pas les rues ; si vous disposez d'une soufflerie, pas de problème, là c'est la vitesse du vent qui est étalonnée : il n'y en a pas à tous les carrefours. Que faire alors ? Nous pouvons vous proposer une méthode, qui n'est pas des plus précises, certes, mais qui est à la portée du plus grand nombre. Elle ne nécessite que l'assistance d'un chauffeur et de sa voiture. Vous prenez donc la route, un jour où le vent est tombé aussi complètement que possible. Il faut à la fois conduire en scrutant le compteur du véhicule, maintenir l'appareil à l'extérieur et noter les indications respectives et simultanées du compteur du véhicule et du microampèremètre, ce qui est plus facile à plusieurs ! Réglez bien sûr le potentiomètre pour que le maximum de déviation obtenue corresponde à un vent de force 12. Si l'aiguille du galvanomètre danse trop pour permettre la lecture – vous aurez eu soin de vous en assurer avant le départ, avec un ventilateur par exemple – un condensateur aux bornes de l'instrument de mesure permet de la stabiliser.

Arrivé là, si votre montage vous donne satisfaction, pourquoi ne prendriez-vous pas contact avec Monsieur Labeadays, au club météo du lycée A. Bourdelle, 3 place Herriot 82017 Montauban Cedex, pour lui servir de correspondant ? 87678

elex-abc

interrupteur optique

Appelé aussi cellule ou photocoupleur à fourche, un interrupteur optique est un dispositif composé d'une diode photoémettrice et d'un photorécepteur, transistor (ou diode). Le récepteur est passant lorsqu'il reçoit la lumière de l'émetteur et bloqué lorsque cette lumière ne lui parvient plus. Cet interrupteur permet donc la détection rapide d'un objet opaque, sans contrainte mécanique (sans frottements). On trouve des interrupteurs en un seul boîtier, en forme de fourche, mais on peut aussi les réaliser assez facilement en achetant les deux composants séparément.

EPROM

Une Erasable and Programmable Read Only Memory, est une mémoire programmable et effaçable, accessible seulement en lecture dans le dispositif où elle est incluse. La programmation, à l'aide d'un appareil spécial permet d'y écrire des données (programme informatique utilisable par un microprocesseur) qui ne nécessitent pas d'alimentation pour être conservées (à la différence des mémoires dites volatiles). Pour en effacer le contenu, on expose la fenêtre dont elle est dotée aux rayons ultra-violet, après quoi il est possible d'y entrer un nouveau programme.



le multivibrateur

son et lumière
électroniques

astable

Les transistors-commutateurs du mois dernier vont nous servir pour construire un oscillateur. Le nombre des composants nécessaires est limité, contrairement à celui des applications possibles. La plage des fréquences est assez vaste pour couvrir des domaines aussi variés que les générateurs de signaux à haute fréquence, de signaux audio, la commande de relais ou de lumières clignotantes.

astable, bistable, monostable,

ces trois adjectifs, associés au substantif **multivibrateur** désignent trois circuits fondamentaux de logique électronique. Un multivibrateur présente en permanence à sa sortie (ou au deux, s'il en a deux) l'une ou l'autre de deux valeurs de tension : zéro ou une valeur proche de la tension d'alimentation. Le mot stable dans les désignations indique si les sorties retournent de préférence à l'un des états. Un monostable peut être écarté de son état de repos, mais il y revient au bout d'un certain temps. Un bistable reste dans l'état où l'a mis la dernière commande. Que l'état stable soit au niveau haut ou au niveau bas est sans importance.

Un multivibrateur astable est un indéfini, un éternel insatisfait. Il ne se trouve pas bien dans l'état où il est, alors il le quitte ; sitôt arrivé à l'état opposé, il a la nostalgie de l'état précédent et il y retourne. Le mot état signifie niveau logique : présence ou absence

de tension. L'alternance régulière de niveaux hauts et bas, de uns et de zéros, sur les sorties du multivibrateur s'appelle une oscillation. Si la fréquence de l'oscillation est assez élevée, elle peut produire un son dans un haut-parleur. Tous les circuits qui produisent des oscillations périodiques s'appellent des oscillateurs, quelle que soit la forme des ondes qu'ils produisent. Le multivibrateur est un oscillateur particulier qui produit un signal rectangulaire.

oscillation, fréquence, période

Avant d'attaquer le circuit, il faut rappeler quelques définitions relatives aux oscillateurs. La **figure 1a** montre l'évolution (quelconque) d'une tension en fonction du temps. L'échantillon représenté est irrégulier et la forme ne se répète pas. Il est impossible de déterminer une fréquence pour ce signal qui

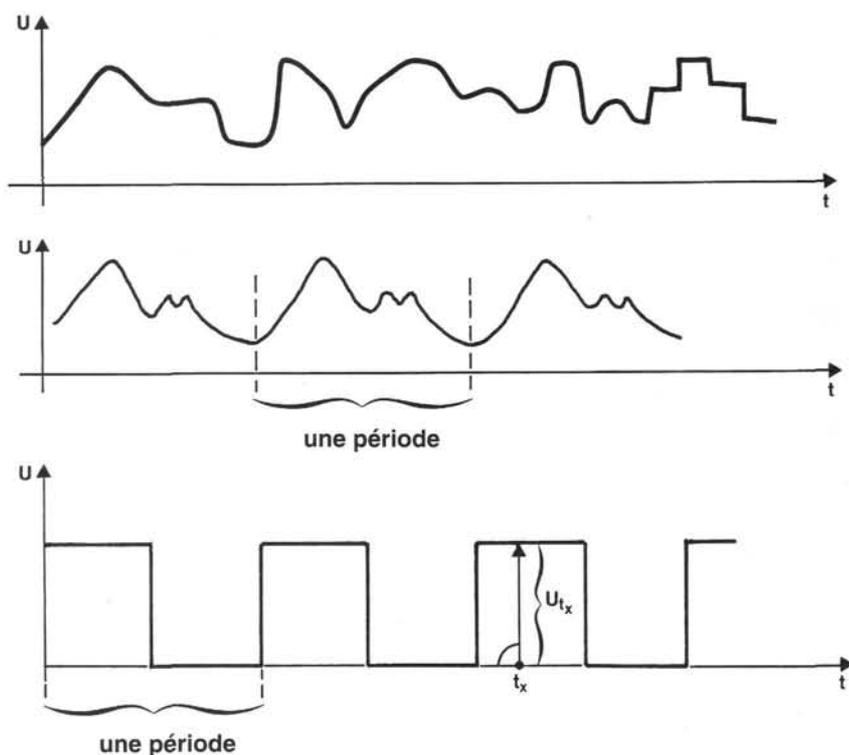


Figure 1 - On représente des tensions électriques continuellement variables dans un système de coordonnées dont l'axe horizontal (x) représente le temps. À chaque point, quelconque, de l'axe des temps, la tension peut être déduite de la distance verticale entre le point correspondant de la courbe et l'axe horizontal. Il y a une différence importante entre les signaux périodiques et les signaux non-périodiques. La figure 1b montre un signal périodique : une même forme se répète constamment. Le temps que demande cette répétition s'appelle une période. Le signal produit par le multivibrateur astable est une tension périodique particulière, il s'agit d'un signal rectangulaire.

aller-retour

ne se répète pas, qui n'est pas **périodique**. La figure 1b, au contraire, représente un signal qui se répète périodiquement, même si la forme d'une période n'est ni simple ni régulière. La période se définit comme l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux apparitions de la même tension, évoluant dans le même sens. Le nombre des périodes qui se produisent en une seconde s'appelle la fréquence. L'unité de fréquence est le hertz. La fréquence est de un hertz (1 Hz) quand la période dure exactement une seconde. Plus le nombre de hertz est élevé, plus la période est courte. Le kilohertz (1 kHz) est le premier multiple du hertz, il représente 1000 périodes par seconde. Il est suivi par le mégahertz, un million de périodes par seconde. La période est une notion plus mathématique que physique, ce qu'on observe en réalité, ce sont des oscillations. Où est la différence ? Imaginez une lame de scie à métaux serrée par une extrémité dans un étau. Vous l'écartez de sa position et vous la lâchez, elle oscille. Il ne vous viendrait pas à l'idée de dire qu'elle fabrique des « périodes ». Ce que nous observons, c'est un mouvement de va et vient de part et d'autre de la position de repos. Une oscillation est constituée par un mouvement vers la droite, un mouvement vers la gauche, et le retour à la position de repos.

C'est la représentation mathématique (graphique) d'une oscillation qu'on appelle une période : on représente sur une échelle graduée en temps la position de l'extrémité de la lame à chaque instant. Pour indiquer la fréquence, il est indifférent de parler de périodes ou d'oscillations par seconde.

La figure 1c représente la tension, en fonction du temps, à l'une des sorties du multivibrateur astable. Ce qui est remarquable dans ce diagramme temps-tension, c'est la régularité du tracé : il s'agit d'une oscillation rectangulaire. Il est vrai que cette représentation est un peu idéalisée ; la réalité est légèrement différente, nous allons voir pourquoi.

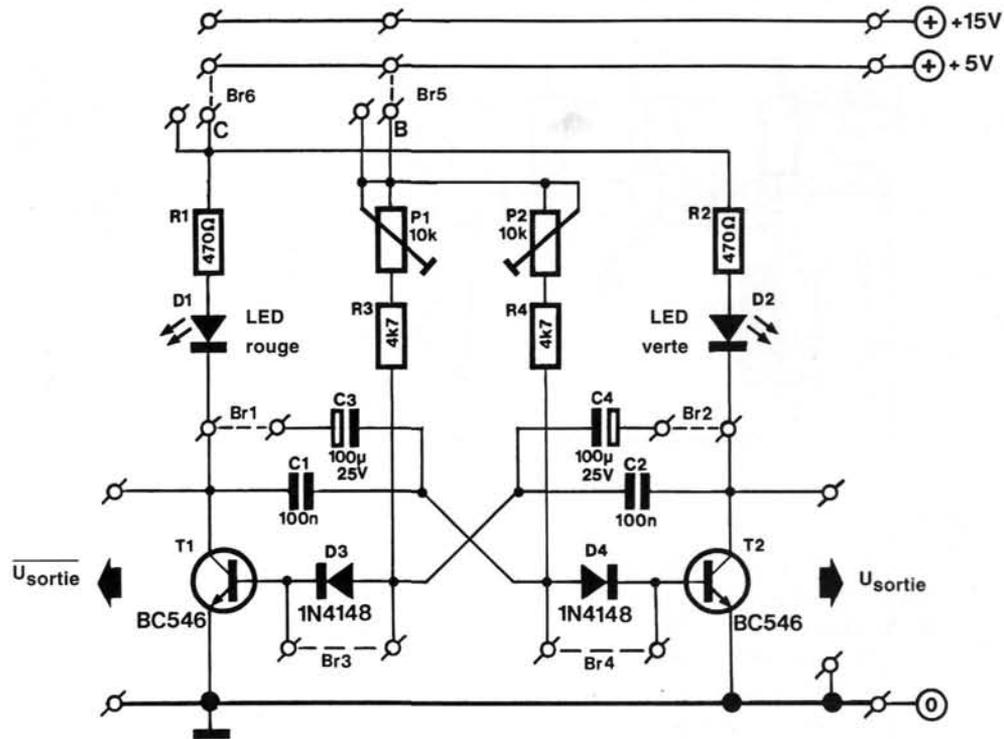
oscillateur et bascule

L'électronique permet de fabriquer un très grand nombre de types de circuits oscillants. Le multivibrateur astable a ceci de particulier qu'il passe brutalement d'un état d'équilibre à un autre ; on dit qu'il bascule, on appelle les multivibrateurs des **bascules**. Intéressons-nous maintenant à la bascule astable représentée sur la **figure 2**. Heureusement, les phénomènes qui s'y produisent sont plus faciles à comprendre qu'à expliquer.

Il ne s'agit pas de demander un billet de chemin de fer, mais du trajet du signal dans le montage à deux transistors de la figure 2. La conception symétrique du circuit est évidente. Les deux transistors travaillent en mode de commutation, mode que nous connaissons bien. Cela signifie que la tension sur leur collecteur est soit nulle (ou presque) soit égale à la tension d'alimentation (ou presque). Pour comprendre ce qui se passe dans le montage, nous choisissons un point quelconque du diagramme temps-tension et nous cherchons quels sont, à cet instant précis, l'état des transistors, les tensions et les courants. Un composant dont nous n'avons pas encore signalé la présence apparaît ici : le condensateur. Pour comprendre le fonctionnement du multivibrateur, il faut nous rappeler l'une de ses propriétés, sa faculté de stocker une charge.

La **figure 3** montre un condensateur connecté à une résistance en série. Une tension déterminée est appliquée au pôle du condensateur repéré par U_C . Le condensateur se charge à cette tension. Pour cela la charge doit entrer dans le condensateur. Un déplacement de charge n'est autre qu'un courant. Si le condensateur est vide, le courant est important ; il diminue au fur et à mesure que le condensateur se charge, pour s'annuler quand il est com-

Figure 2 - Le schéma du multivibrateur astable. La symétrie est évidente et elle confère au schéma son côté artistique. Les nombreux ponts de câblage sont destinés à permettre différentes expérimentations dont nous reparlerons. Pour que le montage fonctionne, il est indispensable de placer les ponts B et C sur la tension d'alimentation. Si les ponts 1 et 2 sont absents, la fréquence est assez haute pour produire un signal audible par l'intermédiaire d'un amplificateur et d'un haut-parleur. Les résistances R3 et R4, dites résistances-talons, évitent que les potentiomètres, en fin de course, appliquent la tension d'alimentation directement sur les bases des transistors.



escarpolette

plètement chargé. Ce courant traverse aussi la résistance R et il peut y être mesuré. La deuxième partie de la figure 3 montre le comportement de la tension et du courant depuis la mise sous tension jusqu'à la fin de la charge du condensateur.

La figure 4 montre deux phases dans lesquelles les transistors sont représentés comme des interrupteurs. Dans le premier cas, l'interrupteur (transistor) de gauche est fermé, parce qu'une tension de 0,7 V est appliquée à sa base par R3. La résistance R4 permet au condensateur C2 de se charger à cette tension faible par rapport à la masse, avec la polarité indiquée par le schéma. Comme T1 conduit, le condensateur C1 se charge à travers R2 (son autre pôle est mis à la masse par la conduction de T1). La tension au pôle positif de C1 croît (à une vitesse déterminée par sa capacité) jusqu'à ce que le transistor T2 se mette à conduire, c'est-à-dire jusqu'à 0,7 V. L'entrée en conduction de T1 rend négatif par rapport à la masse le potentiel de la borne marquée - de C2, si bien que T1, dont la base est au même potentiel, se bloque. La situation est maintenant celle du deuxième schéma : les rôles sont inversés, le phénomène va se répéter, avec des polarités inversées sur les condensateurs.

Pour mettre en mouvement notre bascule, il faut et il suffit qu'elle soit câblée sans erreur et que la tension d'alimentation soit appliquée par deux ponts en fil. Vous pourrez vérifier par la suite que la valeur de la tension, 5 V ou 15 V, n'a pas grande influence sur le fonctionnement. Placez d'abord les ponts 5 et 6 pour relier les points B et C à la tension d'alimentation. Comme les condensateurs

C1 et C2 déterminent la fréquence et que nous voulons utiliser notre multivibrateur comme circuit de clignotant, nous plaçons aussi les ponts 1 et 2. Des condensateurs de forte capacité demandent plus de temps pour se charger, ce qui diminue la vitesse de commutation des transistors T1 et T2. Deux condensateurs connectés en parallèle (C1 avec C3, C2 avec C4) présentent une capacité égale à la somme des deux capacités.

Figure 3 - Après la fermeture de l'interrupteur S le condensateur C se charge jusqu'à la tension U. On peut le vérifier en connectant un voltmètre en parallèle sur le condensateur. L'augmentation de la tension n'est pas linéaire, mais exponentielle. La résistance R représente la jonction base-émetteur d'un transistor du multivibrateur. Au début de la charge, le

courant est intense, pour devenir de plus en plus faible, à mesure que la charge emmagasinée par le condensateur augmente. Le courant traverse la résistance et peut être mesuré soit par un ampèremètre en série, soit par un voltmètre en parallèle sur la résistance. La courbe du courant est symétrique de la courbe de la tension.

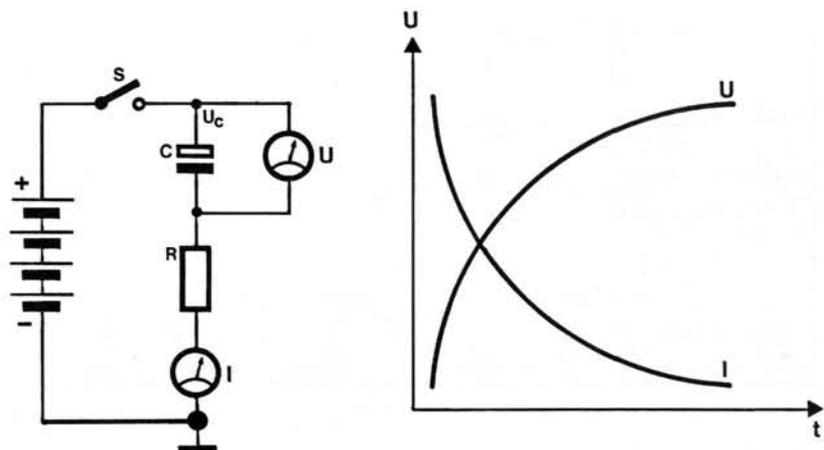
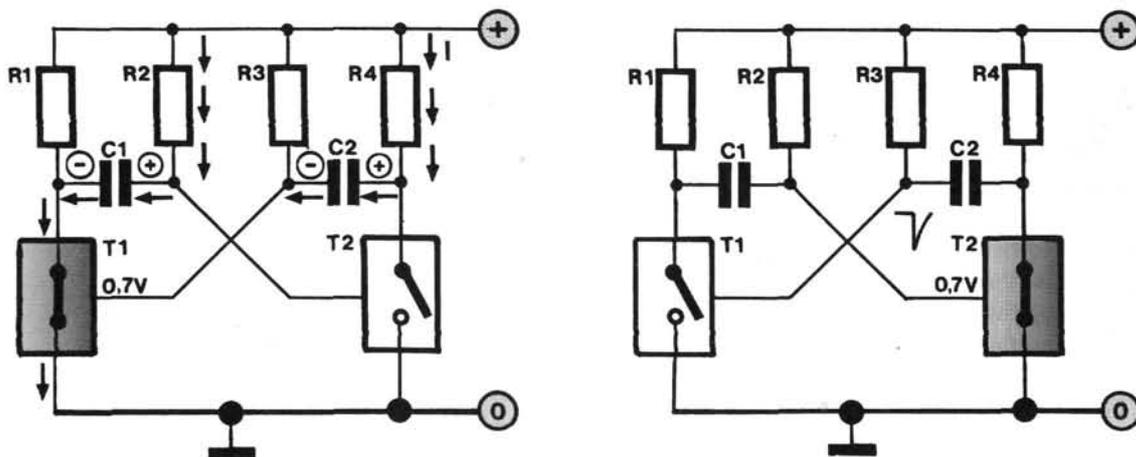


Figure 4 - Les deux états électriques du multivibrateur sont symétriques. Ils permettent les oscillations du montage.



Dès la mise sous tension, le multivibrateur doit osciller à une fréquence de quelques hertz. Pour mettre le fonctionnement en évidence sans appareil de mesure, nous avons prévu des diodes électroluminescentes dans le circuit de charge des collecteurs. Elles doivent s'allumer à tour de rôle : ça marche !

Le réglage des potentiomètres P1 et P2, en modifiant la résistance de charge des condensateurs, permet de modifier leur temps de charge. Cela signifie que la LED de droite va s'allumer plus ou moins longtemps que celle de gauche. Si le réglage diffère d'un potentiomètre à l'autre, la tension

mesurée sur un des collecteurs prend l'allure de la figure 5.

On caractérise une oscillation rectangulaire par le rapport entre le temps actif et le temps de pause. Le merlon du créneau, l'état haut de la sortie, s'appelle impulsion, l'embrasure, ou l'état bas, s'appelle pause. On appelle communément *rapport cyclique* le rapport, exprimé en pourcentage, entre la durée de l'impulsion et celle de la période. Un signal carré, dont la durée d'impulsion est égale à celle de la pause a donc un rapport cyclique de 50%. Le signal rectangulaire de notre multivibrateur sera carré si les deux potentiomètres, P1 et P2, sont réglés à la même valeur. Tout comme pour la

résistance de charge, un changement de la valeur des condensateurs provoque une modification du rapport cyclique. Le changement du rapport entre les deux capacités provoque à la fois une variation du rapport cyclique et une variation de la fréquence. Pour obtenir une modification du rapport cyclique sans modification de la fréquence, il faut compenser la réduction d'une capacité par une augmentation de l'autre.

Si vous disposez d'un oscilloscope à deux traces (ou d'une extension double trace), vous pouvez constater que les deux sorties du multivibrateur sont complémentaires : l'une est haute quand l'autre est basse, et vice versa.

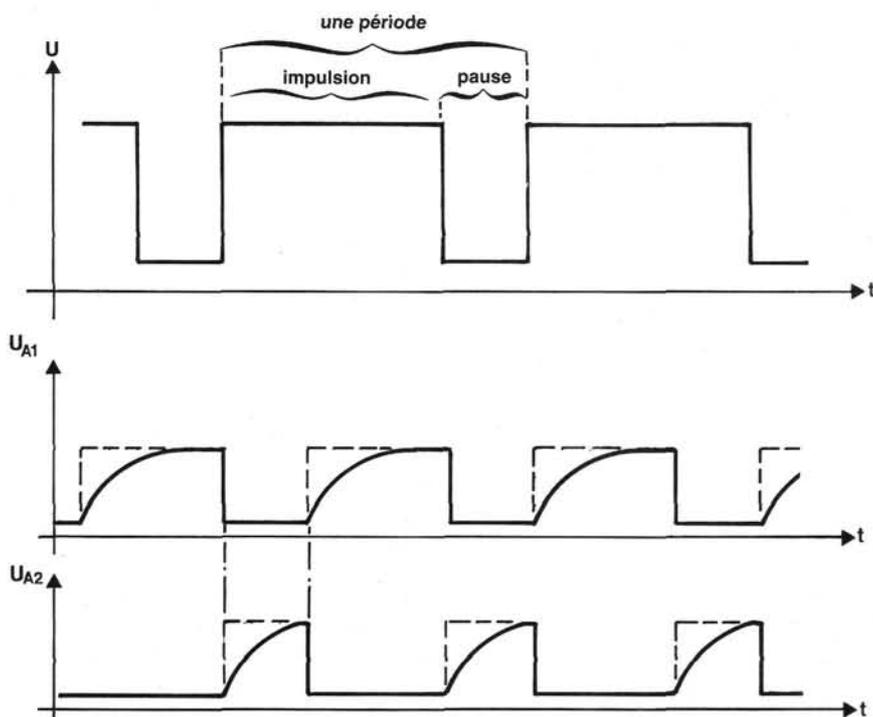


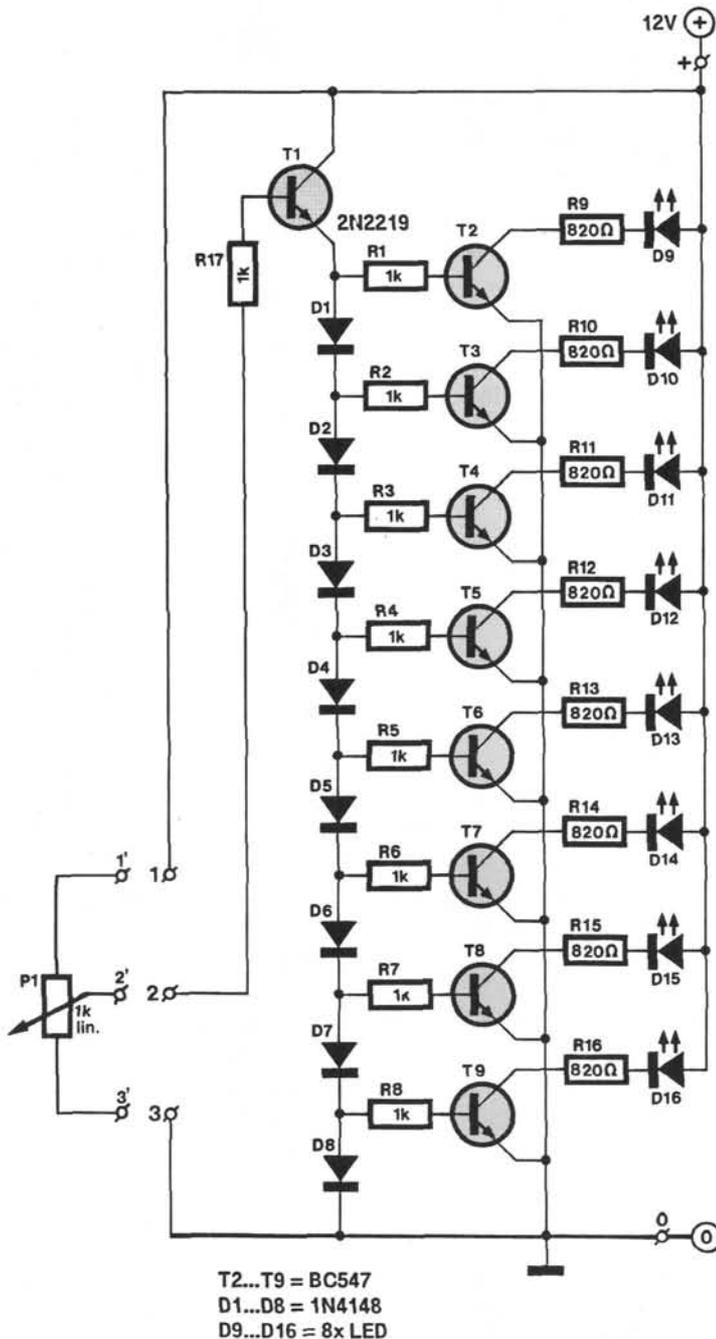
Figure 5 - Un signal rectangulaire avec des états haut et bas de durée différente, comme en produit notre multivibrateur quand les potentiomètres P1 et P2 sont réglés différemment.

Figure 6 - Le signal d'une sortie est de niveau opposé à celui de l'autre. On dit que les sorties sont complémentaires. Comme le condensateur ne se charge pas instantanément (voir la figure 3), les fronts montants des courbes sont arrondis et non raides comme sur les diagrammes théoriques.

indicateur

pour servo-mécanismes

de position



Vous connaissez bien le problème. Vous commandez un appareil à distance grâce à un servo-moteur, mais vous ne savez pas dans quelle position se trouve effectivement l'organe télécommandé. Il peut s'agir d'une antenne orientable, d'une vanne d'eau ou de chauffage ou... Ce petit montage vous permet de connaître à tout instant la position de l'axe que vous avez fait tourner à distance.

Le premier problème est de transformer une position en un signal électrique. Nous pourrions installer sur l'axe un disque percé de trous ; de part et d'autre du disque, une source de lumière et un phototransistor. Si le disque tourne, le passage des trous devant le phototransistor provoque des impulsions de tension que nous pourrions compter. Il existe une autre possibilité : un potentiomètre, qui peut être à axe rotatif pour capter la rotation d'un axe, ou rectiligne pour capter une translation. La variation de résistance peut être transformée facilement en une variation de tension ou d'intensité. C'est ce système qu'utilise le circuit que nous décrivons ici. Il est probable que vous aurez un petit travail mécanique à réaliser pour transformer le mouvement de l'appareil à surveiller en un mouvement du potentiomètre. Tous les

procédés sont bons, vous choisirez entre les poulies, les bielles et les roues dentées en fonc-

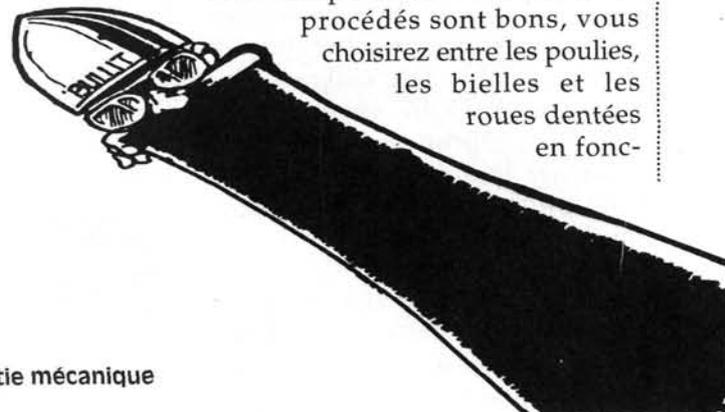


Figure 1 - La partie électronique de l'indicateur de position. La partie mécanique dépend de l'appareil à surveiller.

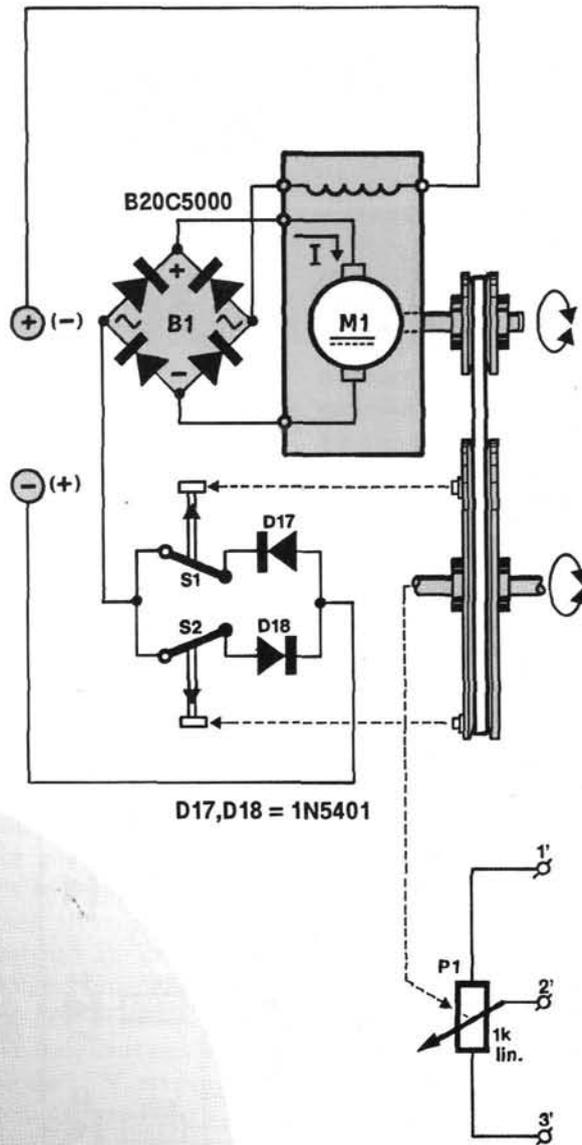
Figure 2 - L'indicateur de position comprend une bonne part de travail mécanique. Les contacts de fin de course empêchent le moteur de causer des dégâts au potentiomètre ou au reste de l'installation en dépassant les limites permises. Tous les géomètres savent que passé les bornes, il n'y a plus de limite.

tion des caractéristiques de l'appareil.

Le schéma de l'indicateur de position est représenté par la figure 1. L'axe du potentiomètre P1 est assujéti à celui dont nous voulons connaître la position. Comment cela fonctionne-t-il ? La tension du curseur du potentiomètre dépend de la position de l'axe, elle commande la tension de l'émetteur du transistor T1. L'utilisation de l'émetteur-suiveur dispense le potentiomètre de fournir le courant de base nécessaire aux transistors T2 à T9. Si ce courant, variable, devait traverser le potentiomètre et les fils qui le relie au circuit, l'indication serait faussée par les chutes de tension accumulées. Ici au contraire, le courant est fourni par l'émetteur de T1, dont la tension suit celle de la base (au décalage de 0,6 V près). Comme le courant de base est 100 à 200 fois plus faible que le courant d'émetteur, il ne perturbe pas le fonctionnement.

Il s'agit bien d'un montage en émetteur-suiveur ; la résistance en série dans le circuit de la base ne sert qu'à limiter l'intensité dans le cas où la tension du potentiomètre excéderait la somme des seuils de tension des diodes D1 à D8. Si la tension de l'émetteur est inférieure à 0,6 V, aucun des transistors ne voit une tension suffisante sur sa base, aucune LED ne s'allume. À partir de 0,6 V, le transistor T2 peut conduire et D9 s'allume. Pour que D1 conduise, il faut que la tension atteigne 1,2 V : la somme du seuil de D1 et du seuil de la jonction base-émetteur de T3. Si la tension sur l'émetteur de T1 atteint 1,2 V, D10 s'allume. Si la tension atteint 1,8 V, ce sera au tour de T4 de conduire et de D11 de s'allumer. De même, les autres LED vont s'allumer au fur et à mesure que la tension passera les seuils successifs de 0,6 V.

Le but recherché est atteint : la rangée de LED allumées s'allonge à mesure que la tension du curseur augmente, jusqu'à 4,8 V. La rotation



de l'axe après que D16 est allumée n'a pas de sens mais reste possible. D'où l'utilité de la résistance R17 en série dans le circuit de base, mais aussi des contacts de fin de course S1 et S2 insérés dans le circuit du moteur.

La figure 2 représente le principe de l'installation du moteur, des contacts de fin de course et du potentiomètre. Le moteur M1 est un modèle à courant continu à excitation séparée, ou à aimant permanent. Dans le cas d'un moteur à aimant permanent, l'enroulement du stator n'existe pas, ni le pont de diodes B1. Le moteur à aimant permanent permet l'inversion du sens de rotation par inversion de la polarité de l'alimentation. Ce n'est pas le cas du moteur série, dont les deux enroulements changent de sens en même temps ; cela lui permet de fonctionner aussi bien en courant alternatif qu'en courant continu.

Dans notre cas, c'est un inconvénient puisque nous voulons pouvoir changer le sens de rotation. Si vous voulez utiliser un moteur série (moteur d'essuie-glaces de récupération par exemple), il faudra modifier le câblage et ajouter le pont redresseur B1. Quelle que soit la polarité de l'alimentation, le rotor reste parcouru par un courant de même sens ; comme le courant du stator change de sens, le moteur change de sens de rotation.

Pour éviter que le moteur tourne au-delà des limites mécaniques, les interrupteurs S1 et S2 entrent en service, avec les diodes D17 et D18. Supposons que la borne supérieure est positive et que le moteur tourne jusqu'à ce qu'un ergot ouvre l'interrupteur S2. Comme D17 est bloquée, la liaison au pôle négatif est coupée et le moteur s'arrête. Il n'est pas immobilisé pour autant : si la borne

supérieure devient négative, D17 est passante et permet au moteur de tourner dans l'autre sens. Dès que l'ergot quitte sa position de fin de course, S2 se ferme ; dès que l'autre ergot ouvre S1, le moteur s'arrête, il est prêt à revenir dans l'autre sens. Les butées de fin de course et la démultiplication doivent être combinées de telle façon que D9 s'allume pour l'une des positions extrêmes et D9 à D16 pour l'autre. La figure 3 montre la disposition des composants sur une platine d'expérimentation de petit format (attention aux 5 ponts en fil). Ce montage se prête bien à un exercice de dessin de circuit imprimé, où les LED seraient disposées sur un cercle pour reproduire un mouvement rotatif.

Les détails de la partie mécanique sont à définir dans chaque situation particulière. À vous de jouer avec les poulies, courroies, engrenages de Meccano ou de vieux réveils... C'est peut-être l'occasion de voir comment calculer le diamètre des poulies ou le nombre de dents des pignons pour obtenir l'angle de rotation correct de l'axe du potentiomètre. Nous appellerons n1 le nombre de rotations de la poulie motrice, d1 son diamètre, n2 le nombre de rotations de la poulie réceptrice, d2 son diamètre. La formule qui les lie est :

$$d2 = \frac{d1 \times n1}{n2}$$

Attention : le débattement d'un axe de potentiomètre n'est que de trois quarts de tour. Dans le cas des pignons et roues dentées, il suffit de remplacer les diamètres par les nombres de dents respectifs. Pour finir, quelques mots sur le pont de diodes du moteur. Nous ne sommes plus dans le domaine de l'électronique, mais déjà dans celui de l'électrotechnique. Les courants mis en oeuvre sont importants à notre échelle : un moteur d'essuie-glace consomme 4 à 5

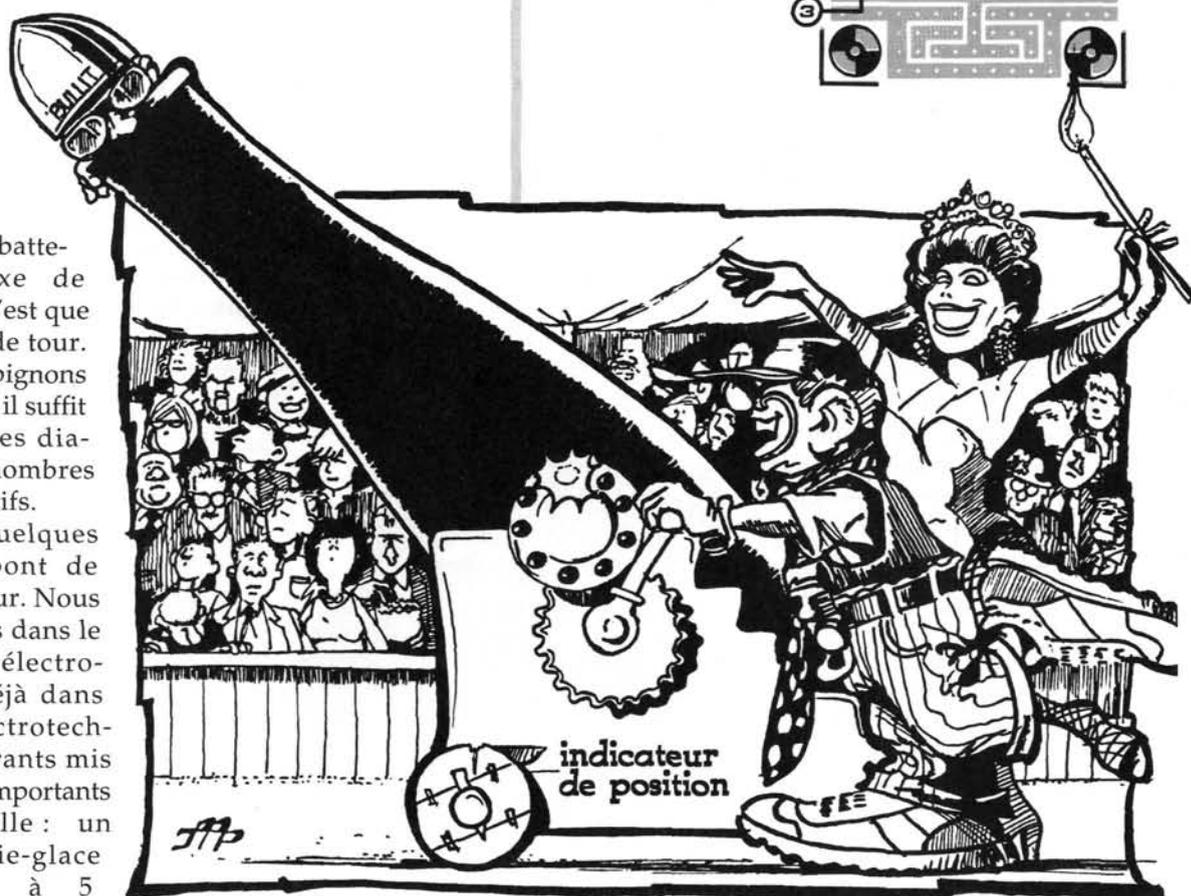
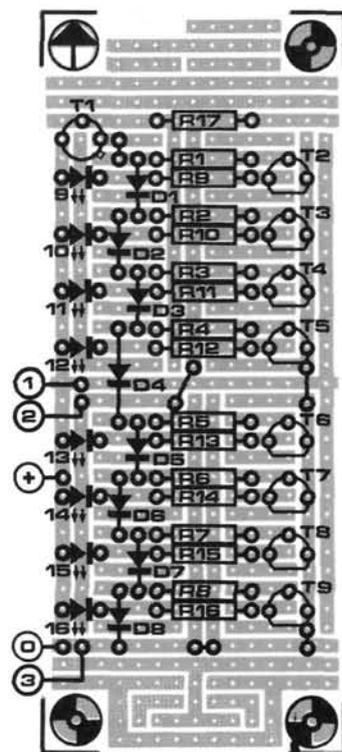
ampères. Le pont B20C5000 supporte 5 ampères, les diodes 1N5401 (D17 et D18) 3 ampères. Si le moteur que vous utilisez consomme plus de 3 A, il faudra choisir des composants adaptés, en tenant compte du fait qu'au démarrage un moteur consomme plusieurs fois son courant nominal.

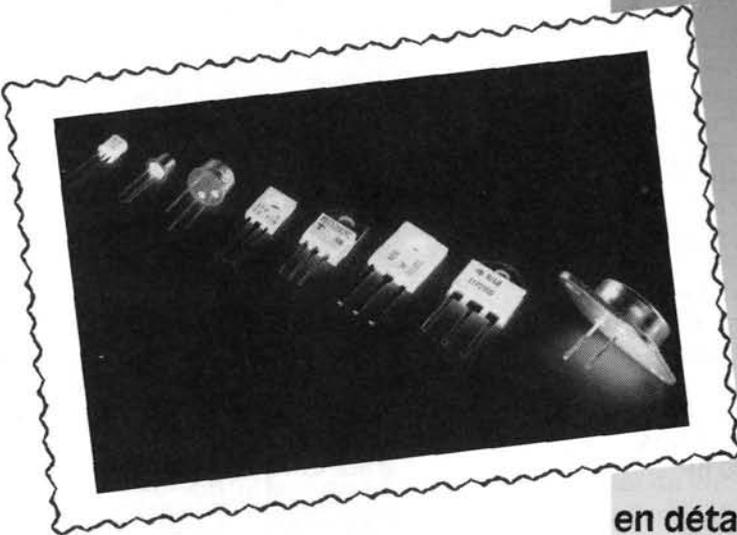
87614

Figure 3 - Le montage sur une platine d'expérimentation ne pose pas de problème particulier. La cathode des diodes 1N4148 est repérée par un anneau, celle des LED correspond à la broche la plus courte, au méplat sur le corps, à la plus volumineuse des deux électrodes visibles par transparence.

liste des composants

- R1 à R8, R17 = 1 kΩ
- R9 à R16 = 820 Ω
- P1 = 1 kΩ lin.
- D1 à D8 = 1 N4148
- D9 à D16 = LED
- T1 = 2N2219
- T2 à T9 = BC547





Parmi les causes possibles de mauvais fonctionnement d'un montage, il y a l'inversion du collecteur et de l'émetteur d'un transistor. Dans ces conditions, il fonctionne encore normalement, mais ses caractéristiques, notamment le gain en courant, sont fortement dégradées. Pour comprendre ce qui se passe quand le rotsisnart est monté à l'envers, commençons par voir en détail comment il fonctionne à l'endroit.

Transistors à l'envers

des semi-conducteurs qui fonctionnent à moitié

Tous ceux qui ont assemblé des montages électroniques se sont trouvés devant ces trois possibilités, une fois la dernière soudure faite :
 – ça marche ! et youpi !
 – ça ne marche pas du tout. Le plus souvent, c'est dû à une faute grossière : circuit intégré à l'envers dans (ou sur) son support, tension d'alimentation de polarité inverse, ou interrupteur resté ouvert. Ce genre de défaut se détecte et se corrige facilement.

– ça marche un peu de temps en temps. C'est là que les choses se corsent.

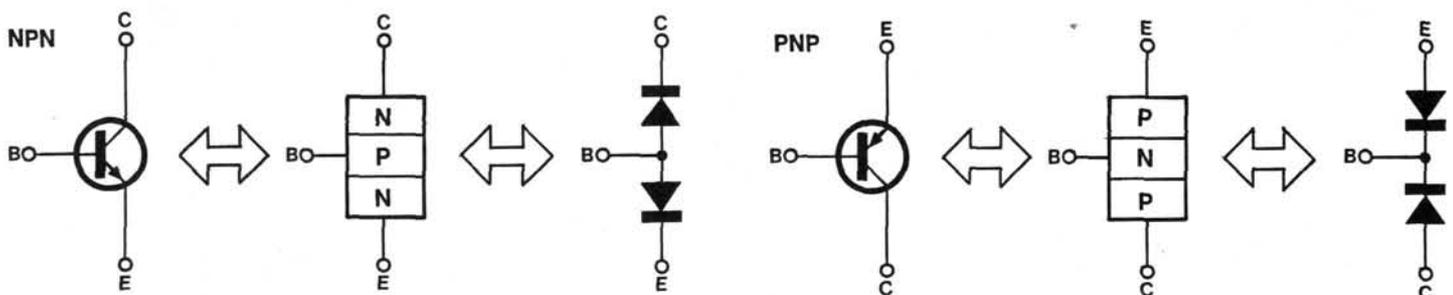
Comme le Tour de France approche, faisons une comparaison avec la recherche d'une crevasion dans une chambre à air : on trouve plus facilement un gros trou qu'une zone poreuse.

Les transistors sont faits de silicium (le germanium a eu son heure), le silicium n'est autre que du sable, mais le sable ordinaire ne convient pas pour la fabrication de transistors. Toutes les molécules doivent être rangées ou alignées, le silicium doit être **mono-cristallin**. Un transistor comporte trois couches de silicium, qui ne sont pas simplement superposées. Lors de la fabrication,

les cristaux sont « dopés » ; une quantité infime d'impuretés, de métaux étrangers, y est ajoutée. Ce sont ces impuretés qui permettent le fonctionnement du transistor : le silicium pur est un isolant parfait qui ne permettrait jamais à un transistor de fonctionner. Suivant la nature de l'impureté que reçoit le silicium, il libère des électrons (type N) ou bien il en accepte (type P).

Les trois couches d'un transistor sont alternativement de type N et P, pour constituer des dispositifs NPN ou PNP, comme le montre la **figure 1**. Chaque jonction constitue une diode ordinaire, le transistor peut être considéré comme un assemblage de deux diodes en série tête-bêche. C'est vrai pour le test de transistors au

Figure 1 - Un transistor est un sandwich de trois couches de matériau semi-conducteur (silicium P et N). Vu de l'extérieur, il répond au multimètre comme le feraient deux diodes.



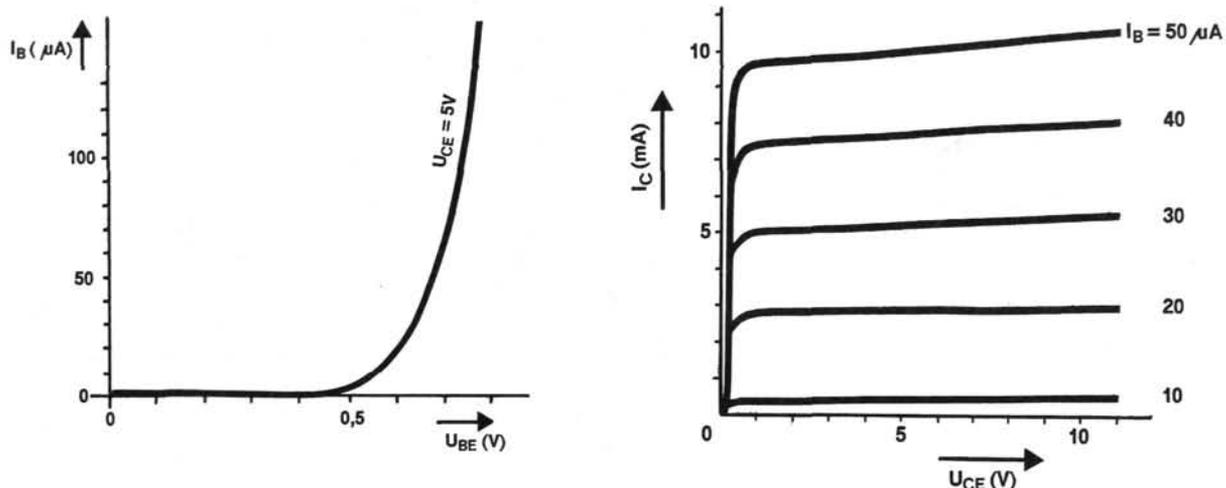


Figure 2 - Les deux caractéristiques importantes d'un transistor. En a, la caractéristique d'entrée, c'est-à-dire l'intensité du courant de base en fonction de la tension ; en b, la caractéristique de sortie montre que le courant de collecteur dépend peu de la tension collecteur-émetteur, mais principalement de l'intensité du courant de base.

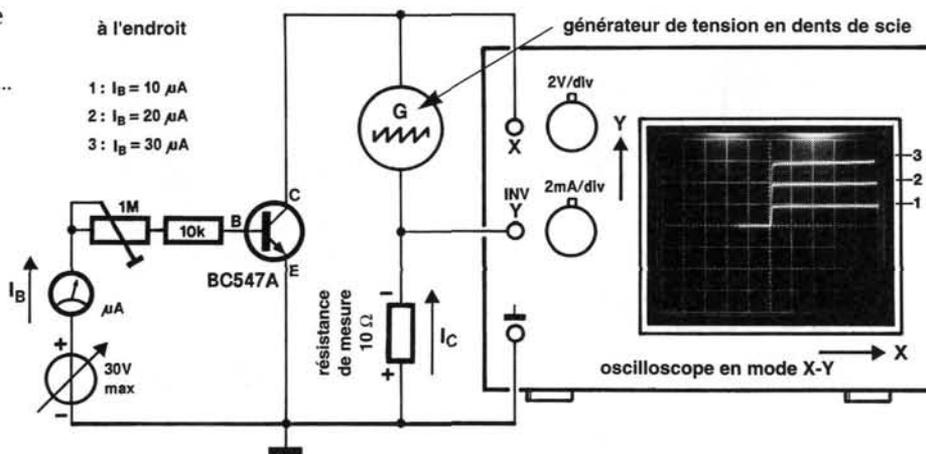
multimètre, mais pas pour le fonctionnement. Si on ne peut pas remplacer un transistor par deux diodes, c'est parce que la couche qui forme la base doit être très mince par rapport à l'émetteur et au collecteur.

Du fait de la structure symétrique, on pourrait supposer qu'il est indifférent que l'une ou l'autre connexion extrême soit prise comme collecteur ou comme émetteur. Il n'en est rien. Pour que le gain en courant soit appréciable, il faut que le collecteur soit beaucoup moins dopé (chargé en impuretés) que l'émetteur. La figure 2 montre les caractéristiques d'un transistor NPN connecté normalement. La caractéristique d'entrée représente le courant de base en fonction de la tension base-émetteur. La jonction base-émetteur se comporte comme une diode : jusqu'à un seuil de 0,5 à 0,6 V, aucun courant ne passe, ou presque. Passé ce seuil, le courant augmente très rapidement pour une faible augmentation de la tension, pour se stabiliser à une valeur presque constante.

Le diagramme b de la figure 2 montre la caractéristique de sortie, c'est-à-dire l'intensité du courant de collecteur en fonction du courant de base. À chaque valeur du courant de base correspond une intensité du courant de collecteur, le rapport entre ces deux intensités (I_C/I_B) s'appelle le gain en courant. Notez que pour un courant de base donné la tension collecteur-émetteur est pratiquement sans effet sur le courant de collecteur. Ces caractéristiques ne sont valables que jusqu'à un certain point ; passé une certaine tension, le transistor « claque » : le courant de collecteur augmente jusqu'à la destruction des jonctions. Une installation de mesure comme celle de la figure 3 permet de tracer sur un écran d'oscilloscope les courbes de la figure 2. Le potentiomètre permet de fixer l'intensité du courant de base. Un générateur de dents de scie fait varier constamment la tension entre environ -3 V et

+10 V. Cette tension collecteur-émetteur est utilisée d'autre part pour attaquer l'entrée horizontale (X) de l'oscilloscope. Le courant de collecteur correspondant est mesuré par la chute de tension qu'il provoque à travers une résistance de 10 Ω ; cette tension, image du courant, est appliquée à l'entrée verticale (Y) de l'oscilloscope. Pour obtenir une image à l'endroit sur l'écran, il faut inverser le signal Y, ce que permettent la plupart des oscilloscopes. La photo de la figure 3 montre le comportement du transistor pour 3 courants de base différents. Elle résulte de trois mesures différentes, et de la superposition de trois prises de vues. Même un photographe amateur, pourvu qu'il dispose d'un pied stable, peut réaliser ce genre de photo. Quand, en plus, on dispose d'un Polaroid, le résultat est garanti. Nous voyons que pour un courant de base de 20 μA, ligne du milieu, le courant de collecteur est de 4 mA

Figure 3 - Le montage de test qui permet de tracer la caractéristique d'un transistor sur un écran d'oscilloscope. La photo est obtenue par trois prises de vues successives.



le transistor en commutateur

environ ; le gain est donc de $0,004/0,0002 = 200$. La figure 4 représente le test du transistor à l'envers, avec le même dispositif de mesure. Les diagrammes qui en résultent ressemblent un peu à ceux de la figure 3, mais avec des différences importantes. Tout d'abord le courant de base doit être beaucoup plus intense que précédemment pour provoquer un courant de collecteur (ici d'émetteur) notable. Pour que le courant soit de 4 mA, comme dans le montage normal, il faut porter le courant de base à 1,5 mA au lieu de 20 μ A. Le gain est donc de $4/1,5 = 2,66$. Cette différence de gain est due, comme nous l'indiquions au début, à la différence de dopage entre le collecteur et l'émetteur.

Une deuxième différence est la courbure prononcée des trois courbes dans la partie droite, c'est-à-dire pour les tensions les plus fortes. À partir de 6 V environ, le courant de collecteur (émetteur) croît rapidement sans que le courant de base ait augmenté. L'explication tient ici aus-

si à la différence de structure des deux diodes qui constituent le transistor. Leurs caractéristiques sont différentes, notamment leur tenue en tension inverse. La jonction base-collecteur est bloquée en fonctionnement normal, elle doit donc supporter des tensions inverses importantes, d'environ 30 V pour le BC547 de notre exemple. Par contre, la jonction base-émetteur est toujours polarisée dans le sens direct pour le fonctionnement normal ; le fabricant n'attache aucune importance à sa tenue en tension inverse. Connectée à l'envers, cette jonction travaille en blocage, mais comme sa tenue est limitée à une tension de 5 ou 6 V, elle se comporte comme une diode zener. Le courant passe sans encombre à travers cette diode zener et la jonction base-collecteur (émetteur) polarisée dans le sens passant. Suivant le montage où ce transistor est monté, suivant la tension d'alimentation et la charge de collecteur ou d'émetteur, le transistor risque de trépasser.

Le transistor est utilisable aussi dans un circuit non-linéaire, en tout ou rien ; qu'arrive-t-il si le collecteur et l'émetteur sont intervertis ? Le circuit de mesure est celui de la figure 5. Les transistors utilisés en commutation sont pilotés par des courants de base relativement importants, qui provoquent la saturation et donnent une tension de déchet collecteur-émetteur minimale. Ce courant circule par la résistance de 10 k Ω quand l'entrée est au niveau haut. Il provoque l'entrée en conduction du transistor et la tension du collecteur passe au niveau de la masse (la trace inférieure de l'écran). Suivant la loi d'Ohm, le courant de collecteur est égal à $5 \text{ V}/10 \text{ k}\Omega = 0,5 \text{ mA}$. Dans cet exemple de calcul, la tension collecteur-émetteur (de 0,2 V environ) est négligée. Le courant de collecteur, si on le calcule en fonction du gain et du courant de base, devrait être beaucoup plus important, mais il est limité par la tension d'alimentation et la résistance de collecteur : on dit que le transistor est saturé. Du fait de cette saturation, il faut un certain temps, après l'annulation du courant de base, pour que la tension de collecteur reprenne sa valeur « haute » (effet de stockage des charges dans

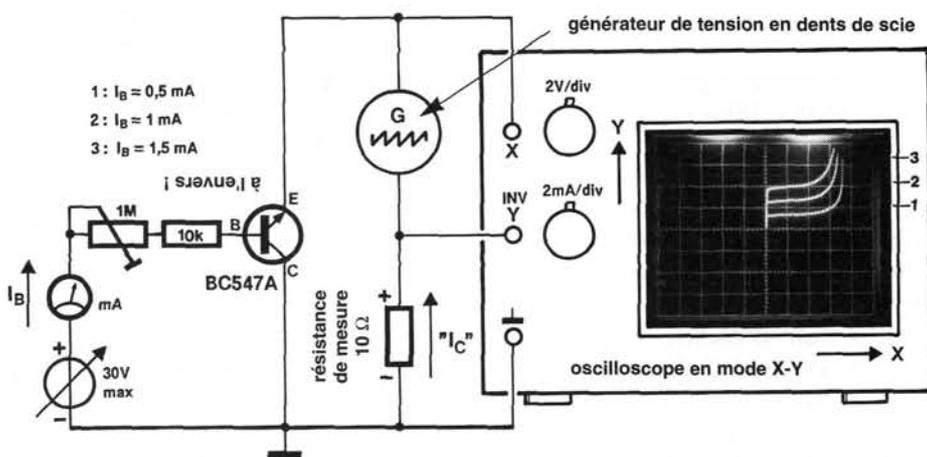


Figure 4 - Même installation de mesure que pour la figure 3, mais le transistor est à l'envers. Comme il fallait s'y attendre, les courbes sont totalement différentes.

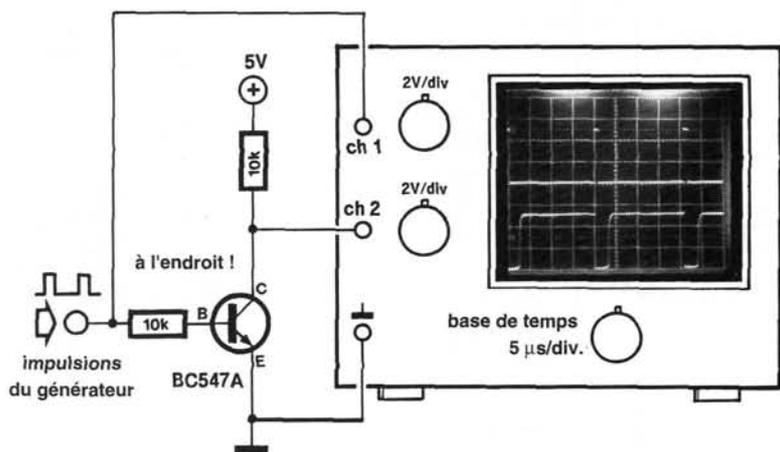
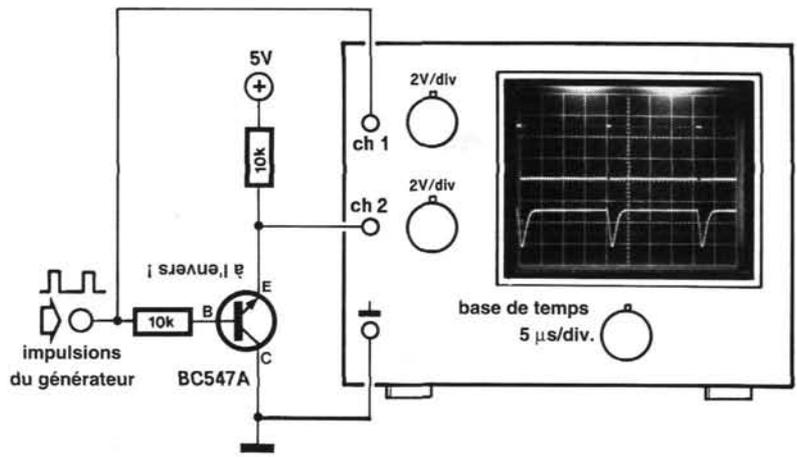


Figure 5 - Ce montage met en évidence le fonctionnement du transistor en commutation. La source de signaux de commande est un générateur rectangulaire.

Figure 6 - Même connecté à l'envers, un transistor peut fonctionner en commutateur. Si la tension de zener n'est pas atteinte par la tension d'alimentation, le transistor risque d'avoir trop de puissance à dissiper du fait de la tension collecteur-émetteur trop importante.



le brochage des transistors

la base). C'est ce qui explique le front montant incliné, et non vertical, de la courbe inférieure de l'écran. Le même circuit de mesure est utilisé sur la **figure 6**, avec un transistor connecté à l'envers. La trace inférieure montre que la tension de collecteur n'atteint jamais le niveau de la masse et que les fronts descendants et montants sont « paresseux ». Le gain du transistor à l'envers est tellement faible que le transistor n'atteint jamais la saturation. La réaction aux impulsions de commande est lente et le commutateur ne fonctionne pas normalement. Si on augmente la résistance de base, les creux de la courbe s'approcheront encore moins de la masse, le transistor commutera encore moins bien. L'effet zener de la jonction base-émetteur (devenue base collecteur) ne se manifestera pas dans un circuit logique dont la tension d'alimenta-

tion est de 5 V. Pour des tensions d'alimentation supérieures, de 12 V ou 15 V par exemple, il faut s'en remettre à la résistance d'émetteur ou de collecteur pour éviter des surintensités mortelles. Le risque n'est pas nul car les relais ont habituellement des résistances faibles, plus faibles que les charges de collecteur en régime linéaire. Le « ex » d'alex signifie expérimentation, c'est pourquoi nous concluons cet article par quelques informations pratiques : le brochage des principaux transistors en **figure 7**. Il est toujours préférable de prévoir que de réparer, ces indications vous permettront de vérifier le brochage des transistors avant de les implanter. La plupart des transistors utilisés dans alex (de type BC) sont logés dans des boîtiers en plastique avec, vus du côté plat, le collecteur à gauche, la base au milieu, l'émet-

teur à droite. Cette disposition est indépendante de la polarité des transistors (PNP ou NPN). Attention, il existe quelques exceptions, que nous nous efforçons de signaler dans les schémas des réalisations. Les transistors anciens au germanium ont un boîtier métallique ou en verre peint en noir. Sur ces modèles, la base est au milieu et le collecteur est repéré par un point de peinture rouge. La partie métallique des transistors, qu'elle soit prévue ou non pour le montage d'un refroidisseur, est reliée le plus souvent au collecteur. C'est pourquoi il faut parfois prévoir des accessoires isolants. Pour les modèles métalliques à deux broches, le collecteur ne peut pas être connecté autrement que par le boîtier. Il existe quelques types à quatre fils ; le quatrième fil est relié au boîtier, lequel est isolé du transistor, mais est prévu pour servir de blindage.

Figure 7 - Quelques types de boîtiers de transistors avec les brochages les plus courants.

