

Pratique de la Mesure

L'OSCILLOSCOPE

Nos premiers articles de cette rubrique ont été consacrés au contrôleur universel, qu'il soit analogique ou numérique. Ce n'est pas un hasard et c'est parce que nous pensons que cet appareil est le **premier** dans la pratique quotidienne de l'électronique. C'est avec le contrôleur universel qu'il est possible de connaître les conditions de fonctionnement statique d'un montage.

Or, tout montage ne peut fonctionner dynamiquement que si ces conditions statiques sont assurées. Les dépanneurs ne nous contrediront pas lorsque nous affirmons que les trois quarts des pannes se découvrent avec ce très simple appareil. Quelques mesures de tensions en des points judicieusement choisis, quelques contrôles de continuité suffisent le plus souvent pour remettre en état de marche amplificateurs, téléviseurs et autres appareils ! Il est finalement assez exceptionnel de devoir recourir à la grosse artillerie ! Nous l'avons dit, en son temps : si vous voulez débiter en électronique, achetez donc en premier lieu un bon contrôleur universel puis éventuellement un fer à souder ! Jamais l'inverse !

Le contrôleur suffit dans les trois quarts des cas... Certes, oui, mais il reste... le dernier quart ! Alors là, le contrôleur ne suffit plus. On peut en effet comparer le travail au contrôleur à une recherche en aveugle : Ça brûle ! C'est froid ! C'est plus chaud !...

C'est que l'électricité... ça ne se voit pas ! Le contrôleur

nous indique que dans tel composant passe un courant électrique, puisque la tension aux bornes n'est pas nulle, mais il ne nous dit pas... quand et comment.

Pour savoir cela, il nous faudrait un œil électronique, le nôtre ne voyant pas l'électricité. Eh bien, cet œil existe : c'est l'**oscilloscope** ! Quel miracle, allez-vous vous écrier. Oui, bien sûr, mais c'est tout de même un tout petit miracle. L'oscilloscope n'est en effet qu'une sorte de voltmètre, assez médiocre d'ailleurs, nous allons le voir, mais extrêmement rapide et possédant un effet de mémoire.

Supposons, par exemple, que dans ce conducteur passe un courant alternatif de fréquence 1 MHz. 1 MHz donne 1 million d'oscillations par seconde. Nous voudrions suivre ces oscillations pour bien les connaître. Que voulez-vous que fasse le voltmètre à aiguille ! Son inertie est énorme en face de cette rapidité de variation. Il est quasi pétrifié ! Imaginons alors une sorte de voltmètre à inertie nulle, donc sans mécanique : l'aiguille immatérielle peut alors suivre les variations du signal. Parfait ! Mais ses mouvements sont si rapides que, cette fois, c'est notre œil qui ne suit plus et crie grâce ! Il ne peut suivre et... ne voit rien.

Alors, imaginons une plume immatérielle, écrivant presque sans limitation de vitesse et laissant une trace qu'il est possible d'observer, voire d'admirer tout à loisir ! Vous y êtes ! Vous venez d'inventer le tube cathodique, cœur de l'oscilloscope.

I. Le tube cathodique

C'est à la fois la *plume* et le *papier*, dont nous avons parlé dans les lignes ci-dessus ! Le tube à rayons cathodiques est une extension particulièrement séduisante des *lampes radio* inventées, il y a quelque 80 ans par Lee de Forest. Les tubes radio (on dit maintenant *électroniques*) ont quasiment disparus de nos montages, mais le tube cathodique leur apporte une revanche de choix, car il est toujours là et sans doute pour longtemps encore !

Un tube cathodique est une ampoule de verre de forme allongée, presque parfaitement vide d'air et comportant plusieurs structures internes (fig. 1).

1. Le canon à électrons

Un filament est porté au rouge par passage d'un courant électrique et effet Joule. La chaleur dégagée porte indirectement au rouge une électrode appe-

lée *cathode*. Cette électrode est garnie d'une substance *électro-émissive* dans ces conditions (oxyde de baryum, par exemple).

Cela veut dire que les électrons *libres* des atomes surchauffés ont une telle agitation qu'ils *sautent* hors de la matière, pour y retomber ensuite, donnant un *brouillard d'électrons*, quasi libérés de la matière.

C'est l'*effet Edison* découvert par cet illustre américain. Sans précaution particulière, les électrons retombent sur la cathode, comme un caillou que l'on jette en l'air et que la planète attire à elle !

Mais si nous plaçons, à quelque distance de la cathode, une électrode polarisée positivement par rapport à elle (et de ce fait appelée *anode*), les électrons libérés vont être attirés par cette anode et vont se précipiter vers elle.

Dans le tube cathodique, différentes électrodes supplémentaires sont ajoutées pour contrôler plus précisément la trajectoire des électrons. Voir figure 1.

a) Le Wehnelt (ou grille)

C'est une électrode tubulaire percée, qui entoure la cathode et qui est polarisée *négativement*. Cette électrode tend à repousser les électrons. Elle a ainsi deux effets :

- Faire rebrousser chemin à quelques-uns.
- Resserer le pinceau des électrons qui arrivent à la franchir.

Le Wehnelt permet essentiellement de régler la densité du faisceau électronique. Il peut aller jusqu'à l'annuler : tension de *cut-off* ou de blocage. Ce sera donc l'électrode de réglage de la luminosité du tube.

b) L'anode de concentration

Cette première anode, à tension positive relativement basse, a une forme telle qu'elle rend le faisceau d'électrons convergent, exactement comme le fait la lentille de l'appareil d'optique. Associée à une tension variable, elle permettra ainsi de régler la finesse de l'impact sur l'écran.

c) L'anode d'accélération

Cette seconde anode polarisée à tension un peu plus élevée a pour but d'augmenter la vitesse des électrons du faisceau afin de lui donner la meilleure *rigidité* possible, tout en augmentant la force de l'impact sur l'écran. Ces deux anodes b) et c) ont des formes tubulaires, ce qui explique que le faisceau ne fait que les traverser, après avoir subi leur action.

d) Anode et plaques de déviation

On trouve enfin l'anode proprement dite, également tubulaire. Toutefois, la forme choisie et la très grande vitesse des électrons du faisceau font que celui-ci la traverse et continue son chemin ! Les électrons partent alors en ligne droite, tels des objets dans l'espace, libérés de la pesanteur.

Les électrons rencontrent finalement l'écran sur leur chemin. Cet écran, recouvert d'une matière fluorescente, transforme l'énergie cinétique des particules en lumière, de teinte dépendant de la nature de la matière recouvrant l'écran. L'observateur voit ainsi se former un *spot* dont la luminosité est contrôlée par la tension de wehnelt et la finesse par celle de l'anode de concentration. Le petit tableau suivant donne la vitesse des électrons dans le tube, en fonction de la tension de l'anode finale.

Volts	km/s
1	595
10	1 850
100	5 950
1 000	18 800
10 000	58 600

On constate que les vitesses atteintes sont considérables. Cette vitesse tend d'ailleurs vers celle de

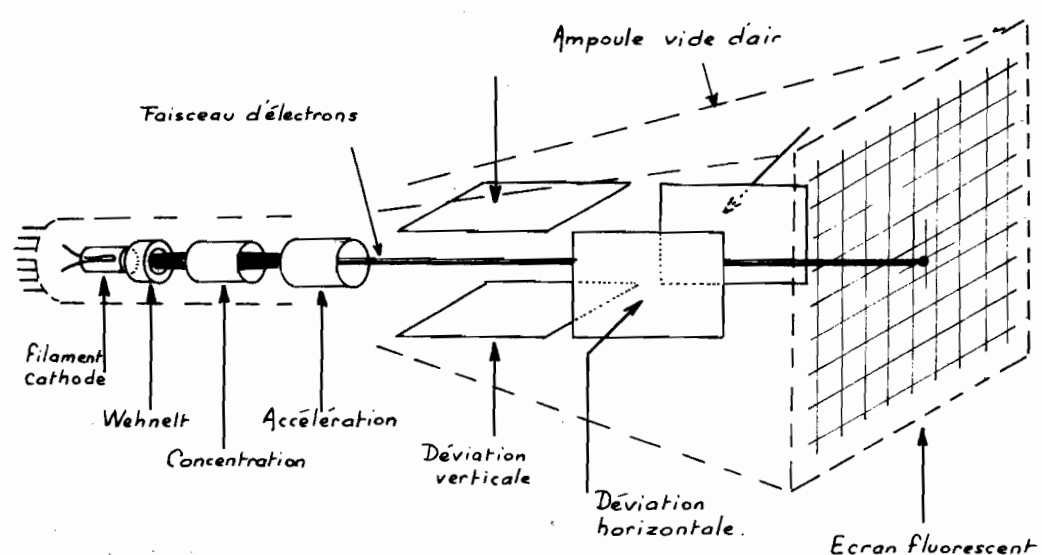


Fig. 1. — Structure interne du tube cathodique.

la lumière, lorsque la tension tend vers l'infini.

L'anode est finalement aussi constituée par le jeu de plaques de déviation qui sont portées à une tension positive sensiblement égale. Toutefois ces plaques ont à jouer un autre rôle particulier dont nous allons parler.

2. La déviation

Tant que les plaques de déviation sont au même potentiel, elles ne font que contribuer à l'accélération finale du faisceau, comme l'anode. Par contre, si l'on rend une des deux plaques d'une même paire plus positive que l'autre, la première va attirer le faisceau, l'autre ayant tendance à le repousser. Le faisceau va ainsi être dévié et le spot va se déplacer sur l'écran. C'est d'ailleurs bien le but de la manœuvre.

Pour provoquer une déviation **verticale** sur l'écran, il faut des plaques montées *horizontalement*. Inversement pour la déviation horizontale. Pour bien séparer les deux effets, verticaux et horizontaux, sans créer de couplages, les plaques sont décalées dans le sens de la longueur. Généralement les plaques verticales sont placées avant les horizontales. Nous verrons pourquoi plus loin.

L'analyse mathématique de la déviation électrostatique n'est pas très compliquée. Nous nous contenterons cependant de donner le résultat de cette étude. La longueur de la déviation sur l'écran est donnée par la relation :

$$y = k (V_1 - V_2) \ell L / dV$$

(voir fig. 3). On constate que cette déviation y :

— est proportionnelle à la différence de tension des plaques : $V_1 - V_2$. C'est très bien, puisque l'image

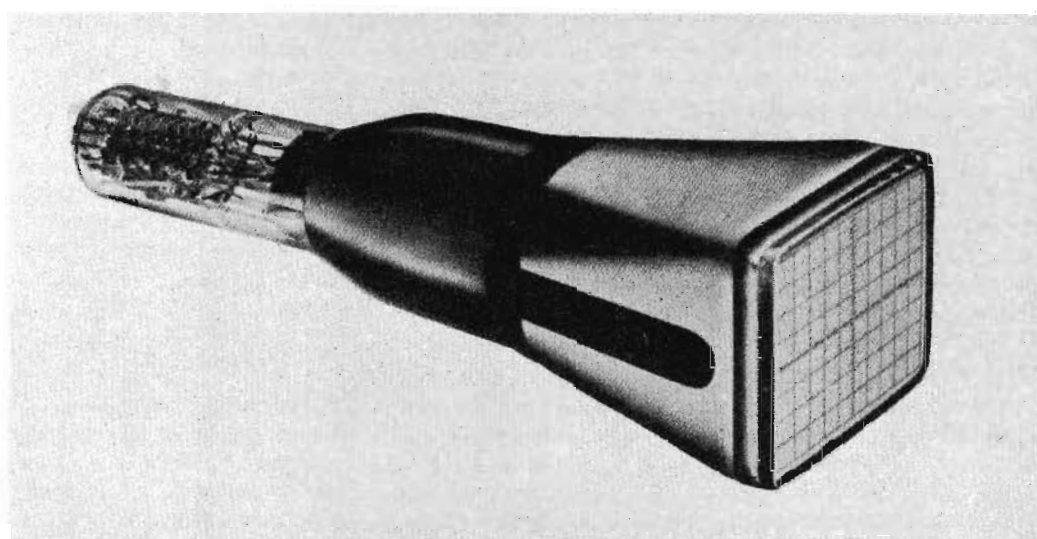


Fig. 2. — Exemple de caractéristiques d'un tube cathodique moderne :

Anode de post-accélération :	6 000 V
Plaques de déviation et anode :	600 V
Anode d'accélération :	600 V
Anode de concentration :	200 V
Tension de cut-off :	- 50 V
Sensibilité des plaques verticales :	10 V/cm
Sensibilité des plaques horizontales :	12 V/cm

est ainsi proportionnelle au signal électrique ;

— est proportionnelle à la longueur ℓ de la plaque, à sa distance L de l'écran ;

— est inversement proportionnelle à la distance d des deux plaques ;

— est inversement proportionnelle à la tension V de l'anode finale.

En définitive, pour obtenir un tube **sensible**, à forte déviation pour un signal donné, il faut un tube **long** (ℓ et L), à plaques **rapprochées** (d), et à **tension d'anode basse**.

De l'infinité des combinaisons possibles, en jouant sur ces paramètres, sont issus quelques centaines ou milliers de types de tubes cathodiques. Bien entendu, certaines exigences sont contradictoires avec une certaine qualité du produit fini. On ne peut pas, par exemple, envisager un tube très long !

On ne peut pas travailler avec une tension V trop basse, car alors l'accélération du faisceau est insuffisante, et la luminosité et la finesse du spot très mauvaises. Bien sûr, les fabricants actuels ont réussi à trouver des compromis de plus en plus satisfaisants : le tube cathodique moderne est très performant. Voir figure 2 et tableau joint.

NB1. Le jeu de plaques le plus arrière est le plus sensible, car L est alors plus grand. On réserve ces plaques pour la déviation verticale, associée au signal observé. Les performances globales de l'oscilloscope sont ainsi améliorées, avec une meilleure sensibilité de la voie réservée à la mesure.

NB2. L'attaque électrique des plaques peut être :

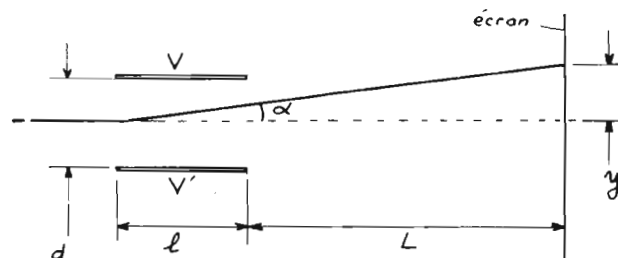


Fig. 3. — Calcul de la déviation du spot.

– **dissymétrique.** Dans ce cas, une des deux plaques est à tension fixe : celle de l'anode. L'autre est à tension variable. Plus positive pour attirer le faisceau et plus négative pour le repousser. Cette solution très simple a l'avantage de permettre l'emploi d'amplificateurs eux-mêmes dissymétriques, mais présente par ailleurs un gros inconvénient.

Il ne faut pas oublier que la tension des plaques contribue à l'accélération du faisceau. Si la plaque *chaude* est plus positive, le faisceau accélère et de ce fait, la déviation résultante diminue. Voir la formule.

Dans le cas contraire, le faisceau ralentit (V diminue) et la déviation augmente. On a dissymétrie des déviations avec $y' > y$! Voir figure 4. Cela détermine

évidemment des distorsions géométriques fâcheuses de l'image observée, donnant la distorsion typique en *trapèze*.

– **symétrique.** Au contraire, si les plaques sont utilisées toutes deux pour contribuer à la déviation, comme on le voit en figure 4, alors les deux déviations « y » sont parfaitement égales.

A noter que certains tubes sont spécialement corrigés mécaniquement pour accepter le mode asymétrique avec un résultat correct. Ce sont toujours des tubes de bas de gamme.

NB3. La tension d'anode, donc des plaques de déviation est élevée : 1000 V au moins. Or l'utilisateur doit avoir accès à ces plaques et de telles tensions sont dangereu-

ses ! Pour supprimer le risque, le potentiel **plus** de l'alimentation Haute Tension est relié à la masse. C'est alors la cathode qui devient électrode *chaude* et qui se trouve portée à quelque - 1000 V ou plus par rapport à la masse. Les problèmes apportés sont plus faciles à résoudre ainsi.

3. Post-accélération

Dans le cas d'observations de phénomènes très rapides, le spot est dévié tellement vite que la luminosité résultante sur l'écran est si faible que la trace est à peine visible.

Pour améliorer la situation, on pourrait accélérer le faisceau, en augmentant la tension d'anode, mais cela entraînerait, corollairement, une réduction proportionnelle de l'amplitude

de déviation. Cette solution est donc à rejeter. Or, cet effet secondaire négatif n'existe plus si l'accélération supplémentaire se donne **après** le passage entre les plaques de déviation. L'angle de déviation est alors acquis et toute accélération ne joue que sur la **vitesse**.

C'est donc la solution adoptée sur tous les tubes à hautes performances. Il devient ainsi possible d'utiliser des tensions de **post-accélération** de plus de 4 kV, allant parfois jusqu'à 25 kV. L'anode supplémentaire finale est le plus souvent constituée par un graphitage de la paroi interne de l'ampoule de verre, côté écran, au-delà des plaques de déviation. La connexion de la THT se fait alors par ventouse. Voir figure 2.

(A suivre.)

F. THOBOIS

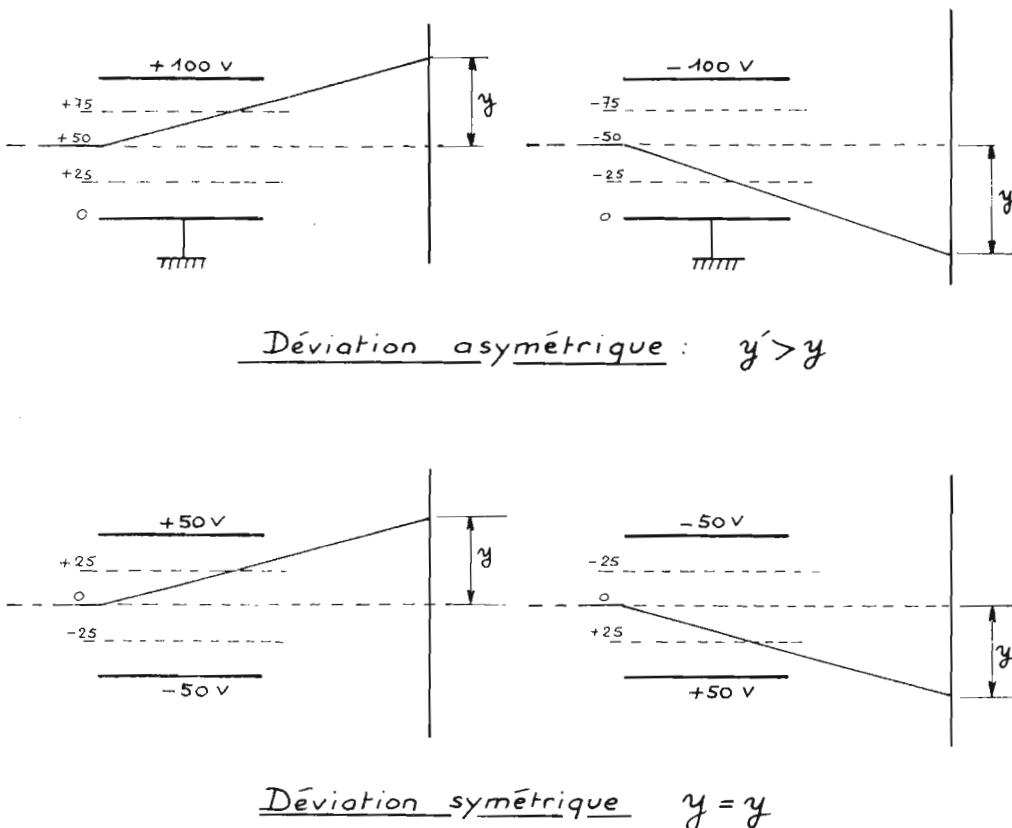


Fig. 4