

Pratique de la Mesure

L'OSCILLOSCOPE

(Suite voir N° 1710)

Les deux derniers articles de cette série ont été consacrés à l'étude des bases de temps d'un oscilloscope. Après avoir constaté les limites des systèmes relaxés, nous avons analysé des montages plus performants : les bases de temps déclenchées. Nous avons aussi indiqué quelques-unes des extensions rendant leur emploi plus efficace. C'est à cette occasion que nous avons traité des doubles bases de temps !

Bien entendu, la base de temps d'un oscilloscope provoque le balayage horizontal de l'écran et produit un déplacement du spot exactement proportionnel au temps, ce qui permet la graduation horizontale de cet écran en secondes, millisecondes et microsecondes, selon la vitesse du déplacement choisi.

Mais pendant ce temps, nous l'avons déjà dit, la déviation verticale assure un déplacement du spot proportionnel à la tension instantanée du signal étudié.

Ainsi, le spot ayant à chaque instant des coordonnées proportionnelles, d'une part au temps (X), et d'autre part à la tension du signal (Y), trace la représentation graphique du signal observé.

Tout est donc pour le mieux dans l'éventualité de l'étude d'un signal isolé. On peut ainsi analyser tout à loisir sa forme, sa durée, ses variations en fonction des paramètres du montage générateur.

Malheureusement, dans de nombreux cas, cette analyse ne suffit pas. En effet, dans un montage, il existe presque toujours de nombreux signaux différents, les uns déterminant les autres. Il est alors capital de connaître ou de pouvoir étudier la relation qui lie ces signaux entre eux !

Bien entendu, il est possible d'observer l'un, puis d'observer l'autre, et ainsi, par retouches successives, d'essayer d'arriver au résultat escompté. Une telle technique peut satisfaire s'il n'est question que de la forme, même si le procédé a en soi un caractère fastidieux !

Par contre, dès qu'il est nécessaire de situer, dans le temps, un signal par rapport à l'autre, le procédé simpliste ci-dessus ne convient plus du tout, on le comprend aisément ! Il est indispensable de voir les deux signaux en même temps, afin de bien situer la position de l'un par rapport à celle de l'autre. Il faut donc écrire les deux oscillogrammes sur le même écran.

Pour parvenir à un tel résultat, plusieurs procédés sont possibles, les uns onéreux, les autres plus économiques. Nous allons les étudier !

1. Utilisation d'un tube cathodique spécial

a) Tube bicanon

Dans ce cas, on ne lésine pas sur les moyens et on installe carrément deux tubes cathodiques complets

dans la même enveloppe de verre (voir fig. 1).

Tout est en double ! On a deux oscillos en un, seul l'écran est commun ! Il est évident que cette solution est la plus versatile, autorisant toutes les fantaisies de l'utilisateur. Il ne faut pas être devin pour supposer qu'un

système de ce genre coûte une petite fortune. C'est donc finalement un recours très peu retenu !

b) Tube bifaisceau (voir fig. 2)

Faisons quelques économies ! Un double faisceau est généré dans le canon à électrons. Chaque faisceau a alors son propre chemin : la concentration et la commande de luminosité sont communes, ainsi que la déviation horizontale (un seul jeu de plaques). Par contre, les déviations verticales sont distinctes (deux jeux de plaques). Bien sûr, l'écran est commun !

Moins coûteux que le double canon, le bifaisceau reste un tube cathodique rare et cher. C'est encore une solution peu retenue par les constructeurs !

2. Commutation électronique

Ce qu'il faut, c'est donner à l'utilisateur l'illusion qu'il voit les deux signaux en même temps, même si ce n'est pas tout à fait vrai. On pense alors immédiatement aux techniques de multiplexage très utilisées par ailleurs dans les systèmes d'affichage, de transmissions de données et... de téléphone !

On va donc utiliser un tube cathodique ordinaire, monocanon et monofaisceau. Un découpeur électronique envoyant à l'écran l'un puis l'autre signal, à une cadence suffisante pour que persistance lumineuse de l'écran et persistance rétinienne de l'œil fassent le reste (voir fig. 3).

Cette solution est très économique : on comprend que c'est celle de tous les oscilloscopes d'un prix accessible tant aux amateurs qu'aux professionnels non milliardaires...

Des inconvénients minimes apparaissent cependant que nous verrons plus loin, mais l'un d'eux peut déjà être évoqué : c'est l'inévitable perte de luminosité subséquente ! En effet, en mode normal, c'est-à-dire en observation d'un seul signal (mode *simple trace*), toute la luminosité du spot est consacrée à cette trace unique. Si vous écrivez deux oscillogrammes sur l'écran (mode *double trace*), il est évi-

dent que chacun occupera la moitié du temps global, d'où luminosité réduite de moitié environ. Rassurons-nous cependant ! Les oscilloscopes modernes ont une grosse réserve de luminosité, justement pour pallier de telles situations ! Il suffira donc d'un petit coup de pouce sur la commande « lumière » et le tour sera joué.

Mais voyons maintenant comment s'effectue le découpage électronique

du signal en nous attachant tout de suite au découpeur.

Rappelons qu'un oscilloscope doit visualiser des signaux allant du continu aux fréquences les plus élevées (selon sa bande passante, évidemment !). Il faut donc disposer d'un commutateur performant n'altérant pas la qualité du signal observé, même aux plus grandes vitesses. Finalement, le montage le plus retenu

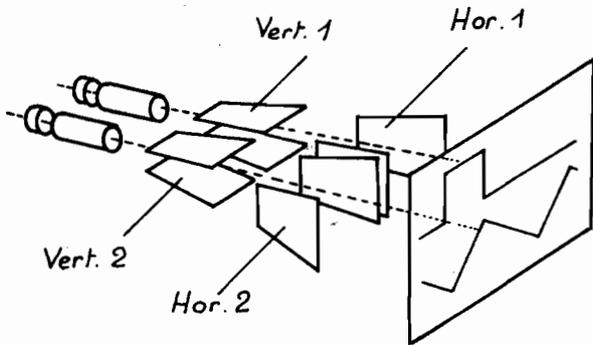


Fig. 1. - Tube bicanon.

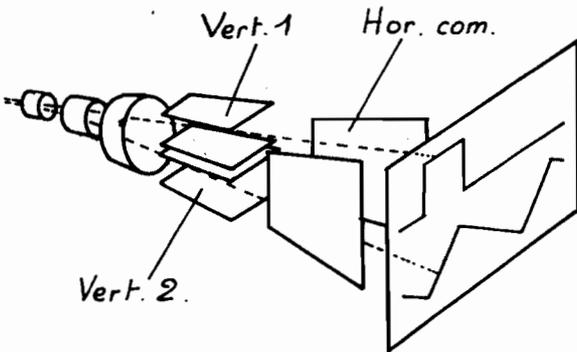


Fig. 2. - Tube bifaisceau.

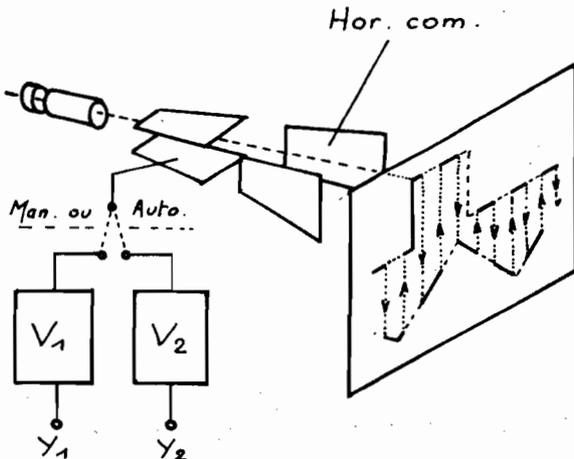


Fig. 3. - Commutateur électronique, mode Choppé.

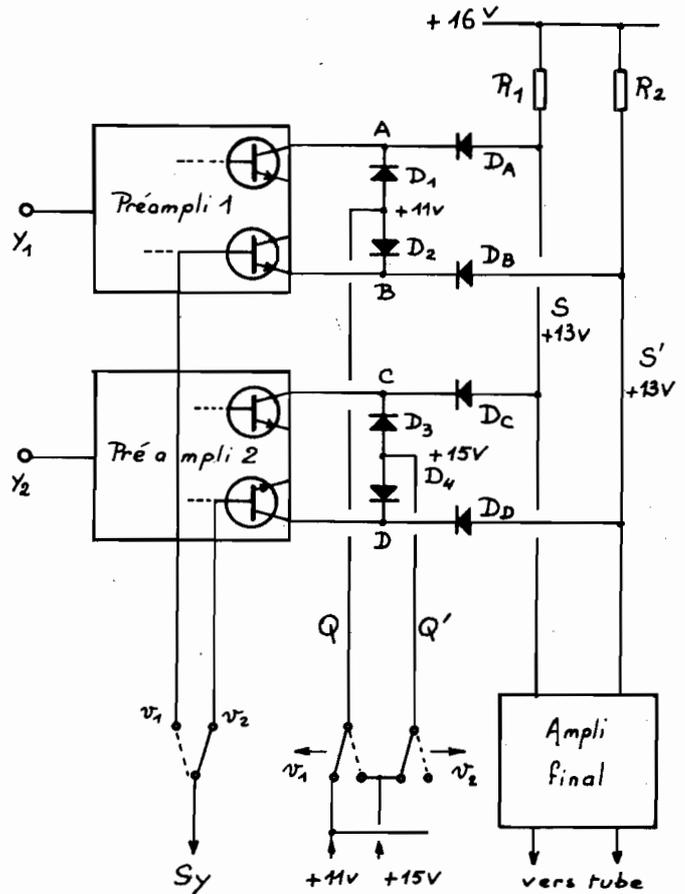


Fig. 4. - Commutateur à diodes.
N.B. Les tensions sont données à titre d'exemple.

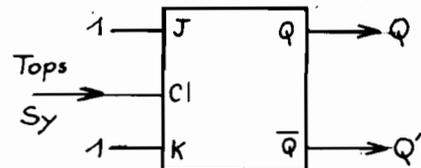


Fig. 5. - Un basculeur J.K. change d'état à chaque top d'horloge, assurant les balayages alternés.

est très simple : c'est un commutateur à diodes ! (voir fig. 4).

La voie 1 est disponible en tensions symétriques aux points A et B. La voie 2 l'est aux points C et D. Les charges des sorties sont les résistances communes R_1 et R_2 . Soit les tensions aux points S et S' de l'ordre de + 13 V.

Si la tension au point Q est de + 11 V et celle de Q' de + 15 V, alors les diodes D_1, D_2 sont bloquées et D_A, D_B passantes dans la voie supérieure, tandis que D_3, D_4 sont passantes et D_C, D_D bloquées dans la voie inférieure. C'est donc la voie supérieure 1 qui est passante et la voie 2 qui est bloquée. Les signaux de 1 passent en S et S', sont repris par l'amplificateur final et envoyés vers les plaques de déviation du tube qui visualise ces signaux.

Pour observer les signaux de la voie 2, il suffit de permuter les tensions en Q et Q' : soit $Q = + 15 V$ et $Q' = + 11 V$. Ces deux points Q et Q' assurent donc la commande du commutateur de découpage. Selon la manière d'agir sur Q et Q', plusieurs modes de fonctionnement sont accessibles !

1. Commande manuelle
(voir fig. 4)

Un simple commutateur manuel envoie sur Q et Q' les tensions convenables pour faire fonctionner la voie désirée, soit la voie 1, soit la voie 2. Il

faut bien que tout oscilloscope *double trace* fonctionne aussi en *simple trace*... de temps en temps !

Notons immédiatement ici qu'il faut penser à la synchronisation du balayage. Un second commutateur est donc nécessaire pour choisir la voie 1 ou la voie 2 comme voie assurant le déclenchement du balayage. On synchronise le plus souvent sur la voie observée, mais ce n'est pas obligatoire et cela permet même quelques fantaisies d'emploi !

2. Commande automatique
(voir fig. 5)

C'est-à-dire **mode double trace**. Les points Q et Q' sont connectés aux sorties complémentaires d'une bascule fournissant les deux niveaux nécessaires. Dans ces conditions, lorsque l'une des voies est passante, l'autre est bloquée, ce qui est bien ce que désiré ! Nous supposons ci-dessous que $Q = 0$ donne la voie 1 bloquée.

a) Double trace alterné

C'est le fonctionnement le plus intuitif. La base de temps écrit le signal de la voie 1 pendant le premier balayage, puis le signal de la voie 2 pendant le second... et ainsi de suite ! Chaque trace est continue, donc sans perturbation. La commutation peut se faire pendant le retour du spot et être

de toute façon parfaitement invisible. Comme cette commutation se fait à la sortie des préamplis de voies, lesquels contiennent les dispositifs du cadrage, les traces peuvent être placées sur l'écran exactement comme désirées : soit bien distinctes, l'une en haut et l'autre en bas, soit toutes les deux, plein écran. Il est facile d'étudier ainsi toutes les correspondances, point par point, entre les deux signaux.

Pour commander la bascule, c'est très simple (voir fig. 5). Il suffit de prélever le top de déclenchement et de s'en servir pour actionner la bascule. On sait que les basculeurs, du type JK par exemple, changent d'état à chaque impulsion d'horloge. C'est exactement ce qui convient. Le premier top active Q et donc la voie 1, le second active Q' et la voie 2, le troisième réactive Q et ainsi de suite.

Bien entendu, il est commode, dans un appareil complet, de regrouper les fonctions manuelles et automatiques en un seul circuit. Cela est justement permis par une bascule intégrée, dotée de fonctions « Set » et « Reset ». C'est ce qui a été fait dans le schéma de la figure 7. Si S et R sont à 0, l'oscillo est en mode *double trace*, avec choix du mode *alterné* ou *chopé*, comme nous le verrons plus loin. Si l'un des inverseurs S ou R est à 1, l'oscillo est en mode *simple trace*, soit en voie 1, soit en voie 2. Enfin, si S et R sont à 1, l'oscillo est en simple trace, mais en mode

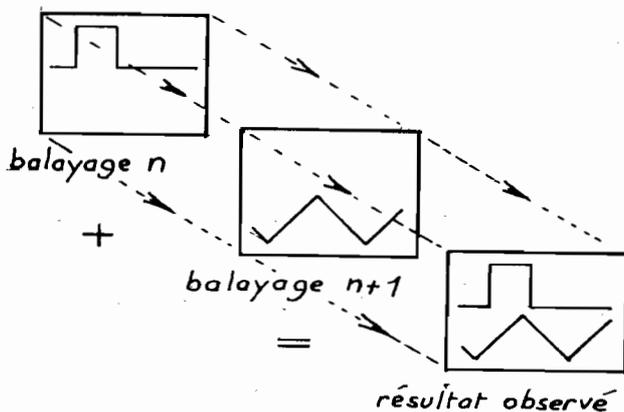


Fig. 6. - Balayages alternés.

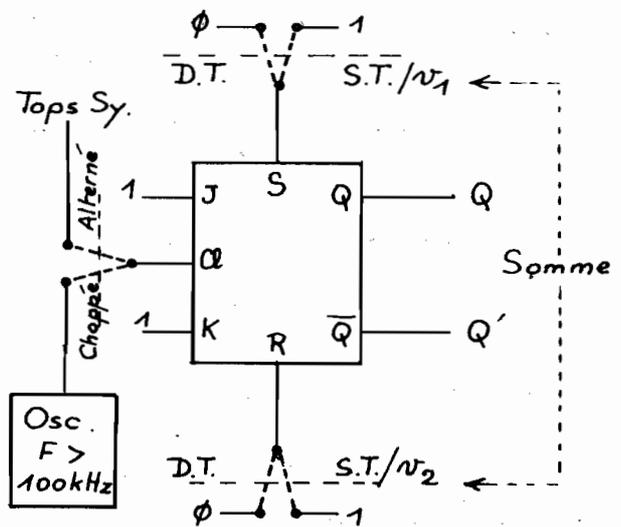


Fig. 7. - Combinaison des modes.

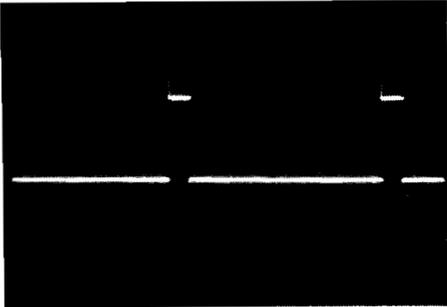


Photo A. — Impulsion TTL, issue d'un générateur de fonctions, observée en simple trace, voie 1.

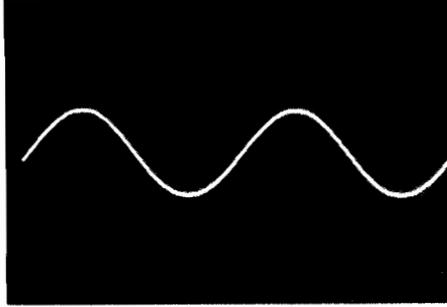


Photo B. — Signal sinusoïdal, issu du même générateur, observé en double trace, voie 2.

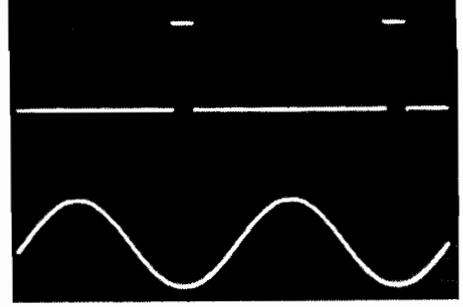


Photo C. — Les deux signaux A et B observés en même temps en double trace. On peut constater que l'impulsion correspond au minimum de la sinusoïde !

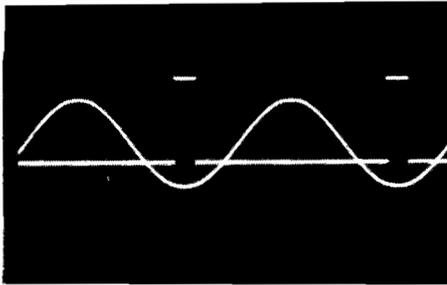


Photo D. — Même observation, avec cadrage différent montrant mieux la correspondance.

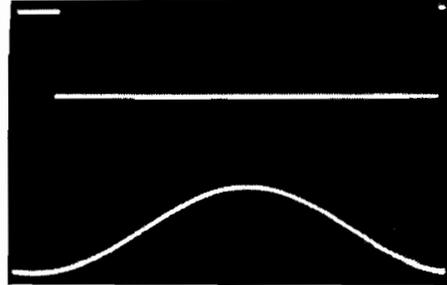


Photo E. — Pour A, B, C et D, la synchronisation se faisait en « Sy+ » sur la voie 2 (sinusoïde). Par contre, ici, on a « Sy+ en voie 1 », ce qui place l'impulsion en début de trace.

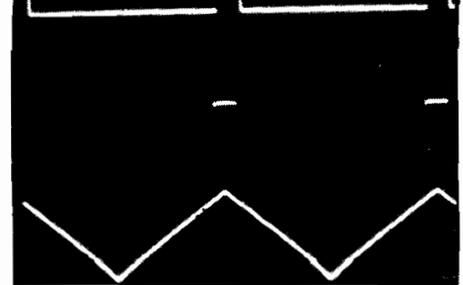


Photo F. — Impulsion TTL négative et signal triangulaire provenant du même générateur. Synchronisation : « Sy+, voie 1 », plaçant le front montant de l'impulsion en début de trace.

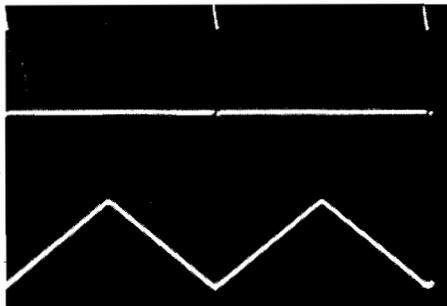


Photo G. — Triangle et impulsion TTL positive fine, montrant que celle-ci coïncide avec la pointe négative du triangle.

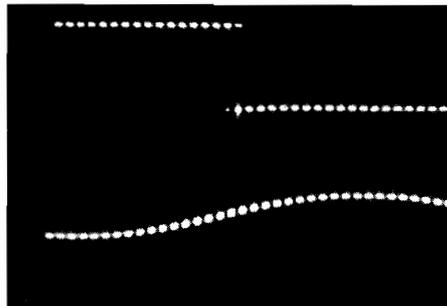


Photo H. — Mode choppé, avec synchronisation « anormale » faisant apparaître le découpage « en pointillé ».

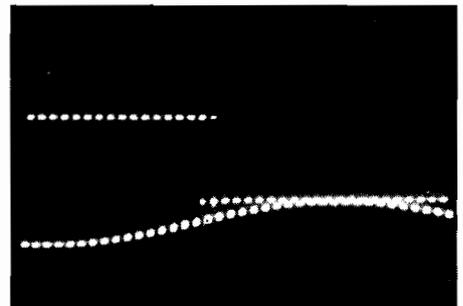


Photo I. — Un cadrage particulier des mêmes signaux montre très bien « l'imbriication » des pointillés.

somme, ce que nous verrons plus loin également. Nous avons regroupé ces modes dans le tableau suivant.

S	R	Q	Q'	Rem.
0	0	basculeur		2 traces
0	1	0	1	voie 1
1	0	1	0	voie 1
1	1	1	1	Somme

Dans le mode alterné, une trace suit l'autre, chacune occupant la moitié du temps global. Tant que le signal observé est à fréquence élevée, le balayage aussi et le passage d'une trace à l'autre assez rapide pour être totalement invisible. Par contre, dès que la fréquence de commutation diminue avec la fréquence du signal observé, ce passage devient visible, donnant une impression visuelle très désagréable. Ainsi, alors qu'en simple trace, le clignotement de la lumière n'apparaît qu'à partir de 5 ms/div., en alterné il

est déjà très visible à partir de 2 ms/div. Quand le balayage descend à 10 ms/div. et en dessous, on voit très bien le passage d'une trace à l'autre, et l'observation est quasi impossible !

Il faut alors avoir recours à une méthode toute différente. La bascule de commutation n'est plus commandée par les tops de la base de temps, mais par un oscillateur indépendant à fréquence assez élevée, de l'ordre de quelques centaines de kilohertz. Les traces vont alors être tracées en poin-

tillés, le spot écrivant un point (ou plus exactement un très court tronçon) de l'une, puis un point de l'autre, l'ensemble des points reconstituant les courbes (voir fig. 3). Par ailleurs, détail très important, la fréquence du découpeur est libre, totalement indépendante de celle des balayages. Elle n'est pas très stable. Ceci constitue un gros avantage, car les points des différentes traces ne retombent jamais exactement au même endroit, d'un balayage à l'autre. Dans ces conditions, points et trous d'un tracé se mélangent allègrement, donnant une parfaite illusion de trait continu. On remarquera d'ailleurs que le prélèvement des signaux synchronisants se fait **avant** le découpage et que le déclenchement en est tout à fait indépendant. Les réglages aboutissant aux oscillogrammes des photos H et I sont en fait très difficiles à obtenir et constituent plutôt des anomalies de synchronisation, heureusement exploités dans le cas des photos, pour vous montrer le mode de découpage du « chopper » ! Voir plus loin.

Le mode *choppé* permet de descendre aussi bas en fréquence de balayage que le nécessite l'observation. Aucun scintillement supplémentaire n'étant ajouté à celui naturel provoqué par la rémanence plus ou moins limitée de la couche fluorescente de l'écran.

A ce sujet, ouvrons une parenthèse pour signaler que l'observation des signaux très lents est quasi impossible avec un oscilloscope ordinaire. Le spot se suivant du regard, sans laisser de trace derrière lui et donc sans tracer de courbe bien visible. Résultat presque identique à celui d'un stylo à bille usé qui se déplace sur le papier sans laisser aucun tracé !

Pour observer de tels signaux, il faut utiliser des moyens spéciaux :

– **Oscilloscope à rémanence longue.** Le tube cathodique est à écran spécial gardant la luminosité plusieurs secondes après le passage du spot. Ainsi le tracé des courbes reste-t-il visible, même avec un spot très lent. Malheureusement, de tels tubes sont inutilisables avec les signaux rapides. Il faut donc mobiliser un oscilloscope particulier pour ce type d'observation.

– **Oscilloscope à tube à mémoire.** Le tube cathodique est très spécial. Un dispositif très particulier fait que UNE trace peut rester visible plusieurs heures si on le désire. Une électrode d'effacement vidant l'écran quasi instantanément. Ces oscilloscopes permettent donc non seulement d'observer des signaux quelle que soit leur lenteur, la trace du spot étant indélébile en mode *mémoire*, mais aussi des signaux rapides non répétitifs ! On peut aussi s'en servir en observation normale. En effet, il suffit alors d'envoyer, juste avant d'écrire une nouvelle trace, un ordre d'effacement de la trace précédente. On fabrique à l'heure actuelle des tubes à *mémoire à transfert*, capables de visualiser des signaux de 400 MHz ! Ces tubes peuvent capter en **un seul passage** des impulsions de durée de l'ordre de la nanoseconde avec un très bon contraste et une mémoire de longue durée. Hélas, ces tubes sont très coûteux et pas du tout compatibles avec nos budgets d'amateurs ! C'est bien dommage !

– **Oscilloscope à mémoire numérique.** Dans ce cas, l'oscilloscope est normal mais il est muni d'un bloc mémoire analogue à celui d'un ordinateur et dans lequel les signaux sont conservés pour exploitation ultérieure.

On peut alors les visualiser comme on l'entend ! Toutefois, on affronte alors le conflit classique *analogique-digital*. Les signaux observés sont analogiques. Il faut les convertir en numériques pour les mémoriser. Sortis de la mémoire, il faut les reconvertir en analogiques pour pouvoir les visualiser.

La technique est en tout cas parfaite pour les signaux lents ou peu rapides. Par contre, elle est très difficile avec les signaux à fréquence élevée. On bute alors sur les questions insolubles des délais de propagation des mémoires et des convertisseurs ! A condition d'y mettre le prix (eh oui, c'est toujours le même refrain !), on peut trouver des oscilloscopes complets dits à **mémoire numérique** très performants. On trouve aussi des blocs mémoire à connecter sur un oscilloscope ordinaire.

Nous vous signalons tout bas et sous le sceau du secret que nous avons dans nos cartons le projet d'un tel bloc mémoire ! Wait and see !

Pour en revenir au mode *choppé*, signalons donc qu'il faut le réserver en principe à l'observation des signaux de basse fréquence, inférieure à quelques dizaines de hertz. En effet, dès que les fréquences des signaux sous test atteignent ou dépassent celle du découpeur, de curieuses images peuvent apparaître, telles celles des photos H et I, lesquelles, si elles sont pédagogiques, n'en restent pas moins très gênantes en utilisation normale !

Pour conclure :

- en dessous de quelque 100 Hz, utiliser le mode **choppé**.
- au-dessus de 100 Hz, utiliser le mode **alterné**.

F. THOBOIS