

# (VII) PRATIQUE DE LA MESURE L'OSCILLOSCOPE

Nous avons étudié, le mois dernier, le fonctionnement des voies Y de l'oscilloscope, en parlant plus particulièrement des appareils Double trace. Rappelons à ce sujet les deux modes de fonctionnement possibles :

– Mode alterné, dans lequel un balayage sur deux est réservé à une trace complète : par exemple les balayages pairs tracent le signal 1 et les balayages impairs tracent le signal 2. Le mode alterné n'est possible que pour des signaux à fréquence assez élevée, pour que la commutation de trace

ne donne pas un clignotement désagréable des luminosités.

– Mode choppé, où les traces sont dessinées point par point : un point de l'une, puis un point de l'autre et ainsi de suite. Convenant parfaitement pour les signaux à fréquence basse, il recule fortement le seuil de clignotement : à ne pas utiliser par contre avec les fréquences élevées !

Nous allons continuer, ce mois, en donnant quelques particularités d'emploi des oscilloscopes double trace !

## 1. Mode Somme

Normalement les deux voies d'un bicourbe sont bien distinctes, chaque voie ayant son indépendance. Pourtant il est possible d'associer les deux entrées dans le mode dit **Somme**. Tout simplement parce que, dans ce cas, les signaux des deux voies sont mélangés, plus exactement additionnés. On obtient ce mode en activant simultanément les deux voies, donc en faisant  $Q = Q' = 1$ , dans le schéma du mois dernier. Dans cette configuration, le signal visualisé est la somme algébrique des deux signaux. Si on appelle  $Y_1$  et  $Y_2$  ces signaux, on a alors :  $Y = Y_1 + Y_2$ .

C'est ce que nous avons illustré dans les photos A à D.

– **En A**, un signal  $Y_1$  sinusoïdal observé seul, en simple trace, voie 1.

– **En B**, un signal  $Y_2$  rectangulaire de même fréquence et synchronisé du premier. (Ils sont tous deux issus du même générateur de fonctions). Simple trace, canal 2.

– **En C**, les deux signaux sont vus en même temps, en mode double trace alterné. Les deux signaux ne sont pas séparés par la commande de cadrage. Remarque que l'oscillogramme B est synchronisé par le signal sinusoïdal. (canal 2 visualisé, synchronisé par le canal 1). Noter aussi que les deux signaux sont en opposition de phase : les paliers positifs du rectangulaire coïncident avec les alternances négatives de la sinusoïde.

– **En D**, passage en mode Somme. On voit alors un curieux mélange de  $Y_1$

et de  $Y_2$  : c'est  $Y_1 + Y_2$  ! A chaque instant le niveau du spot étant la somme des deux signaux. Il est facile de retrouver à chaque fois la composante rectangulaire et les « morceaux » de sinusoïde !

Signalons que, en mode Somme, les deux commandes de cadrage agissent toujours, mais ont toutes deux le même effet : elles décadrent l'ensemble obtenu et n'agissent plus sur les signaux séparés.

Nous pouvons profiter de l'occasion pour mettre en œuvre une autre possibilité de l'oscilloscope : l'**inversion de sens** ! C'est la commande souvent marquée « Pull to Invert » qui active cette fonction dont le mécanisme est illustré par la figure 1. Dans ce cas, le signal est inversé. Comme on le constate dans la figure, c'est très simple : il

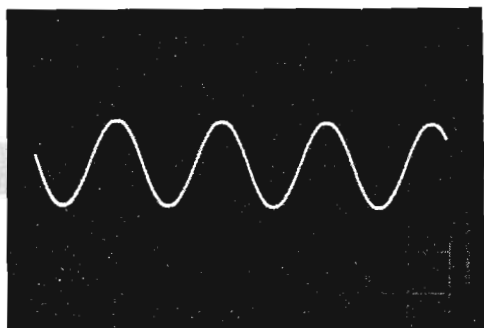


PHOTO A. – Sinusoïde seule.  
Voie 1. Simple trace.

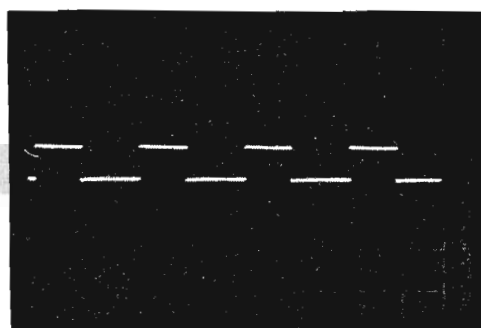


PHOTO B. – Signal rectangulaire  
synchrone de A. Voie 2. Simple trace.

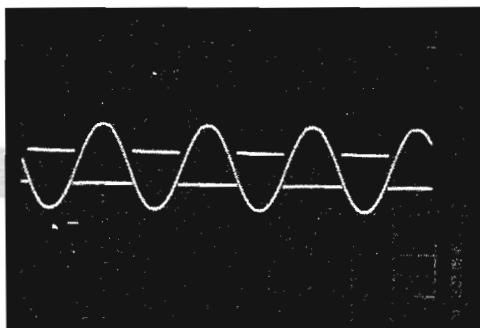


PHOTO C. - Signaux A et B vus en double trace. Mode alterné. Pas de décadage.

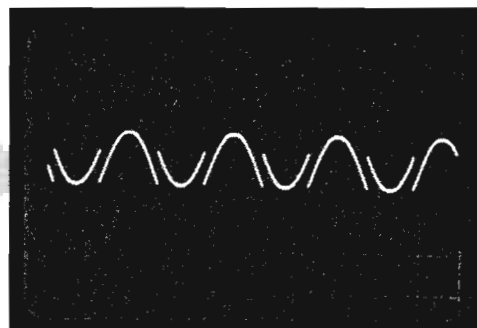


PHOTO D. - Les voies 1 et 2 sont additionnées, en mode Somme.

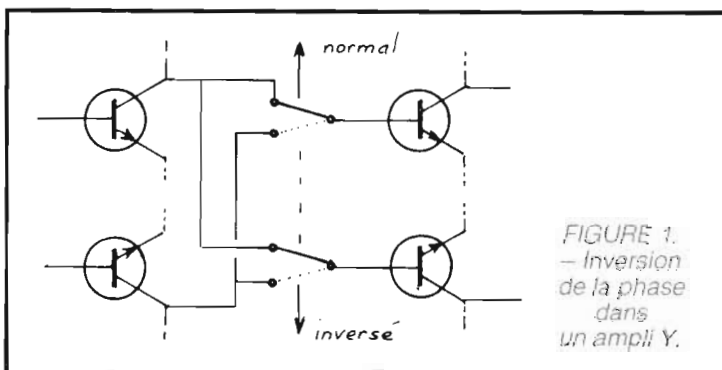


FIGURE 1. - Inversion de la phase dans un ampli Y.

suffit de croiser les liaisons pour obtenir le signal à l'envers sur l'écran de l'oscillo ! En général, un seul des amplis possède cette particularité. Cependant, ils l'ont parfois tous les deux. Actionnons donc cette commande d'inversion, présente sur le canal 2. Les deux signaux qui étaient en opposition de phase se retrouvent en phase, sur l'écran, et on a l'image illustrée par la photo E !

Nous obtenons cette fois :  $Y = Y_1 + (-Y_2)$ , soit  $Y = Y_1 - Y_2$  ce qui correspond donc au mode **Différence**.

Il faut bien avouer que les modes en question sont d'un emploi relativement peu fréquent. Ils autorisent cependant dans certains cas des artifices intéressants.

**- Comparaison de deux signaux synchrones**

Si deux signaux sont égaux, à tous points de vue, leur différence est nulle. Si  $Y_1 = Y_2$ , alors  $Y_1 - Y_2 = 0$ .

Envoyons  $Y_1$  en canal 1 et  $Y_2$  en canal 2. Passons en mode Somme, canal 2 inversé. Le résultat doit être une parfaite horizontale si les deux si-

gnaux sont identiques et les gains des deux voies égaux.

Par exemple, pour tester un amplificateur, nous pouvons utiliser cette méthode :  $Y_1$  est alors le signal injecté à l'entrée de l'amplificateur sous test et  $Y_2$  celui récupéré en sortie. Dans l'absolu, les deux signaux doivent avoir la même forme, (distorsion harmonique nulle), la même phase, (distorsion de phase nulle), mais ils n'auront probablement pas la même amplitude si le qualificatif « amplificateur » mérite bien son nom !

Pour tester les signaux en mode Différence, il faudra donc diminuer le gain du canal 2, à l'aide du commutateur de sensibilité. Toutefois, il est hautement probable qu'aucune position de ce commutateur ne sera la bonne : l'une donnant  $Y_2$  un peu grand et la suivante  $Y_2$  un peu trop petit.

Cet exemple va nous permettre d'introduire une nouvelle commande des amplificateurs verticaux : le **vernier de gain**.

En jouant sur ce réglage, normalement encliqueté, on détruit le calibrage des positions du commutateur, mais on peut régler le gain de manière analogique et ainsi trouver la valeur idéale recherchée ci-dessus.

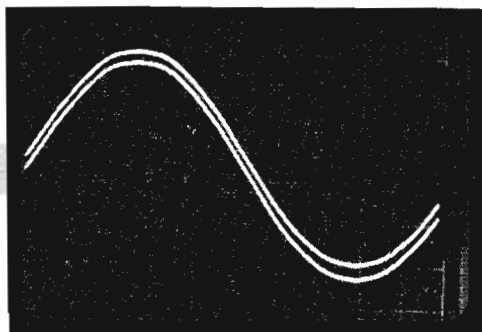


PHOTO G. - Les deux sinusoïdes sont presque superposées et confondues !

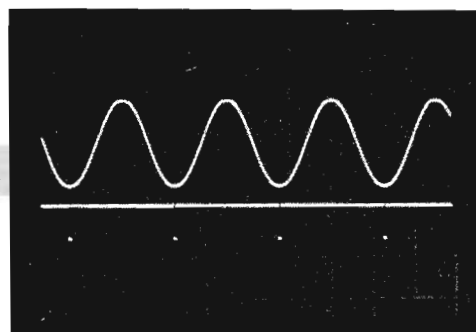


PHOTO H. - Vue en double trace d'une sinusoïde et d'un train d'impulsions synchrones.

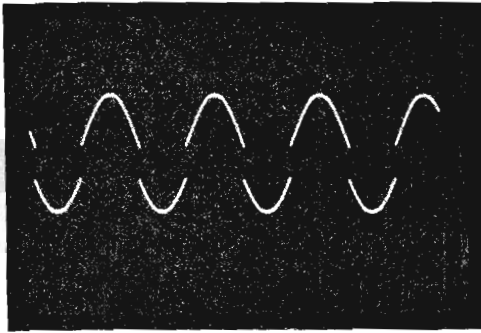


PHOTO E. — L'inversion de sens, sur la voie 2, permet de transformer le mode Somme en mode Différence.

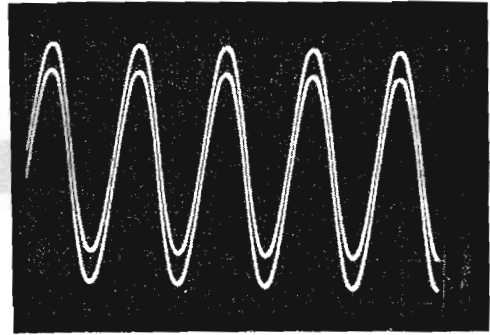


PHOTO F. — Comparaison de deux sinusoïdes par la méthode de superposition.

Ne pas oublier de remettre le vernier en position « Calibré » après usage. Faute de quoi vos mesures ultérieures seraient fausses en amplitude !

**NB.** La méthode de comparaison de signaux par le mode Différence est efficace mais peut-être moins spectaculaire que la simple observation en double trace : c'est ce que nous avons illustré avec les oscillogrammes **F** et **G**. Les deux sinusoïdes à comparer sont amenées en superposition, d'abord par action sur les niveaux de gain des amplificateurs, puis par les cadrages. Fignolage par le vernier de gain de l'un des amplis ! On amène ainsi progressivement les traces l'une sur l'autre. L'oscillogramme **G** étant photographié juste avant cette fusion ultime ! A condition que les signaux soient exactement de même forme, cela s'entend... et se voit mieux encore.

– **Marquage d'une courbe**

Mais restons encore en mode Somme, avec les oscillogrammes **H**, **I** et **J**.

**En H**, notre sinusoïde **A** et des impulsions négatives synchrones. Mode Double trace alterné !

**En I**, mode Somme. Voici la sinusoïde agrémentée de **pips** de marquage. **En J**, mode Différence. Les

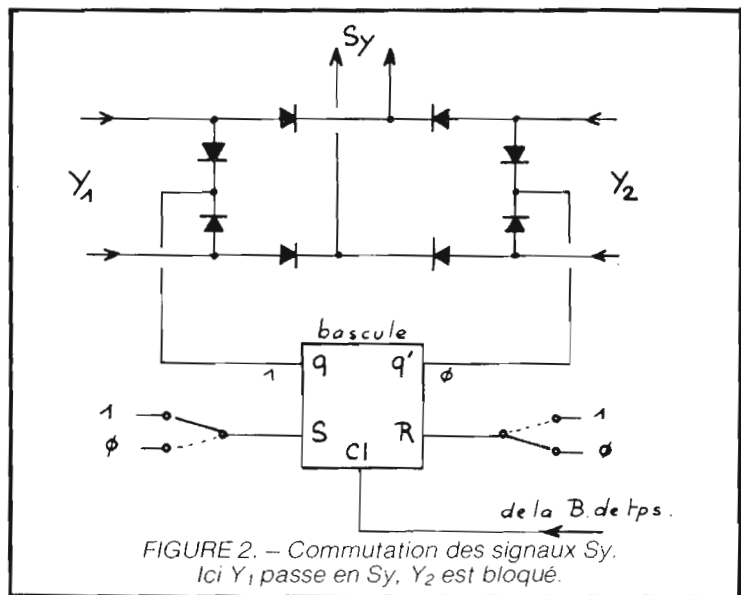


FIGURE 2. — Commutation des signaux  $S_y$ . Ici  $Y_1$  passe en  $S_y$ ,  $Y_2$  est bloqué.

pips sont cette fois dans le sens positif.

Voilà sans doute une possibilité intéressante pour marquer une courbe ! On peut exploiter aisément cette astuce dans la conception d'un **wobulateur** ! Attention, il est impératif que les signaux soient parfaitement synchrones.

**2. Synchro alternée**

Dans un oscilloscope double trace, le choix du signal synchronisant peut se faire :

- sur la voie 1,
- sur la voie 2,
- sur les deux voies alternées.

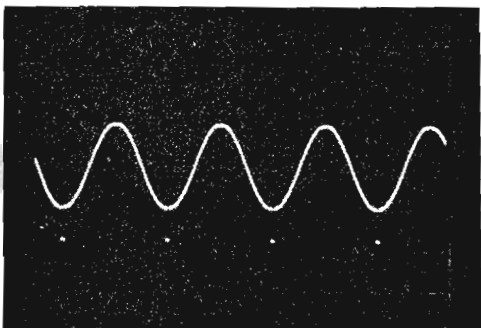


PHOTO I. — En mode Somme, marquage de la sinusoïde par impulsions négatives.

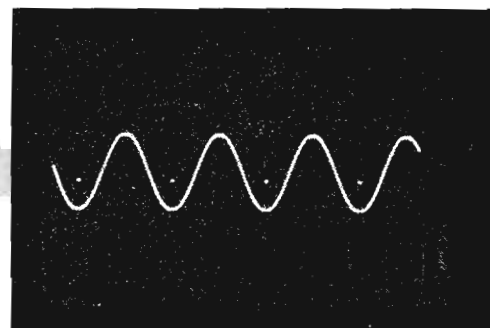


PHOTO J. — En mode Différence, le marquage se fait avec des impulsions positives.

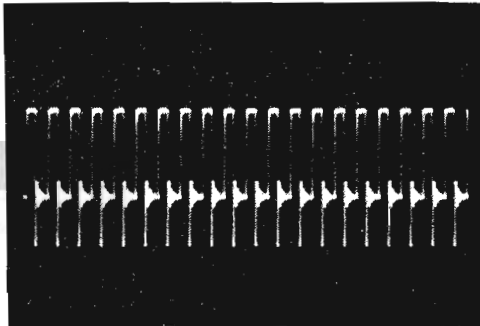


PHOTO K. – Signal 2 MHz issu d'un pilote à quartz 20 MHz et diviseur par 10.

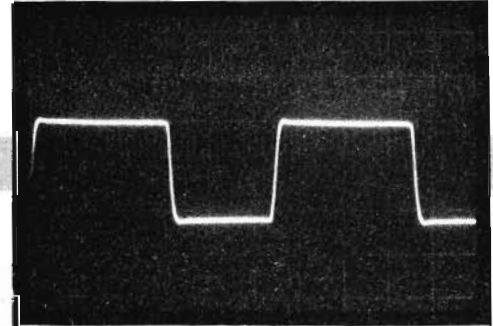


PHOTO L. – Signal rectangulaire issu d'un générateur variable et de fréquence inconnue.

En d'autres termes, les signaux dérivés des amplificateurs de voies et destinés à assurer le déclenchement de la base de temps traversent un commutateur à diodes identique à celui des signaux de voies. Voir l'article du mois dernier. La figure 2 montre le schéma possible pour cette fonction.

– Si  $q = 1$  et  $q' = 0$ , la voie 1 passe en sortie  $S_y$  et assure la synchronisation. La voie 2 est bloquée.

– Si  $q = 0$  et  $q' = 1$ , c'est le contraire. Les niveaux complémentaires  $q$  et  $q'$  sont encore donnés par une bascule :

– Si  $S = 1$  et  $R = 0$  (cas du dessin), la bascule est en fonction SET donnant :  $q = 1$  et  $q' = 0$ , quelle que soit l'action sur l'entrée horloge. ( $C_1$ ).

– Si  $S = 0$  et  $R = 1$ , la bascule est bloquée, avec  $q = 0$  et  $q' = 1$ .

– Si  $S = R = 0$ , la bascule est sensible aux impulsions d'horloge et change d'état à chaque front actif. Celles-ci proviennent de la base de temps. Nous aurons pour les balayages impairs (1<sup>er</sup>, 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>...) déclenchement par la voie 1, et pour les balayages pairs (2<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup>...) déclenchement par la voie 2.

Les oscillogrammes J à N illustrent une utilisation de cette fonction, mais

disons tout de suite que l'avantage essentiel est de pouvoir observer **en même temps** deux signaux totalement distincts et absolument asynchrones !

**En L**, un signal rectangulaire issu d'un générateur à fréquence variable.

**En K**, un signal rectangulaire (avec suroscillation dont nous reparlerons) provenant d'un pilote à quartz. La fréquence est de 2 MHz, très exactement. La période est donc de  $1/2 \cdot 10^6 = 0,5 \mu s = 500 \text{ ns}$ . L'alternance tant positive que négative vaut à peu près 250 ns.

**En M**, les deux signaux sont vus en même temps, mode double trace, alterné sur les voies et **sur la synchro**.

Malgré le non-synchronisme, les oscillogrammes sont superposés et stables. L'oscillogramme **N** est identique avec un cadrage différent. On peut mesurer la durée des alternances du signal variable :

– *Palier positif* :

$$9 \times 500 + 0,5 \times 250 = 4\,625 \text{ ns, soit } 4,65 \mu s \text{ environ.}$$

– *Palier négatif* :

$$7 \times 500 = 3\,500 \text{ ns ou } 3,5 \mu s.$$

– *Fronts* : environ 250 ns ou 0,25  $\mu s$ .

– *Période* :

$$4,65 + 3,5 + 0,25 = 8,4 \mu s.$$

– *Fréquence* :

$$1/8,4 \cdot 10^{-6} \approx 119 \text{ kHz.}$$

Amusez-vous à faire les mêmes calculs avec les signaux de la photo **O**, à titre d'exercice. Vous constaterez que la fréquence a un peu augmenté.

**NB.** Si votre oscilloscope n'est pas très précis, si son étalonnage ne tient pas dans le temps, fabriquez donc un générateur d'impulsions dérivées d'un quartz (nous vous proposerons une réalisation prochainement), prévoyez des impulsions distantes de 100 ns, 1  $\mu s$ ... 1 ms..., n'hésitez pas à les mélanger, exploitez alors la méthode ci-dessus et vous aurez ainsi sur votre écran d'oscilloscope une véritable graduation de parfaite précision et qui aura l'avantage d'être valable même en balayage « décalibré ».

### 3. Référence 0

Croyez-le si vous le voulez, mais le signal ayant servi à l'expérimentation précédente provenait d'un diviseur par 10, type 74LS90, attaqué par un signal à 20 MHz !

Mais où se trouve donc le niveau 0 d'un tel signal ? On peut répondre à

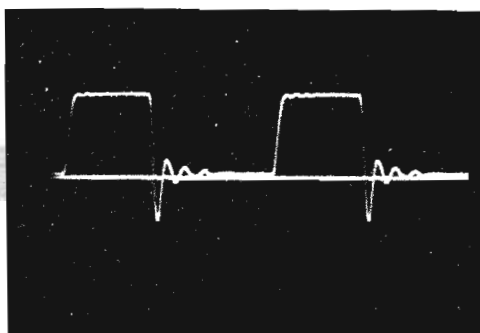


PHOTO Q. – La voie 1 reçoit maintenant le signal dont la trace de la voie 2 marque le niveau de référence 0.

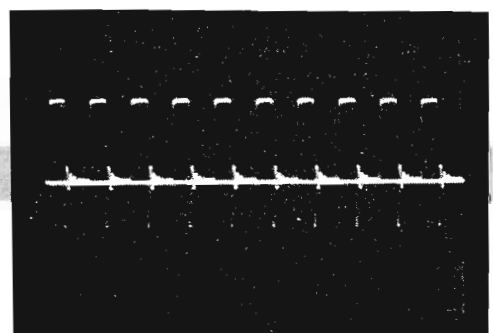


PHOTO R. – Même observation à une autre fréquence de balayage.

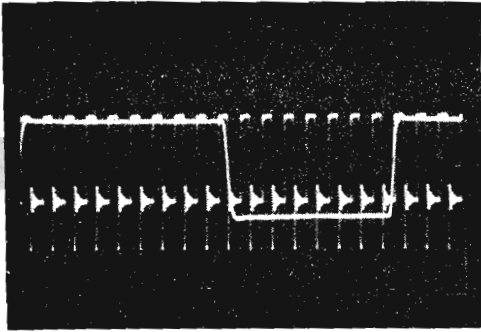


PHOTO M. – Les deux signaux sont vus en même temps, malgré leur différence de fréquence, à l'aide du mode « synchro alternée ».

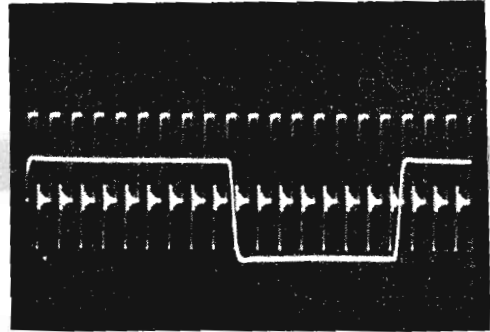


PHOTO N. – Mêmes signaux avec un cadrage différent.

cette question grâce à la manipulation suivante :

– En mode double trace alterné, mettre les deux entrées Y à la masse et amener les deux traces en superposition. Voir photo P.

– Attaquer la voie 1 par le signal à étudier. Laisser la voie 2 à la masse. On observe alors les oscillogrammes Q ou R, selon la vitesse de balayage. La trace horizontale continue correspond exactement au niveau 0.

#### 4. De l'utilité d'une sonde

Mais d'où provient cette suroscillation du palier négatif ? Tout simplement du fait que le signal 2 MHz a été prélevé avec un câble coaxial ordinaire branché directement sur le 74LS90. Il s'ensuit une suroscillation parasite due à la désadaptation des impédances. La forme observée est alors bien loin de la forme réelle normale !

Il suffit de remplacer ce câble par une sonde bien adaptée pour faire disparaître le défaut et retrouver un signal correct.

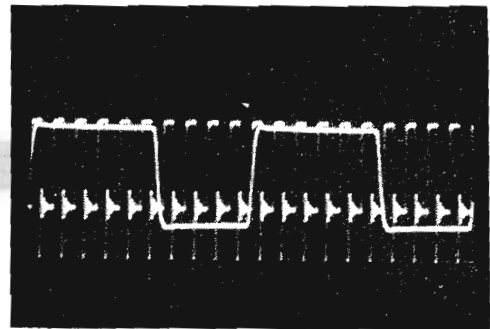


PHOTO O. – Mêmes signaux, avec une fréquence à trouver différente ! La trouvez-vous ?

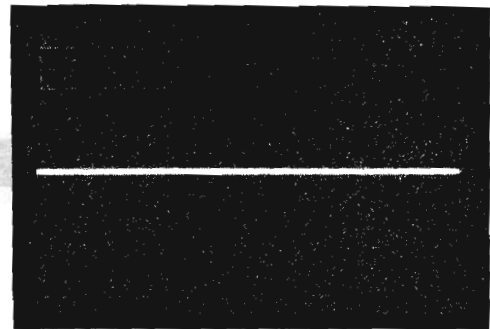


PHOTO P. – Les deux traces des voies 1 et 2, à la masse, sont amenées en superposition.

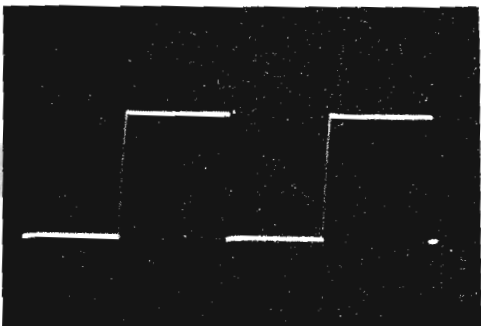


PHOTO S. – Sonde bien compensée.

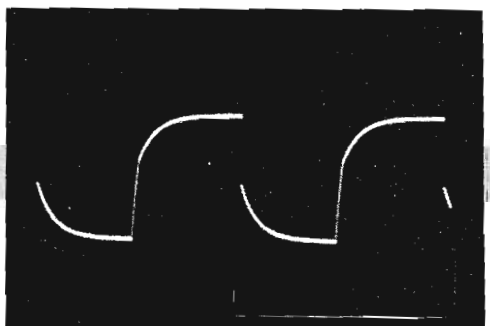


PHOTO T. – Sonde sous-compensée.

**NB.** En principe, un circuit TTL ou LSTTL ou C-MOS ne peut pas donner de niveaux négatifs : il y avait donc anomalie manifeste.

Mais attention, une sonde doit être parfaitement compensée, nous l'avons déjà dit. Les photos S, T et U nous montrent les trois cas possibles.

**En S,** compensation correcte.

**En T,** sous-compensation.

**En U,** sur-compensation.

Un oscilloscope bien étudié fournit toujours un signal rectangulaire convenable pour assurer le réglage des sondes. La fréquence doit être de l'ordre de 1 000 Hz, avec une amplitude d'environ 1 Vcc.

F. THOBOIS

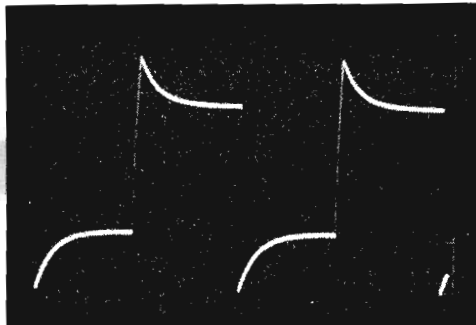


PHOTO U - Sonde sur-compensée.

## BLOC-NOTES

### BIBLIOGRAPHIE



**John R. PIERCE : LE SON MUSICAL : musique, acoustique et informatique.** Volume format 22 x 24 cm relié sous jaquette. 244 + XII pages. Collection « L'Univers des Sciences ». Edité par Pour la Science. Diffusé par les éditions E. Belin. Prix : 180 F (avec 2 disques)

Ce livre constitue le 2<sup>e</sup> volume de la collection « L'Univers des Sciences » — il fait suite à *Sons et Musique* tout en étant indépendant — et a pour auteur John R. Pierce, professeur à l'Institut Californien de Technologie. Le nom n'est pas inconnu puisque dix ans après que le physicien Arthur C. Clarke — auteur du cé-

lèbre ouvrage de science-fiction 2001, *l'Odyssée de l'espace* — ait eu l'idée d'utiliser des satellites artificiels comme relais de télécommunications, un certain John R. Pierce, directeur scientifique aux laboratoires de la « Bell Telephone », publiait en 1955 des calculs définissant les paramètres d'utilisation de satellites comme relais pour assurer le trafic entre continents. Il semble bien, à lire la préface du livre *Le Son Musical*, que ce John R. Pierce de la communication par satellite et l'auteur de l'ouvrage que nous avons entre les mains soient, en fait, une seule et même personne.

Comme l'écrit l'auteur dans sa préface, « ce livre décrit les aspects physiques et mathématiques des ondes sonores qui sous-tendent notre expérience de la musique. Mais il décrit surtout la psycho-acoustique du son musical. La psycho-acoustique est la branche de la psychologie expérimentale qui rattache les sons physiques à leurs aspects perceptibles. Les psycho-acousticiens étudient l'intensité des sons

tout juste audibles, les plus petites différences perceptibles dans l'intensité sonore, le volume subjectif (« sonie ») des sons, et bien d'autres aspects plus compliqués de la perception sonore. »

En réalité, ce livre étant avant tout un ouvrage de vulgarisation — de la vulgarisation fort bien faite d'ailleurs —, les aspects physiques et mathématiques des ondes sonores, tels qu'ils sont exposés, sont accessibles à tout lecteur cultivé et non spécialisé à condition qu'il lui reste quelques souvenirs scientifiques de ses études secondaires.

Quatorze chapitres constituent l'essentiel imprimé de cet ouvrage : Son et musique ; Périodicité, hauteur et ondes ; Ondes sinusoïdales et résonance ; Gammes et battements ; Helmholtz et la consonance ; Rameau et l'harmonie ; Des oreilles pour entendre ; Puissance et sonie ; Effet de masque ; Autres phénomènes de l'audition ; Acoustique architecturale ; Reproduction sonore ; Analyse, synthèse et timbre ; Perception, illusion et effets.

Tous sont soigneusement illustrés, et de photographies, et de figures et dessins explicatifs.

Des appendices constituant des compléments ou des rappels de physique et de mathématiques, des biographies et une bibliographie terminent cet ouvrage dont nous avons volontairement oublié un des aspects pour y venir à présent.

En effet, ce livre comporte également 2 disques 33 tours (17 cm) d'exemples musicaux synthétisés par de puissants ordinateurs, ceux de la Bell et de l'IRCAM : illusions et paradoxes sonores, effets stéréo contradictoires, rythmes et battements infinis et spirales, instruments et « voix » électroniques... Rassurez-vous, la génération des sons par ordinateur et l'explication commentée du contenu des disques font aussi l'objet de 2 chapitres « appendices » et vous pourrez ainsi découvrir, en étant guidé, tout un monde inconnu.

Pour ceux qui veulent s'instruire de façon agréable, pour les curieux aussi...

Ch. PANNEL.