

# La mesure électronique

par J.-C. REGHINOT (\*)

*Vouloir parler de l'instrumentation électronique semble une gageure tant ce domaine est vaste, puisque pratiquement n'importe quel phénomène physique, mécanique, physico-chimique, peut se ramener à un signal électrique, qui ensuite, peut être amplifié, mis en forme, filtré, multiplexé, échantillonné... pour enfin être calibré et donner une indication chiffrée sur un écran avec un affichage, c'est-à-dire « mesuré ».*

*Pour mieux cerner la mesure électronique, disons que c'est l'ensemble des instruments de mesure qui sert à l'étude, à la mise au point, à la production et à la maintenance de sous-ensembles et d'ensembles électroniques, quelle que soit leur destination finale.*

*C'est principalement cet aspect que nous nous proposons de développer ici, sans toutefois avoir la prétention d'être exhaustif.*

## Que mesure-t-on ?

Chacun sait que mesurer c'est comparer une grandeur physique à une autre prise comme unité, c'est introduire le nombre, la quantité mathématique dans la perception du monde, c'est fixer l'état ou l'intensité d'un phénomène, d'une manière indiscutable et sans ambiguïté !

Le temps peut se référer aux saisons, au jour, à la nuit..., disons à l'observation naturelle de ce qui nous entoure.

Les distances et les longueurs peuvent se référer au méridien terrestre et se conserver facilement comme déjà au Moyen-Âge le mètre et le yard étaient scellés dans les murs de la cathédrale Saint Etienne à Vienne. A l'époque, les marchands les utilisaient comme référence pour la mesure de la soie et d'autres marchandises.

L'Eglise était gardienne du spirituel et du physique.

Dans certains cas, par contre, la référence est arbitraire, c'est le cas des angles parce que sans dimension.

Une référence physique n'est pas sans problème, elle peut changer avec le

temps, elle peut être abimée ou perdue ; même la Terre change de dimension et de vitesse de rotation.

La meilleure référence semble être le standard atomique, jusqu'à présent. Tous les atomes d'un isotope donné appartenant à tel élément sont absolument identiques et invariables dans leurs propriétés ; c'est pourquoi nos deux unités fondamentales, la seconde et le mètre, sont maintenant définis en terme d'étalon atomique.

Cette conversion n'a été rendue possible que par le développement de l'instrumentation électronique, tout particulièrement grâce aux interféromètres et aux horloges à jet de césium.

Par contre, les techniques d'aujourd'hui n'ont pas encore permis de référencer le kilogramme étalon à une valeur atomique mais cela ne saurait tarder.

Le Kelvin et le Candela ne sont pas non plus, à proprement parler, référencés à un étalon atomique.

L'échelle des températures thermodynamiques peut, en principe, être définie en spécifiant la constante de Boltzmann, tandis que le candela est un

standard physique pour une certaine quantité physiologique, puisque la luminosité perçue est fonction des propriétés de l'œil humain.

Un grand pas fut franchi par la définition de l'Ampère qui établit une relation entre les standards mécaniques et électriques.

L'Ampère est un courant maintenu constant dans deux conducteurs parallèles, séparés par une distance de 1 m et placés dans le vide, de longueur infinie et de diamètre négligeable, qui produisent entre eux une force égale à  $2.10^{-7}$  Newton par mètre de longueur.

D'autres choix auraient été possibles, mais la mesure de force magnétique causée par le passage d'un courant à travers une bobine de dimensions connues, peut se faire avec une grande précision.

En pratique, les deux conducteurs ne sont pas utilisés et en partant de la définition, la force de répulsion ou d'attraction entre deux bobines de dimensions convenables peut être calculée. En partant de l'Ampère, la loi d'Ohm donne la définition du Volt, de l'Ohm, du Coulomb, de l'Henry, du Weber et du Tesla.

## La mesure dans la société ?

Autour de toutes ces unités de mesure s'est développée une véritable industrie où l'imagination de l'ingénieur a donné naissance à des instruments qui reflètent bien le souci de perfection cher à l'être humain.

Si l'« homme est la mesure de toute chose (1), il n'a pu bâtir la connaissance scientifique qu'en mesurant toute chose au sens précis et nouveau que la science a donné à ce mot la science n'est pas concevable sans la mesure et pourtant cette industrie est peu connue du grand public alors que sans elle la vie de tous les jours s'en

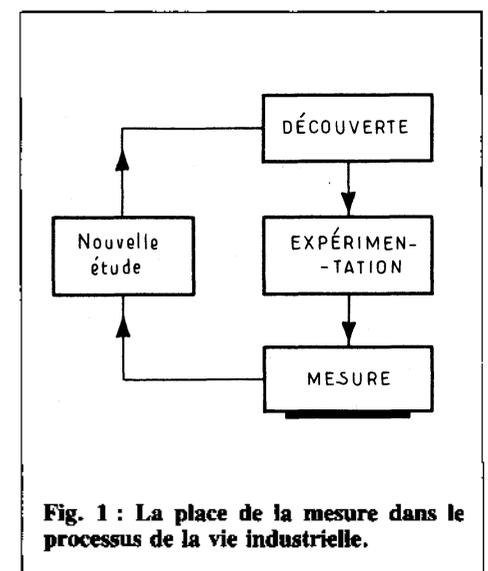


Fig. 1 : La place de la mesure dans le processus de la vie industrielle.

(1) Protagoras, 450 ans avant Jésus-Christ.

(\*) Ingénieur-Conseil

trouverait affectée cruellement (télévision, téléphone...) ».

La mesure est l'un des maillons essentiels de la chaîne des connaissances, son développement est étroitement lié aux progrès de la technologie, parfois s'appuyant sur elle, parfois la précédant. (Voir fig. 1)

## Mesure et technologie

On a vu des concepts et des principes d'appareils de mesure rester à l'état expérimental en attendant que la technologie permette leur développement, comme par exemple les figures de Lissajous (\*), qui ont dû attendre l'oscillographe du français Blondel en 1893, puis l'oscillographe cathodique de Karl Braun en 1897, pour en voir une représentation.

Il est intéressant de remarquer que la plupart de nos circuits électroniques encore utilisés aujourd'hui sont nés entre les deux guerres.

Parmi les grands classiques, citons :

— L'oscillateur inventé simultanément par différents ingénieurs en 1912, Reginald A. Fessenden, Alexander Meissner, Round et Lee de Forest.

Ce principe donna ensuite naissance à différentes variantes par Edwin Colpitts et R.V.L. Hartley.

Le Flip-Flop par W.H. Eccles et F.W. Jordan en 1919 ; le contrôle automatique de tension par H.A. Wheeler's en 1926 ; la contre-réaction par H.S. Black en 1927 ; la boucle de phase par H. de Bellescize, tandis qu'il travaillait en France en 1932 ; le contrôle automatique de fréquence de Charles Travis's en 1935 qui donna ensuite naissance au fameux discriminateur de fréquence de Foster-Seeley pour la détection de la modulation de fréquence.

L'amplificateur opérationnel par Philbrick en 1938 ; l'intégrateur à double rampe de R.W. Gilbert universellement utilisé dans les multimètres et fréquencesmètres a dû attendre 1955 pour voir le jour.

La plupart de ces principes sont encore utilisés dans nos circuits intégrés modernes, lesquels sont en fait constitués de composants « fabriqués » dans le substrat pour constituer une fonction élémentaire (oscillateur, amplificateur...). Ce qui revient à dire que la tâche de « l'électronicien circuitier » se trouve modifiée au fur et à mesure que les performances des circuits intégrés augmentent.

L'évolution de la technologie a considérablement modifié l'approche du

(\*) Lissajous ne pensait sûrement pas à l'oscilloscope quand il fit cette découverte, puisqu'il mourut en 1880 !

concepteur d'instrument de mesure ; il peut consacrer davantage de temps à l'application du client, il raisonne davantage en terme de système de mesure, qu'appareil de mesure. Actuellement, nous vivons cette évolution et les différentes sociétés leader sur le marché de l'instrumentation électronique proposent des solutions orientées système qui peuvent parfois dérouter l'utilisateur dans son choix.

Même les instruments de mesures classiques comme les générateurs, les oscilloscopes et les multimètres deviennent de plus en plus complets et intelligents ; ils comportent des fonctions supplémentaires qui débordent leur vocation première.

Cette intelligence va jusqu'à confondre en « une seule boîte » différentes fonctions réalisées jusqu'à présent par plusieurs instruments. Cette évolution ne va pas sans inconvénient pour l'utilisateur qui se trouve confronté au problème du choix de tel ou tel système.

Pour faire le meilleur choix, l'utilisateur est souvent tenté de comparer les appareils concurrents entre eux, mais la meilleure approche serait peut-être qu'il étudie les caractéristiques de chaque instrument en fonction des performances qu'il désire obtenir au niveau de son application.

Cette méthode a le mérite d'être plus simple et d'optimiser le choix par une analyse de la valeur du besoin.

Les constructeurs eux-mêmes ne simplifient pas toujours la tâche de l'utilisateur, ne proposant une instrumentation à la fois universelle et spécifique pour un problème donné, avec des appellations souvent différentes pour un même type de mesure.

Ex. : « Analyseur de transitoires » pour Hewlett-Packard ; « numériseur » pour Tektronix.

Bien sûr, on pourra toujours dire que deux instruments ne sont jamais absolument identiques, mais si l'on se réfère au phénomène physique à mesurer, on s'aperçoit qu'il s'agit bien du même type de mesure.

## Les différents types d'appareils de mesure

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'ouvrage ou d'annuaire traitant de la mesure électronique.

En ce qui concerne son aspect économique, les statistiques officielles ne sont d'aucune aide en la matière, car leur nomenclature est par trop hétérogène.

Quant aux produits eux-mêmes, outre qu'il devient de plus en plus difficile de mettre un nom d'instrument devant une mesure à réaliser (nous avons déjà abordé cet aspect et nous y revien-



Le multimètre de poche 5125, 20 000 points, d'AOIP.

drons), il semblerait que les sociétés proposant du matériel de mesure « cochant » le maximum de rubriques dans les annuaires, ce qui, à notre avis, induit en erreur l'utilisateur potentiel dans son choix.

D'après notre expérience et les divers contacts que nous avons pu avoir, il est possible de faire une classification en 5 rubriques principales :

- Appareils d'usage généraux jusqu'à environ 1 GHz ;
- Instrument pour la mesure de signaux logiques ;
- Instrumentation pour télécommunication ;
- Instruments pour applications en hyperfréquences.
- Systèmes de test.

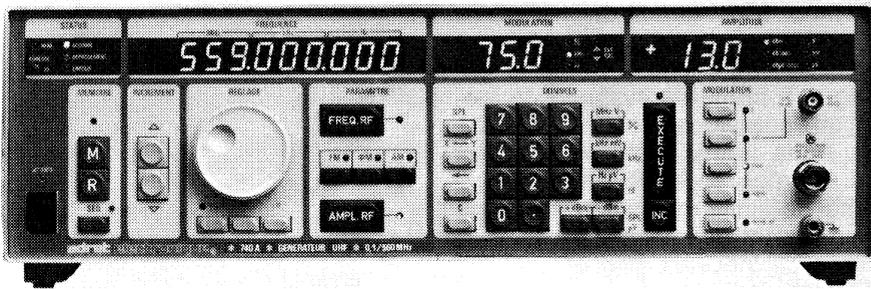
Nous nous bornerons ici à l'étude des deux premières catégories d'instruments qui représentent plus de 50 % des besoins en instrumentation.

## Usages généraux

Généralement, quand apparaissent les premiers besoins en instruments de mesure dans une entreprise, elle commence par acquérir un multimètre, un oscilloscope, un générateur.

Ces trois instruments représentent un marché très important, c'est pourquoi de nombreux constructeurs proposent un grand choix de modèles.

1 - Les Multimètres, tout d'abord à aiguille, ont remplacé les classiques contrôleurs universels ; ils ont été les premiers appareils à bénéficier d'affichage numérique. A l'origine, de per-



Générateur synthétiseur 100 kHz - 1,120 MHz programmable. Modulations AM, FM Modèle 740 A d'Adret Electronique.

performances modestes, avec 1 000 points, ils atteignent maintenant des caractéristiques exceptionnelles avec 20 millions de points de mesure comme par exemple le modèle 8506 de FLUKE, qui entre autre permet des mesures efficaces vraies, même en alternatif et pour un grand nombre de facteur de forme. Pour environ 70 kF, l'utilisateur dispose ici d'un véritable instrument de métrologie.

Bien entendu, il existe des multimètres beaucoup moins chers, pour des applications qui requièrent des appareils plus simples ; par exemple avec les modèles de la série 70, toujours de chez FLUKE, qui ne coûtent que 835 F et offrent 3 200 points de mesure.

Ces deux exemples montrent la grande disparité de prix et donc de performance dans les multimètres, mais le choix de l'utilisateur est relativement simple puisqu'entre ces deux extrêmes on trouve des 20 000 points pour environ 12 à 15 kF et qui commencent à être programmables, puis des 200 000 points pour 20 à 40 kF et des 2 millions de points pour 40 à 60 kF.

Le choix du modèle est principalement guidé par la précision et l'application.

A noter que les applications des multimètres sont très variées, maintenance d'appareils très divers, laboratoires, production. Dans ce dernier cas, ils sont incorporés dans des baies comprenant d'autres instruments de mesure, le tout piloté en IEEE488 par un ordinateur.

Pour un grand nombre de voies à acquérir, le multimètre peut être couplé à un scrutateur de voies ; là, l'utilisateur peut se poser la question de savoir s'il vaut mieux utiliser cette solution ou une centrale de mesure ; il lui faut bien étudier son problème pour effectuer un choix, par exemple de savoir jusqu'à quel niveau de traitement il désire aller dans son acquisition et quelle décision il doit prendre devant les résultats de mesure ?

D'autres constructeurs offrent également des modèles intéressants : citons principalement : AOIP, Enertec, Hewlett-Packard, Keithley, Kontron, Metrix, Racal Dana, Systron Donner...

Les principales caractéristiques d'un multimètre sont :

- Gamme de mesure (tension, courant...);
- Nombre de points ;
- Nombre de chiffres affichés ;
- Programmation (IEEE 488, BCD...);
- Fonctions spéciales (type de lecture en volts, dB ; mémoire...).

2 - Les générateurs de fréquence ont donné lieu à une grande diversité de modèles en ce qui concerne les principes utilisés, depuis le simple oscillateur contrôlé en tension (VCO) jusqu'aux supers synthétiseurs comme le HP 86733 qui représente actuellement l'un des meilleurs générateurs dans sa gamme de fréquence (50 MHz à 26 GHz), pour un prix d'environ 450 kF.

Les synthétiseurs quant à eux, ont fait couler beaucoup d'encre, entre la synthèse directe, itérative, les générateurs synthétisés et les synthétiseurs.

L'accord semble s'être fait aujourd'hui sur les générateurs synthétisés à plusieurs boucles de phases commutées comme les 7100 de Adret, les SMS de Rohde et Schwarz, les 2017 de Marconi et les de Racal Dana.

Il existe une grande variété de générateurs de fréquence pour satisfaire à différentes applications et faire en sorte que le stimulus se rapproche le plus possible des conditions réelles de fonctionnement du système sous test.

En effet, il est impossible de réunir en un seul appareil l'ensemble des performances nécessaires dans un laboratoire et la conception à tiroir tend à disparaître, sauf dans le cas des wobulateurs haut de gamme, comme par exemple le HP 8350 qui monte à 26,5 GHz.

Il y a encore une dizaine d'années, pour disposer d'un signal aussi pur que possible, l'utilisateur devait avoir recours à une source de fréquence le plus souvent à cavité ; des modulateurs, atténuateurs, synchronisateurs extérieurs, permettaient d'en étendre les possibilités.

Au fur et à mesure des améliorations faites sur les circuits de génération, oscillateur à faible bruit (yig - quartz...),

ces sources se sont transformées en générateurs comportant toutes les fonctions nécessaires (modulations d'amplitude, de fréquence, de phase, atténuateur précis...) pour arriver aux générateurs d'aujourd'hui qui sont de plus en plus complets et performants.

Certains comportent une informatique et un clavier, ce qui les fait davantage ressembler à une périphérie d'ordinateur qu'à un instrument de mesure.

Les générateurs de fonctions fournissent différentes formes d'onde (sinusoïdale, carrée, dent de scie...) ; certains modèles comme le HP 2213 peuvent également fabriquer n'importe quelle forme d'onde à la demande. Les générateurs d'impulsions délivrent des impulsions fixes ou ajustables en période, largeurs de temps de montée et de descente.

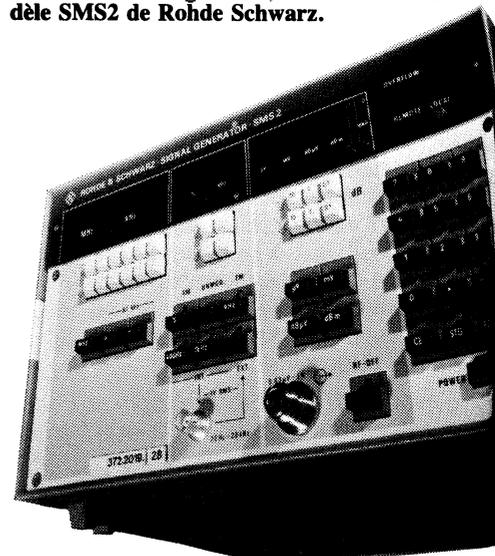
Par ailleurs, il est possible d'envisager la génération de signaux particuliers comme par exemple les générateurs de mire télévision, de ligne test, d'échelle de gris comme ceux de : Marconi, Tektronix, Rohde et Schwarz, Philips. Ces sociétés proposent par ailleurs des instruments de mesure spécifiquement destinés à la télévision.

Dans leur présentation, les générateurs haut de gamme ont considérablement changé, des claviers ont remplacé les boutons, les affichages numériques les galvanomètres.

Le choix de l'utilisateur se fait principalement en fonction de la gamme de fréquence, des fonctions annexes, de la dynamique de l'atténuateur et de sa résolution, et de la vitesse de programmation si nécessaire.

Ensuite viennent les caractéristiques comme le plancher de bruit, la réjection des raies, parasites (harmonique ou non). Les performances d'un générateur moderne sont étroitement liées à celles de son pilote interne. Généralement, il est à quartz en enceinte ther-

Générateur de signaux 0,1 - 1040 MHz modèle SMS2 de Rohde Schwarz.



mostatée de classe 10-10/24 h avec des réjections de bruit de l'ordre de — 130 dBc (à 10 kHz de la porteuse), ils font l'objet de recherche permanente de la part des fabricants.

Les instruments arrivent à de telles performances qu'il est très important de considérer les conditions de mesure précisées par le constructeur (niveau et fréquence de la mesure, largeur du filtre d'analyse, distance de la porteuse).

Les principaux constructeurs sont : *Adret - Elexo - Enertec - Fluke - Hewlett-Packard - LEA - Marconi - Matrix - Philips - Racal - Rohde et Schwarz, Siemens - Systron Donner - Tekelec - Tektronix...*

3 - Les oscilloscopes occupent une place privilégiée dans le domaine de la mesure.

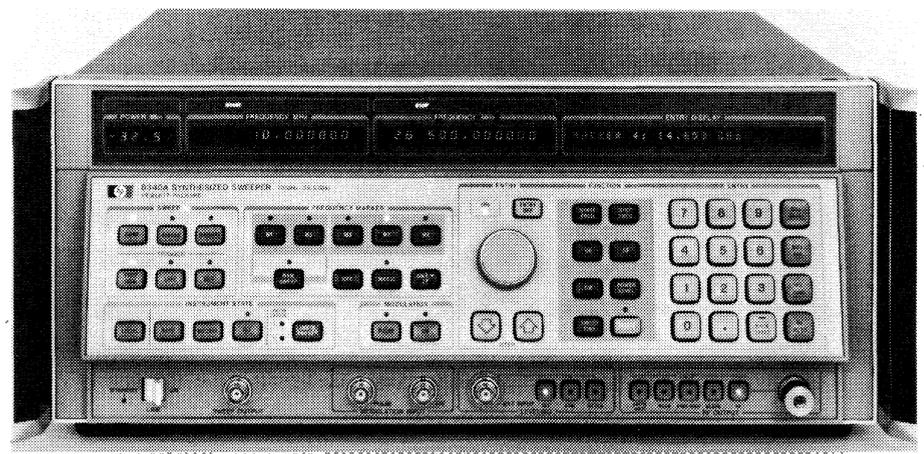
Jusqu'à leur avènement vers les années 1930-40, les instruments de mesure comportaient un galvanomètre et ne pouvaient mesurer les phénomènes que séparément, obligeant ainsi le technicien à faire de nombreuses observations, à les relier entre elles pour aboutir à la fonction mathématique, corrélant les phénomènes entre eux.

A cette époque, l'utilisateur rêvait déjà d'un appareil lui permettant de qualifier un signal en fonction d'un autre ou de son évolution dans le temps, de le visualiser et d'être assez universel et souple d'adaptation pour capter les mouvements de ses variations.

Des essais expérimentaux datent de 1897, mais il fallut attendre l'icôneoscope de *Zworykin* en 1934 pour parler véritablement d'oscilloscope.

A ses débuts, cet appareil était surtout un outil de visualisation qualitatif, la synchronisation était acrobatique et peu stable. C'est avec le modèle 545 de *Tektronix* que l'oscilloscope devint un instrument de mesure à part entière

Générateur de signaux 10 kHz - 1000 MHz modèle 2022 de Marconi Instruments.



Le modèle 8 340 A de HP couvre la gamme 10 MHz à 26,5 GHz.

grâce à sa double calibration de l'atténuateur d'entrée et de la base de temps.

Depuis, l'oscilloscope a subi de nombreuses transformations, au niveau de la qualité des tubes (déflexion, phosphore, trace...), des circuits internes (déclenchement, synchronisation), il s'est vu adjoindre des fonctions de mesures, d'intervalles de temps (double base de temps et « delta time » de *Hewlett-Packard*).

Malgré d'autres possibilités de visualisation de signaux offertes par de nouvelles générations d'appareils de mesure (analyseur de spectre, d'onde, de transitoire, analyseur logique), l'oscilloscope reste l'un des instruments de base le plus utilisé, aussi bien par l'industrie électronique et informatique que par d'autres industries.

Devenu programmable chez *Hewlett-Packard, Tektronix, Elexo et Philips*, on peut se demander si l'écran est toujours nécessaire et s'il doit conserver son nom d'oscilloscope !

L'oscilloscope professionnel comporte de nombreuses commandes, il intimide un peu le jeune technicien qui doit l'aborder pour la première fois,

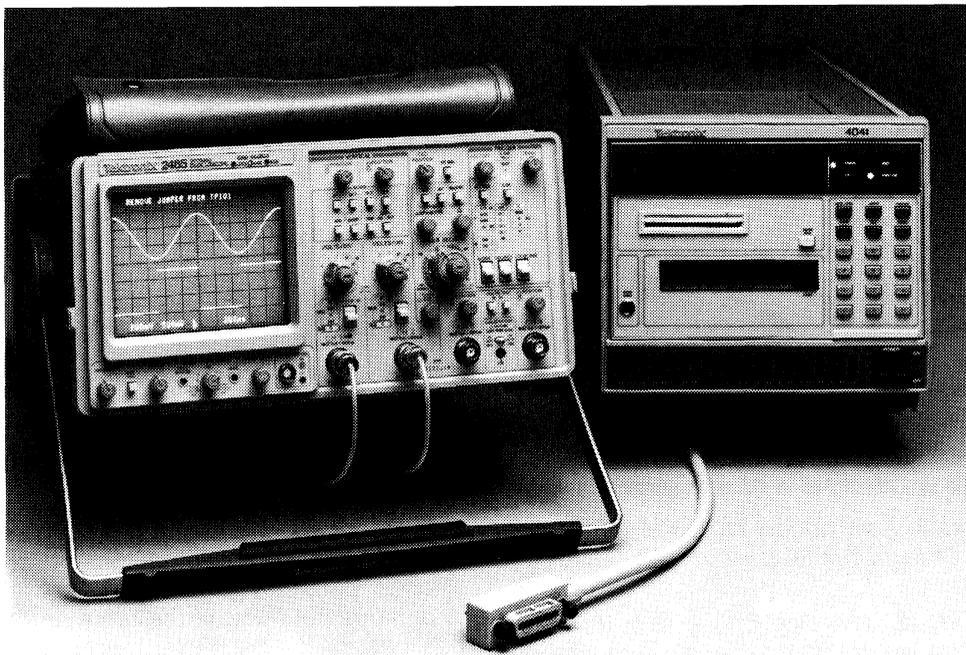
même s'il a connu des appareils plus simples lors de ses études (trop simples, peut-être !). En effet, il faut de la pratique pour tirer la meilleure partie des possibilités de déclenchement de synchronisation, de la double base de temps, et déterminer l'amplitude et le temps à partir des graduations des commandes ; en outre, il faut interpréter une forme d'onde et non lire directement un chiffre sur un affichage (\*) ; c'est pourquoi certains modèles donnent directement les indications de mesure sur l'écran en plus de la trace (série 2000 de *Tektronix* par exemple).

Certains oscilloscopes ont été développés pour des applications spécifiques comme les modèles pour télévision, qui peuvent se synchroniser sur des lignes de test et de mesure (lesquelles sont invisibles sur les récepteurs de télévision), comme ceux de *Philips* (appelés oscilloscopes de profil vidéo) ou de *Tektronix*, et *Hewlett-Packard*...

Le prix des oscilloscopes peut varier de 10 kF pour un 60 MHz à plus de 200 kF pour un modèle système, comme la série 2000 de *Tektronix*, ce dernier en particulier, mi-ordinateur, mi-oscilloscope, comporte un clavier détachable, permettant la capture de signaux jusqu'à 14 GHz en échantillonnage, avec des vitesses d'écriture de 2500 cm/μs.

Le choix de l'utilisateur doit se faire en fonction de la fréquence des signaux à analyser, du nombre de voies nécessaires (généralement de 1 à 4), de la nature du signal (répétitif ou isolé), du lieu de l'utilisation (laboratoire, système, production, terrain) et du degré d'analyse nécessaire à l'application. Pour une analyse très poussée du signal, l'utilisateur peut alors s'orienter vers des numériseurs ou analyseurs de transitoires, les choix se faisant par un étroit dialogue fabricant/utilisateur.

(\*) Il existe d'excellents ouvrages sur le sujet : « *Practical oscilloscope Handbook* chez *Hayden*, *Pratique des oscilloscopes* chez *S.E.C.F.* »



Tektronix 2465 300 MHz.

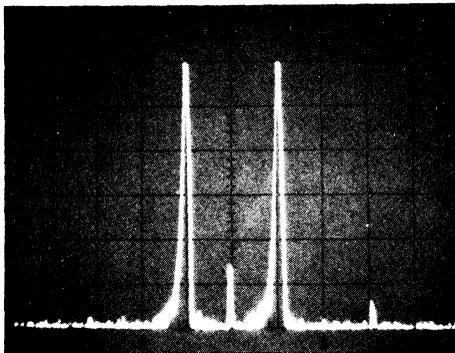


Fig. 2 : Domaine fréquence d'un modulateur équilibré.

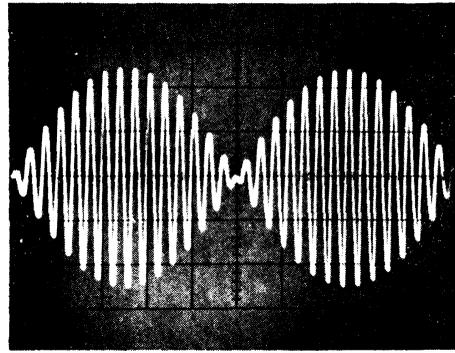
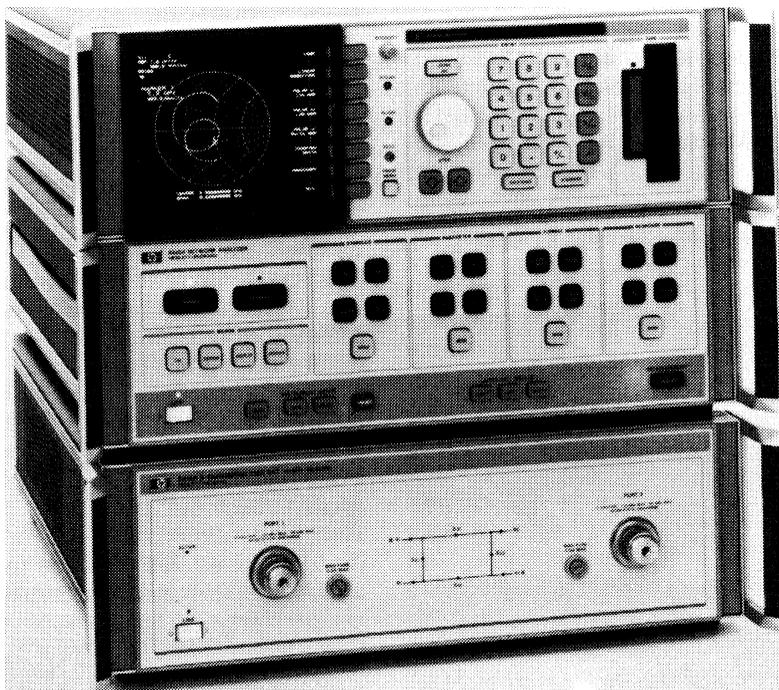


Fig. 2 b : Domaine temps de ce même modulateur.

L'analyseur de réseau HP 85 104.



4. Les compteurs et fréquencemètres ont également subi de nombreux progrès au fur et à mesure des progrès de la technologie, amélioration des convertisseurs, des principes de fonctionnement (simple ou double rampe, réciproque...), ce qui a permis d'accroître sensibilité et précision et d'arriver à des fréquences de plus en plus élevées de l'ordre de 40 GHz, avec des mesures d'intervalles de temps de quelques picosecondes. A noter que, comme dans un générateur de fréquence, le pilote interne de la base de temps conditionne la précision des mesures.

Ces appareils affichent la fréquence sur un grand nombre de chiffres (jusqu'à 12 chiffres avec le modèle HP 5370 B). Ils sont dotés de fonctions de calcul comme les moyennages sur une mesure, les rapports de fréquence entre deux voies, le calcul des temps de montée et de descente et les rapports cycliques...

Là encore, le choix se fera en fonction de la gamme de fréquence et de la nature des signaux à mesurer ; par exemple en télécommunication il faudra un appareil acceptant des signaux modulés.

Les principaux constructeurs sont : *Enertec, Fluke, Hewlett-Packard, Kontron, Marconi, Metrix, Philips, Racal Dana, Rohde et Schwarz, Systron-Donner, Tekelec...*

### Encore d'autres instruments de mesure

Cette catégorie « des appareils de mesure - usages généraux » comporte bien d'autres instruments, comme les alimentations stabilisées, les étalons de tension et de fréquence, les traceurs de caractéristiques, les analyseurs de spectre, de réseau...

Il n'y a pas de méthode rigoureuse pour amener l'utilisateur à « mettre » une ou plusieurs références d'appareils en face d'un problème à résoudre. Néanmoins, un raisonnement de « proche en proche » peut aider considérablement l'utilisateur.

Quand on se trouve en face d'un signal à qualifier, les trois premières caractéristiques que l'on désire connaître tout d'abord sont : sa tension, sa fréquence et sa forme ; là, le choix en terme d'instrument est évident ; ensuite si l'on veut pousser les investigations plus loin, par exemple connaître le spectre de fréquence occupé par le signal, on aura recours à un analyseur de spectre panoramique, qui donnera une représentation du signal dans le domaine fréquence, (alors que l'oscilloscope donne une représentation dans le domaine temps, voir fig. 2).

A noter que l'on peut toujours passer d'une représentation à l'autre avec une « transformée de Fourier directe » (temps/fréquence) ou « inverse » (fréquence/temps).

Ce changement de représentation peut être très utile pour analyser un phénomène physique, qui est mis en évidence par la transformation du signal d'excitation, par exemple en échographie, vibration... (Acutronic, ATNE, Bruel et Kjaer, Hewlett-Packard, Scientific Atlanta, Tekelec, Tektronix...).

— L'analyseur de spectre, prend en quelque sorte le relais de l'oscilloscope pour analyser le contenu d'un signal (raies, parasites, bruits, raies de modulation...). Ensuite, si l'on désire par exemple analyser en détail la modulation visualisée sur l'oscilloscope ou l'analyseur de spectre, un modulateur ou un distorsionmètre donneront des indications précises sur les taux de modulation, les distorsions...

L'analyseur de spectre présente l'avantage de pouvoir effectuer des mesures en direct jusqu'à des fréquences très élevées de l'ordre de 100 GHz puisqu'il travaille par hétérodynage, alors que l'oscilloscope aura recours aux méthodes d'échantillonnage, ce qui le limite à environ 3 GHz et nécessite un signal répétitif ; en outre, il ne peut capter les transitoires.

Il apparaît donc une certaine logique de raisonnement centrée autour des 3 instruments les plus utilisés que nous venons de passer en revue :

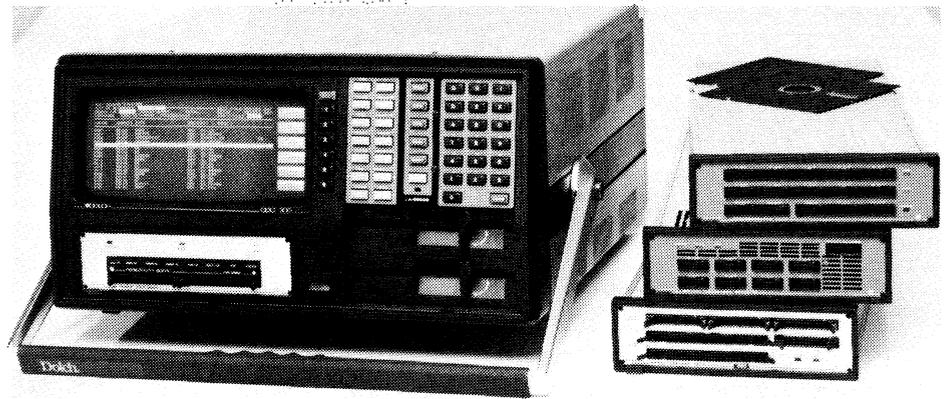
— Multimètre, fréquencemètre, oscilloscope, ces derniers permettent de qualifier un signal dans la majorité des cas.

Ces instruments ont de très larges possibilités avec d'excellentes performances, mais voient leur limite dès qu'il s'agit d'effectuer des mesures de pointe sur un paramètre isolé. Dans ce dernier cas, il faut avoir recours à un instrument spécialement étudié pour cela, comme par exemple un analyseur de transitoires qui permettra de qualifier avec précision un parasite fugitif, un analyseur de réseau scalaire ou vectoriel pour effectuer des mesures précises d'amplitude de TOS et de phase. (Marconi, modèle 6500, Hewlett-Packard HP 8756 A).

Un voltmètre sélectif pour mesurer le signal en accordant l'appareil sur la fréquence du signal à mesurer (Wandel et Golterman - Rohde et Schwarz...).

## Analyseurs logiques

S'il s'agit de signaux logiques à analyser, le problème est plus simple puisque l'on dispose des analyseurs logi-



Le Coit de Dolch (Elexo) système de test et d'analyse logique intelligent programmable en Basic.

ques spécialement destinés à ces mesures. Ce sont là des dérivés de l'oscilloscope (\*) qui peuvent analyser un grand nombre de voies.

Depuis leur introduction par Hewlett-Packard et Biomatron vers les années 1973, ces appareils ont connu un développement extraordinaire. Ils permettent deux représentations, en fonction du temps (ou asynchrone) et/ou sous forme d'états logiques "1" ou "0" (synchrone).

La première représentation concerne plus particulièrement le « circuitier » qui s'intéresse davantage aux relations de temps des différentes séquences alors que la seconde est plus spécialement destinée au programmeur qui doit mettre au point le logiciel et le rendre le plus performant possible.

C'est pourquoi l'on voit de plus en plus d'appareils capables des deux représentations simultanées comme par exemple le HP 1630, le 1240 de Tektronix, le PM 3551 de Philips...

Certains analyseurs logiques comportent en plus une fonction oscilloscope (Philips, Tektronix...) qui permet de visualiser en détail un déclenchement ou un parasite, puisqu'il ne faut pas oublier qu'un analyseur logique reconstitue les niveaux "1" et "0" à partir du signal d'entrée ; il est donc intéressant de voir ce signal tel qu'il se présente à l'entrée de la sonde.

Le choix de l'analyseur est déterminé par le nombre de voies, en fonction de l'application ; par exemple si l'on travaille sur le bus d'un microprocesseur 8 bits, il faudra 32 voies pour représenter les données, les adresses et les entrées/sorties, une vitesse d'échantillonnage d'environ dix fois supérieure à celle du système sous test pour une représentation asynchrone et une mémoire pouvant stocker plusieurs cycles machine.

(\*) Le premier analyseur logique « temps » était un oscilloscope Hewlett-Packard modifié.

Pour des microprocesseurs multiplexés, la triple horloge permet d'acquiescer séquentiellement adresses et données sur le même point de connexion.

Les analyseurs logiques permettent également une visualisation du logiciel sous forme d'histogramme ou de carte qui renseignent sur ses performances, en signalant les engorgements, en comparant les performances de deux approches ; on peut également évaluer le taux d'utilisation dynamique de la mémoire, dessiner l'activité de cette dernière en fonction des boucles, pour détecter les mauvais branchements.

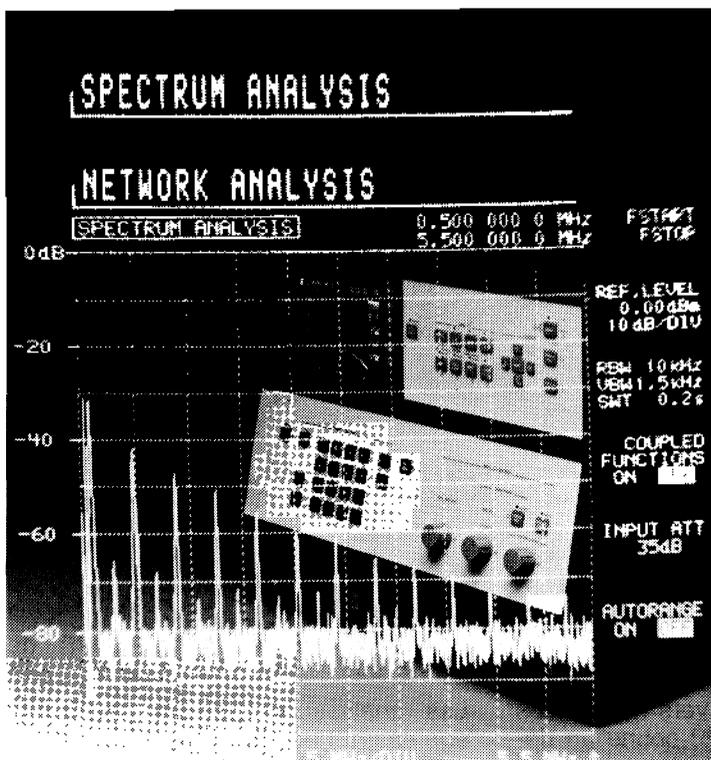
Ces appareils restent quand même simples d'emploi grâce à l'affichage du menu de fonctionnement, du clavier et des touches de configuration pour les commandes répétitives. Pour faciliter l'observation, Tektronix a introduit la couleur sur son modèle DAS, ce qui pour un faible coût supplémentaire (de 1 à 5 %) rend plus facile l'interprétation des résultats.

Un besoin se fait sentir en analyse logique d'entrée de gamme (modèle portable pour le terrain). Philips a introduit en septembre 1984 un « analyseur personnel » 32 voies - 100 MHz, qui fait également émulateur de ROM, le tout pour 43 kF.

## Systemes de développement pour microprocesseurs

Pour développer un application comprenant un microprocesseur, il faut avoir recours à un système permettant son émulation, d'où sont nés les systèmes de développement pour microprocesseurs.

L'Emulation signifie fonctionnement d'un prototype à microprocesseur sous contrôle du système de développement. Le microprocesseur est enlevé du prototype et remplacé par une sonde reliée au boîtier d'émulation, qui contient un microprocesseur équivalent, souvent en version spéciale.



Analyseur de spectre SNA-1 et analyseur de réseau SNA-2 de Wandel et Goltermann.

Il est possible d'élaborer le logiciel du système comme on fait de la programmation. Les premiers systèmes sont apparus vers les années 1976-77 pour les technologies mémoire de 1 Méga-octets, un seul utilisateur était nécessaire.

Avec les 16 bits, il fallut avoir recours aux langages évolués, augmenter la mémoire à 2 Méga-octets et pouvoir travailler à plusieurs utilisateurs. Aujourd'hui, de nombreux fabricants proposent des systèmes de développement de plus en plus performants et en constante évolution.

Le choix de l'utilisateur est important car, comme en informatique, il doit veiller à la pérennité de son système en fonction de l'évolution de ses propres besoins.

Le système doit être universel et pouvoir supporter un grand nombre de microprocesseurs.

Les principaux fournisseurs d'analyseurs logiques sont : A2M - Enertec - Eurotron - Generim - Hewlett-Packard - Kontron - Philips - Racal-Dana - Siemens - Tektronix.

Pour bénéficier d'une puissance de programmation, il faut un système d'exploitation avancé ; UNIX (\*) semble se généraliser chez tous les constructeurs.

L'émulation doit se faire en temps réel pour bénéficier d'une interaction entre le logiciel et le matériel.

(\*) UNIX est une marque déposée par les Bell Laboratories.

Bien sûr, d'autres considérations sont à prendre en compte, comme la réputation du fournisseur et l'ensemble des services qu'il propose pour assurer une exploitation optimale d'un investissement coûteux, (200 F pour le nouveau système Philips PMD 52, Multiposte, Multi-tâche, Multiprocesseur, jusqu'à 7 utilisateurs).

*Remarque :*  
Les circuits logiques requièrent bien d'autres instruments, en particulier les

programmeurs de mémoires, de réseaux de portes..., qui, à notre avis, sont plus des instruments de production que des appareils de mesure.

Pour faciliter encore le travail du concepteur et préparer l'émulation des 32 bits, Tektronix propose « l'analyse structurée » (STRUCTA). Cette nouvelle approche permet de définir de façon précise le système, elle fait largement appel au graphique et permet d'identifier les problèmes dès leur apparition. Ce nouvel outil est disponible pour les systèmes 856X et VAX/UNIX, une version pour VAVMS sera disponible début 1985.

Les principaux fournisseurs sont : Genrad - Hewlett-Packard - Philips - Siemens - Spetelec - Tektronix - Yrei...

### Fibres optiques

Les fibres optiques sont un parfait exemple d'une nouvelle technologie devant générer de nouveaux besoins en instrumentation. Il est étonnant qu'aujourd'hui, relativement peu de sociétés offrent une instrumentation catalogue (Enertec, Hewlett-Packard, Tektronix, ATNE), alors que parallèlement, de nombreux fabricants de composants électroniques ont à leur catalogue toutes sortes de composants d'extrémités et de fibres optiques, permettant de réaliser des liaisons complètes.

Il semblerait que l'utilisation de cette solution n'ait pas encore atteint un stade de développement suffisant pour parler d'une industrie de la fibre optique ; affaire à suivre car, dans bien des cas de figure, les fibres optiques offrent une solution intéressante en ra-

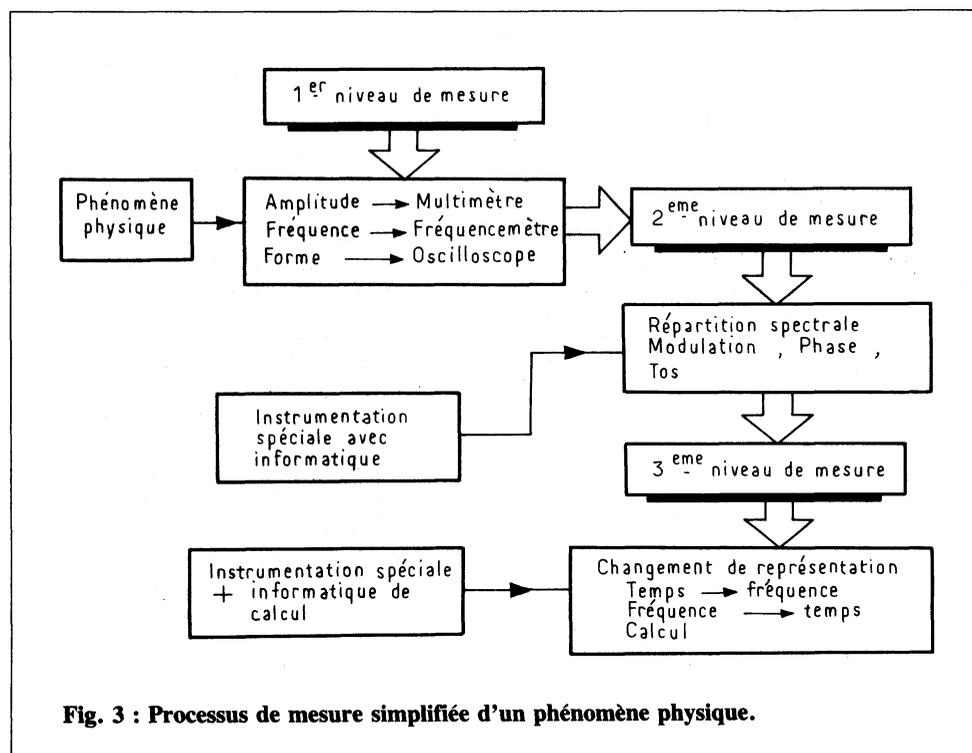


Fig. 3 : Processus de mesure simplifiée d'un phénomène physique.

pidité de transmission, en fiabilité, et sont quelquefois plus rentables que les moyens conventionnels. Gageons qu'un proche avenir verra de nombreux fabricants d'appareils de mesure s'intéresser aux fibres optiques.

## Evolution de l'instrumentation

L'évolution de l'instrumentation se fait vers un automatisme de plus en plus poussé des mesures. Cet automatisme a fait un grand pas en avant, quand *Hewlett-Packard* a inventé le concept du HP-IB, devenu la norme IEEE 488 en 1975. Bien qu'imparfaite cette norme facilite le dialogue entre divers instruments de mesure et un contrôleur. Il semble que les défauts de jeunesse de cette norme se soient estompés et que les quelques difficultés de dialogue qui subsistent encore en branchant sur un même bus des instruments de sources différentes se résolvent facilement.

A ce propos, il semblerait que les instruments les plus utilisés en programmation soient les multimètres et les compteurs (pour environ 30 % des ventes) alors que les générateurs ne seraient utilisés que pour 15 %.

Avec son « Codes et FORMAT », *Tektronix* va un peu plus loin que l'IEEE 488 en utilisant des mnémoniques plus facilement compréhensibles par l'utilisateur puisque rappelant les commandes de la face avant (ex. TR1 pour trigger - FREQ pour fréquence...), organisées selon un format standard, ce concept vient du reste d'être normalisé sous la référence IEEE 728.

D'après les utilisateurs, les principales sources d'ennuis ne viendraient pas des instruments mais du calculateur et il y a donc intérêt à utiliser un contrôleur destiné à une telle application (*Tektronix*, *Fluke*, ce dernier propose un contrôleur, possédant un véritable écran tactile).

## Informatique ou mesure ?

Depuis 2 ans, on voit plusieurs sociétés proposant une instrumentation conçue autour d'un ordinateur personnel. *North-West* par exemple, représenté en France par *Generim*, a tout d'abord introduit un générateur de fonction, puis un oscilloscope. Cette société commercialise maintenant un analyseur logique temps et/ou état, dont les performances n'ont rien à envier à des produits plus onéreux, gageons que devant les encouragements d'une telle solution, *North-West* n'en restera pas là et sera suivie par d'autres sociétés de mesure.

Cette approche en fait est parfaitement logique, elle vient de la constatation que les instruments de mesure comportant de plus en plus d'informatique par rapport à la partie mesure, pourquoi ne pas introduire cette dernière à l'ordinateur !

De l'informatique dans la mesure ou de la mesure dans l'informatique, qui l'emportera ?

## Les sociétés de mesure

Parmi les sociétés mentionnées tout au long de cet article, très peu sont françaises, et pourtant l'industrie française de la mesure a connu ses heures de gloire avec *Ribet-Desjardins*, *CRC*, *Ferisol*, *Schneider*...

Les ingénieurs de l'hexagone sont-ils moins astucieux ? Certes non. La technologie n'explique pas tout ; si les sociétés importantes peuvent s'offrir des composants développés spécifiquement pour elles, les investissements nécessaires peuvent les mettre en péril en cas d'échec du produit.

La raison tient peut-être dans l'optimisation des orientations, du choix technologiques et des segments de



North-West représenté en France par *Generim* présente un analyseur logique couplé avec l'IBM PC.

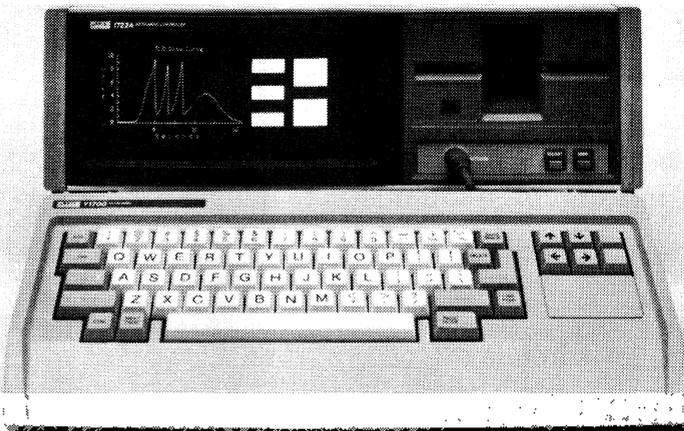
marché ; il n'est pas nécessaire de faire front sur toutes les spécialités de la mesure pour avoir une bonne visibilité. Un exemple nous est donné par *Adret-Electronique* qui a su prendre une place de leader international sur le marché des générateurs synthétiseurs de fréquence. Cette société exporte plus de 30 % de sa production et son modèle 740 A a été diffusé à plus de 2 000 exemplaires en 2 ans, dont 50 % à l'export. Après avoir consolidé sa position, cette société développe maintenant un analyseur de spectre haut de gamme et selon ses dirigeants, « compte bien prendre un part significative de ce marché ».

Une meilleure connaissance des sociétés est importante pour l'utilisateur, qui avoue qu'à performance à peu près semblable, sa préférence va vers la société qui le rassure, c'est-à-dire que son achat n'est pas aussi rationnel qu'on l'apprend encore dans les écoles de marketing.

Quand on essaye d'analyser la stratégie des sociétés qui, malgré les contraintes économiques que nous connaissons restent productives et dynamiques, on s'aperçoit qu'elles ont su s'adapter à leur environnement et prendre des risques calculés dans leur innovation. Cette innovation est indispensable pour intéresser un marché, savoir bien fabriquer assure une rentabilité et un bon marketing mix est le garant de la pérennité de l'entreprise.

En cherchant bien, il subsiste encore des opportunités dans le domaine de la mesure électronique.

J.-C. R.



Contrôleur à écran tactile pour système IEEE 488 et RS 232 C. Mémoire 136 k extensible à 2,6 Mega octets, lecteur de disques souple de densité 400 k octets. Modèle 1722A de *Fluke* (*MB Electronique*).