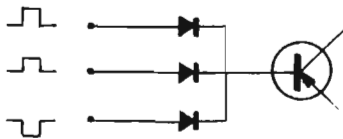


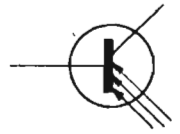
OUI



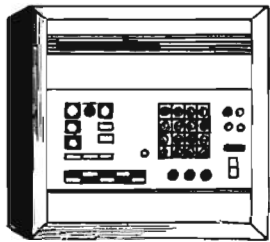
NON

1 + 1 = 10  
 10 + 10 = 100  
 1000 - 100 = 100  
 11 x 11 = 1001

ET



OU



# INITIATION AU CALCUL ELECTRONIQUE

## LA FLUIDIQUE

Il y a plusieurs centaines d'années que les systèmes fluides sont employés, mais l'exploitation rationnelle de la mécanique des fluides ne date que de quelques siècles les plus récents. La plupart des innovations remontent en effet au XVIII<sup>e</sup> siècle : 1711, invention de la pompe à vapeur ;

1769 : invention de la machine à vapeur, par Watt. Ces systèmes furent utilisés tout d'abord dans l'industrie du fer. Après la mise au point du mouvement rotatif en 1781, les moteurs à vapeur firent leur apparition dans l'industrie textile, ainsi que dans les locomotives à vapeur.

Ce manque de théories expliquant les phénomènes observés en mécanique des fluides freina le développement des systèmes fluides ; pendant ce temps-là, l'énergie électrique trouvait de nombreuses et importantes applications, et surpassait alors l'énergie fluide. Néanmoins, en 1904, la mécanique des fluides allait progresser : un aérodynamicien allemand, Prandtl, étudiait le contrôle de la séparation d'un écoulement dans un diffuseur à grand angle (Figure 1).



Photo n° 1. — Circuit fluide (cliché Plessey)

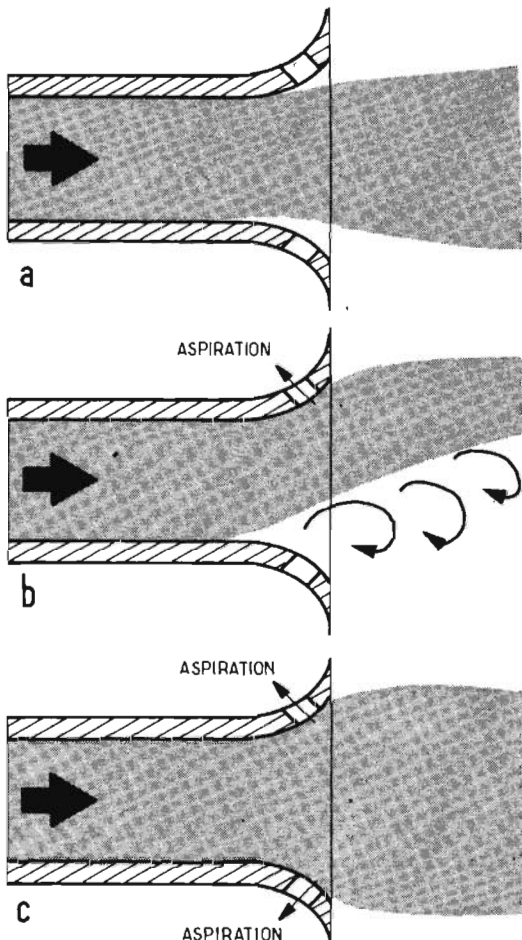


Fig. 1 - a) Comme le diffuseur possède un grand angle, le fluide ne peut suivre la courbure des parois. — b) Par aspiration sur une paroi, on arrive à faire « coller » le fluide sur la paroi divergente. De l'autre côté, il y a un décollement. — c) Le décollement disparaît par application de deux sources d'aspiration de part et d'autre de l'écoulement

### L'EFFET COANDA

Dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, un chercheur fit une découverte de grande importance : en 1932, Henri Coanda décrivit le fruit de ses recherches, que l'on connaît, par la suite sous le nom « d'effet Coanda ». Coanda observa qu'un fluide émergent d'un canal a tendance à se coller sur toute paroi proche, inclinée ou courbée. L'explication de ce phénomène est simple : un jet libre (Fig. 2a) entraîne les molécules de fluide environnant et les molécules entraînées exercent une réaction sur le jet sous la forme d'une pression.

Si maintenant le jet se trouve au voisinage d'une paroi (Fig. 2b), la répartition des pressions autour de ce jet n'est plus uniforme : un vide partiel se produit près de la paroi, et le jet a tendance à rétablir l'uniformité de la pression en se collant sur la paroi.

### LA FLUIDIQUE EST NEE EN 1959

On admet que c'est en 1959 qu'est née la fluidique. C'est en effet à partir de la fin des années 50 que commencèrent réellement toutes les études sur cette discipline nouvelle de la mécanique des

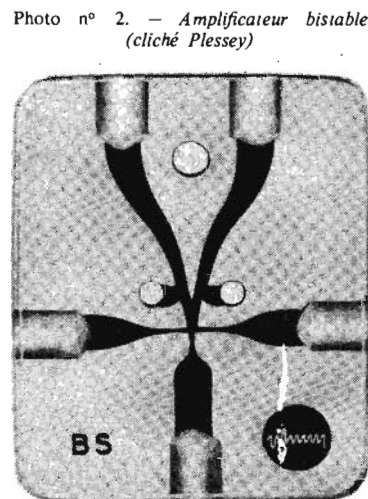


Photo n° 2. — Amplificateur bistable (cliché Plessey)

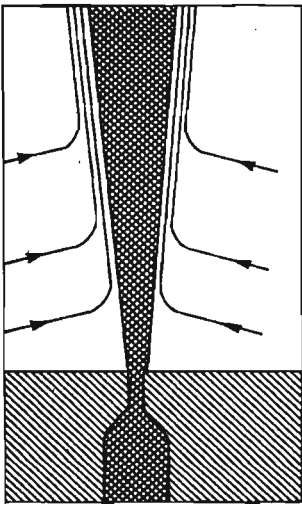


Fig. 2 a

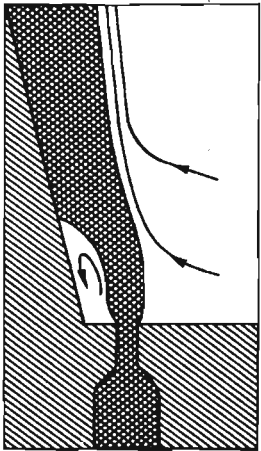


Fig. 2 b

fluides, en particulier aux Harry Diamond Laboratories, à Washington : ainsi, W.-M. Horton inventa l'amplificateur proportionnel à l'interaction de jets, tandis que R.-E. Bowles et R.-W. Warren introduisirent une famille de dispositifs faisant appel à l'effet Coanda.

En 1962, un symposium, tenu aux Diamond Laboratories, révéla la richesse de la fluidique : les principes invoqués par les chercheurs et ingénieurs faisaient alors appel à de nombreux principes, dérivant de l'interaction de deux jets fluides.

### L'AMPLIFICATEUR BISTABLE...

La figure 3 représente schématiquement un amplificateur bistable : lorsqu'un réservoir de fluide sous pression est connecté au distributeur d'alimentation, il se peut que, dans certaines conditions expérimentales, le fluide s'attache, par effet Coanda, à l'une des parois, et sorte du dispositif par un des canaux de sortie. Si maintenant un jet de fluide est injecté dans l'un des événements de commande, la pression dans la « bulle » de séparation augmente et le jet principal va s'attacher à la paroi op-

posée du dispositif. Le calcul montre que l'énergie nécessaire au basculement du jet d'une paroi vers l'autre est bien plus faible que l'énergie contenue dans le jet principal : il y a amplification du signal de commande.

### ...ET L'AMPLIFICATEUR PROPORTIONNEL

Cet amplificateur a l'inconvénient de fonctionner en « tout-ou-rien ». On peut modifier la géométrie de l'amplificateur précédent et faire en sorte qu'en l'absence de signal de commande, le jet de puissance ne s'attache pas aux parois : ainsi, ce jet sera divisé en deux et chaque moitié de débit traversera les canaux de sortie. La différence de pression entre les deux canaux est nulle. Si l'on applique maintenant un signal de commande, le jet de puissance va être dévié et il y aura un débit plus important dans l'un des canaux de sortie que dans l'autre : l'écart de pression augmente progressivement. Un dessin convenable du dispositif peut rendre cet écart de pression proportionnel au signal de commande.

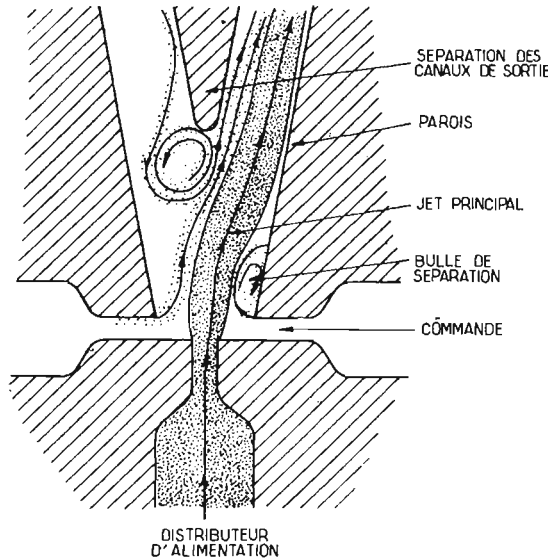


Fig. 3 - Distributeur d'alimentation

Le gain de l'amplificateur décrit (c'est-à-dire la variation de l'écart de pression rapportée à la variation du signal de commande) peut être optimisé en fonction de la pression ou du débit. Des gains de 10, ou plus, sont obtenus couramment ; des gains plus importants sont réalisés par des séries d'amplificateurs opérationnels. Comme en électronique, les composants fluides voient leurs performances limitées par le bruit, ce qui a entraîné de nombreuses recherches sur les réseaux de filtres fluides.

### LES COMPOSANTS LOGIQUES

Les composants fluides précédents peuvent trouver des débouchés comme composants logiques.

Par exemple, l'amplificateur bistable est une excellente cellule de mémoire, puisqu'il se comporte comme un « flip-flop ». Alors que l'amplificateur bistable de la figure 3 ne comporte que deux événements de commande, un composant logique pourra très bien avoir plusieurs tels événements, pour accroître ses possibilités logiques : un tel composant représentera, par exemple, la fonction « OU ».

La photographie n° 3 représente la porte OU/NON-OU. Sur cette porte, on constate qu'un événement débouche sur la paroi de gauche, ce qui élimine toute possibilité d'attachement sur cette paroi par effet Coanda : en l'absence de tout signal sur les événements C<sub>1</sub> et C<sub>3</sub>, le jet s'attache à la paroi de droite et sort par le canal O<sub>1</sub>. Si un signal est appliqué sur l'un des événements de commande, le jet de puissance est dévié et sort par le canal O<sub>2</sub>, jusqu'au moment où le signal de commande est retiré. Ainsi le canal O<sub>1</sub> représente la sortie « NON-OU », tandis que le canal O<sub>2</sub> est la sortie « OU ».

L'élément « NON-OU » est un élément logique important puisqu'il

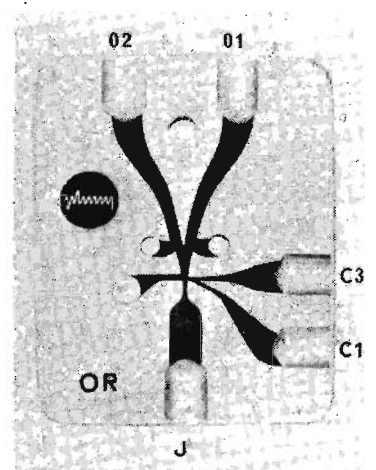


Photo n° 3. - Circuit OU/NON-OU (cliché Plessey)

une disposition appropriée des canaux. La figure 4 en est un exemple, représentant la fonction logique « ET » : si un signal est appliqué sur l'un ou sur l'autre des canaux de commande, le jet sortira par le canal 1 ou par le canal 3 ; si maintenant deux signaux sont appliqués simultanément sur A et B, le jet passera par la sortie 2, qui sera la sortie « ET » du dispositif.

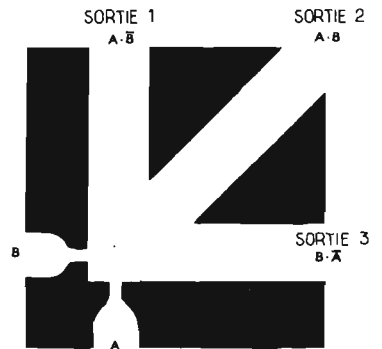


Fig. 4

Un tel dispositif ne dispose pas de jet de puissance comme précédemment. On dit qu'il est passif.

Un autre exemple de circuit « spécifiquement fluide » est le demi-additionneur de la figure 5, circuit à deux entrées, dont la table de vérité est donnée au tableau I. Ce circuit pourrait être également obtenu à l'aide d'une association de cinq portes « OU/NON-OU ».

TABLEAU I  
Table de vérité du demi-additionneur (Fig. 5)

A	B	SOMME	REPORT
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

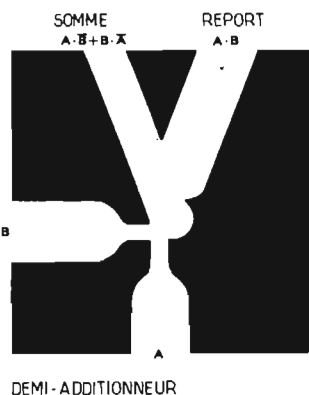


Fig. 5 - Demi-additionneur

### EXTENSION DE L'EFFET COANDA

L'effet Coanda a été utilisé dans bien d'autres dispositifs de la fluidique. C'est ainsi que V.-J. Chadwick, de la firme britannique British Telecommunications Research Ltd. a tenté récemment d'accroître la sensibilité de l'amplificateur bistable, en utilisant le régime de transition entre un jet subissant l'effet Coanda (lorsque le jet principal est suffisamment rapide) et un jet lent, ne collant pas à la paroi : dans ce régime de transition, le jet est instable et peut être dévié par un très faible signal de commande. Le principe a fait l'objet d'une invention : l'amplificateur digital sensible (Fig. 6).

Cet amplificateur comprend 2 étages : le second étage est un amplificateur bistable conventionnel, tandis que le premier étage est légèrement modifié ; de plus l'alimentation du premier étage provient d'un oscillateur, et non d'une source continue. De la sorte, le jet de puissance passe périodiquement par l'état instable, du régime de transition. Le signal issu du premier étage est constitué d'une série d'impulsions ; le second étage

est l'étage de puissance. Il faut signaler que le premier étage est pourvu d'une légère polarisation, pour qu'en l'absence de tout signal de commande, le jet sorte toujours attaché à la même paroi.

C'est ce principe qui est employé dans le registre à décalage de la figure 7. Ici l'oscillateur est remplacé par un amplificateur à impulsion de décalage. Le niveau du signal appliqué au canal « PORTE » est tel qu'il ne peut commander l'impulsion de décalage que pendant la période transitoire, instable, de l'établissement du jet. Lorsque le flux est devenu permanent, aucune modification de niveau de pression sur cette « PORTE » n'a d'effet.

### LES AUTRES AMPLIFICATEURS PROPORTIONNELS...

Il existe bien d'autres types d'amplificateurs. C'est le cas, par exemple, de l'amplificateur tourbillon de la figure 8. Il comporte une chambre cylindrique traversée par un jet principal sortant au centre. Lorsque le jet de commande C est mis en action, l'écoulement dans la chambre prend la forme d'une spirale. La vitesse tangentielle de l'écoulement croît lorsque le rayon vecteur diminue, en vertu du théorème du moment cinétique : cette augmentation de vitesse se traduit par une diminution de pression statique ; on obtient ainsi un restricteur de débit, c'est-à-dire un amplificateur à gain négatif, dont la valeur absolue peut être très élevée.

La figure 9 représente un amplificateur à impact, comprenant deux jets de sens opposé. L'impact de ces deux jets provoque la formation d'une nappe de fluide. La forme de la nappe, donc la pression du fluide, dépend de l'intensité rela-

tive des jets. Une variation faible de l'un des jets se traduit par une variation importante de pression dans la zone de l'impact. Le gain en pression peut être de l'ordre de 50.

sortant par S. Si un jet de commande C crée une turbulence dans la chambre, il se produira une réduction considérable de débit en S. Cet amplificateur est monostable.

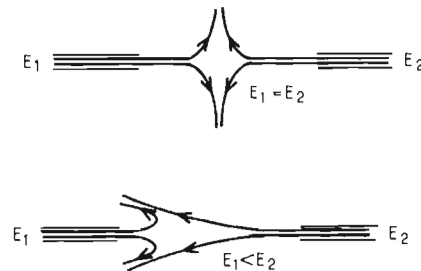
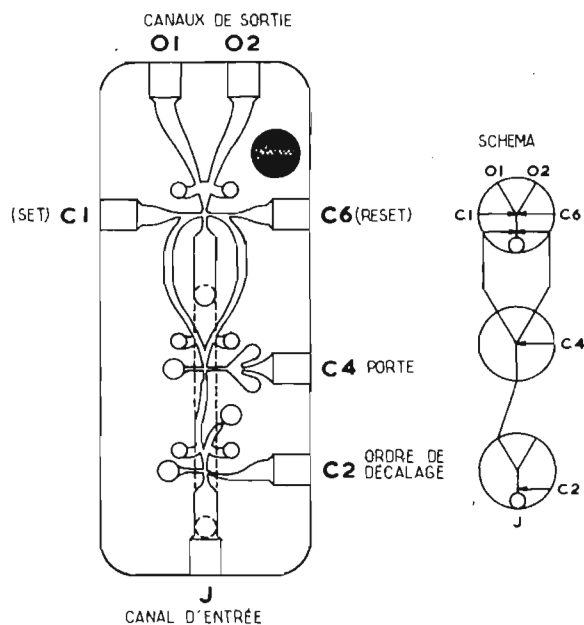


Fig. 9 - Amplificateur à modulation d'impact

### ... ET MONOSTABLES

L'amplificateur à turbulence (Figure 10) est constitué par une chambre traversée par un jet principal laminaire, entrant par E,

L'amplificateur à jet focalisé (Fig. 11) consiste en une canalisation tronconique d'où sort un jet principal qui tend à s'attacher à un disque. L'écoulement radial

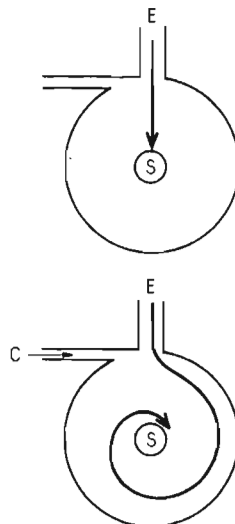
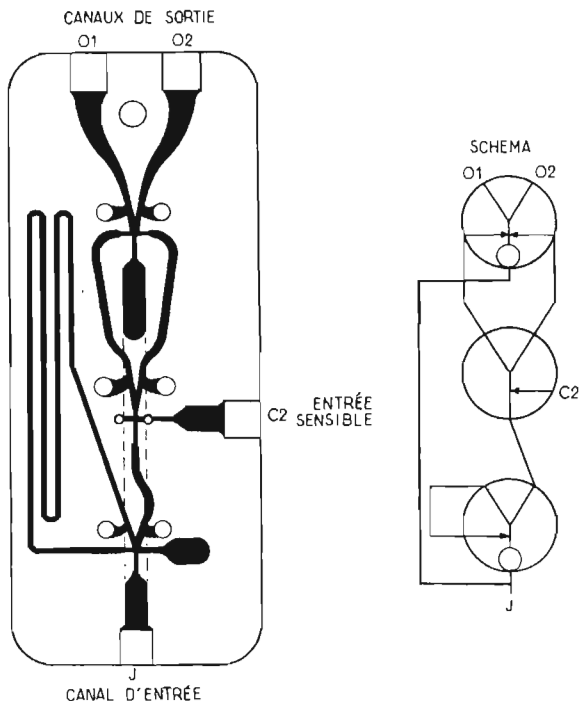


Fig. 8 - L'amplificateur tourbillon

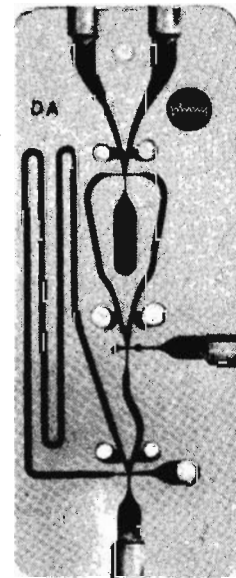


Photo n° 4. - Amplificateur digital sensible (cliché Plessey)

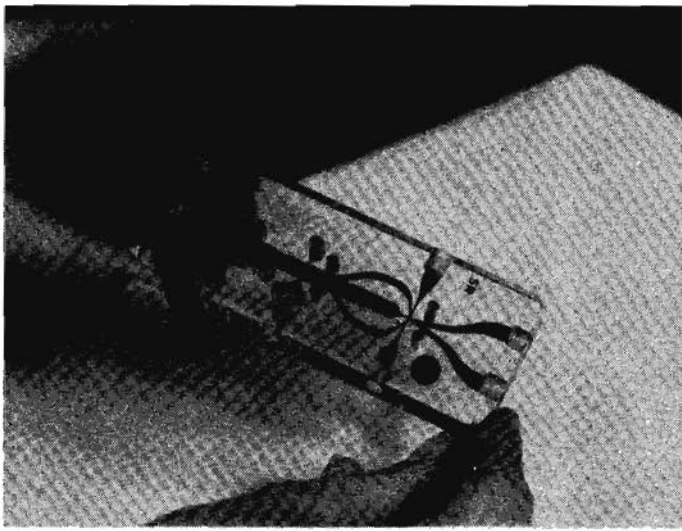


Photo n° 5. — Registre à décalage (cliché Plessey)

sur le disque se transforme en un jet axial sortant en  $S_1$ . Un signal de commande C provoque le décollement du jet qui sort en  $S_2$ .

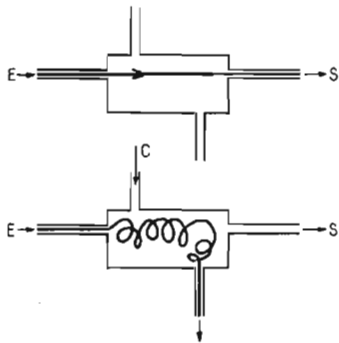


Fig. 10 - Amplificateur à turbulence

### LES ELEMENTS PASSIFS

Des éléments passifs, correspondant aux composants passifs électroniques, sont réalisés. Par analogie, on peut considérer qu'une différence de pression est analogue à une différence de potentiel et que le débit masse correspond au courant (Tableau II).

TABLEAU II  
Les éléments fluidiques passifs

FONCTION	ELEMENT FLUIDIQUE	ELEMENT ELECTRONIQUE COMPARABLE
Dissipateur d'énergie	Tube capillaire, paroi poreuse	Résistance
Réservoir d'énergie potentielle	Volume	Condensateur
Réservoir d'énergie cinétique	Canalisation longue	Self

### DES APPLICATIONS VARIEES

Si les premières applications des composants fluides relevaient bien souvent de l'expérimentation et du montage sur table, l'apparition des nouvelles formes de composants, ainsi que l'amélioration des performances ont prouvé qu'à présent la fluidique était devenue une technique industrielle.

La sécurité de fonctionnement, l'insensibilité aux bruits industriels, l'indifférence aux perturbations extérieures, les possibilités de fonctionnement en milieu déflagrant, ainsi que l'assurance de la non destruction du matériel en cas de fausses manœuvres, font que les utilisateurs pensent de plus en plus à la fluidique pour l'équipement de leurs machines et de leurs laboratoires.

Le marché futur de la fluidique a fait l'objet de nombreuses estimations, très diverses par ailleurs, puisqu'elles varient entre quelques milliers de dollars et 250 millions de dollars en 1975 !

Les secteurs d'application de la fluidique sont aussi variés que ceux de l'électronique : équipements lourds, contrôles de pro-

cessus, aérospatiale, équipement de bureau, commandes de machines-outils, marine, médecine sont les principaux marchés de la fluidique. Certaines applications spécifiques montrent bien la diversité des formes que la fluidique peut revêtir. De l'inversion de la poussée d'un réacteur aéronautique, à la respiration artificielle, en passant par les réacteurs nucléaires, le contrôle d'un écoulement de fluide peut toujours se faire à l'aide d'un dispositif fluidique approprié.

### Premier exemple : la respiration artificielle.

Un appareil de respiration artificielle, basé sur les principes de la fluidique, a été réalisé par la société Bertin. Le respirateur se présente sous la forme d'une petite plaquette transparente, de l'encombrement d'un paquet de cigarettes. La plaquette est traversée par une canalisation en forme d'Y,

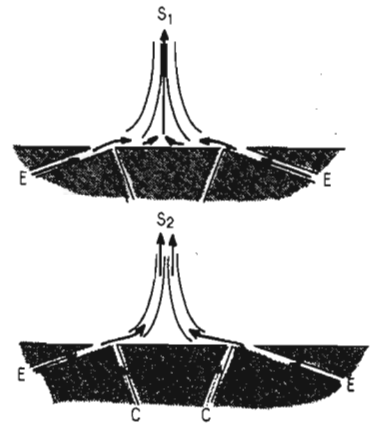


Fig. 11 - Amplificateur à jet focalisé

dont les sections et les courbures sont spécialement étudiées. Le gaz moteur sous pression provient soit d'une bouteille d'oxygène ou d'air comprimé, soit d'un compresseur. Le gaz pénètre dans l'appareil par la base de l'Y et sort alternativement par l'une et l'autre

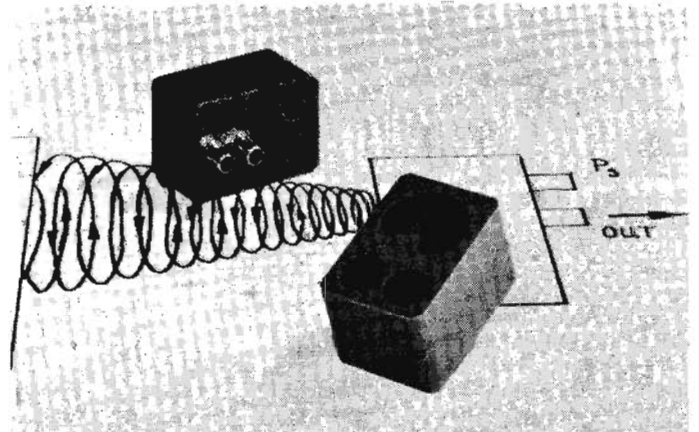


Photo n° 6. — Ce composant fluidique à tourbillon est un capteur de proximité (cliché Corning)

branche de l'Y. Une des branches est reliée au malade, l'autre à l'air libre (Fig. 12).

Le respirateur se comporte comme un oscillateur de relaxation de pression. Une branche est reliée aux poumons du patient. De forme légèrement divergente, ce conduit permet au jet de récupérer sous forme de pression, une partie de son énergie cinétique.



Photo n° 7. — La technique fluidique prend une place plus large dans des installations d'asservissement et d'automatisme industrielle. Ici, un temporisateur fluidique, dans lequel les ressorts, engrenages, embrayages ont été abandonnés (cliché Sodimatel)

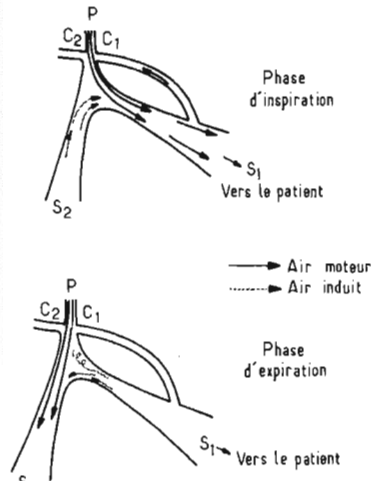


Fig. 12 - Le respirateur artificiel

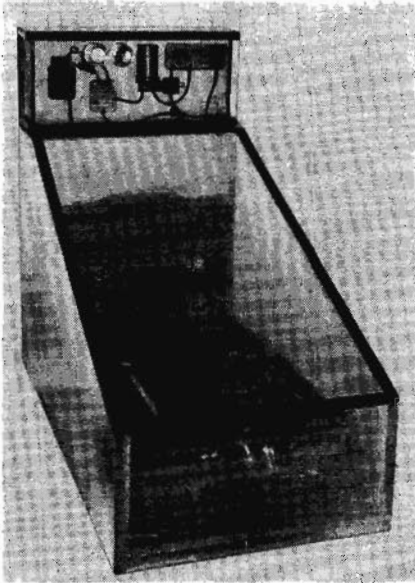


Photo n° 8. — Système de surveillance de niveau d'eau : une partie du signal de sortie est renvoyée à l'élément de commande du pompage de l'eau

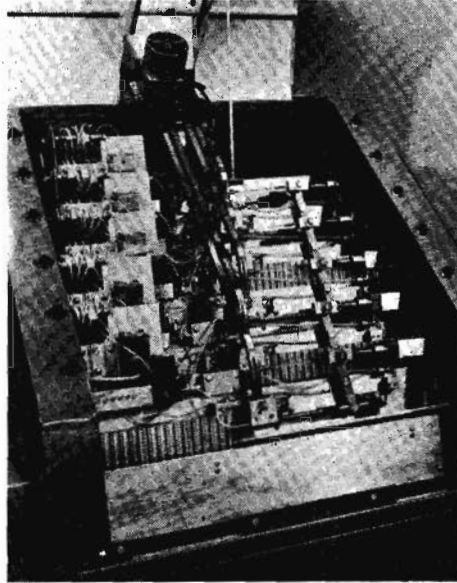


Photo n° 9. — Un dispositif fluïdique teste les circuits intégrés à la cadence de 3 600 unités par heure (cliché Maxam)

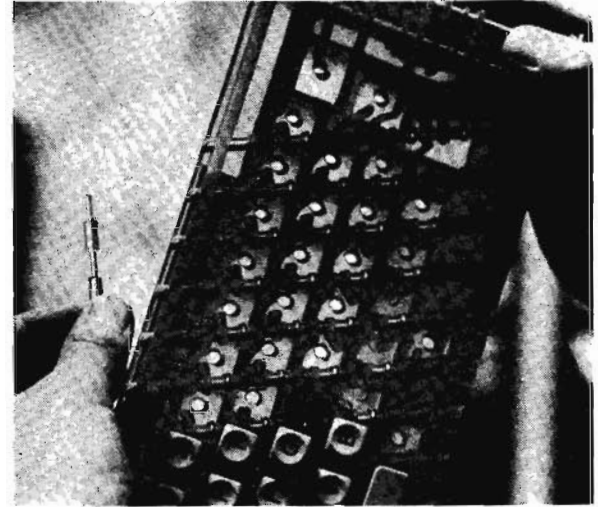


Photo n° 10. — La machine à écrire fluïdique (cliché I.B.M.)

D'une zone voisine de la sortie, où la recompression s'est effectuée par un canal de contre-réaction relié à l'orifice de commande correspondant. L'orifice de commande opposé débouche à l'air libre.

Durant la phase d'inspiration, la pression augmente progressivement dans le poumon, au fur et à mesure de son remplissage. Le débit dans le canal de contre-réaction croît également. Pour un certain niveau de pression, le débit de commande devient suffisant pour permettre le détachement du jet et son basculement vers la branche de mise à l'air libre : c'est la phase d'expiration.

#### Second exemple : le pilotage des satellites et fusées.

Les applications purement spatiales de la fluïdique sont essentiellement limitées au contrôle d'attitude et au pilotage des fusées, des satellites et des sondes spatiales. Les qualités et les défauts de la fluïdique la prédisposent en effet à effectuer des opérations pour lesquelles un temps de réponse supérieur à la milliseconde n'est pas un handicap et où par contre les conditions d'ambiance sont extrêmement dures.

Un autre avantage de la fluïdique réside dans l'absence de maintenance ce qui simplifie les opérations avant le tir.

Toutes ces qualités ont poussé la firme Martin d'Orlando, en Floride, à concevoir un système de contrôle d'attitude pour sonde solaire.

En France, il ne semble pas que les missions envisagées sur satellites se prêtent à l'usage de la fluïdique, pour l'instant du moins.

Il n'en est pas de même pour les fusées. Les premières recherches furent orientées vers des systèmes

fluïdiques sans aucune pièce mobile. La firme Honeywell a réalisé un système de contrôle de roulis de ce type pour fusée de type Little John. Si le système donne alors entière satisfaction, la faible sensibilité des détecteurs fluïdiques utilisés en limite l'emploi.

La tendance actuelle est donc favorable aux systèmes mixtes.

Les firmes SNECMA et Bertin ont ainsi étudié, sous contrat C.N.E.S., l'association d'un gyromètre classique et d'un transformateur électrique-fluïdique, couplé à une chaîne fluïdique d'intégration

et de commande. Pour sa part, Martin-Orlando a confié à la firme américaine Kearfott le soin de construire un gyroscope fluïdique, à rotor solide, sur palier à gaz pour le contrôle des fusées de type Little John.

#### UN DERNIER EXEMPLE

Une unité pneumatique expérimentale, dans laquelle un courant d'air déchiffre des instructions provenant d'une bande perforée et actionne une machine à écrire a été présentée voici quelques années par des ingénieurs IBM.

Le système comprend deux parties, le lecteur de bande et le décodeur, combiné à la commande du levier. La bande de papier passe dans le lecteur en face d'orifices communiquant à une source d'air à faible pression. La bande de papier est perforée et lorsqu'une perforation se trouve en face de l'orifice, la baisse de pression déclenche un « commutateur pneumatique ».

Le signal issu du lecteur, passe dans les circuits de décodage, à 28 vannes de distribution ; chaque vanne est composée de quelques pistons montés sur un arbre commun ; la pression exercée sur une face d'un piston le déplace, ce qui provoque l'ouverture de quelques canaux. L'air s'y précipite et pousse un piston qui, à son tour, presse sur une touche du clavier. La fonction du décodeur est donc de diriger le flux dans le canal désiré.

Ici s'achève la description du « hardware » de l'ordinateur, commencé voici plus d'une année et demie.

Le mois prochain s'ouvrira un nouveau chapitre du calcul électronique, celui du software.

Marc FERRETTI.



### localisation immédiate des pannes, **MINITEST** le stéthoscope du radio-électricien

**MINITEST 1: SIGNAL ACOUSTIQUE**  
Vérification et contrôle des circuits BF-MF-HF : micros, hauts-parleurs, amplificateurs, pick-up, etc.

**MINITEST 2: SIGNAL VIDEO.**  
Vérification et contrôle des circuits HF-VHF conçus pour le technicien T.V.

**MINITEST UNIVERSEL.**  
Vérification et contrôle des circuits BF-HF-VHF.

L'appareil universel par excellence.  
Les appareils MINITEST sont en vente chez votre grossiste habituel.

BON pour une documentation (H.P.)

Nom \_\_\_\_\_

Prénom \_\_\_\_\_

Rue \_\_\_\_\_

Ville de \_\_\_\_\_ Dépt \_\_\_\_\_

à **SLORA** — B.P. 41 (57) FORBACH