

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe   |
| <b>Band:</b>        | 30 (1952)   |
| <b>Heft:</b>        | 12  |
| <b>Artikel:</b>     | Le typo-sonographe phonétique ou phonétographe  |
| <b>Autor:</b>       | Dreyfus-Graf, Jean  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-876134">https://doi.org/10.5169/seals-876134</a>   |

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## TECHNISCHE MITTEILUNGEN

## BULLETIN TECHNIQUE



## BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

### Le typo-sonographe phonétique ou phonétographe\*

Par Jean Dreyfus-Graf, Genève

681.848

**Résumé.** Le phonétographe doit métamorphoser un langage parlé en un texte imprimé phonétiquement par une machine à écrire électrique. Pour comprendre son mécanisme, il faut examiner d'abord celui de l'émission d'éléments phonétiques par la bouche. On y trouve un orchestre phonétique comprenant 6 diapasons d'ondes porteuses entre 150 et 4000 hertz, et 3 diapasons d'ondes portées entre 15 et 80 hertz, qui renseignent sur la vitesse de variations des énergies rayonnées (transitoires). Le phonétographe transforme le langage parlé en des groupes de 9 impulsions correspondant aux 9 diapasons, à la cadence de 10 groupes par seconde environ. Un cerveau de relais électrodynamiques compare ces impulsions deux à deux, selon un système différentiel qui fournit les éléments d'information en code trinaire 0+—.

Un groupe de 9 impulsions donne 8 éléments ou TIT, qui peuvent distinguer jusqu'à 6561 informations, parmi lesquelles on choisit les quelques douzaines d'éléments alphabétiques actionnant la machine à écrire. Un système de lampes-témoins associé au cerveau électrodynamique montre simultanément les spectres d'information, permettant par exemple à un sourd de suivre une conversation. Le canal de fréquence nécessaire pour transmettre des phonétogrammes est de 270 hertz selon la théorie de Fourier, et de 135 hertz en pratique. Le prototype I ne contient que 6 filtres de bande sur 9, ainsi que d'autres imperfections qui seront supprimées par le prototype II en préparation. L'orthophonie devrait remplacer l'orthographe. On peut construire un sonographe semi-orthographique, mais il serait beaucoup plus volumineux et plus coûteux qu'un phonétographe. Par contre, il est facile d'ajouter une mémoire des 10 chiffres 0 à 9.

D'autres applications possibles du sonographe sont: la commande du téléphone automatique, d'ascenseurs, de serrures, les messages secrets ou personnels.

**Zusammenfassung.** Der Phonetograph soll eine gesprochene Sprache mit Hilfe einer elektrischen Schreibmaschine in einen phonetisch geschriebenen Text umwandeln. Um seinen Mechanismus zu verstehen, muss man zuerst denjenigen der Erzeugung der phonetischen Elemente durch den Mund untersuchen. Dieser lässt sich als ein phonetisches Orchester auffassen, bestehend aus sechs Stimmgabeln mit Trägerwellen zwischen 150...4000 Hz, sowie drei Stimmgabeln mit getragenen Wellen zwischen 15 und 80 Hz, die über die Geschwindigkeit der Energievariationen (Einschwingvorgänge) Auskunft geben. Der Phonetograph wandelt die gesprochene Sprache in Gruppen von 9 Impulsen um, die den neun Stimmgabeln entsprechen, und zwar im Rhythmus von zehn Gruppen in der Sekunde. Ein Gehirn, bestehend aus elektrodynamischen Relais, vergleicht diese Impulse paarweise gemäß einem «Dreierschritt»-System, das die Nachrichten-Einheiten 0+— liefert.

Eine Gruppe von neun Impulsen gibt acht Nachrichteneinheiten, die bis zu 6561 Nachrichten zulassen, unter denen man einige Dutzend alphabetische Elemente auswählt, welche die elektrische Schreibmaschine betätigen. Ein System von Lichtpunkten ist dem elektrodynamischen Gehirn angegliedert. Es zeigt gleichzeitig die Nachrichtenspektren, die zum Beispiel einem Tauben erlauben, einer Konversation zu folgen. Entsprechend der Fouriertheorie ist ein Frequenzkanal von 270 Hz notwendig, um Phonetogramme zu übertragen, das heißt praktisch 135 Hz. Der Prototyp I, der nur 6 statt 9 Bandfilter enthielt, zeigte außerdem andere Mängel, die bei dem im Bau befindlichen Prototyp II vermieden werden sollen. Orthographie müsste durch Orthophonie ersetzt werden. Ein teilweise orthographisch arbeitender Sonograph lässt sich herstellen, doch wäre dieser apparatmäßig hundertmal grösser und viel kostspieliger als ein Phonetograph. Anderseits ist es leicht, ein Gedächtnis für die zehn Zahlen 0 bis 9 einzufügen.

Andere Möglichkeiten der Anwendung des Sonographen sind: die Betätigung des automatischen Telefons, von Liften, von Tür- und anderen Schlossern sowie die Übermittlung von geheimen oder persönlichen Nachrichten.

Si je vous ai conviés, c'est que je désire faire le bilan des résultats acquis et de ceux qui restent à obtenir. Je vous remercie d'être venus et je remercie les autorités cantonales ainsi que M. A. Seiler, directeur de l'Ecole des Arts et Métiers, d'avoir mis l'aula à la disposition de cette conférence.

Contrairement à l'ancien sténo-sonographe qui inscrivait des signes sténographiques inconnus, le typo-sonographe ou phonétographe, a pour but de méta

\* Texte de la conférence accompagnant la première présentation du prototype expérimental I, dans l'Aula de l'Ecole des Arts et Métiers, à Genève, le 10 octobre 1952

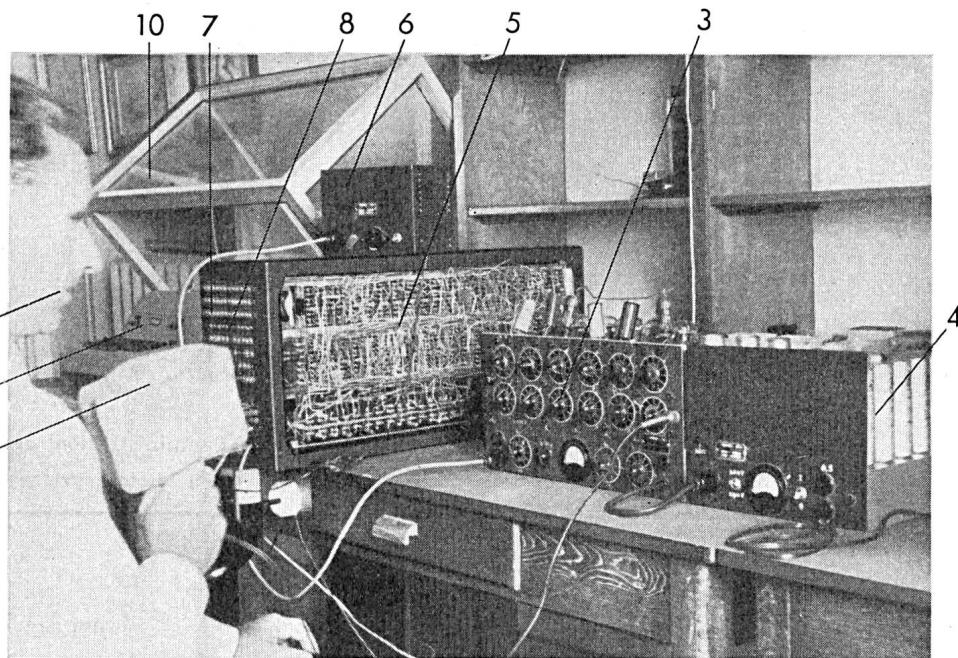


Fig. 1a

Typo-sonographe phonétique ou phonétographe, prototype I, 1 (actuellement aux USA)

Voir légende sous figure 1b

morphoser un langage parlé en un texte imprimé phonétiquement par une machine à écrire électrique, sous forme de signes alphabétiques connus.

Tandis que le sténo-sonographe était une sorte d'artiste dessinant au gré de son inspiration sans se préoccuper d'être compris immédiatement, le typosonographe sera un fonctionnaire au service du règlement actuel.

Selon les figures 1a et b, il comprend extérieurement les appareils suivants: un microphone 2 qui reçoit le discours du parleur 1, un générateur électronique d'impulsions 3 qui transforme les oscillations du microphone en éléments d'information, et une boîte à relais électrodynamiques 5, dont les relais combinent ces éléments pour sélectionner les touches de la machine à écrire phonétique 9. La boîte à relais peut être pourvue de deux groupes à 36 lampes-

témoins 7 et 8, montrant les spectres d'information phonétique et accusant la frappe des touches. Ces lampes-témoins permettraient, par exemple, à un sourd, dont l'œil est exercé, de suivre une conversation sans l'aide de la machine à écrire.

Cette énumération d'appareils ne nous apprend pas grand-chose. Essayons de pénétrer son mécanisme, qui extrait d'une multitude de sons les quelques dizaines d'éléments graphiques d'un alphabet.

«Peindre, c'est supprimer» («malen heisst weglassen») enseignait l'impressionniste *Max Liebermann*. Voilà bien le travail principal du sonographe. Encore doit-on savoir ce qu'il est permis de supprimer. Il faut donc commencer par examiner les sons dans toute leur complexité, d'abord dans l'air et dans la bouche, puis dans l'oreille et le cerveau.

J'essayerai de le faire avec un minimum de jargon

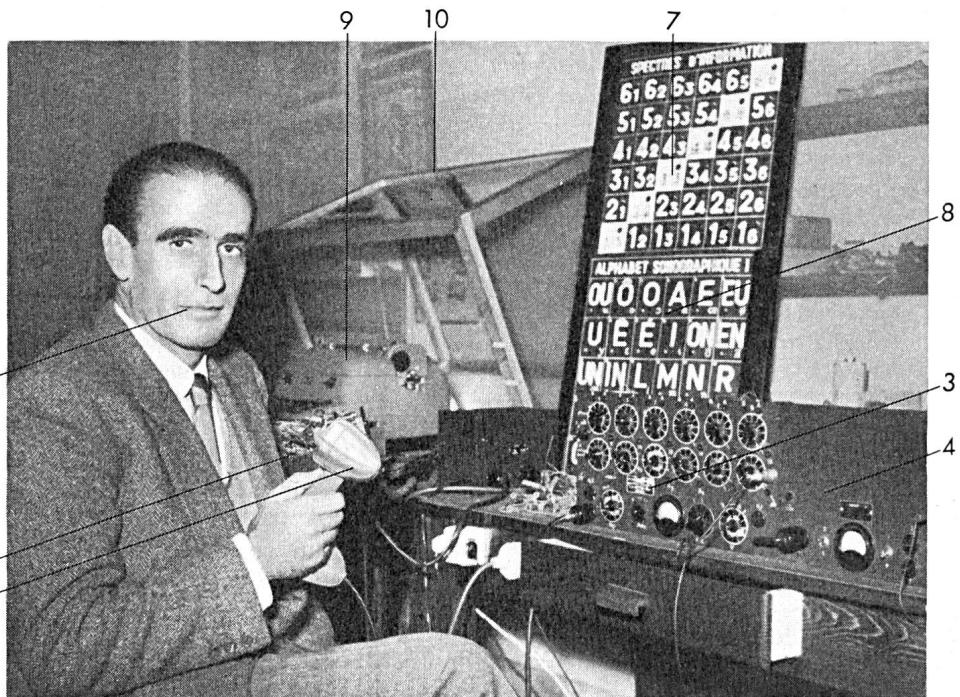


Fig. 1b

Typo-sonographe phonétique ou phonétographe, prototype I, 2 (actuellement à Genève)

- 1 = Parleur
- 2 = Microphone
- 3 = Générateur électronique d'impulsions
- 4 = Alimentation
- 5 = Cerveau électrodynamique (19 relais RED et labyrinthes)
- 6 = Alimentation des labyrinthes
- 7 = Lampes-témoins des spectres d'information
- 8 = Lampes-témoins de contrôle des touches
- 9 = Machine à écrire électrique I. B. M. avec touches commandées par solénoïdes
- 10 = Cage en verre anti-sonore

technique et un maximum d'images. Je préfèrerais même me taire tout à fait et vous ne m'en comprendriez que mieux, si je pouvais projeter directement ces images sur un écran à l'aide de dessins animés. Mais nous n'en sommes pas encore là, et il faut encore passer par un codage phonétique des pensées. Ce que nous allons précisément examiner.

## I. Le mécanisme de l'émission des éléments phonétiques

### 1. Voyelles

Voyons d'abord l'émission des voyelles, dont le mécanisme est le plus simple. Selon la figure 2, une voyelle brève, telle que le son A, émise par la bouche du parleur, se présente dans l'air sous forme d'un train d'ondes acoustiques  $F_{1-6}$ . C'est un minuscule frisson de pression barométrique qui se déplace dans l'air à la vitesse de 330 mètres par seconde, mais qui peut être aisément enregistré par un oscillographe, à condition d'être amplifié 100 000 fois.

L'ennui, c'est qu'en comparant l'image oscillographique du A avec celles d'autres sons (voir fig. 4, 1), on a de la peine à l'identifier, et que des A prononcés différemment ont des allures fort dissemblables. Il n'est donc pas possible d'imprimer un livre en oscillogrammes, sans même parler de son encombrement qui serait cent fois plus grand que celui d'un volume usuel. Notre train d'ondes ressemble à un volumineux paquet dans lequel une marchandise invisible est emballée pour le transport. Comment le déballer ?

Essayons un procédé connu sous le nom d'analyse spectrale, et dont les pionniers furent le mathématicien *Fourier* et le physicien *Helmholtz*.

Une oscillation, si complexe soit-elle, peut être considérée comme résultant de la superposition de sinusoïdes pures, analogues à celles qui sont engendrées, par exemple, par des diapasons. Une sinusoïde pure est déterminée par trois nombres seulement : sa fréquence, c'est-à-dire le nombre de périodes par seconde, dont l'unité est nommée hertz (Hz); son amplitude ou élévation maximum, mesurée graphiquement en centimètres, et sa phase, mesurée en secondes, indiquent, par exemple, l'instant auquel l'élévation passe par un de ses maxima.

Le diagramme des amplitudes ou des phases, en fonction des fréquences, caractérisant une oscillation complexe s'appelle son «spectre».

Chaque son peut être reconstitué par ses deux spectres, d'amplitude et de phase, en fonction des fréquences acoustiques. Nous éliminons d'emblée les phases. En effet, la physiologie enseigne que l'oreille est incapable de les discerner, en régime stationnaire du moins. Voilà un premier dépouillement important de notre paquet d'ondes, car les phases en variaient l'aspect oscillographique extérieur à l'infini, sans receler d'information phonétique fondamentale. Comment voir maintenant le spectre d'amplitude en

fonction des fréquences, que nous nommerons brièvement «spectre de fréquence».

Nous lançons notre train d'ondes sur une série de diapasons matérialisant la gamme de toutes les fréquences acoustiques, et nous notons les diapasons dont les amplitudes vibratoires sont les plus grandes, c'est-à-dire ceux qui entrent en résonance. Nous pourrions aussi lancer le train d'ondes sur les 87 cordes d'un piano dont la pédale est levée. Toutefois le spectre serait alors incomplet, car la corde la plus longue oscille 27 fois et la plus courte 4138 fois par seconde, alors que le spectre acoustique complet doit couvrir toutes les fréquences comprises entre 15 et 15 000 hertz.

Pour des mesures pratiques, on remplace les diapasons ou les cordes par des résonateurs ou filtres de bande électriques. Mais nous pouvons continuer à les nommer des «diapasons» pour la compréhension plus concrète des phénomènes de résonance.

Selon mes investigations, résumées dans la figure 3, il suffit de six diapasons amortis, couvrant les bandes de trois octaves et de trois quintes entre 150 et 4000 hertz pour identifier les caractères des principales voyelles françaises, dans certaines limites. Voir les spectres de fréquence de la figure 11.

Les largeurs de bande des six filtres augmentent environ comme les puissances 1 à 5 de la racine de 2. Avec cinq diapasons, certaines voyelles seraient indiscernables; avec sept diapasons les timbres de voix personnels, qui ne nous intéressent pas ici, seraient trop marqués.

Nos diapasons récepteurs peuvent être considérés comme l'image même de l'émetteur.

Dès lors, le mécanisme d'émission des voyelles peut être reconstitué comme suit : les cordes vocales du parleur émettent des oscillations de relaxation «en dents de scie»  $F_v$ , riches en harmoniques. Leur fondamentale  $F_0$  peut varier selon la personne entre 90 et 350 hertz. Leurs harmoniques excitent les résonateurs des cavités buccales, nasales ou autres réglées par le parleur. Celles-ci rayonnent à leur tour des oscillations amorties, dont les fréquences dominantes, nommées «formants», se trouvent autour de celles des six diapasons  $F_1$  à  $F_6$ , et dont les largeurs de bande sont de l'ordre de la fondamentale. Ces diapasons semblent ainsi frappés par des marteaux invisibles, à la cadence de la vibration fondamentale des cordes vocales, donc 90 à 350 fois par seconde. Les vibrations qu'ils rayonnent dans l'air naissent et meurent à la même cadence, car ils sont très amortis. N'oublions pas qu'ils figurent les résonances de la bouche, dont les parois sont très molles.

### 2. Fréquences subfondamentales ou transitoires

Nous n'avons considéré jusqu'ici que les diapasons dont les fréquences propres sont supérieures à la fondamentale. Pourtant l'enveloppe énergétique  $F_{7-9}$  du train d'ondes  $F_{1-6}$  doit receler, selon l'analyse spectrale de Fourier, des fréquences subfondamen-

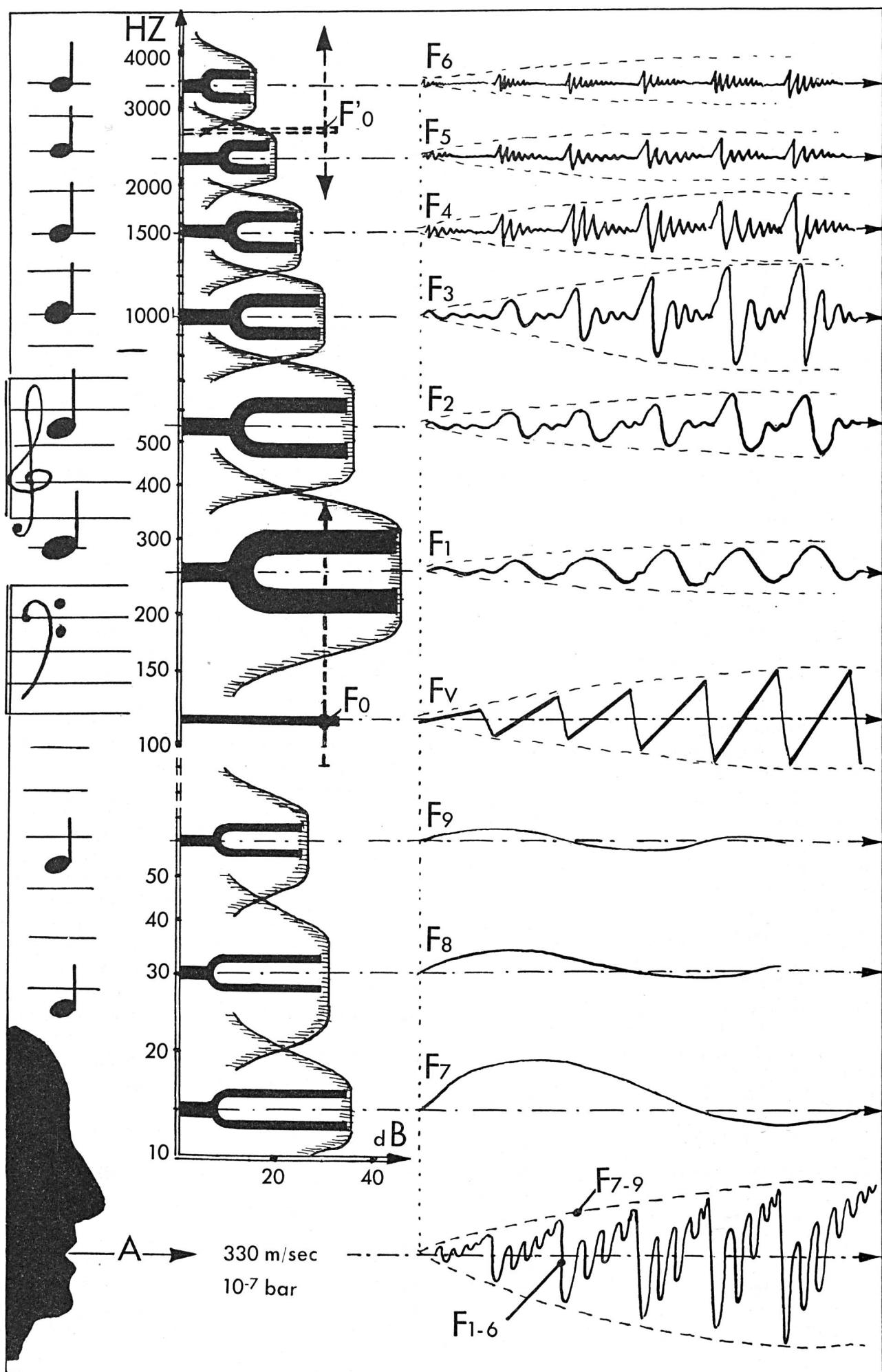


Fig. 2. Le mécanisme de l'émission phonétique

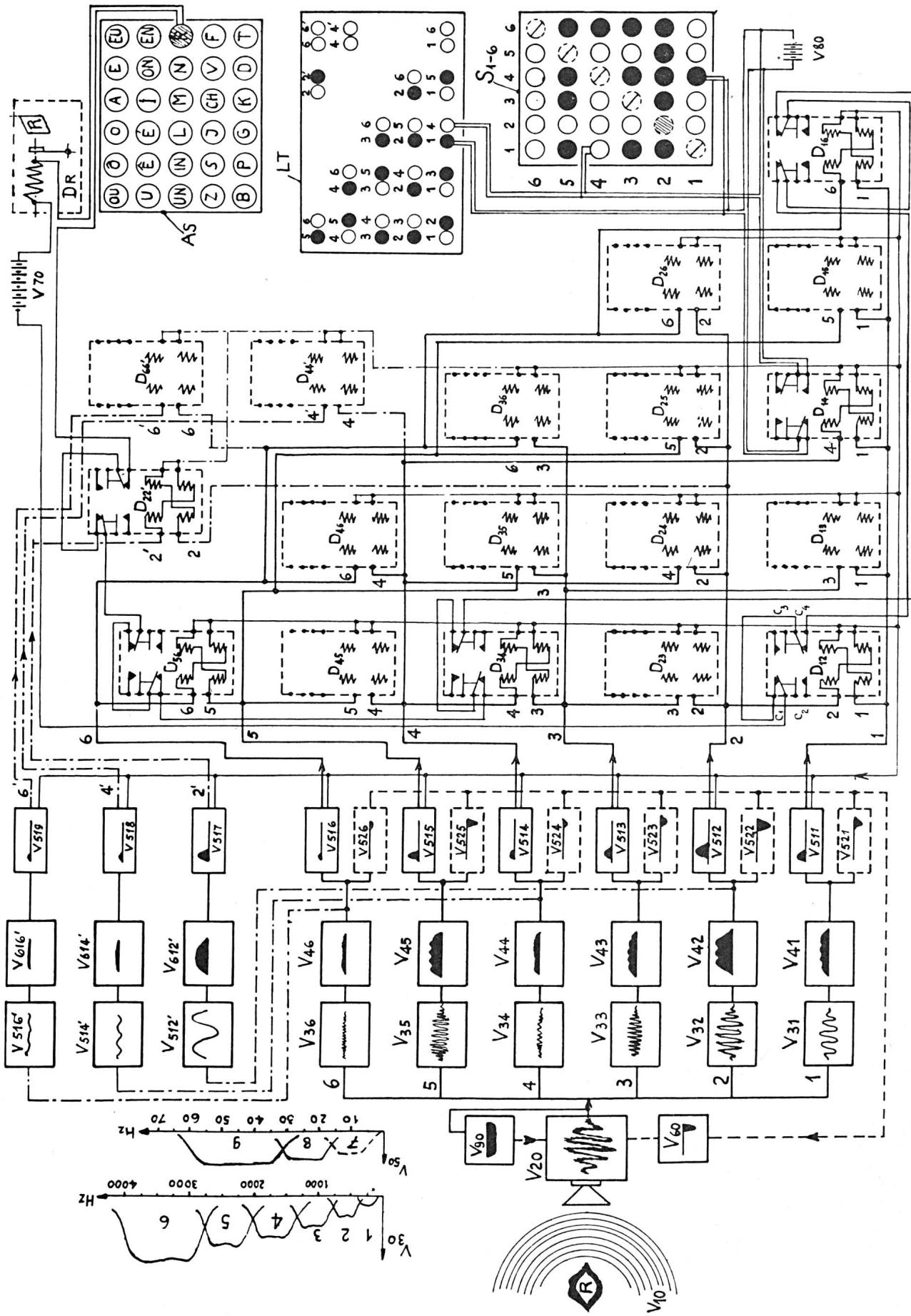
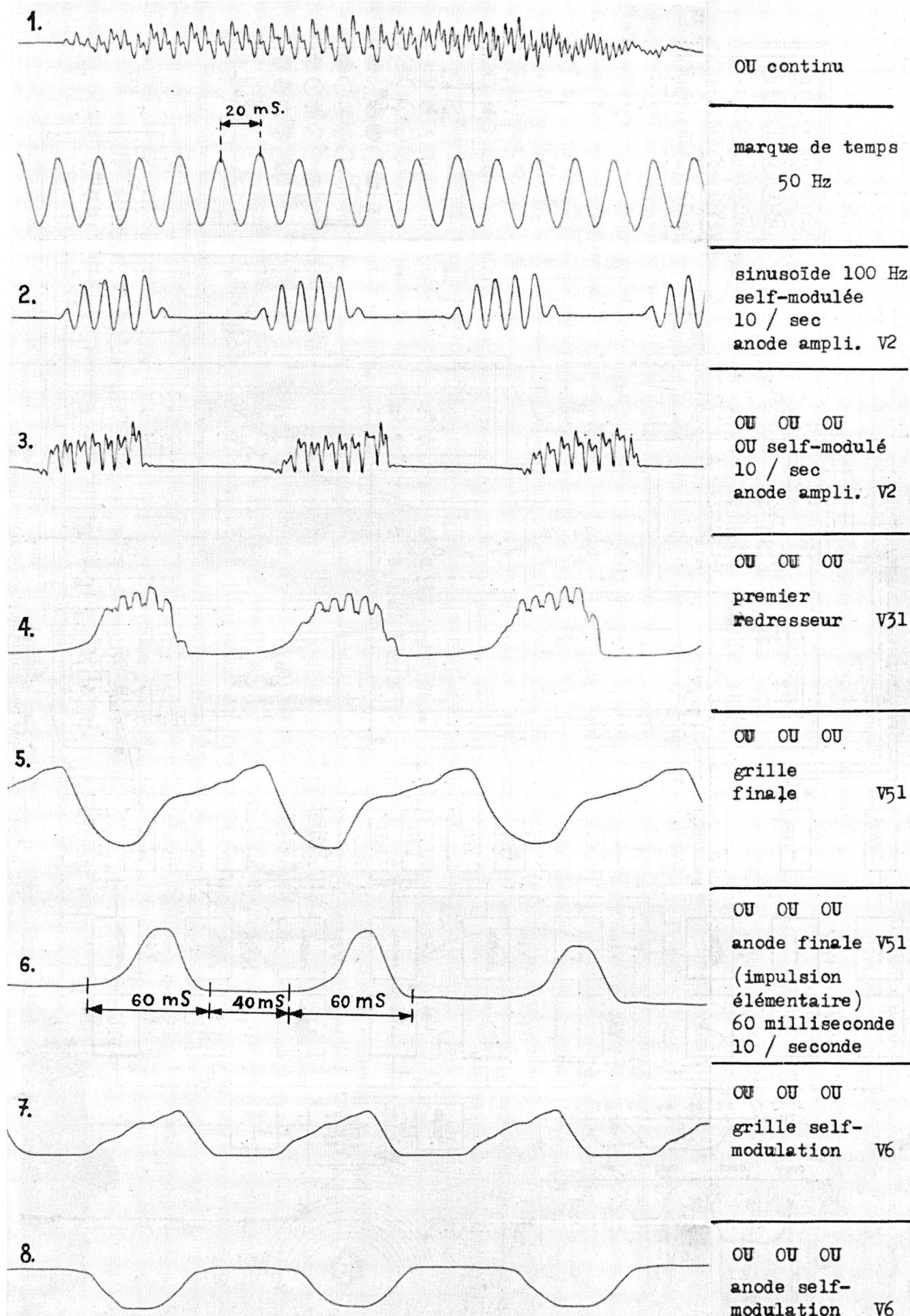


Fig. 3. Typo-sonograph phonétique ou phonétographe (principe)



tales, comprises entre 15 et 80 hertz, et qui en caractérisent la portion transitoire, entre l'énergie 0 et l'énergie maximum. Elles sont représentées dans la figure 2 par les diapasons subfondamentaux  $F_7$  à  $F_9$ . Cette partie du spectre fournit des informations importantes sur la vitesse de variation de l'enveloppe énergétique. Or, celle-ci contient par surcroît toutes les informations concernant sa partie stationnaire, sauf sa durée.

Il faut donc s'attendre que le dépouillement de la partie transitoire d'un train d'ondes suffise à caractériser chaque son, en y ajoutant simplement une information relative à sa durée totale. Le sonographe est basé sur ce principe.

### 3. Consonnes et langage murmuré

Dans le cas des voyelles, les fréquences subfondamentales se ressemblent et n'intéressent guère l'information phonétique. Par contre, diverses consonnes, telles que le R roulé, les plosives P, T, K et autres, sont caractérisées partiellement par la vitesse de variation de leur enveloppe énergétique. D'une manière générale, il faut donc ajouter à nos six diapasons d'ondes porteuses entre 150 et 4000 hertz quelques diapasons d'ondes portées, par exemple  $F_7$  à  $F_9$ , entre 15 et 80 hertz.

Des ingénieurs objecteront peut-être que la suppression des fréquences inférieures à 150 hertz n'a jamais affecté l'intelligibilité d'une communication téléphonique ou radiophonique. C'est exact, mais l'explication est la suivante: les fréquences subfondamentales naissent dans les résonances des cavités buccales ou autres. Elles renaîtront identiquement dans les résonances des filtres de bande récepteurs, même si elles se sont perdues en route, à condition que ces récepteurs soient des copies des émetteurs buccaux.

Reste à examiner le cas d'un langage murmuré: il n'y a plus de fondamentale du tout. Mais les «dents de scie» des cordes vocales sont remplacées par le souffle fluctuant du parleur, très riche en périodes transitoires (voir fig. 5, diagramme 4). Bien que son énergie soit concentrée autour de  $F_0$ , il est capable d'exciter les mêmes diapasons phonétiques, mais à des niveaux systématiquement décalés vers le haut.

Pour qu'une même machine à écrire puisse reproduire un langage voisé et un langage murmuré, il suffira de prévoir un réglage automatique des niveaux relatifs, ou deux mémoires électrodynamiques séparées.

L'examen de la bouche comme émetteur phonétique a permis ainsi de procéder à une première série d'éliminations considérables: des milliers de phases et de résonateurs possibles, il ne subsiste plus qu'environ neuf diapasons, qui constituent notre orchestre buccal. Le Bourgeois gentilhomme était prosateur

sans le savoir. Nous savons maintenant que nous sommes les chefs d'un orchestre très simple quand nous parlons.

Selon une partition écrite dans notre cerveau, nous dirigeons un concert au rythme de nos pensées, renforçant tantôt certains diapasons, tantôt en atténuant d'autres. Cette partition n'est que la traduction codée en notes musicales d'un film d'images mouvantes reflétant nos pensées elles-mêmes. Il existe d'ailleurs une musique phonétique intime, sans cesse redécouverte par l'oreille du poète, et qui remonte à l'origine même des langues. Le son R de la racine sanscrite RETH se retrouve dans le gaulois REDA = char, dans le latin ROTARE = faire tourner, dans l'anglais ROLL, ou dans l'allemand ROLLEN = rouler et RAD = roue, dans le français ROND, ROLE, ROULIS, ROGNER, qui donnent l'idée d'un mouvement se répétant régulièrement comme le roulement du R. Le son L de la racine sanscrite PLAVAYATI évoque l'idée de couler. Il se retrouve dans PLEUVOIR, PLEURER, FLUX, FLEUVE, FLOT, entre autres.

Mais revenons à l'analyse technique des sons émis par les neuf diapasons de l'orchestre buccal. Essayons de voir ce qu'ils deviennent quand ils ont pénétré dans une oreille et qu'ils inscrivent dans un cerveau récepteur une partition analogue à celle qui a présidé à leur émission. Pour simplifier l'exposé, nous choisirons d'emblée une oreille et un cerveau très modestes: ceux du phonétographe lui-même.

## II. Le mécanisme du typo-sonographe phonétique ou phonétographe

### 1. L'oreille électronique ou générateur d'impulsions

Selon la figure 3, le microphone Mi baigne dans l'onde sphérique  $V_{10}$  émanant de la bouche du parleur et qui véhicule par exemple le son R. Un amplificateur, dont la sortie est contrôlée automatiquement par un écrêteur ou un compresseur de volume, la convertit en une oscillation électrique  $V_{20}$  dont l'amplitude est indépendante de l'intensité sonore, dans certaines limites.

Six filtres de bande principaux, correspondant aux six diapasons porteurs de l'orchestre buccal, en fournissent six oscillations partielles  $V_{31}$  à  $V_{36}$ . Des redresseurs, avec filtres passe-bas éliminant toutes les fréquences porteuses (entre 100 et 4000 hertz), en extraient les niveaux énergétiques relatifs  $V_{41}$  à  $V_{46}$ . Puis six différentiateurs sélectionnent les variations croissantes de ces six niveaux. Il en résulte six impulsions initiales  $V_{511}$  à  $V_{516}$  qui sont une image, dans l'oreille, des variations énergétiques croissantes, rayonnées par les six diapasons de l'orchestre buccal.

Les niveaux des six impulsions sont artificiellement renforcés vers le haut de manière à reproduire la

la cadence de 10 impulsions par seconde (enregistrement par oscillographie électrodynamique OED 424, scripteur SED 4 avec amplificateur courant continu type 0/150/20; fréquences SED 4: linéaires 0...120 Hz, lisibles jusqu'à 500 Hz)

Fig. 4. Typo-sonographe phonétique, Prototype I, 2. Oscillogrammes montrant la transformation d'un son continu ou en un son répété OU OU OU par self-modulation, puis en des impulsions élémentaires (V 51) durant 60 millisecondes et se suivant à

courbe de sensibilité de l'oreille. Voir les courbes de résonances  $V_{30}$  des six filtres de bande. Leurs coefficients de surtension relatifs croissent avec leurs fréquences moyennes, selon une loi physiologique.

Tandis qu'à l'émission, les diapasons d'harmoniques supérieurs rayonnent des énergies vibratoires très inférieures à celles de la fondamentale, la courbe de sensibilité du récepteur naturel, l'oreille, rétablit l'équilibre au profit des harmoniques.

Pour comprendre le phénomène «son», il est impossible de dissocier l'émetteur «bouche» du récepteur «oreille». Les courbes des diapasons de la figure 2 et les courbes  $V_{30}$  des filtres de bande de la figure 3 sont complémentaires.

Un second caractère physiologique de l'oreille phonégraphique sera expliqué comme suit:

Nous cherchons à décomposer un langage parlé en ses éléments phonétiques ou phonèmes. Pendant une période oratoire, le langage parlé coule pourtant comme

un fleuve, quand nous en regardons l'image à l'oscillographe. Il est donc nécessaire de découper ce fleuve en tranches correspondant à la succession discontinue des éléments phonétiques. A quelle cadence effectuer ce hachis? Certainement pas à une cadence supérieure à 15 par seconde, sinon on tombe dans le domaine des fréquences acoustiques elles-mêmes. Quant à la limite inférieure, elle dépend de la vitesse du débit de la parole.

Ainsi le phonétophotographe est pourvu d'un dispositif de découpage automatique du flot oratoire, à des cadences variant à volonté entre 5 et 15 par seconde. Ce découpage peut être synchronisé par les impulsions finales  $V_{60}$ , qui coïncident avec les variations décroissantes des niveaux énergétiques dans les 6 filtres de bande. La réception d'un son long est remplacée par celle d'une suite de sons brefs identiques, qui en caractérisent la durée. Ce dispositif est appelé self-modulateur, ou automodulateur. Il est autorépé-

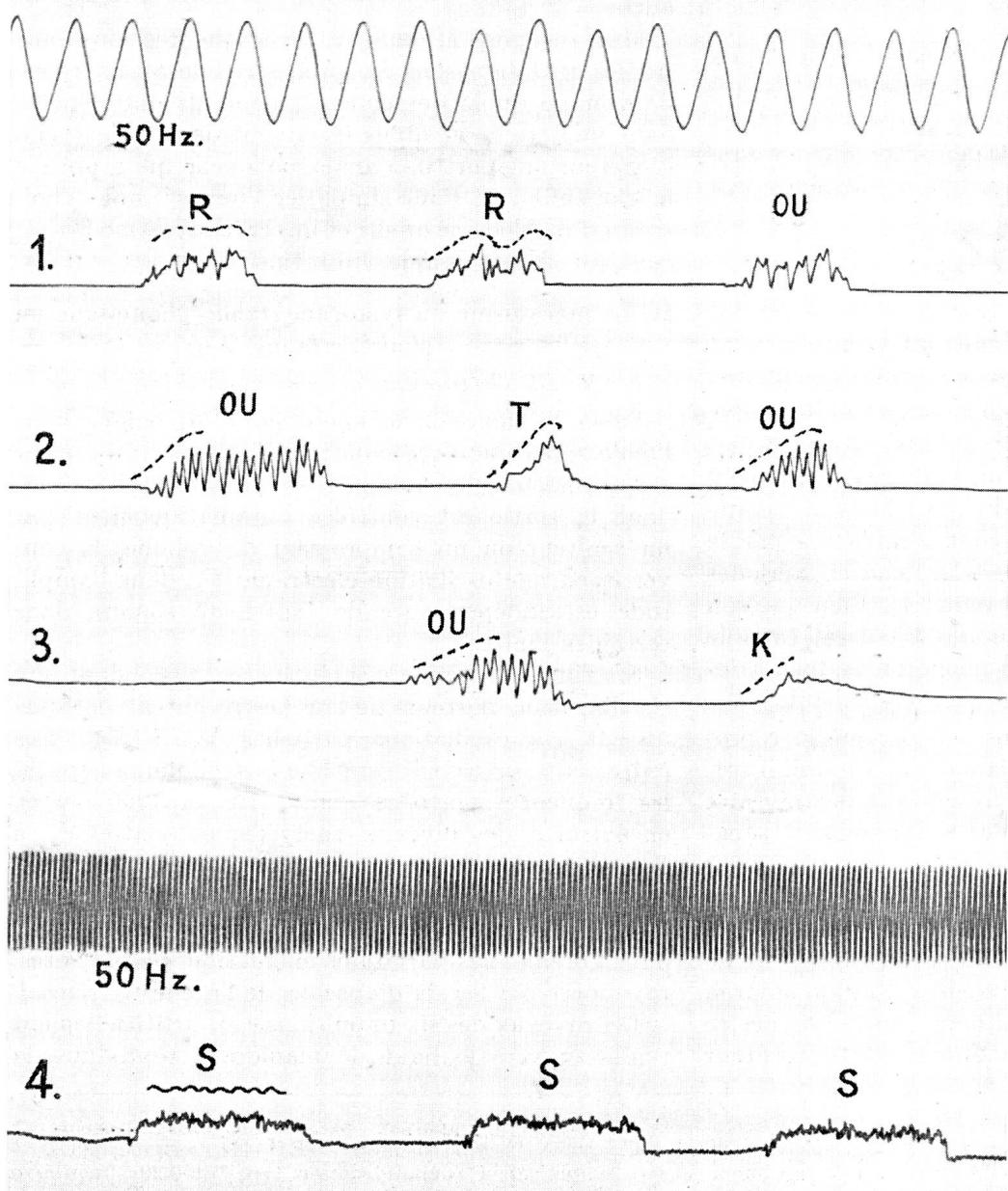


Fig. 5  
Oscillogrammes du typosoноgraphique phonétique, prototype 1, 2, montrant:  
1 = le roulement du R  
2 = la pente des ondes du OU et du T  
3 = la pente des ondes du OU et du K  
4 = les fluctuations du S  
Enregistrements de l'anode (V2) de l'amplificateur sonographique, par l'oscillographie électrodynamique, type OED 424, scripteur SED 4 avec amplificateur courant continu type O/150/20; fréquences du SED 4: linéaires 0 à 120 Hz, lisibles jusqu'à 500 Hz

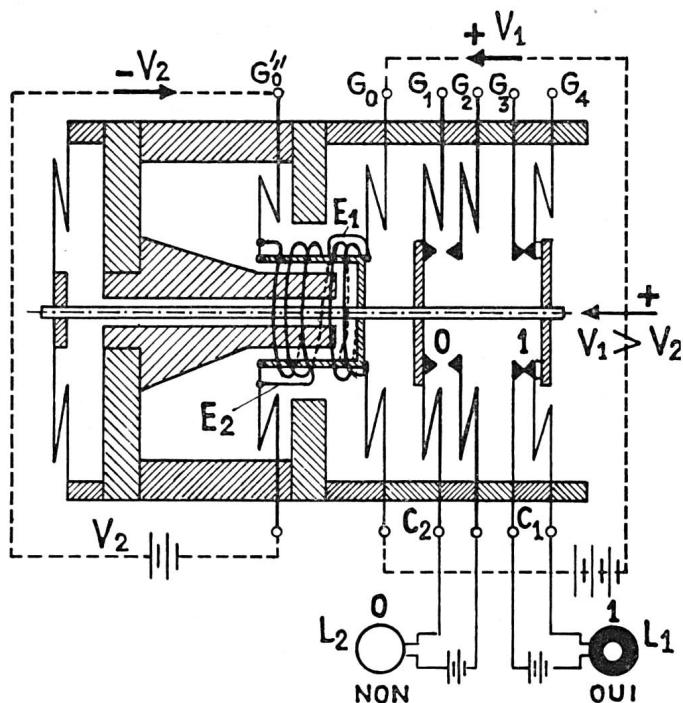


Fig. 6. Relais électrodynamique (coupe)

tituteur dans le cas d'un son long. C'est lui qui permet la décomposition d'un mot ou d'une syllabe en ses éléments alphabétiques.

Le tableau de la figure 4 montre les transformations successives d'une portion de langage parlé par l'oreille phonétographique. Ce sont des oscillogrammes enregistrés directement avec de l'encre sur du papier par un oscillographe électrodynamique.

Le diagramme 1 montre le flux ininterrompu d'un OU long. Le diagramme 3 le montre haché 10 fois par seconde, par le dispositif automodulateur, dont les oscillations de grille et de plaque sont indiquées par les diagrammes 7 et 8. Les diagrammes 4 à 6 montrent les modifications des niveaux énergétiques  $V_{31}$ , jusqu'aux «impulsions d'énergies croissantes ou initiales»  $V_{51}$ .

La figure 5 montre la décomposition des syllabes ROU, OUTOU, OUK, et les fluctuations du S.

Dans le cas du sténo-sonographe, réalisé il y a trois ans, les six impulsions exprimaient toute l'information désirée, car le scripteur vectoriel pouvait différencier automatiquement les fréquences subfondamentales caractérisant les vitesses de variation des enveloppes énergétiques. Il n'en est plus de même pour le typosonographe qui ne répond qu'à des questions soigneusement codées. Le prototype I ici présenté est incomplet car il comprend encore un générateur calqué sur celui du sténo-sonographe manquant de filtres subfondamentaux.

Toutefois, le schéma de la figure 3 représente déjà le prototype II, en préparation.

Quelques impulsions supplémentaires, telles que  $V_{517}$  à  $V_{519}$ , seront encore extraits des enveloppes énergétiques, et elles en caractériseront la vitesse de variation. Par exemple, le roulement du R se mani-

feste comme une ondulation à la surface du niveau énergétique  $V_{42}$ . Cette ondulation doit être sélectionnée par un filtre de bande subfondamental qui fournit l'oscillation  $V_{512}$ , dont le niveau énergétique secondaire devient  $V_{612}$ . La variation croissante d'énergie en délivre l'impulsion supplémentaire  $V_{517}$ .

Voir les courbes de fréquence  $V_{50}$  des filtres de bande subfondamentaux. La courbe 7 peut être associée aux six impulsions principales  $V_{511}$  à  $V_{516}$ , tandis que les courbes 8 et 9 discriminent les impulsions supplémentaires.

Il s'agit maintenant d'extraire l'information alphabétique cherchée de cette collection d'impulsions. Le phonétographe utilise un certain nombre de relais différentiels doubles  $D_{12}$  à  $D_{66}$ , qui comparent les grandeurs relatives des impulsions deux à deux. Par exemple, le relais  $D_{12}$  compare les impulsions  $V_{511}$  et  $V_{512}$ . Selon que l'une est égale, plus grande ou plus petite que l'autre, il répond par la fermeture ou l'ouverture de contacts déterminés.

Une invention en entraîne généralement d'autres. Ainsi les relais magnétiques usuels qui comprennent une bobine d'excitation fixe et une armature en fer mobile, n'ont pas donné satisfaction, en raison de leur fonctionnement non linéaire, de leur hystéresis et de leur inductivité. Ainsi il a fallu développer un nouveau relais électrodynamique qui fonctionne à l'inverse du relais magnétique: sa bobine d'excitation est mobile et son fer est fixe. Comme il s'agit d'un type de relais encore inconnu des télécommunications classiques, nous nous attarderons un instant à le décrire.

## 2. Les relais électrodynamiques comme cellules d'information

La figure 6 montre la coupe schématique d'un relais dynamique. Une bobine mobile à deux enroulements séparés  $E_1$  et  $E_2$  est suspendue par des lames de ressorts extensibles, selon la figure 8, dans l'entrefer d'un aimant permanent. Le système est analogue à celui des haut-parleurs dynamiques bien connus en

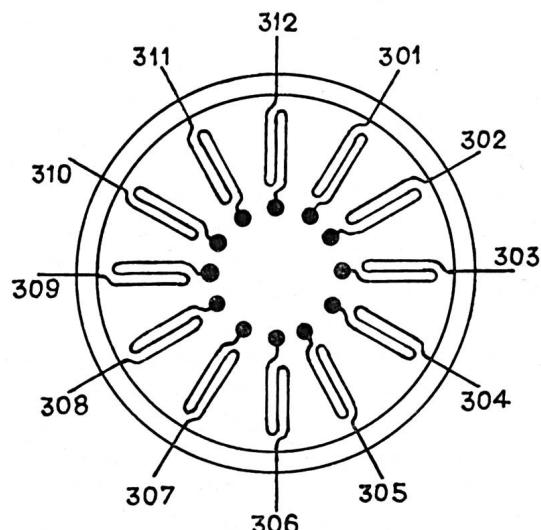


Fig. 7. Relais électrodynamique (galette)

radio. Le relais porte deux couronnes  $G_1, G_4$  de contacts mobiles, solidaires de la bobine, et deux couronnes  $G_2, G_3$  de contacts de butée. Chaque couronne comprend douze lames porteuses de contacts 301 à 312. Selon que les contacts de butée de la couronne  $G_2$  sont décalés ou non (voir fig. 6), le relais fonctionne à «zéro buté» (repos-travail) ou à position neutre.

Le relais dynamique présente sur le relais magnétique usuel l'avantage de fonctionner linéairement sans hystéresis magnétique ou mécanique, d'être très rapide, de porter un grand nombre de contacts (12,



Fig. 8.

24 ou plus) et d'avoir une bobine dont l'inductivité et la capacité sont négligeables. Il permet donc la conversion fidèle d'impulsions électriques en actions mécaniques différentes.

D'autre part, le relais dynamique présente sur les montages électroniques en «flip-flop» ou en «cathododyne» l'avantage qu'il remplace à lui seul autant de tubes électroniques qu'il porte d'enroulements, et que tous les circuits, quel que soit leur nombre, sont rigoureusement indépendants les uns des autres.

Selon la figure 6, l'enroulement  $E_1$  est connecté aux bornes d'une tension  $V_1$  plus grande que  $V_2$  qui est connectée à l'enroulement  $E_2$ . La bobine mobile se déplace vers la gauche, selon la flèche +, et la fermeture des contacts entre les couronnes  $G_3$  et  $G_4$  indique que  $V_1$  est plus grand que  $V_2$ . La fermeture du contact  $C_1$ , par exemple, peut allumer la lampe-témoin  $L_1$  qui répond «oui», tandis que l'ouverture du contact  $C_2$  éteint la lampe-témoin  $L_2$  qui répond «non». En code binaire, 0 signifie «non», et 1 signifie «oui». Ainsi quand  $V_1$  est plus grand que  $V_2$ , le relais dynamique répond par «01» qui signifie «non oui».

Si  $V_1$  était plus petit, ou égal à  $V_2$ , la bobine mobile reprendrait sa position de repos, fermant le contact  $C_2$  et ouvrant le contact  $C_1$ . Les lampes-témoin du relais répondraient alors par «10», signifiant «oui non». On constate qu'un seul relais laisse planer une incertitude, cette réponse «oui non» ne permettant pas de distinguer si  $V_1$  est égal à ou plus petit que  $V_2$ .

Pour obtenir une réponse complète, il faut accoupler deux relais  $D_1, D_2$ , selon la figure 9, les paires d'enroulements respectifs étant parcourus par des sens de courant inversés. Quand  $V_1$  est égal à  $V_2$ , les contacts  $C_1$  à  $C_4$  répondent «oui non, oui non», soit «10, 10». Par contre, quand  $V_1$  est plus petit que  $V_2$ , la réponse de ces mêmes contacts devient «oui non, non oui», soit «10, 01». Dans ce dernier cas, la réponse du relais  $D_2$  suffirait. On dit que la première moitié «10» de l'information «10, 01» est «redondante», c'est-à-dire superflue.

Cependant, l'égalité ou la justice mathématique n'étant pas de notre monde physique, encore faut-il s'entendre sur les limites entre lesquelles  $V_1$  est considéré comme égal ou comme inégal à  $V_2$ . L'information d'inégalité est affectée d'un seuil de fonctionnement correspondant à la différence de tension minimum entre  $V_1$  et  $V_2$ , nécessaire pour que la bobine mobile parcourt un chemin égal à la course entre les contacts. Cette course pouvant être réglée, on peut varier le seuil dans de vastes limites, sans toutefois pouvoir l'éliminer complètement. On retrouve ici, sous une forme macroscopique, les relations d'incertitude qui opposent un seuil infranchissable à notre curiosité dans le microcosme.

Pour déterminer les seuils de fonctionnement adaptés aux conditions du phonétographe, nous faisons de nouveau appel à des expériences physiologiques: nous savons que notre oreille est incapable de discerner des variations d'intensité sonore de l'ordre de 3 décibels. Pour elle, deux intensités qui diffèrent en réalité de  $\pm 30\%$  sont encore égales. D'autre part, pour que l'oreille apprécie une différence d'intensité, il faut que l'une soit au moins le double de l'autre. Le relais répondra que deux impulsions sont égales tant qu'elles diffèrent de moins de 30%, et qu'elles sont inégales quand elles diffèrent de plus de 50%.

Le tableau de la figure 10 résume, d'abord en code binaire, les cinq réponses possibles d'un relais double à deux impulsions qu'il doit comparer.

Les réponses 1 à 3 sont claires et nettes. Les réponses 4 et 5 incomplètes, négatives, car elles disent seulement que l'une des deux impulsions n'est pas plus grande que l'autre. Elles peuvent cependant fournir parfois un appui d'information.

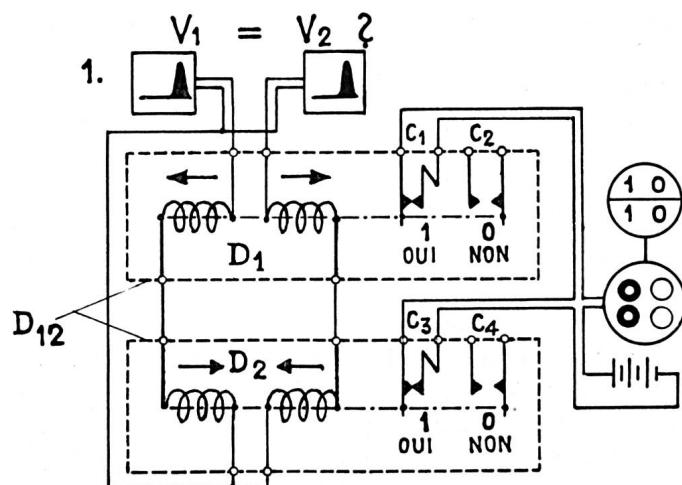


Fig. 9. Questions et réponses électrodynamiques

Dans notre cas sonographique, le code binaire n'est pas le plus pratique, car il contient des redondances. Il allonge inutilement les écritures. Nos relais doubles donnant trois réponses précises, il est plus naturel d'employer un code à trois chiffres 012, «0» signifie «égal»; 1 signifie «plus grand que», 2 signifie «plus petit que». On pourrait aussi utiliser les signes mathé-

|                                   |                                    |                  |                    |                               |                                  |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|                                   | 1.                                 | 2.               | 3.                 | 4.                            | 5.                               |
| <b>QUESTION</b>                   | $V_1 = V_2$                        | $V_1 > V_2$      | $V_1 < V_2$        | $V_1 \neq V_2$                | $V_1 \neq V_2$                   |
| <b>RÉPONSES</b>                   |                                    |                  |                    |                               |                                  |
| <b>RELAIS DOUBLE DIFFÉRENTIEL</b> | <b>D 1</b>                         |                  |                    |                               |                                  |
|                                   | <b>D 2</b>                         |                  |                    |                               |                                  |
| <b>CONTACTS</b>                   | OUI NON, OUI NON                   | NON OUI, OUI NON | OUI NON, NON OUI   | (NON NON), OUI NON            | OUI NON, (NON NON)               |
|                                   |                                    |                  |                    |                               |                                  |
| <b>CODE</b>                       | <b>BINAIRE</b>                     | 10, 10           | 01, 10             | 10, 01                        | 00, 10                           |
|                                   | <b>TRINAIRE</b>                    | 0                | 1                  | 2                             |                                  |
|                                   | <b>DIFFÉRENT.</b>                  | 0                | +                  | -                             | +                                |
| <b>LIMITES</b><br>(physiolog.)    | $V_2 \geq V_1 \geq V_2 : \sqrt{2}$ | $V_1 \geq 2V_2$  | $V_1 \leq V_2 : 2$ | $2V_2 > V_1 > V_2 : \sqrt{2}$ | $V_2 : 2 < V_1 < V_2 : \sqrt{2}$ |

INFORMATION : NECESSAIRE REDONDANTE INCERTAINE INCOMPLÈTE

Fig. 10. Questions et réponses électrodynamiques

matiques 0, +, —, signifiant le résultat de chaque différence entre deux impulsions (rangées dans l'ordre de leurs fréquences croissantes d'origine).

Par analogie avec le système binaire, dont chaque élément d'information s'appelle un BIT (binary digit) comprenant deux chiffres, on peut nommer notre système à trois chiffres ou symboles un système trinaire, et chacun de ses éléments d'information un TIT (trinary digit).

### 3. Le cerveau électrodynamique ou combinateur d'impulsions

Revenons à la figure 3: en associant plusieurs relais dynamiques doubles, nous sommes en mesure de comparer toutes les impulsions d'information, deux à deux. Nous pouvons comparer par exemple l'impulsion 1 avec l'impulsion 2, puis avec 3, jusqu'à l'impulsion p. Le nombre maximum de relais doubles possibles est  $1+2+3+\dots+(p-1)$ . Dans le cas de six impulsions 1 à 6, ce total est  $1+2+3+4+5 = 15$ . Ce sont, dans la figure 3, les relais  $D_{12}$  à  $D_{56}$ . Les relais à indices voisins (première colonne)  $D_{12}$ ,  $D_{23}$ ,  $D_{34}$ ,  $D_{45}$ ,  $D_{56}$  fournissent les informations principales. Ils permettent de reconstituer approximativement le spectre de fréquences initial par les différences finies de sa courbe. Toutefois, certaines de ces différences peuvent tomber dans la large zone d'incertitude. Il faut alors avoir recours aux différences entre indices distants de deux unités, qui sont fournies par les relais de la deuxième colonne  $D_{13}$ ,  $D_{24}$ ,  $D_{35}$ ,  $D_{46}$ , et ainsi de suite.

Afin d'obtenir une vue panoramique des réponses 0+— principales de tous les relais dynamiques, on peut leur associer un tableau de lampes-témoins LT

disposées dans le même ordre que les colonnes de relais. Ce tableau permet de déterminer expérimentalement quels sont les contacts de chaque relais qu'il faut connecter en série pour distinguer chaque élément phonétique de tous les autres, et déclencher une touche spécifique R de la machine à écrire électrique, en excitant son solénoïde  $D_R$ . Une telle chaîne de contacts en série est nommée un «labyrinthe», car tous les éléments phonétiques s'y perdent sauf un seul, qui en trouve la sortie, c'est-à-dire la touche spécifique.

Chaque labyrinthe mène à l'une des trente touches de l'alphabet sonographique AS. C'est une cellule de mémoire. L'ensemble des labyrinthes constitue la mémoire, ou le cerveau de l'appareil.

Pour la lecture du son, sans l'aide de la machine à écrire, il est préférable de ranger les lampes-témoins dans l'ordre du tableau  $S_{1-6}$ , qui montre directement les «spectres d'information», images physiologiques des spectres de fréquence. Les lampes-témoins y sont disposées dans l'ordre des impulsions qui correspondent aux fréquences acoustiques croissantes. Elles fournissent des analyses sommaires de n'importe quels sons musicaux ou autres.

Le tableau de la figure 11 montre les spectres d'information relatifs à trente éléments phonétiques français, répartis dans les trente carrés. Sous chaque carré se trouve le spectre semi-physiologique de fréquences correspondant, entre 150 et 4000 Hz. Il est semi-physiologique, car il reproduit bien la courbe de sensibilité de l'oreille, en fonction des fréquences, mais il ne tient pas encore compte des seuils d'audibilité relatifs aux différences d'intensité sonore.

Les lampes-témoins de la diagonale gauche-droite de chaque carré ont une signification spéciale; elles caractérisent la vitesse de variation des enveloppes énergétiques. Donc le roulement du R, ou l'onde de

choc d'une plosive P,T, K. Elles ne peuvent pas encore être allumées par le prototype I, mais sont déjà prévues pour le futur prototype II.

Il suffit donc de parler dans le microphone Mi

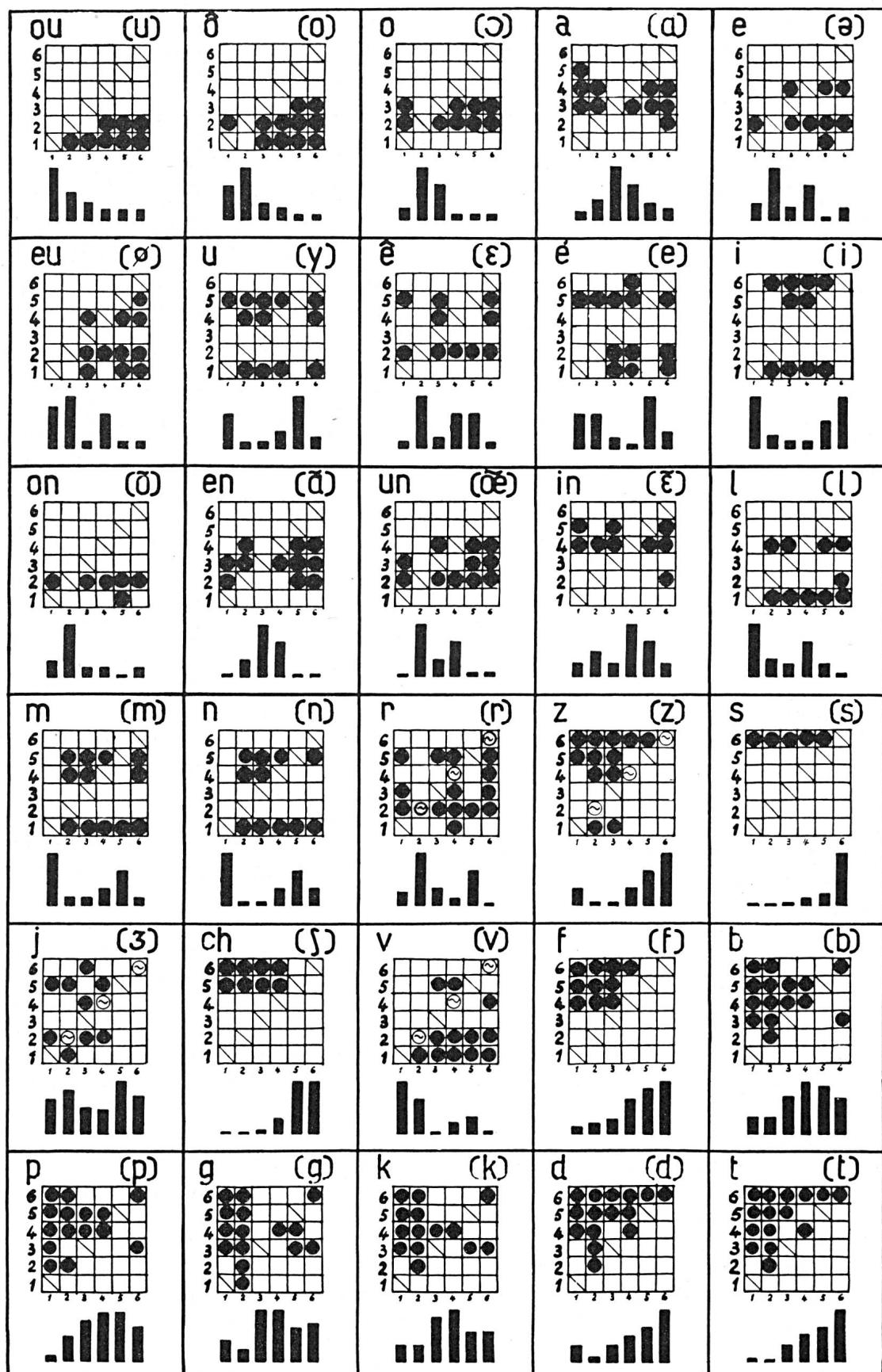


Fig. 11. Spectres d'information

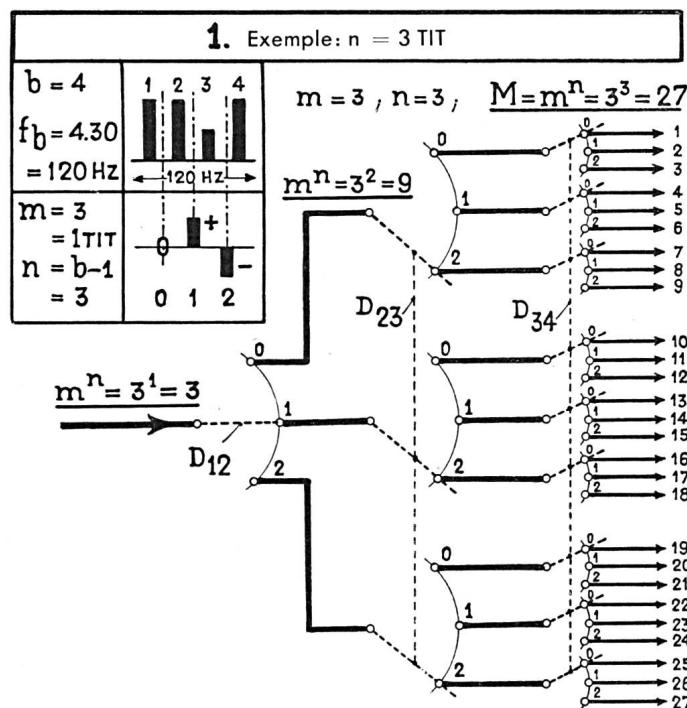


Fig. 12. Nombre d'informations ou de sons M transmissibles par n éléments d'information m à la cadence de 10 sons/seconde

n = nombre d'éléments d'information trinaires (TIT) = b-1  
b = nombre de filtres de bande ou d'impulsions élémentaires (durée 60 ms)

m = 3 = 1 élément d'information trinaire (trinary digit = TIT), 012  
m = 2 = 1 élément d'information binaire (binary digit = BIT), 01

M = nombre de combinaisons d'éléments d'information (TIT ou BIT) résultant  
= nombre de sons ou d'informations transmissibles par n (TIT) ou n'(BIT)

f = largeurs de bande requises en hertz, selon Fourier:  
 $f_1$  = pour transmettre 1 impulsion élémentaire durant 60 ms, ou 10 impulsions seconde

$f_b$  = pour transmettre 10.b impulsions/seconde en système trinaire  
 $f_{n'}$  = pour transmettre 10.n impulsions/seconde en système binaire

$f_{min}$  = largeur de bande pratiquement minimum = la moitié de la largeur de bande requise en hertz, selon Fourier

**2. Tableau, système trinaire,  $m = 3 = 1$  TIT**

| $b = n + 1 =$   | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| $b - 1 = n =$   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10       |
| $M = m^n =$     | $3^1$ | $3^2$ | $3^3$ | $3^4$ | $3^5$ | $3^6$ | $3^7$ | $3^8$ | $3^9$ | $3^{10}$ |
| $M = 3^n =$     | 3     | 9     | 27    | 81    | 243   | 729   | 2187  | 6561  | 19683 | 59049    |
| $f_b = 30(n+1)$ | 60    | 90    | 120   | 150   | 180   | 210   | 240   | 270   | 300   | 330      |
|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Hz       |

**3. Tableau, système binaire,  $m = 2 = 1$  BIT,  $M = 3^n = 2^n$**

|                                |       |      |       |      |       |      |        |       |        |       |
|--------------------------------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|-------|--------|-------|
| $n' = n \frac{\ln 3}{\ln 2} =$ | 1,585 | 3,17 | 4,755 | 6,34 | 7,925 | 9,51 | 11,095 | 12,68 | 14,265 | 15,85 |
| $f_{n'} = 30 \cdot n'$         | 47,5  | 95   | 143,6 | 190  | 229   | 285  | 333    | 380   | 428    | 475,5 |
|                                |       |      |       |      |       |      |        |       |        | Hz    |

pour déclencher les touches de la machine à écrire et pour allumer en même temps les spectres d'information correspondants, à la vitesse même du débit de la parole, c'est-à-dire de dix signes par seconde en moyenne.

Ainsi, non seulement l'aveugle, le paralytique ou le manchot pourront écrire une lettre simplement en parlant, mais encore le sourd pourra suivre une conversation, sans l'aide de la machine à écrire, simplement en regardant les lampes-témoins, s'il en a appris la lecture.

Un détail technique est encore à noter: le dispositif automodulateur du phonétographe a pour effet de sélectionner les groupes d'impulsions phonétiques à la vitesse moyenne du débit de la parole, par exemple à raison de dix groupes par seconde. Ainsi, bien que dans la syllabe TO le O suive le T après un temps très

inférieur à 1/10 de seconde, le phonétographe utilise le début du T et la fin du O, de sorte que tout se passe comme si le O suivait le T après 1/10 de seconde (voir fig. 5, 2).

### III. Transmission d'information sonographique et compression de fréquence de 4000 à 135 hertz

Supposons que le microphone et le générateur sonographique d'impulsions se trouvent à Genève, tandis que le cerveau électrodynamique et la machine à écrire se trouvent à New-York. Nous désirons écrire à New-York ce que nous disons à Genève. Il est toujours possible de transmettre les impulsions élémentaires à l'aide d'une onde porteuse électromagnétique à haute fréquence, selon l'un des nombreux procédés connus. Mais la question fort intéressante qui se pose alors est la suivante: Quelle est la largeur de bande

minimum requise pour transmettre l'information au rythme même du débit de la parole ? Les tableaux des figures 12, 13 répondent à cette question, en supposant que le débit moyen du discours est de dix éléments phonétiques par seconde, et en utilisant le codage trinaire.

Prenons d'abord un exemple simplifié : selon le tableau 1, nous disposons de quatre impulsions élémentaires 1, 2, 3, 4 émanant de quatre filtres de bande acoustiques ( $b = 4$ ). Chacune de ces impulsions peut être représentée par une courbe ayant l'allure du «cosinus quadratique», dont la durée est  $T_1 = 60$  millisecondes. L'intégrale de Fourier montre que le spectre de fréquence de cette impulsion est presque

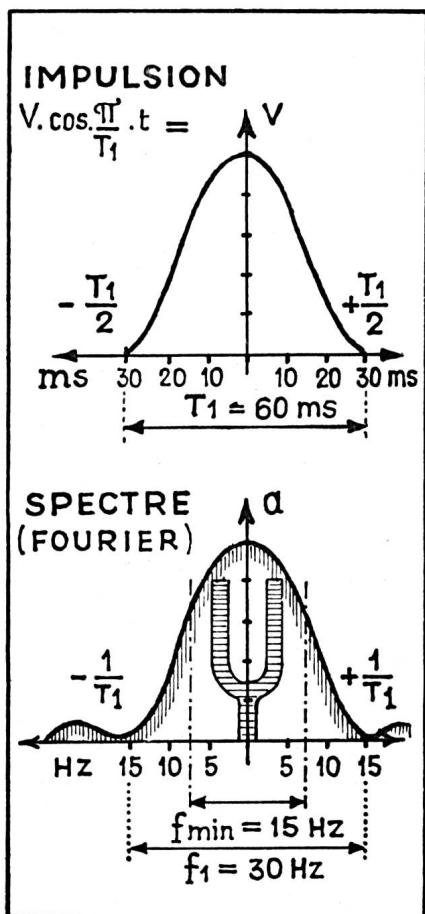


Fig. 13

entièrement contenu dans une largeur  $f_1 = 30$  hertz. Dans le cas d'une onde porteuse à bande latérale unique, il suffit donc d'un canal de 4 fois 30 = 120 hertz pour transmettre à une distance quelconque nos quatre impulsions 1, 2, 3, 4.

Quelle est l'information maximum qui est transmissible à l'aide de ces quatre impulsions, selon le système phonétographique ?

Nos quatre impulsions élémentaires nous fournissent trois éléments d'information trinaires ou TIT. En effet, la courbe des fréquences acoustiques (spectre) est en principe déterminée quand on forme les premières différences finies, entre impulsions voisines 1-2, 2-3, 3-4. Et chacune de ces différences peut

donner un résultat nul (0) ou positif (+) ou négatif (-), dont les indices trinaires sont 0, 1, 2. Disposant de trois éléments d'information ou TIT ( $n = b-1 = 4-1 = 3$ ) et chaque TIT ayant trois valeurs ou indices possibles ( $m = 3$ ), le nombre d'informations maximum  $M$  devient 3 élevé à la puissance 3, soit 27 ( $m^n = 3^3 = 27$ ). Le schéma du tableau 1 montre synoptiquement les connexions de 27 labyrinthes ou cellules de mémoire possibles, correspondant au nombre d'informations maximum  $M = 27$ . Pour les réaliser, il faudrait trois relais dynamiques doubles  $D_{12}$ ,  $D_{23}$ ,  $D_{34}$ , portant  $4+12+36 = 52$  contacts au total.

On constate donc que, théoriquement, il suffirait de diviser le spectre acoustique en quatre bandes pour distinguer 27 sons, tandis que l'alphabet usuel ne contient que 26 lettres. Si quatre bandes ne suffisent pas pratiquement, c'est que la bouche n'est pas capable d'émettre précisément ces 27 sons-là. La nature ne l'a pas faite que pour parler, mais aussi pour manger et pour bien d'autres fonctions. On peut remarquer, en passant, que le discernement mécanique procède, en système *binnaire*, comme les jeux de devinettes (oui-non) ou comme les tableaux éliminatoires des tournois de tennis (gagnant-perdant). En système *trinaire*, il avance comme les tournois d'échecs (gagnant-perdant-nul) et comme les votations (oui-non-nul ou abstention). Il suffit donc de multiplier les questions trinaires les plus simples pour obtenir les jugements et les mesures les plus complexes. Le jeu du tableau 1 procède par éliminations successives instantanées. Pendant que le relais  $D_{34}$  répond «0» éliminant 18 autres possibilités «1» et «2», le relais  $D_{23}$  répond «2» éliminant six autres possibilités «0» et «1» et le relais  $D_{12}$  répond «1» éliminant deux autres possibilités «0» et «2». Ayant ainsi éliminé  $18+6+2 = 26$  éventualités, la chaîne de contact ou labyrinthe conduit à l'unique éventualité non éliminée, qui est l'information numéro 16.

Nous nous sommes quelque peu attardés sur ce cas très simple de 27 informations résultant de quatre filtres de bande ou impulsions, car il est ensuite très facile de faire comprendre le cas général présentant un nombre  $b$  quelconque de filtres de bande. Le tableau 2 en résume les résultats pour  $b$  compris entre 2 à 11, c'est-à-dire pour un nombre d'éléments d'information  $n = b-1$  compris entre 1 et 10, dans le système trinaire sonographique.

Dans le cas pratique où  $b = 9$  filtres de bande et  $n = 8$  éléments d'information trinaires ou différentiels, le phonétographe peut sélectionner théoriquement  $M = 6561$  informations. Leur transmission à la cadence de 10 par seconde n'exige qu'un canal de 270 hertz, en se basant sur la théorie de Fourier.

Le tableau 3 montre les canaux qui seraient nécessaires aux mêmes nombres d'informations  $M$  en système binaire classique. On constate que le système trinaire ou différentiel présente sur le système binaire «tout ou rien» un avantage qui grandit avec le nombre

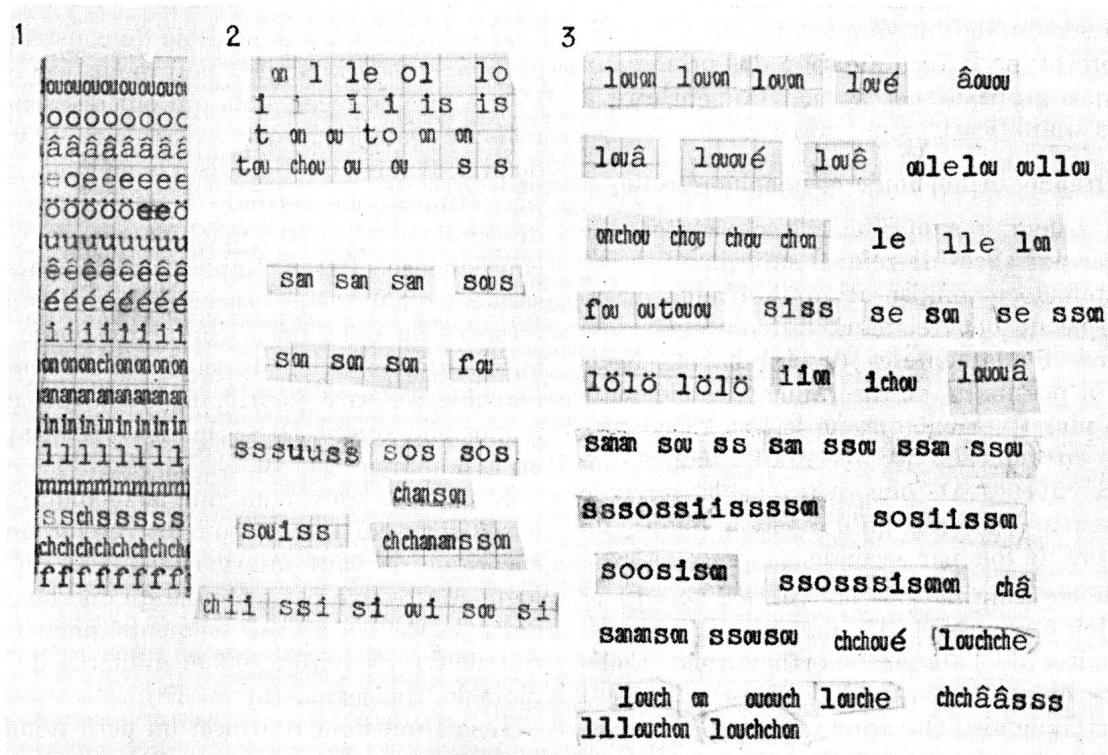


Fig. 14. Phonétogrammes enregistrés par le prototype I, 2 du typo-sonographe phonétique (Parleur: A. M.), 1. 22. 9. 52, 2. 30. 9. 52, 3. 8. 10. 52

1 = dix-sept éléments phonétiques longs, auto-répétés 10 fois par seconde

2 = syllabes et mots divers, dont LE, LO, IS, TO, TOU, CHOU, SAN, SOUS, SON, FOU, SSUSS, SOS, CHANSON, CHI, SI, OUI, SOU

3 = syllabes et mots divers, dont LOUON, LOUÉ, LOUÈ, LOUA, LELOU, CHOU, LE LON, OUTOU, SISS, SE SON, LO, SAN SOU, SOSSISSON, SANSON, LOUCH, LOUCHE, LOUCHON

d'éléments d'information  $n$ . Ainsi, par exemple, pour transmettre  $M = 6561$  informations, il faudrait un canal de 380 hertz en système binaire «oui non», alors que 270 hertz suffisent en système trinaire «0+—». Pratiquement, on peut se contenter d'un canal réduit encore de moitié, soit 135 hertz, sans que l'information en souffre notablement. Il n'en résulterait qu'un étalement encore acceptable de chaque impulsion.

Maintenant, nous pouvons nous souvenir qu'à l'origine de cet exposé, un canal de 4000 hertz était nécessaire à la transmission de la même information phonétique, dans l'air. Il faut donc reconnaître qu'écrire, de même que peindre, c'est bien éliminer. Le phonétographe élimine 95 % des fréquences acoustiques, et les 5 % qui restent lui suffisent à imprimer les lettres alphabétiques.

Ainsi sur un canal téléphonique de 2000 hertz on pourrait dicter simultanément 15 phonétogrammes, ou transmettre 6561 signaux différents à la cadence de 150 par seconde.

#### IV. Résultats pratiques des prototypes actuellement réalisés

Le prototype I ici présenté permet de démontrer que le problème du phonétographe est résolu en principe. Sur les trente éléments phonétiques de la

langue française, il peut en métamorphoser une vingtaine en caractères alphabétiques ou phonétiques, frappés instantanément par la machine à écrire. Il permet de dicter diverses syllabes ou mots ou phrases contenant les lettres sélectionnables. Il est pourvu d'un dispositif automatique qui déclenche un espace blanc dès que le débit de la parole s'arrête un instant. Ce dispositif d'espacement permet de séparer les périodes oratoires ou les mots prononcés avec des silences intermédiaires. La figure 14 reproduit quelques enregistrements d'un prototype I, actionnant une machine à écrire électrique I.B.M.

Toutefois, l'expérience acquise par le prototype lui-même montre aussi comment il ne fallait pas le faire: la linéarité, l'amplification et la compression de volume de son amplificateur sont insuffisantes. Il en résulte des instabilités et des variations selon l'intensité sonore de la dictée. Ses filtres de bande ne sont pas assez sélectifs. Il ne contient pas encore les filtres de bande subfondamentaux, et d'autres imperfections. Mais la disposition du prototype I ne peut guère être changée. Il faut donc préparer un prototype II qui éliminera toutes les imperfections constatées, et qui contiendra divers dispositifs de réserve permettant de surmonter des difficultés éventuelles. Son cerveau contiendra une cinquantaine de relais dynamiques, au lieu des 19 actuels, dont le nombre est insuffisant.

On ne peut toutefois pas encore prédire si le futur prototype II sera en définitive plus ou moins compliqué que le prototype I. L'élimination des principaux défauts du prototype actuel permettra peut-être à elle seule des simplifications importantes.

### V. Orthographe, orthophonie et néophonétisme

Dans son ardeur à supprimer, le phonétographe semble pécher par excès de zèle: il supprime l'orthographe. Toutefois, en compensation, il offre un maximum théorique de 6561 signaux différents, au lieu des 26 lettres fondamentales de l'alphabet. Nous avons donc la possibilité de discriminer les éléments phonétiques plus finement que ne le fait l'alphabet, par exemple en ajoutant des accents ou signes diacritiques aux voyelles. De plus, il précise la durée de chaque élément phonétique, qu'il répète à volonté un certain nombre de fois par seconde.

A l'aide de ces informations nouvelles d'accents et de durée, il doit être possible d'éliminer les équivoques pouvant résulter de l'absence d'orthographe. Celle-ci serait alors remplacée par quelque chose qu'on peut nommer l'orthophonie. On apprendra à parler correctement dans le microphone, de même qu'actuellement on apprend à écrire correctement sur une feuille de papier, avec un succès précaire d'ailleurs.

Il n'existe à ma connaissance que deux pays qui ont introduit l'écriture phonétique: la Turquie et, partiellement, la Yougoslavie. Mais il existe dans tous les pays, surtout en Angleterre et en France, des mouvements pour la réforme de l'orthographe.

Le phonétographe pourrait contribuer à l'élaboration d'un néophonétisme universel permettant la transcription des quelque 2000 langues parlées à l'aide d'une soixantaine de signes. Ces signes seraient basés sur l'alphabet latin usuel, qui descend de l'alphabet phénicien vieux de 3500 ans, mais il tiendrait compte des enseignements modernes de la physiologie, de la phonétique et de la théorie de l'information.

Mais indépendamment de réformes éventuelles de l'orthographe, le phonétographe peut s'introduire par étapes dans les mœurs. Au début, il allégerait les travaux des sténographes et télégraphistes. Il enregistrerait des messages téléphonés. Les entreprises, administrations, congrès, tribunaux s'en serviraient pour la rédaction automatique de procès-verbaux, notices et autres documents internes.

Les aveugles et les paralytiques pourraient écrire, et les sourds pourraient suivre une conversation, comme des êtres normaux. Les intellectuels, artistes ou autres, s'en serviraient pour conserver des idées et des faits quotidiens, ou pour écrire des brouillons.

Peu à peu, si un nombre suffisant de phonétographes est introduit, l'économie de temps incitera à expédier aussi des phonétogrammes par la poste, de sorte qu'à la longue il soulagera aussi le travail des dactylographes pour la correspondance courante.

### VI. Sonographe orthographique ou ortho-sonographe

Il est parfaitement possible de construire un sonographe orthographique, sauf pour les homonymes, c'est-à-dire pour les mots qui ont des sens différents, mais des sons identiques. C'est surtout une question de prix. Il suffit d'ajouter à la mémoire des éléments phonétiques une seconde mémoire des syllabes ou des mots, ainsi qu'une machine à écrire complétée en conséquence. Par exemple, les éléments D, I, SS seraient emmagasinés successivement dans des relais retardés ou dans un sélecteur du genre «téléphonie automatique» et ils déclenchaient une touche de machine à écrire imprimant d'une pièce, au choix, le mot phonétique DISS, le mot orthographique DIX ou le nombre arabe 10.

Nous nous souvenons que la mémoire phonétique, basée sur neuf filtres, pouvait retenir un maximum théorique de 6561 informations. Par un calcul analogue, on trouve par exemple qu'une mémoire secondaire basée sur trente éléments phonétiques pourrait délivrer environ 20 000 milliards de syllabes ou mots de trois lettres ( $m^3 = 3^{30}$ ).

Il suffirait donc d'utiliser un petit nombre de combinaisons parmi le maximum théorique pour imprimer les quelques centaines de syllabes ou les quelques milliers de mots d'un langage courant.

Tandis que la mémoire phonétique se contente de quelque cinquante relais à 24 contacts, la mémoire syllabique ou semi-orthographique en exigerait peut-être 500 ou 5000. Ces chiffres ne sont nullement prohibitifs, toutefois ils multiplieraient le prix et l'encombrement du phonétographe par 10 ou par 100.

On peut prévoir que cette dépense supplémentaire d'un sonographe semi-orthographique présentera plus d'inconvénients que l'entorse faite aux habitudes de lecture par un phonétographe. Sans même parler de l'éventualité que l'orthographe ne résistera peut-être pas aux critiques modernes, indépendamment de nouvelles machines.

### VII. Sonographe numérique ou numéro-sonographe

Parmi les milliers de mots d'une langue, il n'y en a que dix qui figurent les chiffres 0 à 9. L'adjonction d'une mémoire numérique de dix chiffres au sonographe phonétique ne représente donc qu'une dépense supplémentaire minime. Ainsi on peut prévoir que le phonétographe pourra transcrire à volonté des éléments phonétiques, au nombre de quelques douzaines et les chiffres principaux, au nombre d'une dizaine, d'une manière analogue aux machines à écrire usuelles.

Ainsi le pas serait franchi pour actionner des machines à calculer par la parole, en remplacement de la main. De même, on pourra ajouter des signes de ponctuation, commandés, par exemple, par des silences plus ou moins longs.

### VIII. Sonographies symboliques ou pictographiques, ou picto-sonographies

Les chiffres ne figurent qu'un échantillon de la classe des symboles ou signes pictographiques, tels

que signes mathématiques, signaux de circulation et autres. Certaines langues actuelles sont semi-symbo-  
liques telles que le syllabique japonais, ou entière-  
ment symboliques, comme le chinois, qui associe à  
chaque idée un signe différent. Il serait aisément d'ajouter  
à l'alphabet phonétographique un certain nombre de  
symboles les plus usuels. On peut aussi construire des  
sonographies entièrement pictographiques ou picto-  
sonographies, mais alors on retombe dans des compli-  
cations analogues à celles du sonographe semi-ortho-  
graphique: on pourrait distinguer par l'oeil autant  
d'idées que de groupes de sons différents, mais le  
coût et les dimensions de l'appareil seraient multi-  
pliés par cent ou par mille peut-être.

## IX. Autres applications possibles

Il serait oiseux d'allonger ici la liste des autres applications possibles. Il suffit de penser aux diverses commandes actuellement exécutées à la main et qui pourraient l'être par la parole. Par exemple, le téléphone automatique, les ascenseurs, les serrures. Il est plus facile de restituer le caractère individuel que de l'éliminer, de sorte qu'une serrure, par exemple, n'obéirait qu'à certaines voix déterminées. De même, il suffirait d'un commutateur pour rendre le phonéto-  
graphe secret, soit que ses messages s'inscrivent selon un code, soit que la machine elle-même n'obéisse qu'à une ou plusieurs voix déterminées. N'oublions pas que neuf filtres de bande permettent déjà 6561 combinaisons et qu'il est toujours possible de leur ad-

joindre des filtres pour distinguer la fondamentale ou des harmoniques que nous avons éliminés.

\* \* \*

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont bien voulu contribuer à la réalisation des premiers sonographies. En particulier à M. Georges Kung et à ses élèves, de l'Ecole des Arts et Métiers, Genève, aux Ateliers *Henri Latour* et à leurs collaborateurs dont M. *Henri Olivier*, à M. *André Monnier* de mon laboratoire, à la Acoustical Society of America et à la International Business Machines Corporation, de New-York.

## Bibliographie

- P. Lertes.* Elektrische Musik. Dresden und Leipzig 1933.  
*F. Trendelenburg.* Klänge und Geräusche. Berlin 1935.  
*K. Küpfmüller.* Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichten-  
übertragung. Zürich 1952.  
*Colin Cherry.* Pulses and Transients in Communication Circuits.  
London 1949.  
*J. Dreyfus-Graf.* Le sténo-sonographe phonétique. Bull. Techn.  
PTT (Suisse) 1950, n° 3, p. 89—95.  
*J. Dreyfus-Graf.* Sonograph and Sound Mechanics. J. Acoust.  
Soc. Am. 22 (1950), 131—139.  
*J. Dreyfus-Graf.* L'oscillographe électro-dynamique OED encreur,  
à pivots virtuels. Microteenie [Lausanne 5] (1951), n° 1 [en  
français, allemand et anglais].  
*R. Grandsaigne d'Hauterive.* Dictionnaire des racines des langues  
européennes. Paris 1949.  
*Paul Scherrer.* Elektronen-Theorie für Ingenieure II. Vorlesungen  
1929 an der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich. Zürich  
1929.

Adresse de l'auteur: *Jean Dreyfus-Graf*, Dipl.-Ing. E.P.F., 5,  
avenue de la Grenade, Genève.

## Knackmessgerät

Von *Hans Meister*, Bern

621.317.79:621.395.82

**Zusammenfassung.** Der Autor beschreibt eine Schaltung, mit der das subjektive Störvermögen von isolierten Impulsen (Einzelknacken) gemessen werden kann. Das Gerät wurde entwickelt, um die bei Schaltvorgängen in Telephonanlagen auftretenden Impulse auf einfache Weise messen zu können.

Bei der Untersuchung der Störfähigkeit von einzelnen Impulsen<sup>1)</sup> ergab sich die Notwendigkeit, ein Gerät zu entwickeln, mit dem diese Geräuschart auf einfache Art betriebsmäßig gemessen werden kann. Das Gerät muss dazu folgende Forderungen erfüllen:  
a) Während der ersten 300  $\mu$ s eines Impulses muss seine Spannung integriert werden.  
b) Nach Ablauf der Integrationsdauer muss das Gerät für den Rest des zu messenden Impulses gesperrt sein.  
c) Das Spannungsintegral muss während genügend langer Zeit an einem Instrument ablesbar sein.  
d) Das Gerät muss während der Ablesedauer gegen weitere Impulse gesperrt sein.  
e) Nach Schluss der Ablesedauer muss die Schaltung ohne weiteres wieder messbereit sein.

<sup>1)</sup> *H. Briner.* Über die Beurteilung und Messung von Einzelknacken in Telephonverbindungen. Techn. Mitt. PTT 1952, Nr. 12, S. 383.

## Appareil à mesurer les claquements

Par *Hans Meister*, Berne

621.317.79:621.395.82

**Résumé.** L'auteur décrit un dispositif au moyen duquel on peut mesurer le pouvoir perturbateur de claquements isolés. Ce dispositif fut développé pour mesurer commodément les impulsions perturbatrices isolées qui se produisent lors de ruptures ou d'établissements de circuits téléphoniques. Il donne une indication objective proportionnelle à l'intensité sonore de ces claquements.

L'étude de l'effet perturbateur de claquements isolés<sup>1)</sup> a montré la nécessité de développer un instrument capable de mesurer ces bruits de façon pratique. Cet appareil doit remplir les conditions suivantes:  
a) La tension d'impulsion doit être intégrée pendant les premières 300  $\mu$ s.  
b) Après cette durée d'intégration, l'appareil doit rester bloqué pour le reste de l'impulsion à mesurer.  
c) L'intégrale de la tension doit pouvoir être lisible sur un instrument pendant un temps suffisant.  
d) Pendant la durée de la lecture, l'appareil ne doit pas être sensible à d'autres impulsions.  
e) Après la lecture, le dispositif de mesure doit être prêt à une nouvelle mesure sans intervention spéciale.

<sup>1)</sup> *H. Briner.* Etude concernant l'estimation et la mesure de l'intensité sonore d'impulsions perturbatrices isolées affectant les communications téléphoniques. Bull. techn. PTT 1952, n° 12, p. 383.