

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 35 (1957)

**Heft:** 2

**Artikel:** Phonétographe et subformants

**Autor:** Dreyfus-Graf, J.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-875065>

### **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:** 30.04.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN  
BULLETIN TECHNIQUE

PTT

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

**Phonétographe et subformants\***

Par J. Dreyfus-Graf, Genève

681.848

**Résumé.** Le phonétographe est un appareil qui capte les ondes acoustiques pour en extraire l'information alphabétique. Il pourra ainsi transformer des langages parlés en langages écrits phonétiquement par une machine à écrire.

Les subformants fournissent la part la plus importante de l'information phonétique. C'est le nom que nous donnons aux spectres des infrasons (ondes portées) qui sont véhiculés par les sons (ou ondes porteuses).

Nous avons pressenti l'existence des subformants selon nos publications précédentes (v. bibliographie). Maintenant, nous en communiquons la preuve oscillographique, et nous en définissons deux espèces: les subformants collectifs qui distinguent les consonnes, et les subformants individuels, dont la résultante décompose les périodes oratoires en éléments phonétiques. De plus, nous en découvrons trois sortes: les subformants ascendants, descendants et mixtes (ou combinés).

Les oscillogrammes présentés permettent aussi de prévoir les déphasages des subformants et des appoints d'informations par les sub-subformants.

Toutefois, le prototype II actuel ne contient que trois sélecteurs de subformants et un déphaseur, alors qu'il faudrait plus d'une douzaine de chacun d'eux.

Après modification, cet appareil pourra servir à la poursuite des investigations phonétiques, et servir simultanément de base à la construction de phonétographes III complets, capables de transformer les langages parlés en textes imprimés phonétiquement par une machine à écrire.

Quand on doit parcourir un long chemin vers un but ardu, il est nécessaire de faire une halte de temps à autre pour estimer la valeur des étapes parcourues et l'importance de celles qui restent à franchir. C'est le sens de la présente conférence.

Pour commencer, j'exprime mes remerciements au professeur Extermann, qui a bien voulu héberger cette conférence sous le toit de son nouvel Institut de physique, et surtout à la Fondation nationale pour le développement de l'économie suisse, Zurich,

\* Texte de la conférence accompagnant la première présentation du prototype expérimental II du phonétographe, à l'Institut de physique de l'Université, (Grand Auditorium) à Genève, le 1<sup>er</sup> décembre 1956.

**Zusammenfassung.** Der Phonetograph ist ein Apparat, der Schallwellen aufnimmt, um daraus die alphabetische Information zu ziehen. Somit wird er das gesprochene Wort mit Hilfe einer Schreibmaschine in phonetische Schrift umwandeln können.

Die Subformanten liefern dabei den wichtigsten Teil der phonetischen Information. Unter Subformanten verstehen wir die Spektren des Infrasonen (modulierte Wellen), die durch den Schall (Trägerwelle) transportiert werden.

Wir haben in unseren früheren Veröffentlichungen (vgl. Bibliographie) das Vorhandensein von Subformanten vorausgesehen. Heute beweisen wir oszillographisch deren Existenz und definieren zwei Arten: die kollektiven Subformanten, die die Konsonanten voneinander unterscheiden, sowie die individuellen Subformanten, deren Resultante einen gesprochenen Satz in dessen phonetische Elemente auflöst. Ferner entdeckten wir drei Arten von Subformanten: die steigenden, die fallenden und die gemischten. Die Oszillogramme gestatten auch Phasenverschiebungen zu sehen und lassen weitere Nachrichtenbeiträge aus den Sub-Subformanten erwarten.

Der gegenwärtige Prototyp II enthält jedoch nur drei Subformantenkreise und einen Phasenschieber, wogegen mindestens deren je ein Dutzend erforderlich wären.

Nach einigen Abänderungen wird dieser Apparat zur Weiterführung der phonetischen Forschung dienen und gleichzeitig die Basis für die Konstruktion eines kompletten Phonetographen III bilden, der es ermöglicht, die gesprochene Sprache mit Hilfe einer Schreibmaschine in einen phonetisch geschriebenen Text umzuwandeln.

dont les appuis ont contribué à l'étape écoulée. Nous avons le plaisir de saluer ici son délégué, M. le professeur Willy Furrer.

Mais avant de parler des étapes, regardons le but à atteindre:

**I. Les buts de recherches**

Pouvoir fixer et classer sans effort chaque parole, pourtant aussi fugitive qu'un courant d'air. La retrouver ou la corriger après des minutes ou des années. Parmi des millions d'autres paroles; la communiquer sans effort, à tout moment, à toute distance.

Voilà le sens du phonétographe qui se propose de remplacer le travail manuel de l'écriture par l'exercice oral du parler.

En voici quelques applications pratiques, à titre d'exemples :

Première application: *les machines à écrire de bureau.*

Elles permettront l'enregistrement automatique de dictées ou de discours, sous forme de messages ou de protocoles écrits phonétiquement en clair, donc intelligibles sans apprentissage spécial, ou avec instructions minimales.

Parmi les principales langues actuellement en usage, celles qui s'y prêtent le mieux sont celles dont l'orthographe est déjà le plus proche du phonétisme.

En voici quelques-unes, par ordre d'aptitude :

turc, yougoslave, italien, allemand, français, roumain, espagnol, russe, anglais, etc.

Des exemples de phonétogrammes futurs, français, allemand, anglais, dans des alphabets phonétiques nationaux, ont été reproduits à titre d'essai sur les invitations que vous avez reçues.

invitasson a la conféranss eksperimentale: fonetografé subforman, le samedi preumie déssanbre milneufssanssin kantesiss, a dissêteur.

ainladung tsum eksperimentalfortrag: fonetografuntsubformanten, am sams-tag, den ersten detsebernointsen hundert seksuntfünzig, um sibentsen uur.

inviteshon too e dissurteshon inklooding eksperiments: fonetograf end subformants, on saturde dissemburfurst naintiin hundred fifti siks, et faiv o o klokpiem.

Il est prévu que chaque phonétographe comprendra deux claviers d'alphabets, phonétiques, l'un national, l'autre international, remplaçant les majuscules et minuscules actuelles.

La séparation des mots, la ponctuation, etc., seront commandées par des silences plus ou moins longs, ou par l'intonation.

Les magnétophones, gramophones, dictaphones, etc., ne sont pas des concurrents du phonétographe, mais au contraire son complément éventuel: car ils s'adressent à l'oreille, et non pas à l'œil, pour lequel ils restent totalement inintelligibles. Or, seul un texte écrit, qui s'adresse à l'œil, est un document qu'on peut corriger ou classer, et dont on peut retrouver instantanément n'importe quel passage. Une discothèque de correspondance ne peut pas se feuilleter; elle ne peut que s'auditionner, ce qui exige un temps incomparablement plus long.

Mais, indépendamment des progrès mécaniques, il existe dans plusieurs pays, surtout en Angleterre,

des mouvements d'éducateurs qui tendent à introduire des réformes phonétiques de l'orthographe. Un projet de loi dans ce sens n'a échoué récemment au Parlement britannique que de justesse.

D'autre part, il serait possible de fabriquer un phonétographe orthographique par adjonction d'une mémoire secondaire de syllabes, de mots ou de phrases. Toutefois, au lieu des trente lettres d'un alphabet, le clavier devrait comporter par exemple 300 touches de syllabes, ou 3000 touches de mots complets, voire 30 000 touches de phrases élémentaires, ce qui multiplierait par 10, 100 ou 1000 le prix du phonétographe.

Il semble donc que l'avenir appartient au simple phonétographe (délivrant un texte phonétique), pour des motifs économiques, en premier lieu.

Deuxième application: *la télégraphie.*

Les télégraphes, téléimprimeurs, téléscrip-teurs (systèmes Morse, Baudot, Creed, Siemens, etc.) exigent actuellement l'intervention manuelle du télégraphiste. Par contre, le phonétographe permettra d'actionner les touches télégraphiques et de perforer les bandes codées par la simple action de la parole.

Trois possibilités sont ouvertes:

- Parler assez lentement pour s'adapter à la vitesse des téléimprimeurs usuels (environ 5 signes par seconde).
- Augmenter la vitesse de ces téléimprimeurs pour les adapter à la vitesse du parler normal (7 à 10 signes par seconde).
- Employer un phonétographe qui perfore simultanément une ou plusieurs bandes télégraphiques usuelles, puis faire passer cette bande dans l'un des appareils télégraphiques ordinaires, à une vitesse adaptée.

On sait que la transmission d'un message téléphonique exige une bande de fréquences, ou canal, de 3100 hertz (de 300 à 3400 hertz selon les normes actuelles), tandis que la même quantité d'information transmise télégraphiquement se contente d'un canal de 40 à 400 hertz, selon le système employé.

On constate donc d'emblée l'énorme économie que réalise la transformation du langage parlé en langage écrit. Or, le phonétographe pourra se contenter d'une largeur de canal comprise entre 100 et 400 hertz pour écrire directement à distance, à la cadence du parler.

Troisième application: *la téléphonie.*

En plaçant à l'arrivée de la ligne, qui transmet des signaux phonétographiques, un appareil opérant la transformation inverse, c'est-à-dire qui transforme les signaux codés en langage parlé, on pourra multiplier par le facteur 10, 20 ou 30 la capacité des lignes téléphoniques à longue distance. Qu'il s'agisse de câbles hertziens ou d'ondes hertziennes, ou de câbles souterrains ou sous-marins.

L'appareil inverse du phonétographe, et qu'on peut nommer «phonétophone», opérera la synthèse de la parole, à partir de générateurs phonétiques locaux commandés par les signaux codés. Il délivrera un message parlé, mais qui sera aussi dépouillé de la personne du parleur qu'une lettre tapée par lui à la machine.

Dans l'état actuel d'encombrement de l'éther et des câbles, ce procédé est susceptible d'applications économiques importantes.

L'étude de ce problème ne fait pas partie de nos recherches actuelles. Toutefois, une fois le phonétographe réalisé, il n'y aura plus de difficultés de principe à construire un «phonétophone». Analyse et synthèse sont un peu comme les deux arêtes opposées d'une même montagne, le côté de l'analyse étant le plus rigoureux, car il élimine l'intervention subjective de l'oreille.

Quatrième application: *l'orthophonie et la linguistique.*

Contrairement à l'orthographe, qui dispose d'un témoin objectif: le texte écrit, la prononciation correcte, qu'on peut nommer «orthophonie», est laissée à l'appréciation subjective de l'oreille.

Or, le phonétographe offre, avec ses spectres d'information lumineux ou oscillographiques, un premier témoin objectif de l'orthophonie.

Le parleur peut corriger et perfectionner son langage simplement en regardant quels sont les groupes de lampes qui s'allument sur le tableau des spectres, ou quelles sont les amplitudes des oscillogrammes.

Cet appareil permettra d'établir des normes pour chaque langage parlé.

D'autre part, il facilitera la rééducation des malades du langage, et il permettra à des sourds de suivre oculairement une conversation. Enfin, il dotera la linguistique et la phonétique d'un puissant instrument d'investigation qui permettra à ces sciences de se rapprocher de la physique.

#### *Autres applications*

Comme le phonétographe distinguera plus de trente éléments alphabétiques, il pourra discriminer, à fortiori, les sons associés aux dix chiffres principaux du système décimal. Par conséquent, il permettra d'actionner des machines à calculer par des commandes orales.

Il en sera de même pour des télécommandes quelconques, telles que de machines-outils, de serrures, d'ascenseurs ou autres.

A longue échéance, le phonétographe peut provoquer des incidences et des répercussions sur l'ensemble de la vie sociale, puisqu'il la dotera d'une mémoire lisible et automatique, ainsi que de robots asservis à la parole humaine. C'est ainsi que les buts du phonétographe se profilent sur le ciel de l'avenir.

Résumons maintenant les étapes franchies sur la voie des réalisations.

## II. Résumé des étapes franchies

### a) *Les sténo-sonographes, prototypes I à III*

On me demande parfois à quel moment j'ai commencé les recherches, et quel en fut le motif initial. Le problème de la transformation du langage parlé en langage écrit m'a hanté depuis toujours: il est si facile de parler, il est si pénible d'écrire. La main est de plomb comparée à la légèreté de la langue. Qu'il serait commode de pouvoir écrire sans autre effort que celui de parler. Et quelle multiplication de la mémoire. Ainsi, à la base de toute invention, il y a un désir allié à une paresse, qui provoque d'ailleurs un énorme supplément d'effort au début.

Dès que les circonstances s'y prêtèrent, trois prototypes de sténo-sonographes virent le jour, de 1944 à 1950. C'étaient des appareils rudimentaires qui transformaient le langage parlé en des sortes de sténogrammes naturels (voir fig. 1) dont les alphabets ne ressemblaient à rien de connu. Leur lecture aurait exigé du public des apprentissages bien trop laborieux.

C'est pourquoi, après ces premiers travaux d'approche, les recherches furent orientées dans une nouvelle direction plus pratique, celle d'une machine à écrire transcrivant les sons dans un alphabet connu.

### b) *Les phonétographes, prototypes I et II*

Le prototype I du phonétographe a été réalisé de 1950 à 1952, grâce, en partie, à l'intérêt que son ancêtre avait suscité aux Etats-Unis. Il a permis de transcrire une vingtaine d'éléments phonétiques, tels que les voyelles et autres sons soutenus (voir la fig. 2). Toutefois il était incapable de distinguer par exemple les consonnes plosives, P, K, T, B, G, D, des chuintantes, CH, F, S, J, V, Z, et il éprouvait beaucoup de difficultés à décomposer les mots en leurs éléments alphabétiques.

Cependant, il a servi à serrer le problème de plus près et à établir les plans du prototype II, présenté ici pour la première fois. La réalisation et les essais de cet appareil ont duré trois ans, non sans diverses interruptions dues à des causes extérieures. Mais ce dernier-né ne peut pas encore être considéré comme la machine complète, car la complexité du problème a largement dépassé le temps et les moyens matériels dont nous avons disposé: il n'est pas équipé d'un nombre suffisant de filtres, de relais et de déphaseurs pour actionner toutes les touches de la machine à écrire. Et comme la sélection d'un seul son suppose l'élimination de tous les autres à cet instant, un fonctionnement partiel est aléatoire.

Nous l'avons muni d'un câblage fragmentaire, permettant simplement de démontrer la distinction entre les plosives et les chuintantes, afin de marquer ainsi le progrès de principe réalisé par rapport au prototype I.

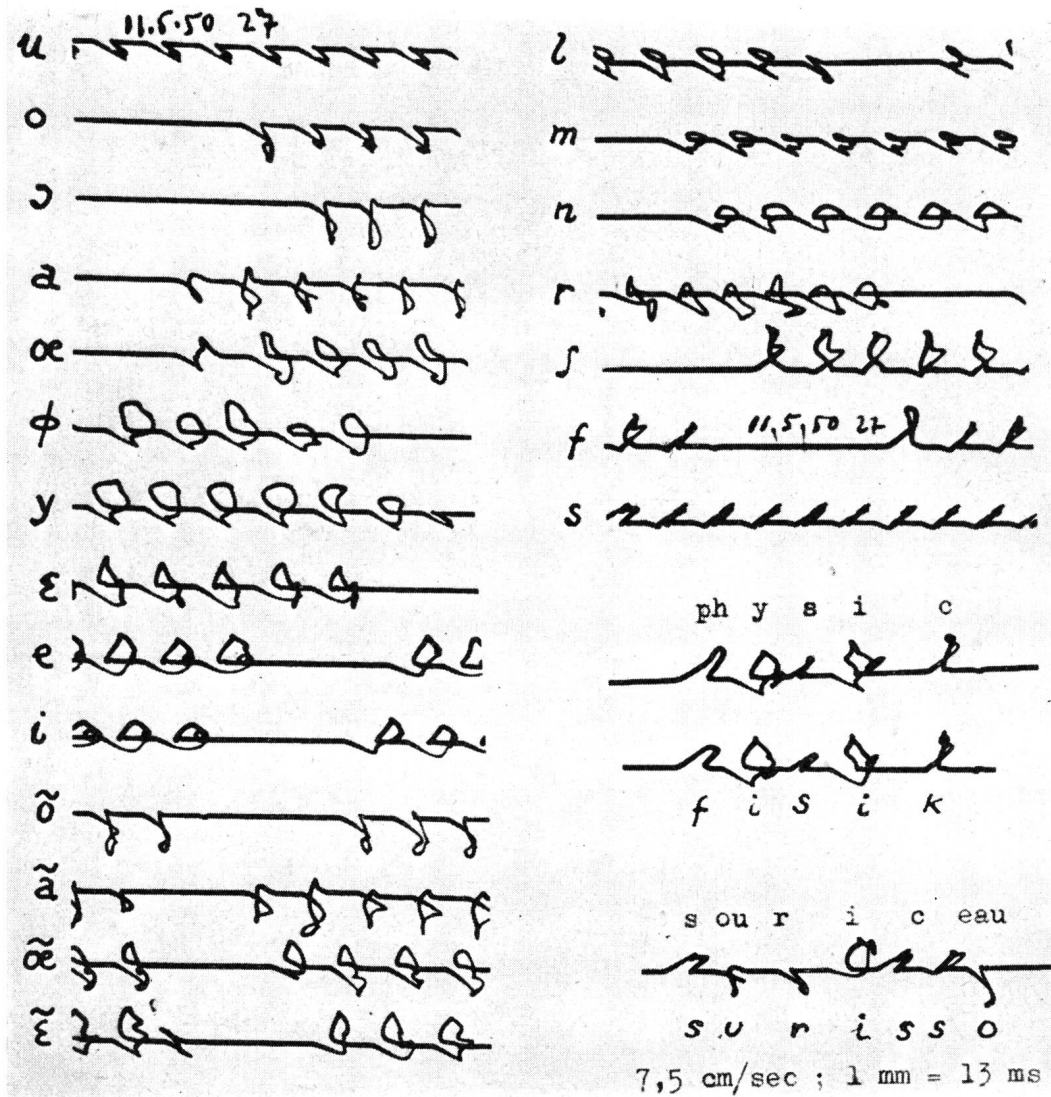


Fig. 1. Exemples de sténo-sonogrammes, 1950 (sténo-sonographe, prototype III)

Associé à un oscillographe encreur, il constitue surtout un puissant et nouvel instrument d'investigation que nous allons braquer comme un microscope sur le monde invisible des éléments phonétiques, afin de préparer les étapes de réalisations suivantes.

**III. A la découverte des éléments phonétiques**

Selon les historiens, les éléments phonétiques sont nés, avec l'invention de l'alphabet, dans les cerveaux de marchands phéniciens, vers l'an 1500 avant J.-C. Cette époque coïncidait à peu près avec celle des Tables du Sinaï, écrites en caractères alphabétiques araméens.

L'invention de l'alphabet, qui était purement phonétique à l'origine, a inauguré une nouvelle ère de la civilisation, car elle permettait la démocratisation du langage écrit. Auparavant, les signes pictographiques, encore conservés dans le chinois, étaient aussi nombreux que les idées elles-mêmes, soit des milliers. Seuls les érudits de castes privilégiées pouvaient les apprendre. Un premier pas vers la simpli-

fication de l'écriture avait été réalisé avec le syllabisme, conservé dans le japonais moderne, mais qui nécessite encore quelques centaines de signes. La révolution complète fut apportée par l'invention de l'alphabet et du phonétisme. En effet, quelques dizaines de signes suffisaient dès lors pour graver des milliers d'idées différentes.

Quel rapport y a-t-il entre cette digression historique et le phonétographe? Un rapport crucial: De deux choses l'une: ou bien les Phéniciens ont trouvé un truc de sténographie, et les éléments phonétiques n'existent pas hors du cerveau humain, ou bien ces Phéniciens ont eu l'intuition d'une profonde vérité physique, et l'alphabet peut se retrouver dans les ondes acoustiques du langage parlé. Dans la seconde éventualité seulement, le phonétographe est un appareil réalisable sans trop de complications.

En d'autres termes, «les molécules acoustiques» figurées par les périodes oratoires seraient alors décomposables physiquement en des «atomes phonétiques» correspondant aux lettres alphabétiques.

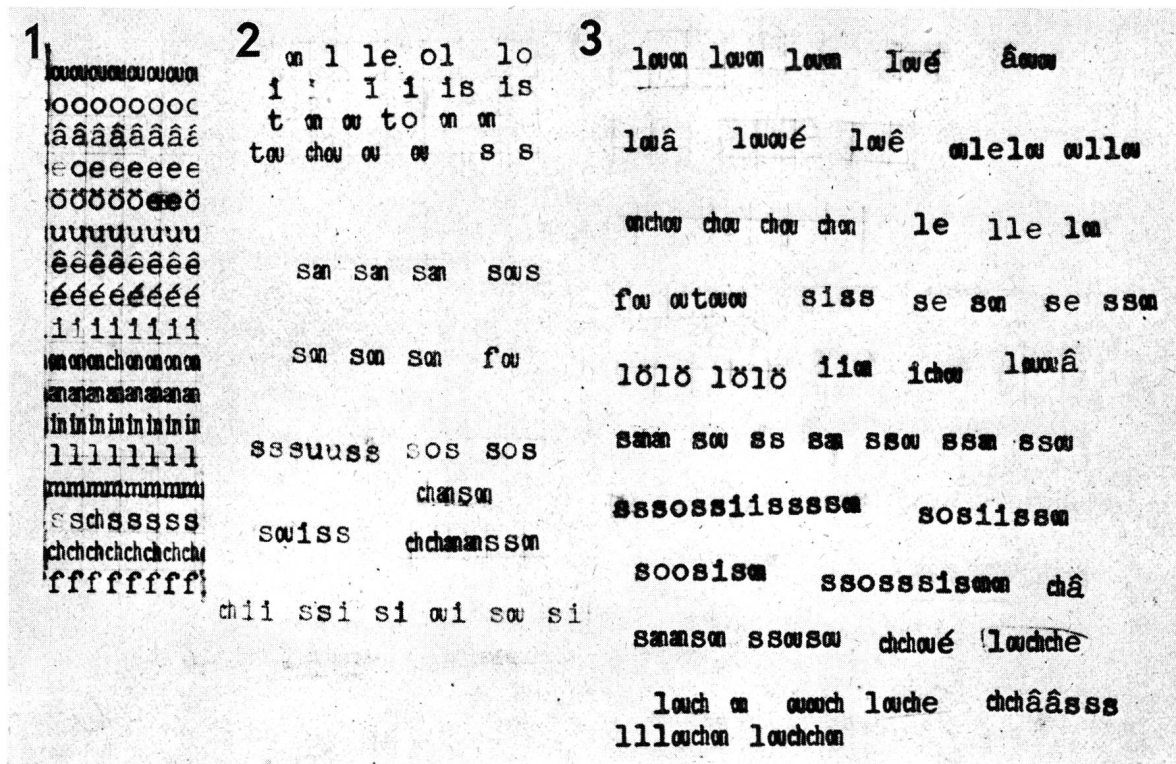


Fig. 2. Exemples de typo-sonogrammes ou phonétogrammes (1952) délivrés par le phonétographe, prototype I

Cette question a préoccupé successivement la plupart des laboratoires de télécommunications, par exemple en Allemagne, en Angleterre, aux États-Unis, au Japon. Et, jusqu'à ce jour, la réponse semblait être négative, du moins provisoirement. Par exemple, j'ai reçu l'autre jour la visite d'un savant américain qui m'a tenu, en substance, les propos suivants:

«Les laboratoires américains pensent réaliser plus vite la fusée qui ira dans la lune que la machine à écrire phonétique. Nos instruments d'investigation phonétique ont été pressés comme des citrons, sans que nous ayons pu en extraire les invariances cherchées. Nous recommencerons peut-être plus tard, mais pour l'instant ce domaine de recherches est mis en veilleuse.»

Je lui répondis, en substance, que le jus de ces «citrons» n'était apparemment composé que de «formants», alors que nous espérions trouver les invariances (ou atomes phonétiques) cherchés dans les «subformants». Comme il n'avait pas encore entendu ce mot, que nous consacrerons d'ailleurs à la présente conférence, il repartit avec un léger sourire d'espoir, ou de politesse, au coin de la bouche.

**IV. Formants (sons) et subformants (infrasons)**

Selon la figure 3, l'arrivée d'un train d'ondes phonétique, tel que celui de la voyelle parlée A, se manifeste sur l'écran d'un oscillographe par une succession croissante d'oscillations amorties, qui aboutit à une partie quasi-stationnaire (voir la courbe E<sub>t</sub>).

L'analyse selon Fourier enseigne que le spectre de fréquences de telles oscillations périodiques s'étend de 80 à 10 000 hertz environ. Il comprend le domaine de la fondamentale, f<sub>1</sub>, qui varie entre 80 et 400 hertz avec la hauteur de voix du parleur, et le domaine des «formants» jusqu'à 4000 hertz environ, qui correspondent aux résonances buccales, nasales et autres réglées par ce parleur à la cadence de son débit oratoire. Ce dernier domaine contient la principale information phonétique relative à la partie quasi-stationnaire des voyelles, ou autres sons relativement longs.

Les investigations phonétiques de la plupart des laboratoires ont porté sur le domaine des «formants». Mais il est apparu que ce domaine est incapable de caractériser par exemple les consonnes plosives, telles que P T K B D G.

Si nous avons la curiosité d'analyser selon Fourier la courbe F<sub>t</sub>, qui correspond à l'enveloppe énergétique du train d'ondes (et d'où les fréquences de la fondamentale du parleur ont été éliminées par filtrage), nous constatons que son spectre occupe une région de fréquences très basses, entre 0 et 60 hertz environ, et que nous nommons le domaine des «subformants». Nos investigations ont surtout porté sur lui, ces dernières années.

Dans le cas le plus simple, la courbe F<sub>t</sub> comprend une pente ascendante d'angle α, qui aboutit à une partie horizontale, le «plateau». Nous nommons cette courbe: fonction de pente. Son spectre de fréquences tend vers un maximum à la fréquence nulle, et il

décroit progressivement, jusqu'à s'annuler à la fréquence  $f_0$ , qui est la valeur réciproque du temps nécessité par l'ascension jusqu'au plateau.

Mais ce n'est pas tout. La pente ascendante peut être suivie immédiatement d'une pente descendante analogue (genre impulsion cosinus carré), ou d'une pente plus raide, ou d'une pente moins raide, comme dans le cas d'une plosive P, T, K, aplanissant alors la courbe des subformants. Celle-ci conservera toujours son maximum à la fréquence nulle, tant qu'il s'agit d'une impulsion unique.

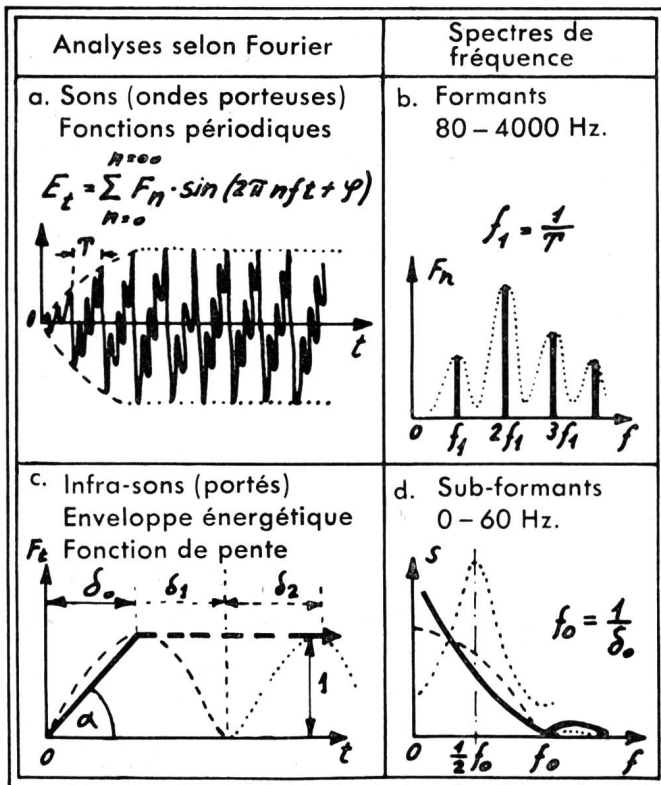


Fig. 3. Analyse phonétique (graphique) selon Fourier

- Image oscillographique d'un train d'onde (par exemple de la voyelle parlée A) = son = onde porteuse
- Spectre de fréquence d'un train d'onde = formants (compris essentiellement entre 80 et 4000 Hertz)
- Diverses courbes d'enveloppes énergétiques de trains d'onde = infrasons = ondes portées
- Spectres de fréquence de ces enveloppes = subformants (compris essentiellement entre 0 et 60 Hertz)

e) + d) Traits épais: courbe et spectre de la fonction de pente (ascendante)  
 Trait fin interrompu: de l'impulsion cosinus carré  
 Trait fin pointillé: de la fonction cosinus carré

Par contre, si les pentes se décident pour une répétition périodique, de fréquence  $f_0/2$ , par exemple, comme dans le cas d'un R roulé, ses subformants déplaceront leur maximum vers cette valeur.

La curiosité étant notre penchant dominant, nous pouvons pousser notre exploration plus loin encore, et analyser, selon Fourier, l'enveloppe des variations d'enveloppe. Nous découvrirons alors une région de fréquences encore plus basses, de 0 à 30 hertz environ, et nous la nommerons le domaine des sub-subformants.

Provisoirement, nous faisons halte ici, par crainte de devenir bègues.

Tandis que les oscillations  $E_t$ , ou ondes acoustiques porteuses, figurent des sons audibles, les variations de son enveloppe  $F_t$ , ou ondes portées, seraient pratiquement inaudibles si elles étaient émises seules par un haut-parleur. On peut donc nommer celles-ci des infrasons.

Il faut noter par ailleurs que notre système auditif perçoit très finement les pentes des infrasons véhiculés par les sons et qu'elle s'en sert essentiellement pour identifier l'émetteur.

Nous pouvons nous en assurer d'une manière simple, et entendre par la même occasion des différences fondamentales entre des voyelles et des consonnes. Les voyelles sont très sensibles à un changement de l'échelle du temps, mais peu sensibles à l'inversion de la direction du temps. Tandis que le contraire se produit pour les consonnes.

Si nous enregistrons OU, A, I, I, A, OU sur un magnétophone et que nous inversons le sens du temps à la reproduction, nous continuons à comprendre OU, A, I, I, A, OU. Par contre, si nous enregistrons PETEKEKETEP dans un sens et que nous les reproduisons dans l'autre sens, nous ne comprenons plus rien.

De même des sons de piano reproduits à l'envers simulent des sons d'orgue. DO, MI, LA, LA, MI, DO, puis DO, MI, LA, LA, MI, DO.

## V. Les principes du phonétographe

Le phonétographe est, à la base, une machine à faire des analyses selon Fourier. Ainsi énoncé, son principe paraît très simple. L'ennui, c'est que l'analyse selon Fourier est un monde mathématique grouillant d'un nombre infini d'infinités de variantes possibles, parmi lesquelles il s'agit de faire un choix efficace.

Sur la base des quelques variantes que nous avons construites et longuement testées au cours des douze années écoulées, nous énonçons comme suit les principes du phonétographe III, qui contient d'ailleurs le prototype II comme partie intégrante.

La figure 4 en résume le panorama des sélections de fréquences et des organes principaux.

Le train d'ondes acoustiques  $E_1$  est capté par le microphone M et amplifié dans l'amplificateur  $A_1$ , puis il est décomposé en six oscillations partielles par six filtres passe-bande de formant, dont les frontières sont 80, 380, 750, 1300, 2000, 2800, 3800 hertz. Ces oscillations sont redressées ( $E_3$ ) puis filtrées par les passe-bas de formant dont la frontière est vers 60 hertz.

Elles fournissent six impulsions telles que  $E_4$  (puis  $E_5$  déphasé, et  $F_m$ ) qui contiennent l'information relative à la partie quasi-stationnaire du train d'ondes, donc à son caractère de voyelle ou autre, qui est analogue à une «coloration».

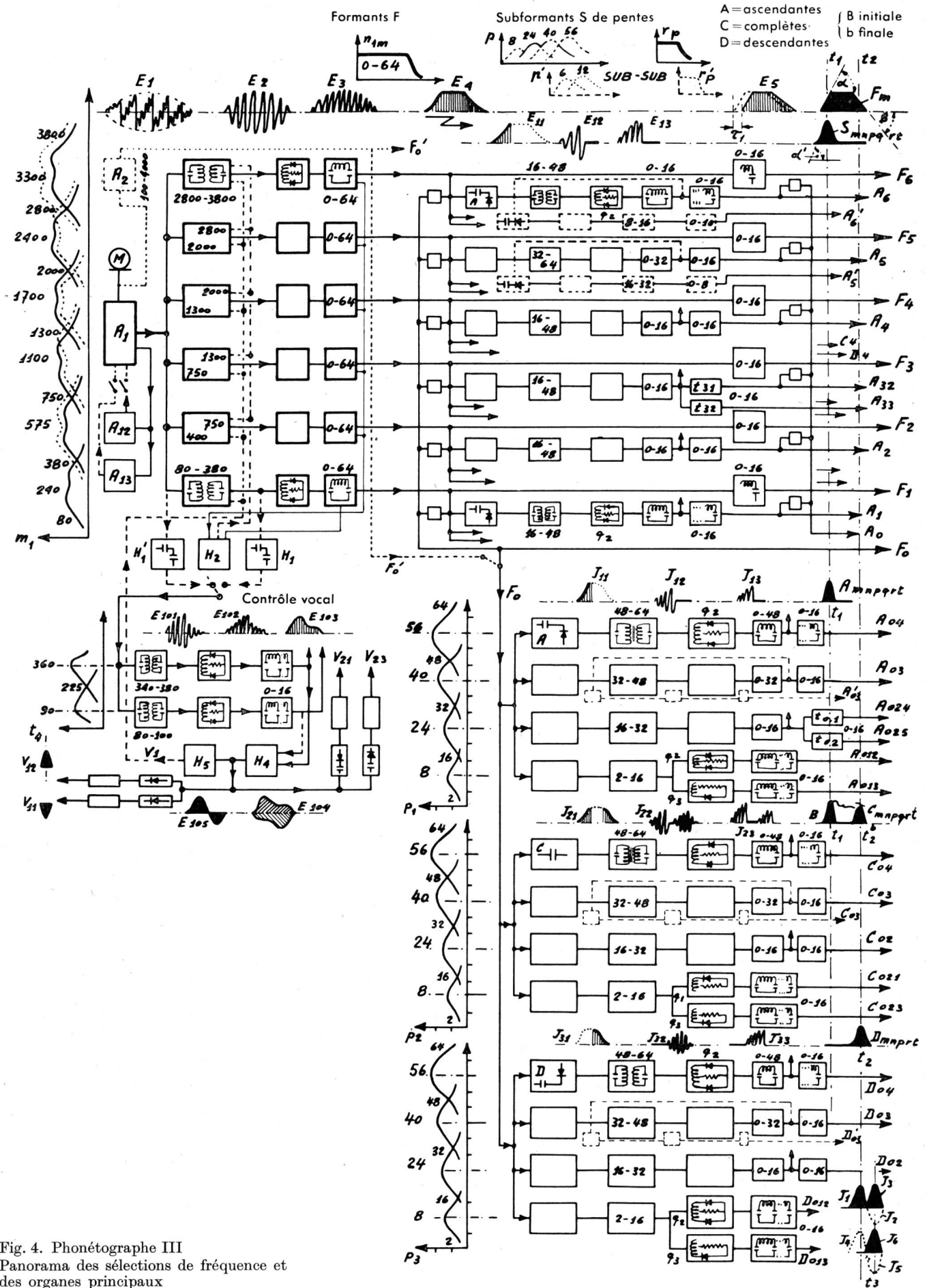


Fig. 4. Phonétographe III  
Panorama des sélections de fréquence et des organes principaux

a. Comparaisons d'amplitudes Système trinaire étendu (ou quinaire)		b. Symboles						
		toto	physique	binaire		câblage		
	1	$E_1 > E_2$	1	+	1	0	12	
	2	$E_2 > E_1$	2	-	0	1	21	
	3	$E_1 = E_2$	X	0	0	0	102	
	4	$E_1 \geq E_2$	(1)	(+)	1	0	0	120
	5	$E_2 \geq E_1$	(2)	(-)	0	1	0	021

c.			Formant		Subformant		Sub-subf.	
1	2		0 0 0 0	0 0	$F_6 F_1$	$F_2 F_3 F_4 F_5 F_6$	$F_3 F_4 F_5 F_6$	
1	2		0 0 0 0	0 0	0 0	$F_1 F_2 F_3 F_4 F_5$	$F_1 F_2 F_3 F_4$	
Subformant			1	2				
1	2		C4 C4 A4 A3	D4 A3	/ /			
1	2		C3 C3 A1 A2	D2 D1	A3 A4			
Sub-subf.			1	2				
1	2		A1					
1	2		A1					
1. 1	U	ou	(2) 2			2 (2) X	2 (2) (2)	
2	O	ô	(2) 2	(1)				
3	U	o	(2) 2	(1)		1 (2) 2	(1) 2 2 1	
4	a	â	(2) 2			1 2 2	1 (1) 2 2	
5	a	a	(2) 2					
2. 1	e	e	(2) 2					
2	eu	eu	(2) 2					
3	u	u	(2) 2			2	2 X 1	
4	è	è	(2) 2			(1) 2 1 (2) 2	(2) (1) 1	
5	é	é	(2) 2			2		
6	ê	ê	(2) 2			2	2 X 1	
3. 1	on	on	(2) 2					
2	en	en	(2) 2					
3	un	un	(2) 2					
4	in	in	(2) 2					
4. 1	l	l	(2)			2 X 1 2 2	2 1 2	
2	m	m	(2)		1	2 X (1) X (2)	2 (1) (2)	
3	n	n	(2)		1	2 X X 1 (1)	2 (1) (1)	
4	r	r	(2)	2		1 (1) 2	1 2	
5. 1	ch	ch	(2) 1		1	X X 1	X 1 1	
2	f	f	1 1		1	X X (1) (1)	X 1 (1)	
3	s	s	(2) 1		1	X X X (1) 1	X (1) 1	
4	j	j	1		1		X 1	
5	v	v	1		1		X 1	
6	z	z	1		1	(1)	X 1	
6. 1	p	p	1 2	2	2			
2	k	k	1 (2)	1	2			
3	t	t	1 1	2	2			
4	b	b	1		2			
5	g	g	1		2			
6	d	d	1		2			

d. Comparaisons de phases d'impulsions ou corrections synchronisme

Formant F

Subform. A, C, D

Sub-subf. A'C, D'C, ...

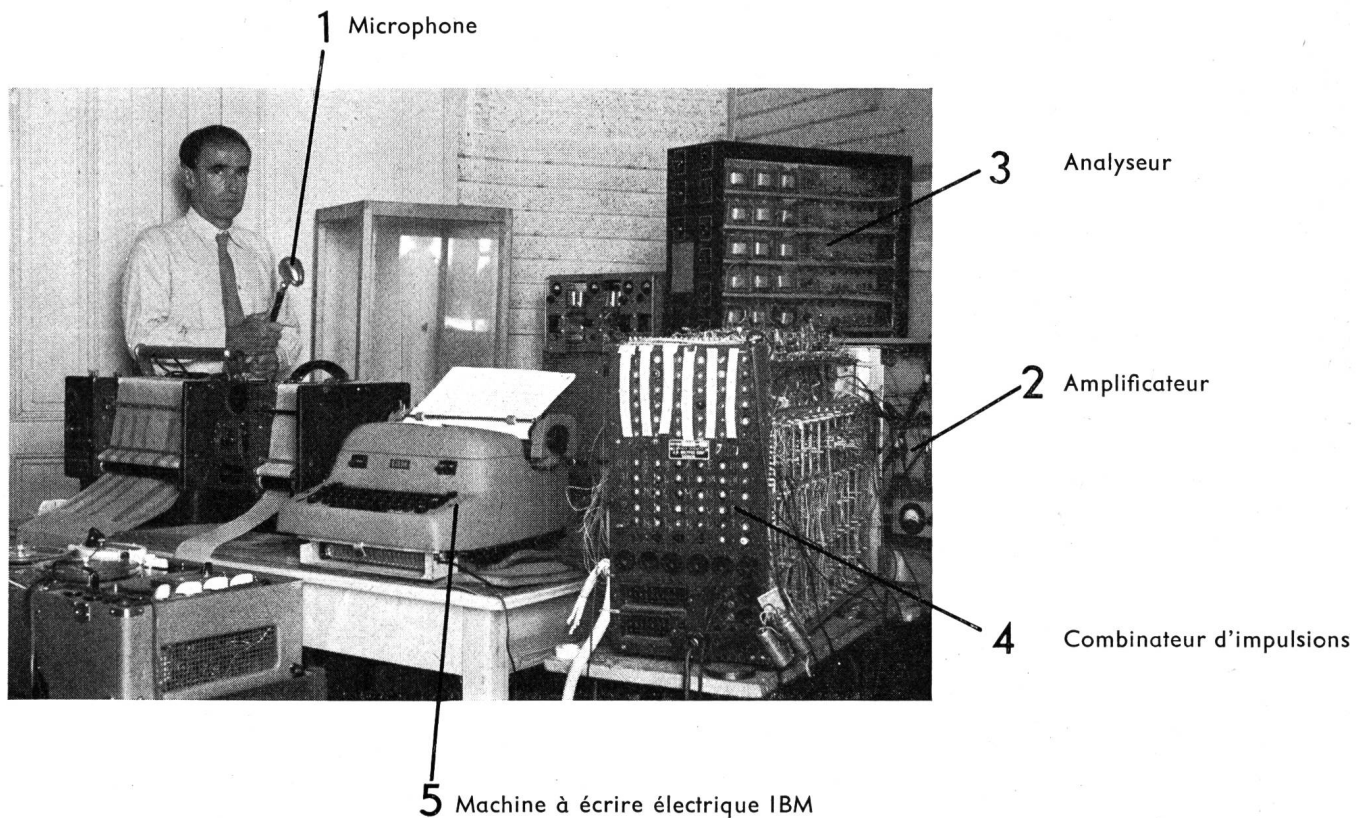


Fig. 6. Phonétographe, prototype II

Les six formants tels que  $E_4$  sont recombinaés de manière à reproduire l'enveloppe énergétique complète  $E_0$  du train d'ondes initial. Afin d'en extraire les divers subformants, nous sélectionnons séparément la pente ascendante  $J_{11}$ , les pentes mixtes  $J_{21}$  et les pentes descendantes  $J_{31}$ . Nous analysons leurs fréquences à l'aide de trois systèmes de passe-bande de subformants, dont les frontières sont 2, 16, 32, 48, 64 hertz, puis nous les redressons et les filtrons à l'aide des passe-bas de frontière 16 hertz.

Nous disposons ainsi de douze impulsions de subformants A, C, D qui contiennent respectivement les informations relatives aux pentes ascendantes (A), aux pentes mixtes ou combinées (C) et aux pentes descendantes (D), donc aux caractères des consonnes et autres transitoires.

Les circuits de sub-subformants sont esquissés en pointillé, et peuvent fournir des informations supplémentaires.

Mais il nous manque l'information qui nous permet de découper le flux oratoire en ses éléments phonétiques. A cet effet, nous sélectionnons les

pentés ascendantes  $E_{11}$  de chacune des impulsions de formants, telles que  $E_4$ , et nous les transformons en impulsions individuelles de subformants  $A_1$  à  $A_6$ , dont la résultante marque l'arrivée d'un nouvel élément phonétique.

Nous ne voulons pas entrer ici dans des détails techniques, tels que le contrôle automatique des passe-bande de formants en fonction de la fondamentale, ainsi que les déclenchements d'espaces ou de signes de ponctuation, tels que des points d'interrogation, par la modulation de la voix du parleur.

Selon la figure 5, et afin d'extraire les informations phonétiques recelées dans les diverses impulsions de formants et de subformants, nous les comparons deux à deux dans des paires de relais qui fonctionnent selon le système trinaire. En termes plus populaires, ces impulsions se livrent à des matches de foot-ball, dont le résultat peut être 1, 2 ou  $\times$  comme au sport-toto, selon qu'il est gagnant, perdant ou nul. Les contacts des divers relais intéressant un même élément phonétique sont connectés selon une chaîne qui constitue un élément de mémoire de l'appareil, et ils déclenchent la touche correspondante de la

← Fig. 5. Comparaisons différentielles d'impulsions phonétographiques dans le système trinaire étendu, ou quinaire

- Schémas d'une paire de relais différentiels conjugués et d'une balance équivalente
- Symboles des réponses fournies par les relais en langages «sport-toto», physique, binaire, et pour le câblage pratique

- Exemple de tableau synoptique de réponses dans le système trinaire étendu ou quinaire (langage «sport-toto»), et pouvant servir à un câblage de labyrinthes, ou mémoire phonétographique
- Indications schématiques des déphasages d'impulsions, pouvant servir de base au plan de corrections



Il n'est donc pas question de pouvoir faire des démonstrations complètes actuellement.

Toutefois, l'utilité du prototype II n'en est pas moins grande en tant qu'instrument d'investigation phonétique, pourvu qu'on remplace le combinateur 4 et la machine IBM 5 par un oscillographe 6 à plusieurs scripteurs, et qu'on lui associe un magnétophone.

En effet, on peut alors procéder successivement aux analyses qui ne sont pas réalisables simultanément. C'est d'ailleurs grâce à ces analyses que le prototype a pu faire son autocritique et fournir les bases du nouveau schéma.

En attendant, les diagrammes de subformants présentés ici seront affectés de quelques imperfections provenant des causes suivantes :

L'enveloppe énergétique  $F_0$ , servant à l'analyse par les subformants, provient de l'amplificateur  $A_2$  qui n'est pas pourvu d'un réglage automatique. Ainsi, ces diagrammes ont des niveaux généraux qui varient selon l'intensité de la voix du parleur. D'autre part, il n'est pas possible actuellement de recombinaison des formants individuels  $F_1$  à  $F_6$  pour obtenir  $F_0$ , réglé comme le montre le panorama de la figure 4, car les passe-bas de ces formants réglés ont des frontières à 30 hz au lieu des 60 hz requis. Par ailleurs, le réglage automatique doit satisfaire à certaines conditions, telles que de respecter les fonctions de pente de l'enveloppe énergétique, et les formants devront être pourvus de six déphaseurs pour attendre les impulsions des subformants.

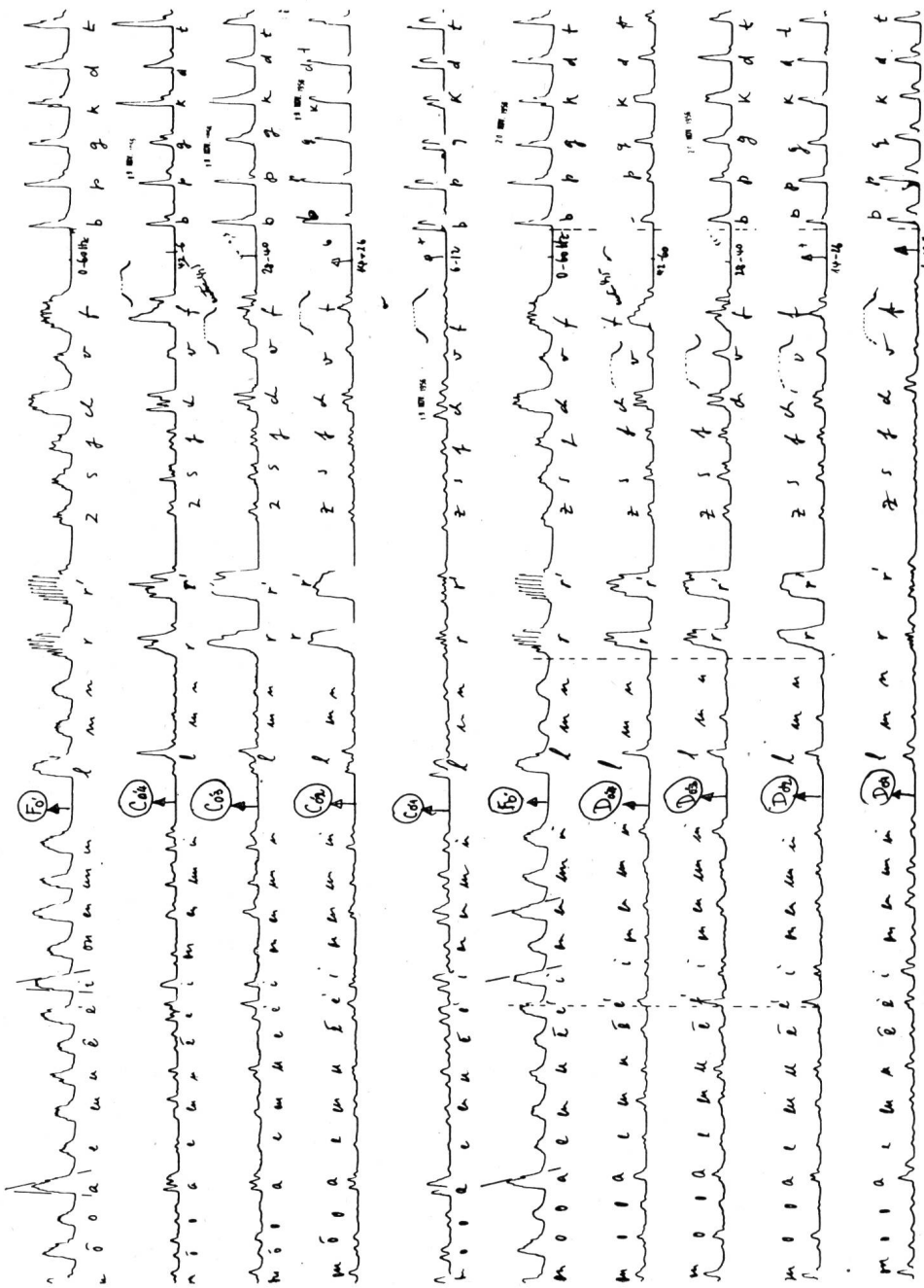


Fig. 7. Oscillogrammes d'éléments phonétiques français isolés, amplitudes en fonction du temps, vitesse du papier 5 cm/sec

voyelles: ou, ô, o, a, e, eu, u, é, é, i, nasalisées on, en, un, in  
consonnes: l, nasales, m, n, roulées r, r', chuintantes z, s, j, ch, v, f, plosives b, p, g, k, d, t  
 $F_1$  à  $F_6$  = formants dans les bandes soniques limitées par 110, 400, 750, 1300, 2000, 2800, 3700 Hertz

$F_0$  = enveloppe énergétique collective, dans la bande 0 à 60 Hz (non réglée), utilisée pour les sub-formants

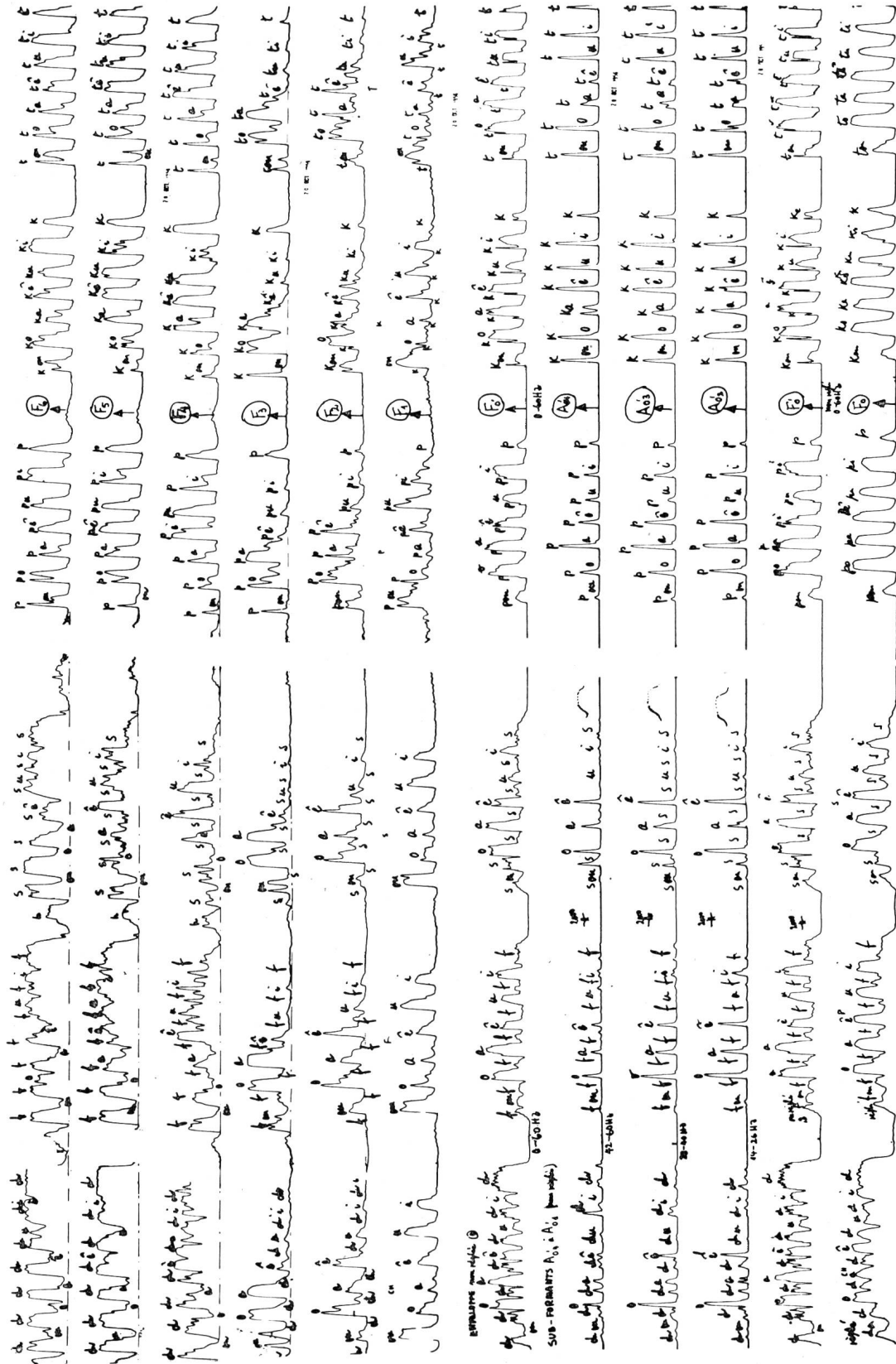
A, C, D = sub-formants collectifs dans 5 bandes infrasoniques, limitées par 2, 8, 14, 26, 41, 60 Hertz, concernant les pentes ascendantes A, combinées C, descendantes D

$F_0$  = enveloppe énergétique collective (réglée), bande 0 à 30 Hertz, non utilisée pour les sub-formants

Les améliorations techniques en question peuvent être apportées par la suite au prototype II, mais actuellement elles dépasseraient nos moyens matériels. Donc, pour l'instant, il faut nous contenter des diagrammes que nous allons présenter, et qui suffisent d'ailleurs à démontrer les résultats essentiels de nos explorations.

### VII. Les oscillogrammes d'investigation

Notre méthode a été la suivante: Nous avons enregistré sur le magnétophone des suites de sons typiques, allant du simple au compliqué. D'abord des éléments phonétiques normaux, puis à fondamentale modulée, puis chuchés, puis des syllabes liées comprenant toutes les combinaisons possibles de



voyelles et de consonnes. Ceci avec trois parleurs différents. Nous avons injecté ces suites de sons dans l'analyseur du phonétographe un nombre incalculable de fois, et nous avons enregistré les suites d'impulsions correspondantes à l'aide de l'oscillographe. Ainsi, il a été possible d'explorer l'influence de chacune des quelques centaines de variables, telles

que les frontières de chaque filtre passe-bande ou passe-bas, dans les formants, d'abord, dans les subformants ensuite, puis chaque réglage d'amplitude relative, etc.

Nous essayerons de résumer les résultats de ces investigations, qui ont exigé plusieurs kilomètres d'oscillogrammes, dans trois tableaux seulement.

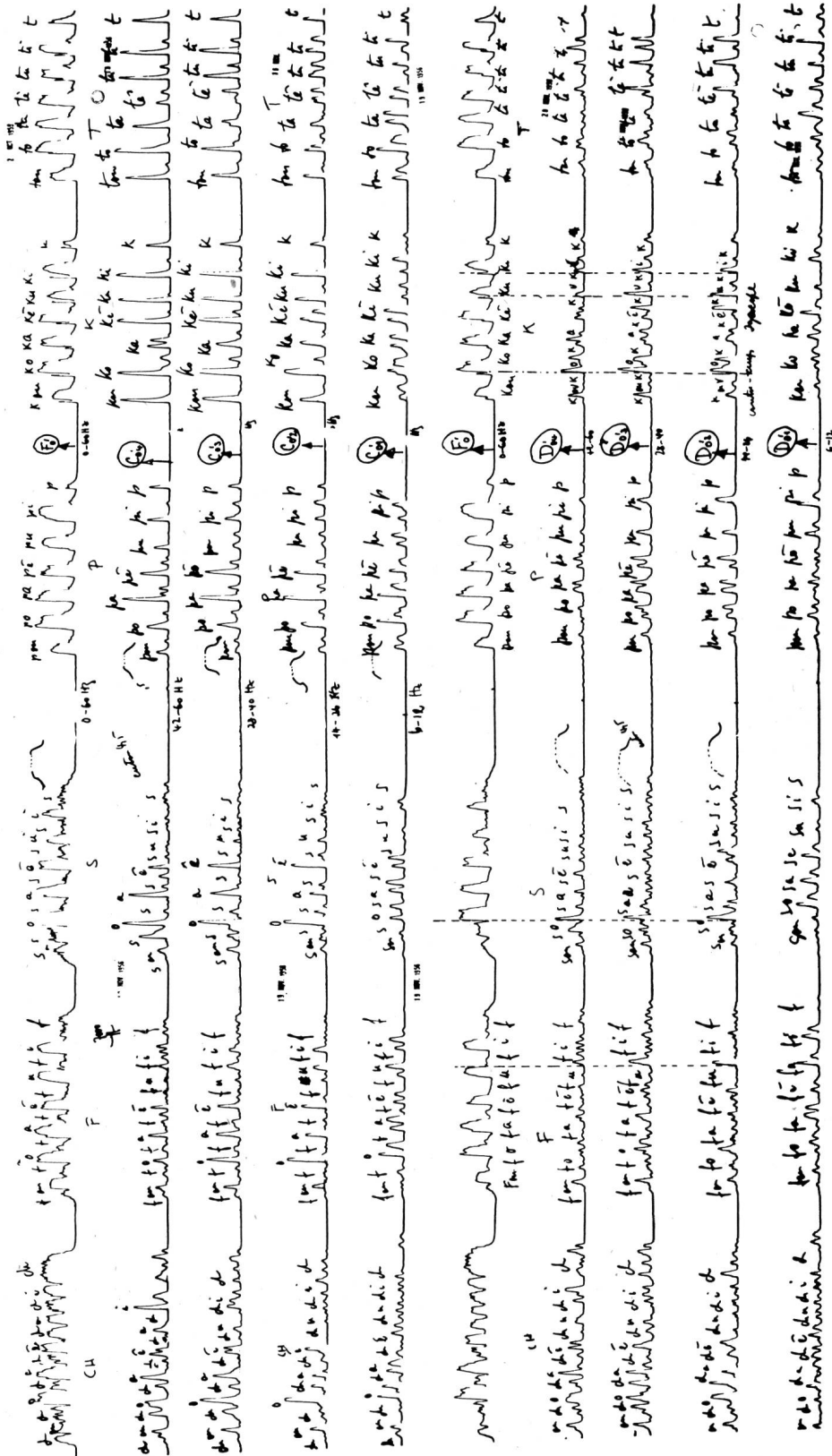


Fig. 8. Oscillogrammes de syllabes liées françaises, valeurs absolues, amplitudes en fonction du temps, vitesse du papier 5 cm/sec  
 voyelles + chuintantes: chouchohachéchuchich, foufoufêfêfuff, sousosésusis  
 voyelles + plosives: poupopapépupip, koukokakékukik, toutotatétutit  
 F<sub>1</sub> à F<sub>6</sub> = formants; F<sub>0</sub> : enveloppe collective non réglée;  
 A, C, D = subformants collectifs ascendants A, combinés C, descendants D

La figure 7 montre les enregistrements d'éléments phonétiques normaux: OU O A E EU U Ê É I ON EN UN IN L M N R R' Z S J CH V F BE PE GE KE DE TE avec leurs six formants  $F_1$  à  $F_6$ , les enveloppes énergétiques  $F_0$ , cinq subformants de pentes ascendantes  $A_{0,1}$  à  $A_{0,4}$ , quatre subformants de pentes descendantes  $D_{0,1}$  à  $D_{0,4}$  et quatre subformants de pentes mixtes  $C_{0,1}$  à  $C_{0,4}$ . Les caractères de voyelles surgissent dans les formants. Par exemple, le formant du A domine dans  $F_3$ , ceux du I dans  $F_1$  et  $F_6$ .

Quant aux enveloppes énergétiques  $F_0$ , elles montrent que les pentes ascendantes, d'angle  $\alpha$ , sont les plus raides dans les plosives P, K, T et les moins raides dans les nasales M, N.

Dans le subformant  $A_{0,2}$ , les plosives P, T, K dominant énormément tous les autres éléments, sauf le R. Dans  $A_{0,4}$ , I, U dominant M, N. Dans  $C_{0,4}$ , F domine CH et S. Dans  $D_{0,4}$ , K ressemble à R, et domine nettement P et T. On constate à première vue que les subformants complètent les informations qui manquent aux formants pour distinguer les divers éléments phonétiques.

Ces distinctions techniques ont-elles une signification physique plus profonde? Nous le supposons. Ainsi les subformants semblent être l'expression de fréquences réelles, telles que les vibrations propres infrasoniques de certaines parties élastiques de la bouche. Par exemple, le subformant du K correspondrait aux fréquences explosives du palais, tandis que le subformant du P correspondrait à celles des lèvres.

Le K suisse alémanique, comme dans GROCK, proviendrait du souci de répéter ces fréquences explosives du palais afin d'éviter toute confusion possible avec P ou T.

De même le souffle du F, qui ébranle un peu les lèvres, donne d'autres fréquences infrasoniques que le souffle du S qui passe simplement entre les dents.

D'autre part, les pentes des consonnes nasales M, N, qui sont plus douces que celles des voyelles U, I (dont les formants sont pourtant analogues), pourraient provenir du fait que le canal nasal est plus dur et plus long que le canal buccal, donc que son temps d'établissement est plus grand.

Il faudrait une coopération entre les physiciens, les physiologues, les phonéticiens et les ingénieurs pour tirer ces questions au clair.

En examinant encore les diagrammes de la figure 7, on observe, dans  $C_{0,4}$  par exemple, une pointe insolite vers la fin du L. Elle provient du fait que la fondamentale de ce L a été modulée d'une tierce vers le haut, à cet instant.

Des pointes analogues peuvent être obtenues dans certains subformants en modulant la fréquence de la fondamentale quand on prononce des voyelles O, A, E, par exemple. Il semble qu'on se trouve alors

en face d'une explication du R anglais: en modulant la fréquence de la fondamentale, on provoque du même coup à l'émission une modulation d'amplitude infrasonique qui simule le roulement d'un R.

L'examen de ces diagrammes permet de deviner approximativement ce que donneraient des sub-subformants, puisque ceux-ci analyseraient les pentes des variations de subformants. On peut s'attendre par exemple que le sub-subformant ascendant de  $C_{0,3}$  renforce les plosives P, T, K et affaiblisse le R, dont les pentes sont beaucoup moins raides.

La figure 8 montre des enregistrements de syllabes liées comprenant des combinaisons de voyelles, de chuintantes et de plosives:

CHOU CHO CHA CHÊ CHU CHICH FOU FO  
FA FÊ FU FIF SOU SO SA SÊ SU SISS POU  
PO PA PÊ PU PIP, KOU KO KA KÊ KU KIK  
TOU TO TA TÊ TU TIT

On constate que les plosives sont très fortes et les chuintantes très faibles dans les subformants ascendants  $A_{0,1}$  à  $A_{0,4}$ , etc. Certaines irrégularités de ces diagrammes proviennent du fait que l'enveloppe énergétique  $F_0$  n'a pas de réglage automatique, mais les caractères généraux des distinctions se confirment.

La figure 9 montre des résultats différentiels des diagrammes de la figure 8, donc une image de l'extraction d'informations dans un système trinaire, qui répond par «gagnant, perdant, nul». Dans les différences entre le formant  $F_6$  et le subformant  $A_{0,3}$  par exemple, les «gagnants» sont les consonnes chuintantes CH, F, S qui se trouvent au-dessus de la ligne médiane, et les «perdants» sont les consonnes plosives P, K, T qui se trouvent au-dessous de cette ligne. Dans la différence entre les formants  $F_1$  et  $F_2$ , les chuintantes donnent des résultats nuls.

Dans les différences entre les formants  $F_4$  et  $F_5$  par exemple, les plosives telles que K sont tantôt gagnantes, tantôt perdantes. On constate que la couleur de la voyelle qui va suivre le K déteint d'avance sur lui. Il n'y a donc pas d'information à espérer sur le K dans les formants.

D'autre part, on constate que les réglages automatiques de niveau et la correction des phases, ainsi que l'égalisation des durées d'impulsions comparées, jouent un rôle important pour obtenir des éléments d'information exempts de ratés et de bavures. Il y a donc un effort technique considérable qui doit encore être fourni pour parfaire ces travaux.

Le câblage partiel actuel permet de démontrer pratiquement la distinction entre la plosive T et la chuintante S, dont les formants sont identiques, mais qui sont séparables par leurs subformants. Ces consonnes peuvent être associées à des voyelles telles que OU O A E U I. Elles permettent la dictée de mots tels que: SUISS, SUISSSESS, SET, TOUSS, TASS, SIT TÊT, TOUT TUT, SOUT.



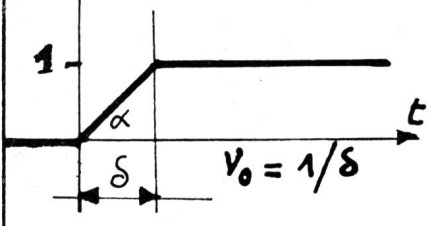
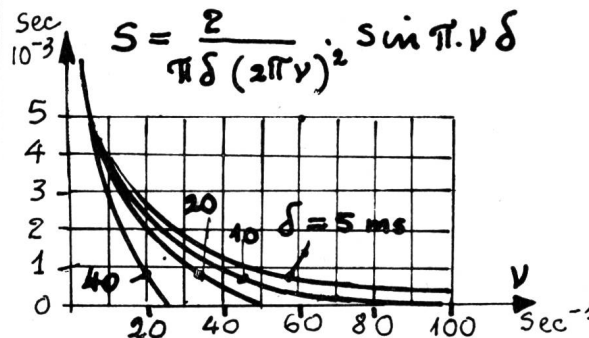
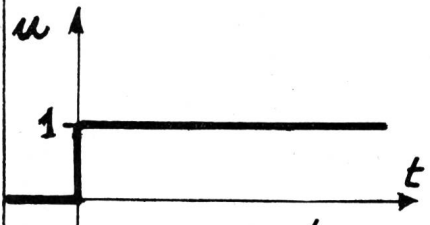
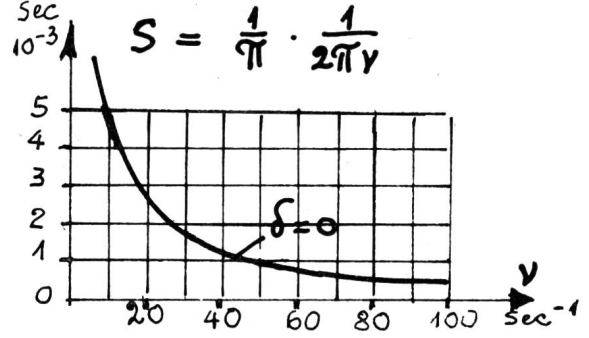
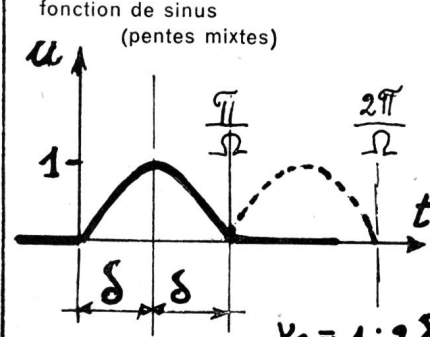
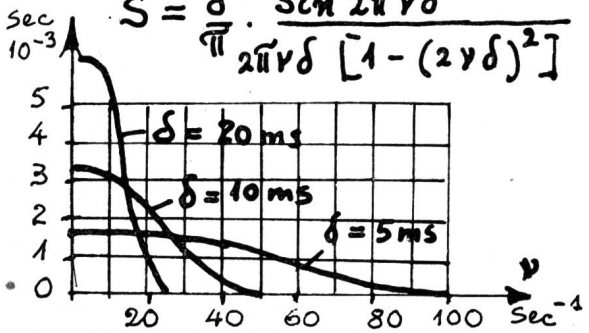
Appendice

Eléments d'analyse mathématique, selon Fourier, d'infrasons et de subformants

a) EMISSION: intégrales de Fourier et spectres d'infrasons

$u(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \vec{S}(p) \cdot e^{pt} dp$ $\vec{S}(p) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(t) \cdot e^{-pt} dt$ $\vec{S}(p) = S \cdot e^{j\psi} = S(\cos \psi + j \sin \psi) = X + jY$ $S = \sqrt{X^2 + Y^2} ; \psi = \arctg Y/X$	<p><math>u(t) =</math> impulsion infrasonique émise fonction du temps <math>t</math> [sec]</p> <p><math>j = \sqrt{-1}</math> ; <math>p = j\omega = j2\pi\nu</math> <math>\nu =</math> fréquence [sec<sup>-1</sup>]</p> <p><math>\vec{S}</math> = spectre complexe émis <math>S</math> = spectre d'amplitude émis <math>\psi</math> = subformants émis <math>\psi</math> = spectre de phase émis = fonctions de fréquence <math>\nu</math></p>
---	---

Exemples géométriques d'impulsions et de leurs spectres, à l'émission

impulsion émise	$\vec{S}$ spectre complexe	$S$ spectre d'amplitude = subformants (partie monotone $0 < \nu < \nu_0$ )
<p>fonction de pente (ascendante ou descendante) e)</p> <p><math>\delta = 5 \quad 10 \quad 20 \text{ ms}</math> <math>\nu_0 = 200 \quad 100 \quad 50 \text{ Hz}</math></p> 	$\frac{1 - e^{-p\delta}}{p^2 \delta}$	<p><math>S = \frac{2}{\pi \delta (2\pi\nu)^2} \sin \pi \nu \delta</math></p> 
<p>fonction de saut</p>  <p><math>\delta = 0</math> ; <math>\nu_0 = 1/\delta = \infty</math></p>	$\frac{1}{p}$	<p><math>S = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2\pi\nu}</math></p> 
<p>fonction de sinus (pentes mixtes)</p>  <p><math>\nu_0 = 1:2\delta</math></p>	$\frac{\Omega}{p^2 + \Omega^2} \cdot \frac{1 + e^{-\frac{\pi}{\Omega} p}}{1 - e^{-\frac{\pi}{\Omega} p}}$	<p><math>S = \frac{\delta}{\pi} \cdot \frac{\sin 2\pi\nu\delta}{2\pi\nu\delta [1 - (2\nu\delta)^2]}</math></p> 

b) RÉCEPTION : réponse de filtres de subformants

$$i(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \vec{F}(p) \cdot e^{pt} dp$$

$$\vec{F}(p) = \vec{S}(p) \cdot \vec{A}(p)$$

$$\vec{S}(p) = S \cdot e^{t\varphi} = S(\cos \varphi + j \cdot \sin \varphi)$$

$$\vec{A}(p) = A \cdot e^{t\alpha} = S(\cos \alpha + j \cdot \sin \alpha)$$

$$\vec{F}(p) = F \cdot e^{t\psi} = F(\cos \psi + j \cdot \sin \psi)$$

$i(t)$  = oscillation infrasonique excitée dans le filtre

$j = \sqrt{-1}$ ;  $p = j\omega = j \cdot 2\pi\nu$

$\nu$  = fréquence [sec<sup>-1</sup>]

$\vec{S}$  = spectre complexe émis

$\vec{A}$  = admittance du filtre

$\vec{F}$  = spectre complexe reçu = fonctions de fréquence

Exemple géométrique (avec filtre idéal)

Impulsion émise = fonction de pente;  $\delta = 20 \text{ ms}$   
 $S$  = spectre d'amplitude

$S = \frac{2}{\pi \delta (2\pi\nu)^2} \cdot \sin \pi \nu \delta$

$\delta = 20 \text{ ms} = 2 \cdot 10^{-2}$ ;  $\frac{1}{\delta} = \nu_0 = 50 \text{ Hz}$

$S = S_{12} = \frac{2}{\pi \cdot 2 (2\pi \cdot 24)^2} \cdot \sin \pi \cdot 24 \cdot 2 \cdot 10^{-2}$

$S_{12} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ [sec]}$

Admittance A du filtre passe-bande

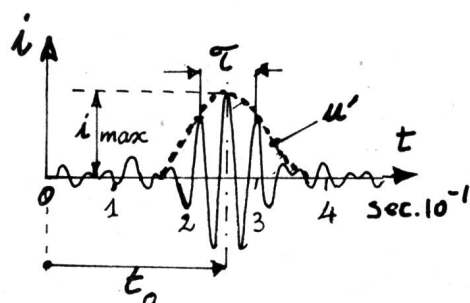
$\nu_1 = 16 \text{ Hz}$   
 $\nu_2 = 32 \text{ Hz}$   
 $\Delta \nu = 16 \text{ Hz}$   
 $\nu_{12} = 24 \text{ Hz}$

$0 < \nu < \nu_1$ ;  $\nu_2 < \nu < \infty$ ;  $A = 0$

$\nu_1 < \nu < \nu_2$ ;  $A = A_{12}$

$\nu_1 + \nu_2 = 2 \nu_{12}$ ;  $\nu_2 - \nu_1 = \Delta \nu$

$i$  = oscillation excitée dans le filtre



$$i(t) = \frac{A_{12} S_{12}}{\pi \cdot 2\pi \nu} \int_{\nu_1}^{\nu_2} \sin 2\pi \nu (t-t_0) d\nu$$

$$= \frac{A_{12} \cdot S_{12}}{\pi} \cdot \frac{\Delta \nu}{\nu_{12}} \cdot \text{si} \frac{2\pi \Delta \nu}{2} (t-t_0) \cdot \sin 2\pi \nu_{12} (t-t_0)$$

$$i_{\max} = \frac{1}{\pi} \cdot A_{12} \cdot S_{12} \cdot \frac{\Delta \nu}{\nu_{12}} = \frac{1}{\pi} \cdot F_{12} \cdot \frac{\Delta \nu}{\nu_{12}}$$

$\nu_{12} = 24 \text{ Hz}$ ;  $\Delta \nu = 16 \text{ Hz}$   
 $\tau = 1/16 = 63 \text{ ms}$   
 $i_{\max} = \frac{1}{\pi} \cdot A_{12} \cdot S_{12} \cdot \frac{16}{24}$

$u'$  = courbe de l'enveloppe énergétique de l'oscillation  $i$  (redressée et filtrée)  
 = impulsion de SUBFORMANT reçue  
 $\tau = 1/\Delta \nu$  = durée moyenne de l'oscillation  $i$  ou de l'impulsion  $u'$  reçue = temps moyen d'intégration ou d'accumulation de mémoire élémentaire.

*Remarques:* Le choix de  $\Delta\nu$  (entre 1 et 63 Hz par exemple) permet de varier considérablement l'accumulation de mémoire élémentaire  $\tau$  (entre 1 sec. et 16 ms par exemple).

En analysant une pente (ascendante, descendante, mixte) d'une impulsion  $u'$  de subformant, d'une manière analogue, on obtient une oscillation  $i'$ , puis une impulsion  $u''$  qui est celle d'un sub-subformant.

### VIII. Conclusions

On peut résumer comme suit les résultats des étapes parcourues, en tenant compte aussi des autres diagrammes que nous n'avons pu détailler ici:

- a) Les éléments phonétiques ont une existence physique.
- b) Les distinctions entre les consonnes plosives, ainsi qu'entre les groupes de consonnes chuintantes, nasales, roulées ou modulées, et le groupe des voyelles, résident dans un certain nombre de subformants collectifs, c'est-à-dire dans des spectres d'infrasons, ou ondes portées. Le nombre en question peut être d'une douzaine.
- c) Les principales distinctions complémentaires des voyelles et de diverses consonnes, telles que nasales, se trouvent dans six formants, c'est-à-dire dans les spectres de sons, ou ondes porteuses. Toutefois ces formants doivent être contrôlés par leurs subformants (individuels et ascendants) pour que le flux oratoire soit décomposé en ses éléments phonétiques.
- d) Il est probable que des appoints d'information seront découverts dans certains sub-subformants, ainsi que dans des comparaisons de phases de certaines impulsions.
- e) Les frontières optimums des six passe-bande de formants peuvent être maintenues par contrôle par la hauteur de voix du parleur.
- f) Les rapports de niveaux optimums entre les formants peuvent être obtenus par contrôle par l'intensité de la voix du parleur.
- g) Les amplifications peuvent être pourvues de systèmes de contrôle automatique spéciaux qui respectent l'intégrité des divers spectres.

Si maintenant nous tournons vers l'avenir, les étapes suivantes peuvent être envisagées:

1. Poursuite des investigations oscillographiques à l'aide du prototype II, qui devrait subir préalablement quelques modifications. (A savoir: élévation des six passe-bas de formants de 30 à 60 hertz. Adjonction de plusieurs batteries de déphaseurs pour pouvoir corriger tous les temps d'impulsions, ainsi que de circuits pour sub-subformants.)

Les nouvelles investigations devraient se porter sur un grand nombre de voix différentes et les oscillogrammes actuels devraient être refaits à une vitesse quadruple (20 cm/sec) afin de pouvoir mesurer exactement les déphasages.

Ces recherches devraient avoir lieu en collaboration avec une université, ou d'autres laboratoires scientifiques et être suivies par des physiciens, des physiologistes et des phonéticiens.

2. Elaboration d'une théorie complémentaire à l'analyse selon Fourier, exprimant mathématiquement les nouveaux phénomènes physiques, tels que variations des subformants, influence des récepteurs, etc.

3. Etude et exécution d'au moins deux prototypes III de phonéographes complets, construits sur le principe du rack, donc extensibles. Il ne faut pas craindre de prévoir des organes en surnombre, quitte à simplifier par la suite l'appareil, et à supprimer les redondances. Ce travail devrait être exécuté en collaboration avec des laboratoires industriels.

4. Simultanément, étude de la miniaturisation des appareils en vue des applications pratiques et commerciales ultérieures.

Je ne voudrais pas terminer cet exposé sans adresser mes remerciements à tous ceux qui ont bien voulu collaborer aux récentes étapes, et en particulier à MM. André Monnier, Robert Weber, Georges Kung, Louis Challier, Henri Latour, Henri Olivier, Frédéric Dournow, et aux usines Lucifer à Genève.

De longues étapes de tâtonnements se trouvent derrière nous. Devant nous se dessine le chemin qui doit mener au but. Le jour viendra où le phonéographe enregistrera automatiquement la conférence pendant qu'elle en fait la description.

### Bibliographie

- Trendelenburg, F.* Klänge und Geräusche. Berlin 1935.  
*Küpfmüller, K.* Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung. Zürich 1952.  
*Grandsaigne d'Hauterive, R.* Dictionnaire des racines des langues européennes. Paris 1949.  
*Février, J. G.* Histoire de l'écriture. Paris 1948.  
*Wadler, A.* Der Turm von Babel, Urgemeinschaft der Sprachen. Basel 1935.  
*Dreyfus-Graf, J.* Liaisons quasi-optiques: Modèles d'ellipsoïdes et d'antennes spatiales, avec résultats expérimentaux. Helv. Phys. Acta **17** (1944), 245...250.  
— Physique des liaisons I. La théorie ellipsoïdale des liaisons ondulatoires. Diffraction par un mur. Confrontation avec les théories de Fresnel, Kirchhoff et Sommerfeld. Lausanne 1946.  
— De la théorie ellipsoïdale des liaisons ondulatoires. (Erreurs des théories de Fresnel, Kirchhoff, Sommerfeld et Maxwell.) Helv. Phys. Acta **19** (1946), 399...404 et Actes de la Société helvétique des sciences naturelles, Zurich 1946, p. 69.  
— Sur les spectres transitoires d'éléments phonétiques. Helv. Phys. Acta **19** (1946), 404...408 et Actes de la Société helvétique des sciences naturelles, Zurich 1946, p. 70.  
— Le sonographe: éléments et principes. Annales suisses de sciences appliquées et de la technique **14** (1948), 353...362.  
— Le vibromètre dynamique, théorie et applications d'un nouvel instrument électrique de mesures mécaniques. Annales des sciences appliquées et de la technique **15** (1949), 338...343.  
— Les formules de l'effet Doppler dans la théorie ellipsoïdale de la relativité restreinte (erreur des formules d'Einstein). Helv. Phys. Acta **21** (1948), 87...92.  
— Le sténo-sonographe phonétique. Bull. techn. PTT 1950, n° 3, p. 89...95. (Reproduit par l'Onde électrique **30** (1950), 356...361 et par la Revue international de sténographie.  
— Sonograph and sound mechanics. J. Acoust. Soc. America **22** (1950), 731...739.

- L'oscillographe électro-dynamique «OED» encreur, à pivots virtuels. *Microtecnic* 5 (1951), 26...27.
- Die elektro-dynamischen Oszillographen-Universal-Registrierinstrumente für Frequenzen zwischen 0 und 500 Hz. *Microtecnic* 7 (1953), 28...32.
- Le typo-sonographe phonétique ou phonétographe. *Bull. techn. PTT* 1952, n° 12, p. 363...379.
- L'enregistrement magnéto-graphique de fréquences acoustiques. (Magnétophones diviseurs de fréquences pour oscillographes encreurs.) *Helv. Phys. Acta* 26 (1953), 403...407.
- Frequenzteilende Magnetophone für Tintenoszillographen OED. Magneto-graphische Aufzeichnung von Frequenzen zwischen 0 und 10 000 Hz. *Microtecnic* 7 (1953), 149...152.

- Phonétographe et phonétique. *Folia Phoniatica* 5 (1953), 223...232.

Liste des brevets publiés, de l'auteur, concernant les sonographe et phonétographe (autres brevets déposés).

Pays	numéro	date publ.	durée
USA . . . . .	2512889	27. 6. 1950	1953
USA . . . . .	2540660	6. 2. 1951	1968
Grande-Bretagne . . . . .	6633880	19. 1. 1951	1964
Allemagne . . . . .	937019	29. 12. 1955	
France . . . . .	976368	16. 3. 1951	1968
Italie . . . . .	449588	22. 6. 1949	1964
Hollande . . . . .	78136/42t/2	27. 6. 1955	1972
Belgique . . . . .	468700	31. 1. 1949	1969

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

## Die Nachrichtenübermittlung auf Wellenleitern\*

Von G. W. Epprecht, Bern

621.372.8

**Zusammenfassung.** Die Arbeit vermittelt einen Überblick über den Stand der Forschung auf dem Gebiete der Nachrichtenübermittlung über Hohlleiter. Es werden einzelne Schwierigkeiten beleuchtet, die überwunden werden müssen, und die Lösungsmöglichkeiten, wie man sie heute sieht, skizziert. Es ist vor allem das Problem der Vielwelligkeit, das einerseits eine spezielle Konstruktion solcher Wellenleiter bedingt und andererseits besondere Modulationsmethoden verlangt. Es scheint jedenfalls möglich, in einigen Jahren, falls dafür Bedarf vorhanden ist, Wellenleiter als Kanäle mit sehr grosser Informationskapazität (100... 1000 MHz Grundbandbreite) zur Verfügung zu stellen.

Seit dem Auftauchen der Hohlleitertechnik liegt auch die Frage in der Luft, ob Hohlleiter an Stelle der heute üblichen Trägerkabel und Koaxialkabel als Nachrichtenkanäle benutzt werden könnten. Verlockend daran ist vor allem, dass man durch ein einfaches Rohr eine derart grosse Bandbreite übertragen könnte, dass auch für internationale Verbindungswege auf lange Zeit hinaus ein Überfluss von Sprech- und Fernsehkanälen zur Verfügung stände. Da Frequenzbänder, insbesondere für die drahtlose Übertragung, immer mehr zu einer Mangelware werden, wird man sich früher oder später mit der Frage der Übertragung über Wellenleiter befassen müssen. Es ist vor allem das Verdienst der *Bell-Laboratorien* in den Vereinigten Staaten von Amerika, einen Anfang in der Untersuchung dieses Gebietes gemacht zu haben, und die vorliegende Übersicht über den gegenwärtigen Stand der Dinge stützt sich zu einem grossen Teil auf Publikationen und persönliche Angaben von Mitarbeitern dieses Forschungsinstitutes (vgl. Bibliographie). Im folgenden seien nun einige grundsätzliche Fragen, Schwierigkeiten und Lösungsmöglichkeiten eines solchen Übertragungssystems beleuchtet.

### Trägerfrequenz und Dämpfung des Übertragungsweges

Es gibt mancherlei Arten von Übertragungsleitungen, Wellenleiter im weitesten Sinne, die man

\* Als Erstdruck erschienen in der Beilage «Technik» der «Neuen Zürcher Zeitung», Nr. 409, vom 13. Februar 1957.

## La transmission d'informations au moyen de guides d'ondes\*

Par G. W. Epprecht, Berne

**Résumé.** Le présent article donne un aperçu de l'état des recherches dans le domaine de la transmission des informations par des guides d'ondes. Il montre les difficultés qui restent à vaincre et esquisse les possibilités de réalisation telles qu'on les entrevoit aujourd'hui. L'une de ces difficultés est la multiplicité des modes d'ondes, qui exige une construction particulière des guides et des méthodes de modulation spéciales. Il est possible cependant que d'ici quelques années, si le besoin s'en fait sentir, on puisse mettre à disposition des guides d'ondes en tant que canaux présentant une capacité d'information élevée (100... 1000 MHz de largeur de bande fondamentale).

Dès l'apparition de la technique des guides d'ondes, on s'est demandé s'il serait possible d'utiliser ces conducteurs comme canaux de transmission en lieu et place des câbles à courants porteurs et des câbles coaxiaux généralement en usage aujourd'hui. L'intérêt d'un tel système réside dans le fait de pouvoir transmettre par un simple tube une largeur de bande telle qu'elle constituerait pour longtemps encore une réserve suffisante de voies de conversation et de télévision pour les liaisons internationales. Les bandes de fréquences devenant une marchandise toujours plus rare, surtout pour la transmission sans fil, on devra tôt ou tard s'occuper de la question de la transmission au moyen de guides d'ondes. C'est aux *laboratoires Bell* des Etats-Unis d'Amérique que revient surtout le mérite d'avoir commencé à explorer ce domaine, et le présent exposé s'appuie en grande partie sur des publications et des indications personnelles de collaborateurs de cet institut de recherches (voir bibliographie). Nous ne traiterons ci-après que de quelques questions de principe, de difficultés et de solutions possibles relatives aux transmissions par les guides d'ondes.

### Fréquence porteuse et affaiblissement de la voie de transmission

Il existe une grande variété de lignes de transmission à guide d'ondes au sens large du terme. Les

\* L'original en allemand de cet article a paru dans le supplément «Technik» de la «Neue Zürcher Zeitung», n° 409, du 13 février 1957.