

DEC 8 1954

34^e ANNÉE. N° 331

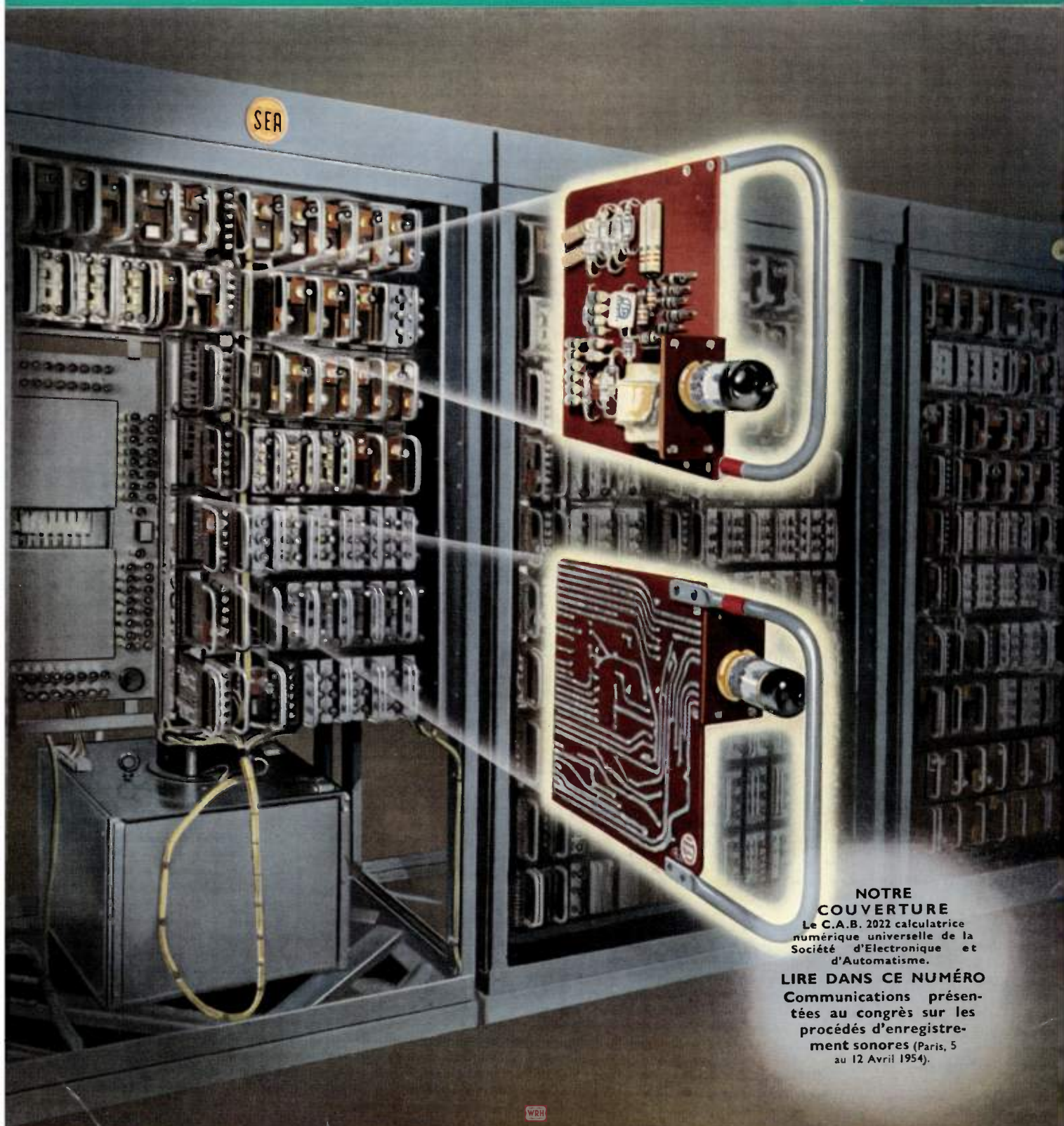
OCTOBRE 1954

PRIX: 250 FRANCS

Library
Boulder Laboratories
National Bureau of Standards
Boulder, Colorado

L'ONDE ÉLECTRIQUE

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS - 6^e



NOTRE COUVERTURE

Le C.A.B. 2022 calculatrice
numérique universelle de la
Société d'Electronique et
d'Automatisme.

LIRE DANS CE NUMÉRO
Communications présen-
tées au congrès sur les
procédés d'enregistre-
ment sonores (Paris, 5
au 12 Avril 1954).

mA = > A = < Ω mA = Ω > mA ~

UHF ~ VHF Ω BF ∇ HF Ω VHF ~ RF A U

HF Ω BF ∇ HF A VHF ~ P VHF

HF A UHF ~ VHF Ω BF

HF ~ VHF Ω BF ∇ UI

UHF ~ VHF A VHF

QUALITÉ

PRESTIGE

PERFORMANCES

PRIX...

TOUT VOUS MÈNE à

METRIX

LEADER DE LA MÉTROLOGIE INTERNATIONALE
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE MÉTROLOGIE - ANNECY - FRANCE

■ AGENCES - PARIS, 15, Rue du Faubourg Montmartre (9^e) PRO. 79.00 - STRASBOURG, 15, Place des Halles, Tél. 305-34 - LILLE, 8, R. du Barbier-Maës, Tél. 482-88 - LYON, 8, Cours Lafayette, Tél. Moncey 57-43
 MARSEILLE, 3, Rue Nau (6^e) Tél. Garibaldi 32-54 - TOULOUSE, 10, Rue Alexandre Cabanel - CAEN, A. Liais, 66, Rue Bicoquet - MONTPELLIER, M. Alonso, 32, Cité Industrielle - NANTES, Porte, 10, Allée Duquesne -
 TUNIS, Timsit, 11, Rue Al-Djazira • ALGER, M. Rouyas, 13, Rue de Ravigo • LIBAN : Anis E. Kehdi, BEYROUTH • ARGENTINE : Graham & Co, BUENOS-AIRES • BELGIQUE : Drvo, BRUXELLES • BRÉSIL : Staub,
 SAO-PAULO • ÉGYPTE : G. Zangarakis & Co, ALEXANDRIE • ESPAGNE : Geico Electrica, BARCELONE • FINLANDE : O. Y. Nyberg, HELSINGFORS • ITALIE : U. de Lorenzo, MILAN • NORVÈGE : F. Ulrichsen,
 OSLO • PORTUGAL : Rualdo Ida, LISBONNE • SUÈDE : A. B. Palmblad, STOCKHOLM • SUISSE : Ed. Bievel, ZÜRICH • TURQUIE : A. Sigalla, ISTANBUL • URUGUAY : Loewenstein, MONTEVIDEO • GRÈCE :
 K. Karayannis & Cie, ATHÈNES • MEXIQUE : Y. A. Le Levier, MEXICO • CANADA : G. P. I. Ltd, MONTREAL • SYRIE : Estefone & Cie, DAMAS • NOUVELLE-ZÉLANDE : Hamer Electrical Co Ltd, CHRISTCHURCH

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

ABONNEMENT D'UN AN

FRANCE 2500 F
ÉTRANGER 2800 »

ÉDITIONS CHIRON

40, Rue de Seine — PARIS (6^e)

C. C. P. PARIS 53-35

Prix du

Numéro :

250 francs

Vol. XXXIV

OCTOBRE 1954

Numéro 331

NUMÉRO CONSACRÉ AUX COMMUNICATIONS PRÉSENTÉES AU CONGRÈS SUR LES PROCÉDÉS D'ENREGISTREMENT (PARIS, 5-10 AVRIL 1954)

SOMMAIRE

	Pages
SECTION I. — Généralités	725
SECTION II. — Enregistrement magnétique	751
SECTION III. — Enregistrement pour le cinéma	786
SECTION V. — Applications et extensions	789
Comptes-rendus des discussions	807
Liste des communications	811
Les réseaux correcteurs pour servomécanismes à fréquence porteuse (suite et fin). P. BONNET.	812

Sur la couverture :

Le CAB 2022, calculatrice numérique universelle de la Société d'Électronique et d'Automatisme. Vue technologique. — Organes de mémoire. — Organe d'entrée du programme et des données numériques. Organe de sortie. — Technologie généralisée des circuits imprimés enfichables.

Les opinions émises dans les articles ou comptes rendus publiés dans L'Onde Électrique n'engagent que leurs auteurs.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

FONDATEURS

† Général FERRIÉ, Membre de l'Institut.

† H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne.

† A. BLONDEL, Membre de l'Institut.

P. BRENOT, Directeur à la Cie Générale de T.S.F.

J. CORNU, Chef de bataillon du Génie e. r.

† A. PÉROT, Professeur à l'Ecole Polytechnique.

† J. PARAF, Directeur de la Sté des Forces Motrices de la Vienne.
La Société des Ingénieurs Coloniaux.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

10, Avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine)

Tél. ALÉSIA 04-16 — Compte de chèques postaux Paris 697-38

CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 20 francs à toute demande

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

† R. MESNY (1947) — † H. ABRAHAM (1947)

ANCIENS PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ

- MM.
- 1922 M. de BROGLIE, Membre de l'Institut.
- 1923 † H. BOUSQUET, Prés. du Cons. d'Adm. de la Cie Gle de T.S.F.
- 1924 † R. de VALBREUZE, Ingénieur.
- 1925 † J.-B. POMEY, Inspecteur Général des P.T.T.
- 1926 E. BRYLINSKI, Ingénieur.
- 1927 † Ch. LALLEMAND, Membre de l'Institut.
- 1928 Ch. MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris.
- 1929 † L. LUMIÈRE, Membre de l'Institut.
- 1930 Ed. BELIN, Ingénieur.
- 1931 C. GUTTON, Membre de l'Institut.
- 1932 P. CAILLAUX, Conseiller d'Etat.
- 1933 L. BRÉGUET, Ingénieur.
- 1934 Ed. PICAULT, Directeur du Service de la T.S.F.
- 1935 † R. MESNY, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Electricité.
- 1936 † R. JOUAUST, Directeur du Laboratoire Central d'Electricité
- 1937 † F. BEDEAU, Agrégé de l'Université, Docteur es-Sciences.
- 1938 P. FRANCK, Ingénieur général de l'Air.
- 1939 † J. BETHENOD, Membre de l'Institut.
- 1940 † H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne.
- 1945 L. BOUTHILLON, Ingénieur en Chef des Télégraphes.
- 1946 R.P. P. LEJAY, Membre de l'Institut.
- 1947 R. BUREAU, Directeur du Laboratoire National de Radio-électricité.
- 1948 Le Prince Louis de BROGLIE, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
- 1949 M. PONTE, Directeur Général Adjoint de la Cie Gle de T.S.F.
- 1950 P. BESSON, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.
- 1951 Général LESCHI, Directeur des Services Techniques de la Radiodiffusion — Télévision Française.
- 1952 J. de MARE, Ingénieur Conseil.
- 1953 P. DAVID, Ingénieur en chef à la Marine.

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président (1954)

MM. G. RABUTEAU, Directeur Général de la Sté « Le Matériel Téléphonique ».

Président désigné pour 1955 :

M.H. PARODI, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.

Vice-Présidents :

MM. R. AUBERT, Directeur Général adjoint de la S.F.R.
E. FROMY, Directeur de la Division Radioélectricité du L.C.I.E.
A. ANGOT, Ingénieur militaire en Chef, Directeur de la Section d'Etudes et de Fabrications des Télécommunications.

Secrétaire Général :

M.J. MATRAS, Ingénieur Général des Télécommunications.

Trésorier :

M.R. CABESSA, Ingénieur à la Société L.M.T.

Secrétaires :

MM. G. ESCULIER, Ingénieur Conseil.
R. CHARLET, Ingénieur des Télécommunications.
J.M. MOULON, Ingénieur des Télécommunications

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Présidents	Secrétaires
1	Etudes générales.	Colonel ANGOT	M. LAPOSTOLLE.
2	Matériel radioélectr.	M. LIZON	M. ADAM
3	Electro-acoustique.	M. CHAVASSE.	M. POINCELOT
4	Télévision.	M. MALLEIN	M. ANGEL
5	Hyperfréquences.	M. WARNECKE	M. GUÉNARD
6	Electronique.	M. CAZALAS.	M. PICQUENDAR
7	Documentation.	M. CAHEN.	Mme ANGEL.
8	Electronique appliq.	M. RAYMOND.	M. LARGUIER.

GROUPE DE GRENOBLE

Président. — M.-J. BENOIT, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, Directeur de la Section de Haute Fréquence à l'Institut Polytechnique de Grenoble.

Secrétaire. — M. J. MOUSSIEGT, Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Grenoble.

GROUPE D'ALGER

Président. — M. A. BLANC-LAPIERRE, Professeur à la Faculté des Sciences d'Alger.

Secrétaire. — M. J. SAVORNIN, Professeur à la Faculté des Sciences d'Alger.

Les adhésions pour participation aux travaux des sections doivent être adressées au Secrétariat de la Société des Radioélectriciens, 10, Avenue Pierre-Larousse, à Malakoff (Seine).

CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

- MM. A. BLANC-LAPIERRE, Professeur à la Faculté des Sciences d'Alger.
L. CAHEN, ancien Ingénieur en Chef des Télécommunications.
A. CAZALAS, Ingénieur aux Laboratoires de Télévision et Radar. de la Cie pour la fabrication des Compteurs.
P. CHAVASSE, Ingénieur en Chef des Télécommunications.
A. DANZIN, Directeur de la Société « Le Condensateur Céramique »
A. DAUPHIN, Ingénieur Militaire Principal des Télécommunications.
J. DOCKES, Ingénieur des Télécommunications, Service des Recherches et du Contrôle Technique des P.T.T.
C. MERCIER, Ingénieur en Chef des Télécommunications.
J. BOULIN, Ingénieur des Télécommunications à la Direction des Services Radioélectriques.
F. CARBENAY, Ingénieur en Chef au Laboratoire National de Radio-électricité.
G. CHEDEVILLE, Ingénieur Général des Télécommunications.
R. FREYMAN, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
J. MIARQUE, Secrétaire Général du C.C.R.M. à Bruxelles.
F.H. RAYMOND, Directeur de la Société d'Electronique et d'Automatisme.

MM. J.L. STEINBERG, Maître de Recherches au C.N.R.S.

L. DE VALROGER, Directeur du Département Radar-Hyperfréquences de la Cie Française Thomson-Houston.

J. ICOLE, Ingénieur en chef des Télécommunications, Chef du Département Faisceaux-Hertziens, Direction des Lignes Souterraines à Grande Distance.

J. LOCHARD, Lieutenant Colonel, Chef des Services Techniques du Groupe de Contrôle Radioélectrique.

N'GUYEN THIEN CHI, Chef de Département à la Cie Gle de T.S.F., Ingénieur-Conseil Cie Industrielle des Métaux électroniques.

G. POTIER, Ingénieur à la Société « Le Matériel Téléphonique ».

P. RIVIÈRE, Chef du Service « Multiplex » de la Sté Française Radioélectrique.

M. SOLLIMA, Directeur du Groupe Electronique de la Cie Française Thomson-Houston.

H. TESTEMALE, Ingénieur des Télécommunications.

A. VIOLET, Chef de Groupe à la Sté « Le Matériel Téléphonique ».

SECTION 1. — GÉNÉRALITÉS

(Historique, problèmes communs, mesures)

ANALYSE AUTOMATIQUE DES DISTORSIONS DANS LES APPAREILS DE REPRODUCTION SONORE

PAR

Docteur P.-V. BRUEL

Directeur de la Société Anonyme Bruel et Kjaer (Danemark)

La qualité de la reproduction sonore sur un appareil à bande ou à fil magnétique, sur un phonographe, pick-up, ou lecteur de film est principalement déterminée par les trois caractéristiques principales suivantes :

- 1° la distorsion linéaire;
- 2° la distorsion non linéaire;
- 3° la modulation de fréquence.

1° *La distorsion linéaire* a pour effet la reproduction des sons dans des rapports d'amplitudes différents de ceux qu'ils avaient réellement à l'enregistrement.

2° *La distorsion non linéaire* a pour effet la reproduction des sons avec des taux d'harmoniques différents de ceux qu'ils avaient à l'enregistrement, modifications ou adjonctions d'harmoniques. Les fréquences des harmoniques les plus importants sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale. Pour une fréquence F la plupart des appareils de reproduction ajoutent la fréquence $2F$ avec une faible amplitude, et les fréquences $3F$, $4F$, $5F$, etc...

Le taux d'harmonique créé par l'appareil dépend fortement de la fréquence et de l'amplitude de son enregistré. Il s'ensuit que pour obtenir les caractéristiques complètes de distorsion non linéaire d'un appareil, il faut connaître la répartition des harmoniques en fréquence et en amplitude, avec l'amplitude de la fondamentale comme paramètre.

3° *La modulation de fréquence.* — La modulation de fréquence est principalement l'effet des défauts mécaniques entraînant une variation périodique de la vitesse.

Ainsi, pour obtenir aussi complètement que possible la qualité d'une reproduction, il est nécessaire de traduire par une caractéristique ces éventuels défauts mécaniques. Il est déjà d'usage d'exprimer les variations de vitesse en pourcentage de la vitesse moyenne en fonction du temps. Cette courbe peut être très irrégulière, mais aussi montrer l'effet de variations périodiques de la vitesse, en fonction par exemple, de la fréquence du réseau,

ou bien montrer l'effet de modulation de vitesse dû au couple irrégulier d'un moteur à courant alternatif sous-dimensionné.

Représentation idéale des caractéristiques acoustiques d'un reproducteur de son

La figure 1 a montre un ensemble typique de courbes caractéristiques d'un reproducteur de son; les 2 échelles sont logarithmiques. La courbe marquée 1 montre la réponse en amplitude des sons fondamentaux enregistrés, traduisant ainsi la distorsion linéaire. La fréquence est portée en ordonnées, l'amplitude en abscisses, étalonnée en db.

Les courbes 2, 3, 4, 5 représentent la réponse de chacun des harmoniques : 2, 3, 4, 5.

Pour une fréquence donnée, les différences sont importantes entre les harmoniques. Toutefois, pour un reproducteur normal, le 4^e harmonique ne signifie rien. Les harmoniques de rang élevé sont toujours les plus faibles.

Si, bien entendu, l'amplification n'a pas varié au cours de l'enregistrement, on peut facilement déterminer, grâce à l'échelle logarithmique, le pourcentage de chaque harmonique et le taux global de distorsion en mesurant les intervalles entre courbes. Par exemple, sur le diagramme et pour 500 c/s l'harmonique 2 sera de 10 %, l'harmonique 3 de 5 %, l'harmonique 4 de 2 %, l'harmonique 5 de 1,5 % exprimés par rapport à la fondamentale à 500 c/s.

Le facteur de distorsion globale peut se calculer par la relation bien connue :

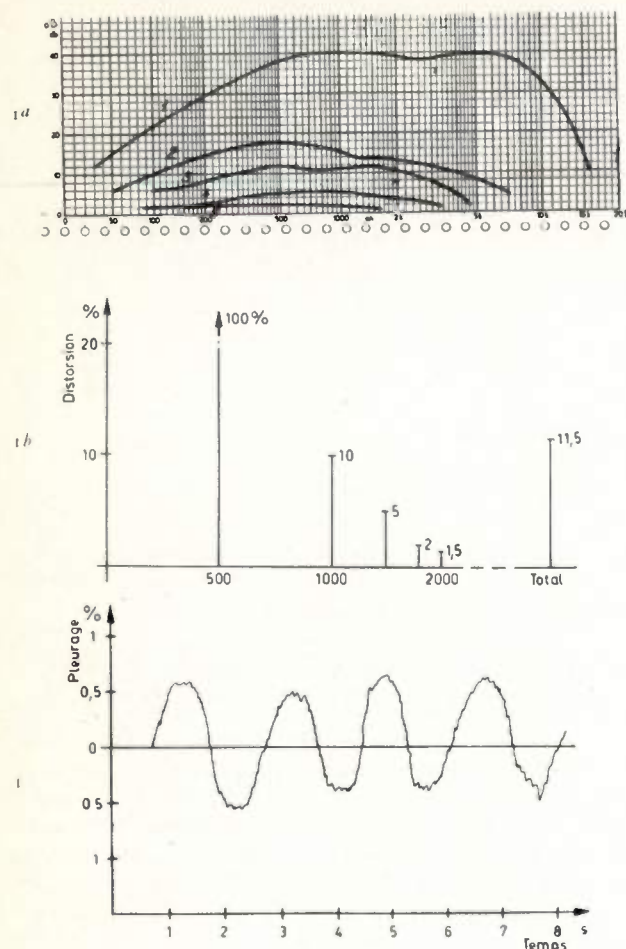
$$k = \sqrt{\frac{E_2^2 + E_3^2 + \dots}{E_1^2}}$$

E_2 , E_3 , etc... sont les amplitudes des harmoniques, E_1 celle de la fondamentale.

On obtient ici (voir fig. 1b) pour 500 c/s, un taux global de : 11,5 %.

Un bon reproducteur doit donc avoir peu de distorsion linéaire, une courbe de réponse plate

pour un enregistrement à amplitude constante, une faible distorsion non linéaire. Toutes les cour-



Représentation idéale des caractéristiques acoustiques d'un reproducteur de son.

FIG. 1a. — Caractéristique de réponse — Amplitude-Fréquence des fondamentales — Courbes de variations d'amplitudes des harmoniques — Echelles logarithmiques.

FIG. 1b. — Composantes harmoniques en pourcentage de la fondamentale à 500 c/s et le taux de distorsion globale.

FIG. 1c. — Modulation de vitesse en pourcentage de la vitesse de la bande en fonction du temps.

bes de réponse des harmoniques doivent se trouver bien au-dessous de la courbe de réponse des fondamentales. De plus, il faut le moins possible de modulation de fréquence, autrement dit pleurage ou modulation de vitesse (fig. 1c).

DISTORSION LINÉAIRE.

Enregistrement de la courbe de réponse d'un enregistreur-reproducteur sur bande magnétique

Les amplificateurs et les têtes d'enregistrement ont généralement une courbe de réponse très régulière, et l'on peut, à la rigueur, se contenter de courbes établies point par point. Par contre, lorsque l'essai comporte le microphone à l'entrée et le haut-parleur ou écouteur téléphonique en sortie, les courbes sont très irrégulières et l'enregistrement précis, continu et automatique s'avère pratiquement indispensable.

Sur la figure 2, la courbe régulière est celle de

l'amplificateur avec les têtes d'enregistrement et de lecture — signaux électriques directs à l'entrée et à la sortie.

La courbe irrégulière est celle obtenue avec microphone et haut-parleur.

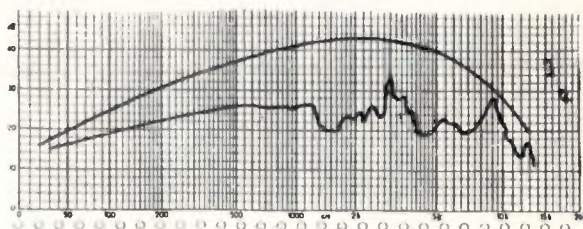


FIG. 2. — Allure des caractéristiques de réponse d'un enregistreur-reproducteur sur bande magnétique.

— Courbe 1, entrée et sortie électriques.

— Courbe 2, entrée et sortie acoustiques.

Cette dernière courbe n'a de sens que si les conditions acoustiques extérieures sur le microphone et le haut-parleur sont précisées : champ libre ou conditions de pression sur le microphone; champ libre ou diffus sur le haut-parleur.

Pour un écouteur téléphonique, on peut utiliser un autre type de mesure, dite de cavité, en utilisant une oreille artificielle qui fixe ainsi, côté récepteur, les conditions acoustiques. Côté microphone, les conditions acoustiques peuvent être définies par une voix artificielle.

Appareillage

Les enregistrements sont réalisés avec un enregistreur automatique de courbe de réponse comprenant : un Générateur Basse Fréquence spécial et un Enregistreur logarithmique de niveau.

Courbe de réponse des éléments électriques. —

La figure 3a représente le montage des appareils: celui de droite, dont les connexions sont représentées en pointillé est l'analyseur 1/3 d'octave, dont il sera question plus loin à propos de l'enregistrement des harmoniques.

L'oscillateur et l'enregistreur sont couplés mécaniquement pour obtenir le déroulement synchrone du papier d'enregistrement avec le défilement de la gamme de fréquence du générateur. La tension de sortie B.F. variable est connectée à la tête d'enregistrement; la sortie de l'amplificateur de l'enregistreur-reproducteur dont l'entrée est connectée à la tête de lecture attaque le potentiomètre d'entrée de l'enregistreur logarithmique; le petit décalage de fréquence dû à la distance qui sépare les têtes de lecture et d'enregistrement est facilement compensé par un retard équivalent du papier d'enregistrement. Nous indiquons plus loin le moyen de connaître très aisément ce décalage.

On trace donc ainsi, directement et automatiquement, la courbe de distorsion linéaire ou courbe de réponse en fréquence.

Remarque. — En pratique, il est intéressant de faire ces mesures sur un morceau de bande magnétique bouclé: mais il faut, dans ce cas, effacer

pondent bien à l'échelle de fréquence du diagramme sur l'enregistreur logarithmique.

Ce décalage est très facilement déterminé en connectant le générateur également à l'entrée de l'enregistreur logarithmique (connexion en pointillé fig. 4a). En produisant pendant le mouvement de l'ensemble une impulsion avec le générateur, celle-ci se trouvera enregistrée au moment où elle est produite une seconde fois, après le temps du trajet du point de la bande impressionné de la tête d'enregistrement à la tête de lecture. Le décalage à donner se trouve ainsi directement porté sur le diagramme par l'intervalle qui sépare les deux impulsions.

LA DISTORSION NON LINÉAIRE.

Analyse manuelle. — Les mesures de distortion non linéaire se font avec des analyseurs couvrant une gamme de fréquence déterminée. Généralement, ces analyseurs sont conçus pour permettre le réglage sur une fréquence choisie. Pour les reproducteurs de son, la mesure se trouve compliquée par la modulation de fréquence qu'ils introduisent dans les mesures.

Si, par exemple, on a enregistré trois sons respectivement de : 100 - 1 000 et 10 000 c/s, les sons lus n'auront pas exactement les fréquences des sons enregistrés, mais seront répartis en-dessus et en-dessous, suivant la modulation de fréquence de l'appareil.

La figure 5 montre pour les fréquences ci-dessus indiquées, les zones de déplacement de la fréquence, pour un appareil ayant 5 % de pleurage. Le son de 100 c/s se traduira en fonction du temps par un son variant de 95 à 105 c/s — un son de 1 000 c/s de 950 à 1 050 — un son de 10 000 c/s de 9 500 à 10 500 c/s.

Avec l'échelle logarithmique, la largeur est la même, quelle que soit la fréquence; en échelle linéaire, au contraire, elle est très inégale et la bande absolue à 100 c/s sera beaucoup plus petite que pour les fréquences élevées.

Le glissement de fréquence est un certain pourcentage de la fréquence enregistrée; autrement dit, la largeur de bande dont variera la fréquence, est une certaine partie d'un octave.

Il existe actuellement deux types d'analyseurs :

1°) — Les analyseurs à pourcentage de largeur de bande constant, dont la largeur de bande est une fraction d'octave ou bien un certain pourcentage de la fréquence centrale. A ce type d'analyseurs, se rattachent les appareils à contre-réaction, à circuits R. C. et à filtres.

2°) — Les analyseurs hétérodynes où le signal incident à mesurer bat avec celui d'un oscillateur local. Le battement à 50 c/s par exemple est amplifié dans un filtre sélectif, souvent à cristal.

Ces analyseurs ont une largeur de bande constante exprimée en c/s — 4 c/s par exemple pour un appareil commercial ordinaire.

La figure 6 donne les courbes de sélectivité pour ces deux types d'analyseurs — en haut, avec

échelle logarithmique, en bas avec échelle linéaire. En trait plein, l'analyseur à pourcentage de largeur de bande constant, et en pointillé l'analyseur hétérodyne.

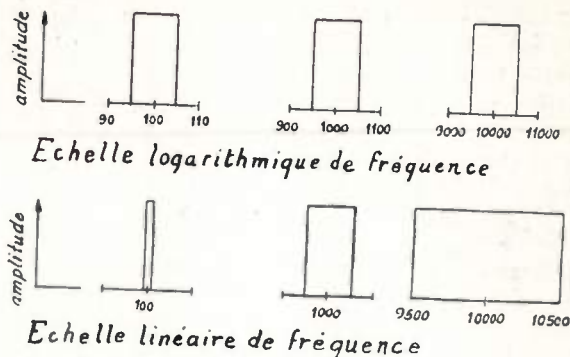


FIG. 5. — Représentation schématique de la modulation de fréquence d'un reproducteur de son — échelle logarithmique en haut, échelle linéaire en bas montrant les zones de déplacement de la fréquence.

Ainsi, pour faire une mesure précise d'amplitude, il faut que la modulation de fréquence reste à l'intérieur de la largeur de bande de l'analyseur.

Avec un analyseur hétérodyne de 4 c/s de largeur de bande, la modulation de fréquence à 8 000 c/s ne devra pas dépasser 0,5 ‰ pour que les mesures de distortion non linéaire soient possibles, limite que seuls les meilleurs reproducteurs de son peuvent atteindre.

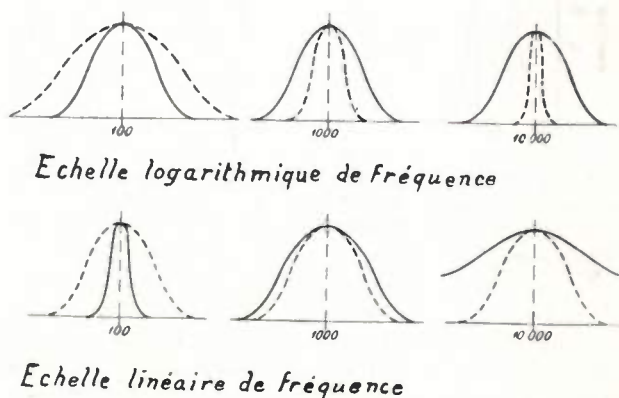


FIG. 6. — Courbes de sélectivité d'un analyseur à pourcentage de largeur de bande constant (en trait plein) et d'un analyseur hétérodyne à 4 c/s de largeur de bande (en pointillé). — Echelle logarithmique en haut. — Echelle linéaire en bas.

L'analyseur à pourcentage de largeur de bande constant donne-t-il des résultats exacts ?

Examinons la figure 7 où sont représentés, sur échelle de fréquence, une fondamentale et ses 5 premiers harmoniques pour les deux types d'analyseurs, avec les courbes de sélectivité correspondantes.

On voit, dans le cas de l'analyseur à pourcentage de largeur de bande constant (figure du haut) que le déplacement de fréquence est plus important que la largeur de bande et que, de ce fait, l'amplitude ne sera pas mesurée exactement; mais on voit aussi qu'il en est de même, et dans le même

rapport pour les harmoniques. Le taux de distortion mesuré sera donc correct, même si les courbes de sélectivité sont plus étroites que la zone de fréquence du reproducteur de son.

La figure du bas qui correspond à l'analyseur hétérodyne montre que si la fondamentale est donnée avec toute son amplitude, les harmoniques coupent la courbe de sélectivité ou tombent totalement en dehors. Pratiquement, pour ces mesures, les résultats avec ce type d'analyseur sont extrêmement décevants.

Remarque. — Avec l'analyseur à pourcentage de largeur de bande constant dont la sélectivité est variable, il est recommandé, pour éviter les fluctuations de lecture qui rendent la mesure imprécise, de choisir une largeur de bande couvrant autant qu'il est possible la zone de variation de fréquence de la tension à analyser.

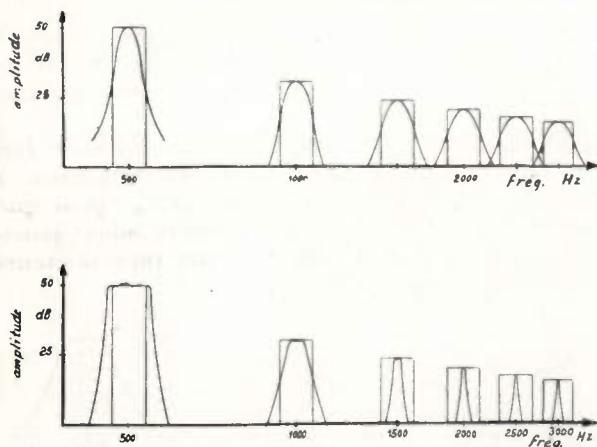


FIG. 7. — Zones de déplacement de fréquence pour une fondamentale à 500 c/s et pour ses harmoniques, avec :

En haut : les courbes de sélectivité d'un analyseur à pourcentage de largeur de bande constant.

En bas : les courbes de sélectivité d'un analyseur hétérodyne.

Analyse automatique. — Pour établir la courbe de variation d'amplitude de chacun des harmoniques en fonction de la fréquence correspondant à la courbe de réponse des fondamentales, comme nous l'avons montré (figure 1a) on peut penser au dispositif de la figure 8. Un générateur de signaux purs, un enregistreur logarithmique et un analyseur à pourcentage de largeur de bande constant sont liés mécaniquement de manière à rendre synchrones le défilement de la fréquence, le déplacement de la bande d'analyse et le déroulement du papier d'enregistrement.

L'appareil à contrôler, un magnétophone par exemple, est connecté entre l'oscillateur et l'analyseur dont la sortie attaque le potentiomètre d'entrée de l'enregistreur logarithmique. La courbe de réponse des fondamentales est d'abord enregistrée, la fréquence centrale de l'analyseur étant à tout moment la même que celle du générateur. Ensuite, pour l'harmonique 2, la fréquence centrale de l'analyseur est décalée en avant de 1 octave, pour l'harmonique 3 de 1 octave 1/2, etc...

sans rien changer, bien entendu, au fonctionnement mécanique synchrone des trois appareils.

Ce dispositif simple n'est toutefois pas réalisable facilement en pratique. Inconvénients précédemment cités du principe de l'hétérodyne — impossibilité de synchroniser les harmoniques avec la fréquence de l'oscillateur.

On peut, par contre, utiliser comme l'indique la figure 9, le principe de la contre-réaction : l'analyseur et le générateur constitués par des circuits RC synchronisés. Ce procédé ne permet facilement que de bien couvrir un octave en faisant varier 6 résistances : 3 pour l'oscillateur — 3 pour l'analyseur. Au delà, il faut remettre les

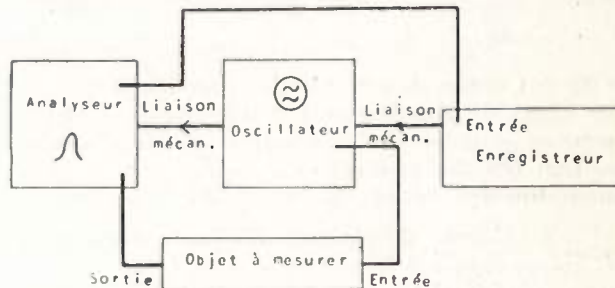


FIG. 8. — Principe idéal d'un dispositif d'enregistrement continu des courbes de réponse des fondamentales et des harmoniques.

résistances à leur position initiale et changer les condensateurs, ce qui conduit à de très grandes complications mécaniques. Par contre, la synchronisation est facile entre la fondamentale sur l'oscillateur et les fréquences harmoniques sur l'analyseur.

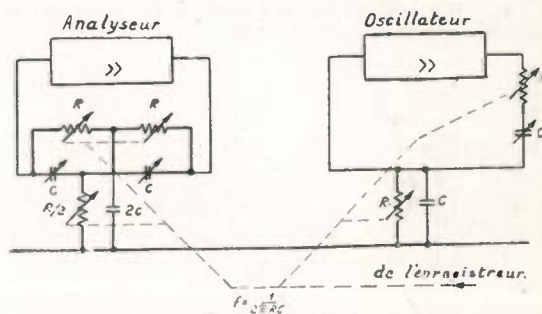


FIG. 9. — Schéma d'un oscillateur-analyseur à circuits RC synchronisés à commande unique.

Par exemple, pour l'harmonique 2, il suffit de donner aux condensateurs de l'analyseur une valeur 1/2 de ceux de l'oscillateur — pour l'harmonique 3, le 1/3, etc...

Néanmoins, comme nous l'avons dit, les difficultés mécaniques sont telles que, jusqu'ici, aucun appareil commercial complet pour cet usage n'a été réalisé.

ANALYSE SEMI-AUTOMATIQUE PAR FILTRES 1/3 D'OCTAVE.

L'enregistrement automatique est pourtant réalisé en utilisant des filtres à fréquence fixe et rela-

tivement larges. Le Spectromètre BRUEL et KJAER est constitué par 27 filtres 1/3 d'octave commutables successivement par un contacteur entre un préamplificateur et un amplificateur de sortie.

Sur le diagramme de la figure 10a, sont inscrites les caractéristiques des différents filtres et la figure 10b donne un exemple pour une fondamentale à 500 c/s et les harmoniques 2, 3, 4 et 5, couverts par les filtres correspondants.

Appareillage.

Les appareils utilisés sont ceux des figures 3a ou b, ou 4b, en connectant l'analyseur 1/3 d'octave.

Les mesures s'effectuent de la façon suivante :

1°) — Courbe de réponse des fondamentales.

Les filtres de l'analyseur 1/3 d'octave sont pratiquement hors service. L'appareil est mis sur sa position linéaire et fonctionne comme un amplificateur linéaire dans la gamme de 15 à 25 000 c/s.

2°) — Courbe de réponse des harmoniques.

Le diagramme sur lequel est tracée la courbe de réponse des fondamentales est replacé dans sa position initiale; échelle de fréquence en correspon-

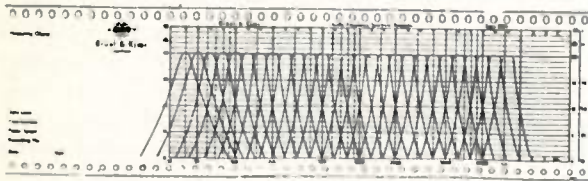


FIG. 10a. — Représentation détaillée des caractéristiques des filtres du Spectromètre BF BRUEL et KJAER.

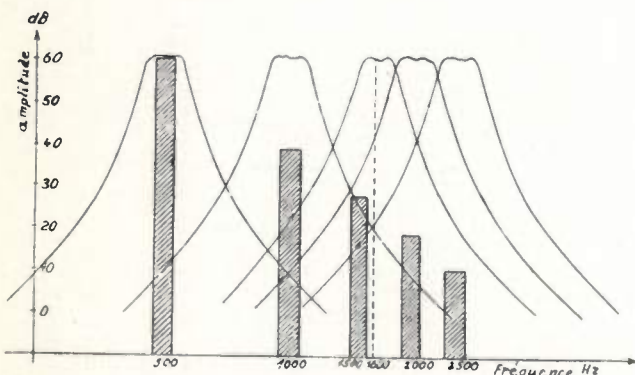


FIG. 10b. — Caractéristiques de fréquence de 5 filtres 1/3 d'octave couvrant les bandes de variation de fréquence d'une fondamentale à 500 c/s et des harmoniques 2 - 3 - 4 et 5.

dance avec celle du générateur. Le spectromètre est alors placé en position sélective, 1 octave en avant de la fréquence du générateur pour le 1^{er} harmonique par la commutation manuelle d'un filtre à l'autre suivant les fréquences lues sur l'échelle du générateur, fréquences qui peuvent être repérées, pour plus de facilité, par des traits de couleurs différentes suivant le rang de l'harmonique.

Pour le 2^e harmonique, le spectromètre est placé 1 octave 1/2 en avant, et ainsi de suite. (Voir sur le tableau de la figure 11 les valeurs des fréquences sur lesquelles il faut commuter les filtres pour les harmoniques 2, 3, et 4.

Toutes les courbes sont évidemment tracées sur l'enregistreur logarithmique avec le même potentiomètre d'entrée, en général de 50 db, de même qu'il ne faut à aucun moment et à aucun endroit changer l'amplification pour conserver le rapport exact des harmoniques par rapport à la fondamentale.

Fréquences nominales des filtres en HZ	Logarithme de fréquence centrale exacte	Fréquence exacte du filtre en HZ	Fréquence exacte de séparation	Fréquences auxquelles il faut commuter les filtres pour enregistrer les		
				2 ^e Harmonique	3 ^e Harmonique	4 ^e Harmonique
40	1,60	39,811	44,468			
50	1,70	50,119	56,234	22,3 Hz		
64	1,80	63,096	70,795	28,1		
80	1,90	79,433	89,125	35,4	23,6 Hz	
100	2,00	100,000	112,20	44,6	29,7	22,3 Hz
125	2,10	125,89	141,25	56,1	37,4	28,1
160	2,20	158,49	177,83	70,6	47,1	35,3
200	2,30	199,53	223,87	89	59,3	44,4
250	2,40	251,19	281,84	112	74,6	55,9
320	2,50	316,23	354,81	141	93,9	70,5
400	2,60	398,11	446,68	178	118	88,7
500	2,70	501,19	562,34	223	149	112
640	2,80	630,96	707,95	281	187	141
800	2,90	794,33	891,25	354	236	177
1000	3,00	1000,00	1122,0	446	297	223
1250	3,10	1258,9	1412,5	561	374	281
1600	3,20	1584,9	1778,3	706	471	353
2000	3,30	1995,3	2238,7	890	593	444
2500	3,40	2511,9	2818,4	1120	746	559
3200	3,50	3162,3	3548,1	1410	939	705
4000	3,60	3981,1	4466,8	1780	1182	887
5000	3,70	5011,9	5623,4	2230	1490	1120
6400	3,80	6309,6	7079,5	2810	1870	1410
8000	3,90	7943,3	8912,5	3540	2360	1770
10000	4,00	10000,0	11220,0	4460	2970	2230
12500	4,10	12589	14125	5610	3740	2810
16000	4,20	15849	17783	7060	4760	3530

FIG. 11. — Tableau des différents filtres avec leurs fréquences nominales en accord avec les nombres de Renard. Les fréquences exactes auxquelles on doit changer de filtre pour l'enregistrement des harmoniques sont indiquées dans les 3 dernières colonnes.

La sélectivité des filtres représentée figure 10a permet d'enregistrer l'harmonique 2 à 2^e de la fondamentale, — les harmoniques de rang plus élevé à moins de 1.

Il est évident que le taux de distorsion du générateur utilisé limite les taux de distorsion mesurables et la précision des mesures possibles. En général, le meilleur taux que l'on puisse atteindre, pour un générateur, va de 0,2 à 0,25 %. Il n'est donc pas possible d'envisager valablement l'enregistrement d'harmoniques d'amplitude inférieure à 0,5 % de la fondamentale. Cette limite, toutefois, couvre largement les exigences des mesures en ce qui concerne les reproducteurs de sons.

Remarque. — Il convient de citer quelques inconvénients de cette méthode.

a) — Les harmoniques 6 et 7 tombant dans le même filtre, les mesures se trouvent normalement limitées à l'harmonique 5. Pour les reproductions de sons, les harmoniques 2 et 3 sont de loin les plus gênants, et, en tout cas, les harmoniques supérieurs au 4^e n'ont aucune signification pratique.

b) — Le fonctionnement n'est pas encore complètement automatique, puisqu'il faut commander à la main la commutation successive des filtres. On ne peut, en outre, éviter qu'il se produise un petit décrochement au passage d'un filtre au suivant, décrochement d'autant plus important que l'avance ou le retard à la commutation sera plus grand. Néanmoins, ces décrochements venant à intervalles réguliers, il est facile de les séparer des fluctuations véritables de la courbe. Même avec un pas très court, un fonctionnement complètement automatique n'éliminerait pas ces petits sauts dans les courbes d'enregistrement des harmoniques.

UTILISATION D'UN FILTRE À FLANC RAIDE DANS LA MESURE DU PLEURAGE.

Revenant à la figure 10a, nous voyons que la raideur de flanc des filtres du spectromètre 1/3 d'octave à fréquence fixe atteint au maximum 120 db par octave. Cette caractéristique peut être utilisée de la façon suivante pour mesurer le pleurage (figure 12).

Le magnétophone en essai reçoit à l'enregistrement une tension constante à fréquence élevée:

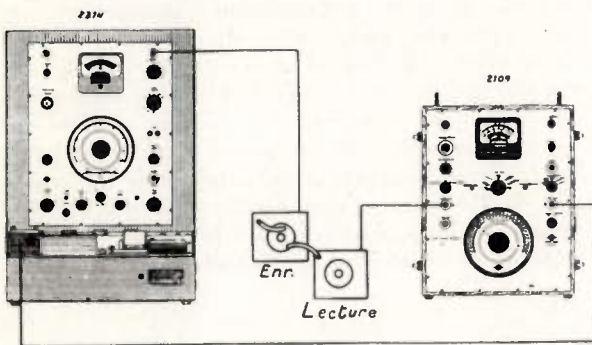


FIG. 12. — Mesure et enregistrement de la modulation de fréquence avec un filtre 1/3 d'octave.

correspondant à un filtre où la raideur de flanc est la plus forte; la plus petite variation de vitesse du magnétophone produira à la lecture une modulation de fréquence qui donnera lieu à une forte modulation d'amplitude à la sortie du filtre. Si ce filtre est connecté à l'enregistreur logarithmique

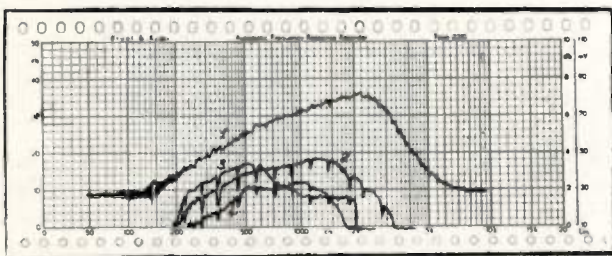


FIG. 13. — Exemple d'enregistrement semi-automatique de la caractéristique de réponse des fondamentales et des harmoniques 2-3 et 4 en fonction de la fréquence, entrée et sortie électriques.

l'entrée et la sortie électriques. Si ce filtre est connecté à l'enregistreur logarithmique

que, on obtient directement l'enregistrement de la modulation de vitesse d'un reproducteur de son.

Remarque. — Il est intéressant de choisir une fréquence élevée, mais il faut de préférence travailler dans une partie plane de la caractéristique de réponse du reproducteur pour ne pas superposer aux variations de tension dues à la modulation de vitesse, les variations de tensions dues éventuellement à une pente de la caractéristique de réponse.

D'autre part, il faut tenir compte des irrégularités matérielles — celles du support magnétique par exemple, qui introduisent, elles aussi, des variations d'amplitude. Pour compenser ces deux dernières influences, il est possible de saturer le

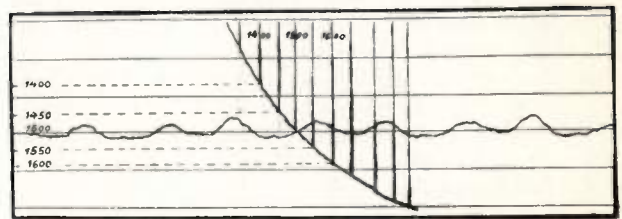


FIG. 14. — Diagramme d'enregistrement du pleurage d'un appareil enregistreur-reproducteur pour la dictée avec entrée et sortie électriques.

préamplificateur du spectromètre, mais cela surcharge aussi l'amplificateur de sortie. Il est préférable d'utiliser la sortie directe du filtre sur une impédance élevée. En se plaçant sur le flanc droit de la caractéristique pour éviter ces distorsions supplémentaires, seules sont conservées les variations d'amplitude dues à la modulation de fréquence.

La pente de 120 dB par octave correspond à 2 dB par % de modulation de fréquence.

Sur l'enregistreur logarithmique, avec un potentiomètre d'entrée de 10 dB, on obtient des résultats tout à fait sûrs pour une modulation de fréquence de 0,25 %.

RÉSULTATS.

Les figures 13 et 14 montrent les résultats de mesures effectuées sur un appareil enregistreur-reproducteur pour la dictée du courrier.

Le diagramme de la figure 13 montre la courbe de réponse des fondamentales et celle des harmoniques 2 — 3 — 4.

La figure 14 donne sur le diagramme d'enregistrement du pleurage, celui de la partie droite de la caractéristique du filtre utilisé, donnant ainsi un étalonnage d'amplitude.

L'enregistreur reproducteur de son pour la dictée fait partie de la catégorie des appareils les meilleur marché. Sa qualité, en contrepartie, n'est pas très brillante, comme le montre les 2 diagrammes ci-dessus qui définissent d'une manière complète la qualité d'un reproducteur de son.

SUR L'APPLICATION DE L'ENREGISTREMENT A L'ÉTUDE DE L'AUDITION ET A L'AUDIOMÉTRIE

PAR

MM. P. CHAVASSE et B. VALLANCIEN

C'est un fait, dès longtemps reconnu, mais dont l'évidence s'impose chaque jour davantage, que les disciplines les plus diverses peuvent avoir entre elles des relations d'interdépendance qui, pour être imprévisibles ou inattendues, n'en sont pas moins fréquemment mises à profit dans la pratique courante de certaines techniques. Tel est le cas de l'« Enregistrement » et de l'Audiologie, qui semblaient correspondre à des préoccupations et à des objets fondamentalement distincts et très éloignés les uns des autres.

Or, l'orientation actuelle des recherches médicales, la multiplication des épreuves soit pour dépister une surdité, soit pour contrôler son évolution, soit pour évaluer le degré d'aptitude sociale ou professionnelle de sujets relevant de certaines maladies, ou candidats à divers emplois, soit enfin, pour caractériser la « nuisance » de telle ou telle activité ou occupation, conduisent à étudier systématiquement, et presque en série, l'audition d'un personnel très nombreux. Quand on sait la longueur des examens audiométriques, tels qu'ils sont pratiqués dans les Centres scientifiques les plus objectifs, et la fatigue qu'ils représentent pour le malade comme pour le médecin, quand on apprécie le degré d'incertitude qu'ils conservent trop souvent du fait du matériel ou de l'opérateur, s'ils ne sont pas exécutés par des spécialistes sérieux, munis d'un appareillage scientifiquement défini et étalonné, on ne peut que se féliciter de tout ce qui tend à rendre l'examen plus automatique, plus objectif, plus sûr, plus scientifique.

En outre, sans précautions spéciales, les résultats des épreuves risquent de différer sensiblement d'un opérateur à un autre, ou suivant le matériel dont dispose un même opérateur. Il y a une vingtaine d'années, aux Etats-Unis d'Amérique, une enquête statistique et comparative, entreprise en vue de la normalisation des audiomètres, avait été particulièrement suggestive et significative à cet égard.

Enfin, les nouvelles méthodes d'audiométrie vocale, c'est-à-dire basées sur la reconnaissance de la parole, ou les recherches relatives aux seuils différentiels ou à l'effet de masque, imposent, elles aussi, un appareillage entièrement distinct et renouvelé, qui complique encore le travail de l'otologiste. L'audiomètre devient un appareil à fonctions multiples : il doit comporter, non seulement un oscillateur, mais un modulateur et un système de transmission et de reproduction de la

voix, avec niveau variable et déformation également modifiable, pour étudier les possibilités et les limites de reconnaissance des sons vocaux dans certaines conditions de reproduction et de déformation : ainsi, il peut être utile au praticien, qui désire se rendre compte de l'aptitude d'un malade à suivre une conversation téléphonique, de pouvoir le tester d'une façon systématique correspondant à l'usage courant du téléphone.

Tout ce qui est de nature à systématiser, à uniformiser et à simplifier l'étude de l'audition, ne peut donc qu'être accueilli avec faveur : nous croyons que les possibilités modernes de l'enregistrement doivent, précisément, permettre de sensibles progrès dans cette direction. Pour le constater plus clairement, il n'est pas inutile de se reporter au schéma général des tests audiométriques et, à la lumière des progrès actuels de l'enregistrement, de voir comment cette technique se prête à une normalisation généralisée et coordonnée de l'examen d'une surdité.

Rappelons donc, d'abord, l'évolution et les fondements de la technique audiométrique.

La nécessité de déceler et de chiffrer les déficiences de l'audition chez les sujets mal-entendant a été, depuis toujours, une des préoccupations majeures de l'otologiste.

Il y a trente ans encore, le spécialiste ne disposait que de moyens peu précis.

L'examen acoumétrique comportait deux parties : l'étude de la perception par voie aérienne, et l'étude de la perception par voie osseuse.

Pour la première, celle qui intéresse plus spécialement cette communication, on utilisait la « voix haute » et la « voix chuchotée ».

L'examen, d'après les « auteurs », était plus précis avec celle-ci, à condition de prendre les précautions suivantes : « Se placer dans une chambre silencieuse, suffisamment large, et non dans un couloir. Éliminer l'oreille non examinée, le malade ou un assistant bouchant cette oreille avec l'index mouillé ou vaseliné, introduit dans le conduit auditif ». « Se placer dans la direction du conduit auditif de l'oreille à examiner : ainsi les ondes sonores arrivent directement sur le pavillon, et, de plus, le malade ne peut lire sur les lèvres du médecin les syllabes prononcées ».

Enfin, l'observateur doit prononcer les mots employés avec « l'air résiduel », c'est-à-dire, l'air restant après une expiration normale, recommandation qui avait évidemment pour objet de faciliter le maintien d'un volume de voix approximativement constant et d'accroître, ainsi, la rigueur de la mesure.

Il commençait l'examen en s'éloignant le plus possible du malade (en pratique une distance de 6 mètres était jugée suffisante). Il lui faisait répéter à haute voix les mots prononcés; ceux-ci étaient, d'abord, des chiffres ou des nombres pris au hasard, 2, 13, 28, puis, on employait des lettres ou des mots composés. On utilisait, successivement, des phonèmes aigus et des phonèmes graves. Par exemple, dans la tonalité grave, ces phonèmes étaient ceux des voyelles *o*, *e* muet, des consonnes *m*, *n*, *c*, ou des mots : mouroon, melon, menton, chose. Dans la tonalité aiguë, on utilisait les voyelles, *a*, *é*, *i*, *u*, les consonnes *p*, *d*, *b*, *t*, les mots Vichy, Chacal, passer.

L'examen à voix haute était réservé aux surdités accentuées, car la longueur habituelle des salles d'examen ne permettait pas une telle épreuve : la voix de conversation était supposée entendue à une cinquantaine de mètres par une oreille normale.

Un deuxième inconvénient était le fait que l'oreille non examinée ne pouvait être totalement « éliminée » ou, pour employer un qualificatif plus en rapport avec la terminologie moderne, « masquée » : en effet, une oreille bouchée avec le doigt entend encore la voix haute.

L'examen acoumétrique proprement dit comprenait : L'examen à la montre pour lequel le médecin se servait soit de sa propre montre étalonnée préalablement sur des sujets normaux, soit d'une montre spéciale avec interrupteur. De toute façon, on utilisait une montre dont le bruit pouvait être perçu à une distance d'un mètre environ. À l'aide d'un mètre de tailleur, on appréciait alors la distance *X* cm à laquelle le malade commençait à entendre cette montre, et ainsi, disaient les auteurs, l'acuité auditive était jugée égale à $X/100$.

L'examen à l'acoumètre de Politzer semblait plus précis; celui-ci répondait à l'ut4 (512 vibrations doubles par seconde ou Hz) et s'entendait à 15 mètres. L'exploration du champ auditif était, en outre, assurée par un jeu de diapasons donnant l'ut grave, 32 vibrations doubles, et s'étendant dans l'aigu jusqu'à l'ut 71 4096 Hz, soit sur 7 octaves. On utilisait, pour les exciter, des marteaux percutants à ressort, de manière à les frapper toujours avec la même force, et qui produisaient ainsi un son d'intensité initiale constante, puis naturellement et lentement amorti. On notait alors pour le sujet examiné la durée de perception du son amorti rayonné par chaque diapason (40 secondes pour le 32 Hz et un sujet normal).

La limite supérieure des sons audibles était atteinte grâce au monocrorde de STRUYCKEN, dont le principe repose sur la vibration longitudinale d'un fil métallique; celle-ci était provoquée par le frottement longitudinal, sur la corde, d'un

tampon de feutre imbibé de chloroforme. Un curseur permettait de diminuer ou d'augmenter à volonté la longueur du fil, ce qui augmentait ou diminuait la hauteur du son produit. Des chiffres romains indiquaient la fréquence en kilocycles par seconde. Enfin, le sifflet de GALTON permettait de produire des sons de 6 000 à 80 000 Hz, c'est-à-dire, non seulement les fréquences supérieures du champ auditif mais même des ultrasons. Cet appareil comprend essentiellement une petite poire en caoutchouc, dont la pression met en mouvement, d'une façon très variable et grâce à un dispositif spécial, une anche vibrante contenue dans un tube métallique.

C'est ainsi qu'avant l'ère audiométrique était apprécié, plutôt que mesuré, le degré de surdité des oreilles déficientes.

Si nous avons cru utile d'esquisser rapidement cette revue historique, c'est que les moyens de la technique moderne ont parfois permis de reconnaître le bienfondé d'« antiques méthodes » et, projetant une clarté nouvelle sur leurs fondements anciens, leur donnent des bases scientifiques précises ainsi que la généralité dont elles étaient dénuées. Elles ont, de la sorte, reçu une « promotion » du stade de l'empirisme à celui de la technique expérimentale : tel est, tout spécialement, le test au diapason dont l'objet est de mesurer le temps d'amortissement (audible), après le choc initial, temps qui, exprimé en secondes, est réellement proportionnel au nombre de décibels qui caractérise la déficience auditive. Tel est aussi le cas du test à la montre qui interrogeait l'oreille avec des sons de fréquences élevées et de très courte durée, dont l'intérêt s'est affirmé, en quelque sorte, a posteriori, car il permet de reconnaître l'altération d'éléments du mécanisme auditif particulièrement importants pour la reconnaissance du langage parlé.

Les développements de la technique électronique et l'apparition de générateurs de basse fréquence allaient ouvrir une ère de grands progrès, car le son qu'émettent les nouvelles sources peut être dénué d'harmoniques, stable, réglable en durée et avoir une intensité définie et variable à volonté; enfin, des mesures précises d'intensité peuvent être effectuées aux bornes du générateur de son (haut-parleur ou écouteur), ou avec des sonomètres soigneusement étalonnés, ce qui permet de contrôler l'intensité du son émis.

On sait tous les services rendus par les audiomètres. Malheureusement leur prix élevé, leur fragilité, leurs conditions même d'utilisation en font des appareils réservés à des centres particuliers ou à des spécialistes exercés. De plus, ils ne semblent pas nous renseigner d'une façon précise sur la possibilité pour le sujet de comprendre des mots ou des phrases, donc de suivre une conversation.

Ainsi, l'audiométrie, qui connaît actuellement une grande vogue, paraît-elle devoir rendre plus de services au spécialiste, préoccupé de définir le siège des lésions et la sanction thérapeutique qu'elles comportent, qu'à l'audiologiste pour apprécier le pourcentage d'intelligibilité d'une oreille

sourde. « Et l'on peut se demander, écrivait déjà Causé, en 1939, si l'indifférence des auristes devant les méthodes nouvelles ne tient pas surtout à une habitude mentale, celle qui consiste à raisonner en anatomiste ».

Devant cette impuissance de l'audiogramme à nous renseigner complètement sur l'état de l'audition du sujet, c'est-à-dire en définitive, sur sa capacité de comprendre, d'interpréter le message qui lui est envoyé, nous pensons que les récents progrès réalisés dans l'enregistrement et la reproduction des sons sont susceptibles de fournir un matériel adéquat de mesure et des possibilités beaucoup plus étendues.

S'opposant à cette audiométrie analytique, à plus proprement parler médicale, dont les épreuves se multiplient de jour en jour afin de cerner de plus près le diagnostic lésionnel, nous envisageons ici une audiométrie plus synthétique, psycho-physiologique, considérant l'audition comme un tout et s'inscrivant davantage dans le cadre de l'aspect social, professionnel, de la lutte contre la surdité.

C'est l'élévation du taux de répétition, les difficultés de comprendre les phrases énoncées à voix faible, ou mal articulées, et surtout le déficit d'intelligibilité dans le bruit ambiant qui constituent les premiers signes d'une surdité naissante et qu'il faut pouvoir détecter et mesurer.

D'ailleurs, l'audiométrie enregistrée permettra au praticien de réunir dans un même appareil les deux formes de sources sonores d'examen qui sont d'usage le plus fréquent :

1° *Les sources tonales* : sons de diverses fréquences pures servant à interroger les diverses régions du champ auditif, ou sons de bandes « découpées » préalablement dans un bruit « blanc » à spectre uniforme, suivant une technique nouvelle qui semble assez prometteuse. De tels sons pourraient être enregistrés suivant une loi d'intensité décroissante ou conventionnellement rythmée, le praticien se bornant à lire sur un repère l'intensité à partir de laquelle le sujet signale la disparition de toute sensation sonore pendant le déroulement du « film ».

Cette forme d'examen serait, naturellement, étendue aux sons « impulsifs » de durée régulièrement croissante ou décroissante, eux aussi enregistrés, qui permettraient de déterminer le temps de reconnaissance ou d'identification, c'est-à-dire la « constante de temps » de l'oreille, ce que l'oto-logiste ne peut que difficilement faire en l'état actuel de la technique audiométrique.

Enfin, elle se prêterait également à la mesure des effets de masque, comme à l'étude des phénomènes de sensibilité différentielle en fréquence ou en intensité, et à celle du « recrutement ». Il suffirait que le schéma de l'examen ait été fixé d'avance conventionnellement et fidèlement enregistré.

2° *Les sons du langage*. Nous passons volontairement sur les autres possibilités de ces méthodes, qu'il est facile d'imaginer ou de pressentir, pour arriver au deuxième test audiométrique, celui de

la reconnaissance de la voix parlée. Un tel test reposerait sur l'usage de listes de mots ou de phrases d'essai, préalablement enregistrés, avec un grand soin, soit dans le silence, soit dans le bruit, et présentés au patient dans des conditions de volume ou d'intensité régulièrement croissante ou décroissante. Le sujet n'aurait qu'à répéter ou à inscrire ce qu'il aurait entendu ou reconnu. Là encore, la valeur de l'intensité liminaire de reconnaissance, ou la valeur de la proportion de phonèmes correctement reçus, permettrait de fixer le degré de surdité pratique du sujet dans le silence ou dans le bruit.

Cette technique s'apparente directement à celle des téléphonistes, quand ils cherchent à évaluer l'effet des distorsions, des bruits ou de l'affaiblissement sur la qualité des conversations téléphoniques. L'appendice n° 1 donne un exemple de listes de mots français choisis et groupés de manière que les « fréquences de retour » des sons qui les composent soient les mêmes que dans la langue courante. Elles sont ainsi statistiquement représentatives de la structure phonétique du français. Elles sont d'un des types établis par le Médecin-Colonel FALCONNET et par M. FOURNIER, pour les besoins de l'audiométrie pratique. L'appendice n° 2 se réfère à un type de liste de logatomes espéranto utilisés pour mesurer la « netteté » d'un système téléphonique, c'est-à-dire l'intelligibilité des communications qu'il transmet (technique à laquelle l'application des possibilités données par l'enregistrement ne paraît pas à priori déraisonnable).

Mais, le test audiométrique pourrait être poussé plus loin, en ce sens que la présentation de phonèmes, systématiquement déformés, offrirait un moyen de juger de la gêne qu'éprouve le sujet sourd à les reconnaître. L'effet de filtres passe-haut, passe-bas, passe-bande pourrait être ainsi facilement mis en évidence grâce à des préparations vocales préliminaires. Une contribution importante serait vraisemblablement apportée par ce moyen à la solution du problème de la correction sélective de l'audition déficiente, correction dont le choix pourrait être systématiquement guidé dans chaque cas particulier.

Parmi les variantes de ce problème de l'écoute intelligible concernant l'audition de conversations émises suivant des rythmes plus ou moins rapides et avec une intensité moyenne, une hauteur moyenne ou un timbre également variés, il faut classer au premier plan celle de l'aptitude à suivre une conversation téléphonique. On imagine aisément une conversation téléphonique enregistrée dans des conditions normales — moyenne ou extrême — et présentée au sujet. Par la difficulté que celui-ci éprouverait à reconnaître, ou à répéter, les éléments de la conversation entendue, le praticien se ferait une opinion assez précise de la capacité auditive du sujet, qui permettrait de le guider en vue du choix d'appareils spéciaux, ce qui apporterait une contribution à la question si complexe et si controversée du « sourd au téléphone ».

Ajoutons à cette liste d'épreuves classiques, facilitées par l'enregistrement, celle de la fatigabilité du nerf auditif par prémasquage, le sujet devant répéter des phonèmes (chiffres, mots) énoncés à voix faible après audition d'un bruit d'intensité et de durée repérées.

Nous avons, au hasard, envisagé quelques possibilités, entre bien d'autres, de ce genre de recherches; leur liste serait longue et il est à présumer qu'elles se développeraient dans des directions diverses, mais, soit sur le plan pratique, soit sur le plan scientifique, elles semblent, dès maintenant, infiniment intéressantes. Il est toutefois remarquable qu'elles n'aient pas été plus tôt mises à profit : c'est là où nous touchons en quelque sorte au point crucial du sujet : le lien essentiel par lequel il se rattache à la phase actuelle du développement technique de l'enregistrement, celle de la qualité.

*
**

En effet, pour que le praticien puisse remplacer les sons purs de son oscillateur, réglés soigneusement par des potentiomètres, ou encore ceux finement cadencés de sa montre, ou enfin les sons distinctement articulés de sa voix naturelle, par ceux d'un appareil, il faut que le mécanisme, la fidélité de ce dernier atteignent un très haut degré de perfection. Les acousticiens ont, depuis fort longtemps, étudié le problème général de la transmission et de la reconnaissance des messages, ainsi que les facteurs qui influent sur cette opération. Il n'est que de rappeler les travaux de FLETCHER, STEINBERG, SNOW, pour situer les sources remarquables auxquelles nous puisons encore en matière d'acoustique subjective.

Les trois paramètres essentiels qui déterminent, ou permettent de caractériser, la distorsion d'un système de transmission ou de reproduction après enregistrement (ces deux catégories d'appareils ont en fait le même objet qui est la retransmission d'un message) sont :

- la distorsion de fréquence;
- la distorsion d'amplitude;
- le bruit de fond.

En ce qui concerne le premier type de distorsion, il a été longuement étudié par les ingénieurs des Télécommunications qui ont montré, à l'aide de filtres passe-haut et passe-bas, comment variait l'intelligibilité ou, pour employer un terme plus spécifiquement technique, la netteté. La netteté, est, rappelons-le, le rapport du nombre d'éléments phonétiques correctement entendus et reconnus au nombre total d'éléments phonétiques énoncés et transmis. Les courbes, dès longtemps classiques, que nous reproduisons ci-après, sont suffisamment éloquantes à cet égard (figure 1.). Elles montrent que, pour une appréciation idéale, une bande de fréquence s'étendant de 100 à 6 000 Hz est nécessaire. Si, même, on désirait tenir compte, non seulement de l'intelligibilité, mais du timbre et du

« naturel » de la voix, ces limites de fréquence devraient être écartées et atteindre 50 et 10 000 Hz.

Le deuxième type de distorsion, relatif à la non-linéarité, a une importance moindre, mais qui tend à croître ou, du moins, à se manifester plus apparemment au fur et à mesure que la distorsion de fréquence diminue. C'est là, comme on le sait, un principe très général qui est représentatif de la croissante exigence de notre sensibilité, chaque fois que nous commençons à lui donner satisfaction, tant que la perfection théorique n'a pas été atteinte. A cet égard, on peut caractériser globa-

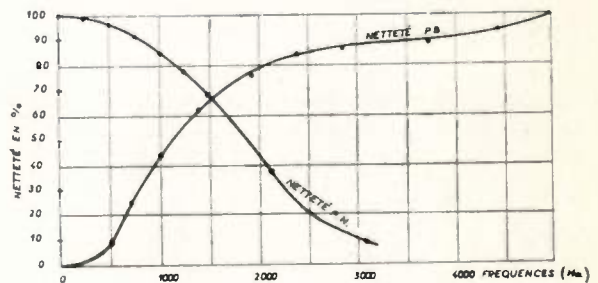


FIG. 1. — Variation de la netteté en fonction de la fréquence de coupure de filtres passe-haut et de filtres passe-bas.

lement d'après OLSON, suivant la progression du tableau ci-après, l'influence qu'exerce la distorsion non-linéaire sur la qualité de la parole : elle indique pour trois types de bandes passantes, limitées inférieurement à 30 Hz, et, supérieurement, aux fréquences respectives de 18 000 Hz, 9 000 Hz, et 4 500 Hz environ, les taux de distorsion considérés subjectivement comme juste perceptibles, comme tolérables, ou comme gênants pour l'audition de la parole.

Susceptibilité de l'oreille à divers taux de distorsion non linéaire pour des largeurs différentes de la bande des fréquences effectivement transmises

Taux de distorsion.

Bande de fréquences	Large	Moyenne	Etroite
Perceptible.....	0,01	0,015	0,04
Tolérable.....	0,03	0,045	0,08
Génant.....	0,045	0,06	0,12

Indépendamment de la gêne spéciale due à la distorsion non linéaire, celle-ci a en audiométrie une importance spéciale, en raison du grand domaine d'intensité que peut nécessiter l'étude des divers types de surdité et dans lequel les valeurs respectives et relatives des intensités enregistrées doivent être conservées.

L'effet du troisième type de distorsion, celle qui est due au bruit de fond, est mis en évidence par le fait qu'une tension psophométrique de 2 mV, correspondant à un tel bruit et appliquée aux

bornes d'un écouteur téléphonique, fait baisser la netteté d'une communication normale de 0,8 à 0,6 soit de 25 %. Il est donc indispensable que ce bruit soit ramené à une intensité, sinon inaudible, du moins négligeable (figure 2).

A la lumière de ces informations qui délimitent en somme les contours psychophysologiques du problème, nous pouvons examiner deux cas typiques de courbes de réponse relatives à des maté-

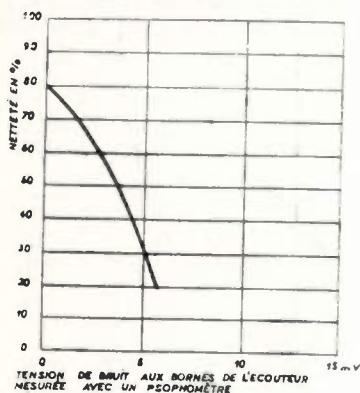


FIG. 2. — Variation de la netteté en fonction de la tension psophométrique due à un bruit de fond.

riels de reproduction phonographique : l'une ancienne, l'autre moderne. Les distorsions de fréquence et les distorsions non linéaires présentées respectivement par ces deux appareils, l'un : un disque de bonne qualité de 1935, l'autre : un magnétophone de ces toutes dernières années, ne permettent, d'ailleurs, que de préjuger des perfectionnements futurs (figure 3). La distorsion non linéaire n'y est pas évaluée globalement en pour-cent, mais sous une forme plus objective, celle de

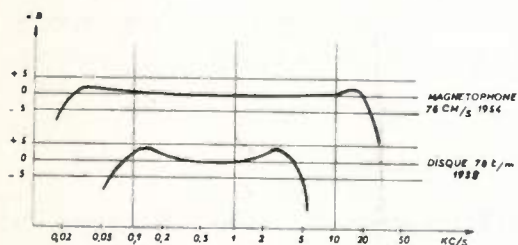


FIG. 3. — Courbes de réponse d'un disque type 1935 (78 t/mn) et d'un magnétophone type 1954 (76 cm/s).

l'intervalle d'intensité dans lequel la reproduction peut être considérée comme effectivement linéaire, c'est-à-dire, pour employer un terme technique spécifique, l'intervalle de fonctionnement dynamiques (figures 3 et 4).

Ces deux diagrammes éclairent l'importance des progrès réalisés puisque :

1° La bande de fréquence était, il y a une vingtaine d'années, limitée entre 50 et 5 000 Hz, alors qu'elle est maintenant étendue entre 10 et 20 000 Hz (même 25 000).

2° D'autre part, la zone de fonctionnement linéaire est élargie depuis 30 dB jusqu'à 60 dB.

3° Le niveau de bruit de fond, qui fixe la limite inférieure des intensités sonores liminaires utilisables, est abaissé d'une trentaine de décibels. Partant de ces qualités extrêmes, il est possible d'introduire sur ce fond de perfection, tels types de distorsion ou de contre-distorsion pré-enregistrés, qui pourront être classés dans un répertoire judicieusement gradué et qui permettront d'adapter scientifiquement les appareils de correction auditive à la forme des déficiences qu'ils doivent compenser.

Ces exemples font, semble-t-il, apparaître, mieux que tout autre commentaire, le bénéfice que la technique audiométrique peut retirer des perfectionnements réalisés en matière d'enregistrement.

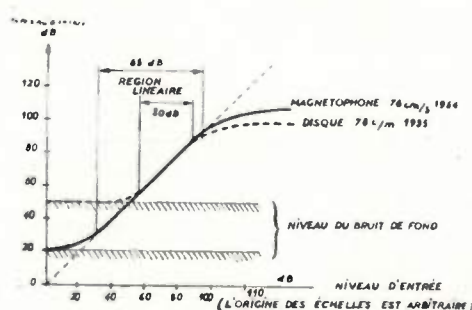


FIG. 4. — Courbes de réponse, amplitude de sortie/amplitude d'entrée, d'un disque 78 t/mn type 1935, et d'un magnétophone moderne type 1954.

Son emploi permet, en quelque sorte, de normaliser, avec le degré de qualité désiré, le type des signaux que l'on considère comme les mieux adaptés à la prospection audilogique. Symétriquement, l'étude de la phonation semble devoir retirer quelques avantages de l'enregistrement par la possibilité de faire entendre objectivement à un sujet donné, sa propre voix enregistrée. Il est, en effet, connu et expérimentalement démontré que, si nous réglons instinctivement l'intensité et le timbre de notre voix d'après ce que notre oreille en entend par « effet local », nous n'en ignorons pas moins l'aspect phonique qu'elle présente pour ceux qui nous entendent. L'enregistrement procure, précisément, grâce à ses progrès, le miroir sonore magique où nous pourrions, non pas nous reconnaître, mais nous apprendre à reconnaître un autre nous-même : celui qu'entendent ceux avec qui nous conversons, miroir qui donnera à tous et, surtout aux déficients, le désir et, parfois, le moyen de corriger les imperfections qu'ils possèdent à leur insu : quel nouveau chapitre voyons-nous, peut-être, ainsi s'ouvrir dans la technique de l'art oratoire !

En tout état de cause, et sans nous laisser conduire ou séduire par le fil ou le mirage d'une rêverie, sans doute scientifique mais aisément trompeuse, et soucieux de rester dans le domaine de la « note juste » et de la parole scientifique, nous serions, néanmoins, heureux que les perspectives que nous avons évoquées soient capables de

susciter un renouveau d'intérêt pour le problème métrologique de l'acuité auditive qui se situe ainsi dans le domaine des applications pratiques de l'enregistrement, applications sociales, médicales, techniques évidemment, artistiques parfois, nous le souhaitons aussi, au total essentiellement humaines. Ainsi ce Congrès de l'Enregistrement — s'il réalise ces espoirs — aurait marqué une date dans la technique audiométrique.

**

Pour préciser par quelques exemples ce que peuvent être les listes de mots enregistrés pour les essais de phonation, de transmission ou d'audition, nous en donnons, ci-après dans les appendices I et II, deux exemples d'usage pratique : le premier est celui d'une liste de « logatomes espéranto », chers aux téléphonistes et qu'ils utilisent pour évaluer en « pourcent » la proportion des reconnaissances correctes par un test de netteté ou d'intelligibilité, c'est-à-dire, la qualité d'un système téléphonique.

La deuxième concerne une liste de « mots français » groupés en listes statistiquement représentatives de la structure phonétique de la langue française et qui ont été établies par le Médecin-Colonel FALCONET et par M. FOURNIER pour les besoins de l'Audiométrie vocale.

Une annexe résume, d'autre part, les conditions générales qu'il semble opportun de réaliser pour l'organisation des essais.

Appendice I

guv	friz	pror	slad	tom
sut	kreng	nid	sec	plel
glup	piv	dres	cest	slis
mag	klaft	sep	stuc	rust
voft	trars	huz	ston	zeg
dong	grus	val	nor	tum
bev	vlars	bin	blat	lic
brot	spil	lis	gib	flin
mos	jof	ruf	keb	psor
stram	sak	srec	cas	fuc

Appendice II

Lac	laide	soif	rite	ligue
danse	bile	dalle	nuque	ronde
poule	mare	rire	tome	vigne
cire	taupe	songe	guêpe	sort
fève	sens	laisse	coule	dur
malle	chute	boîte	dites	code
rince	jade	lourd	muse	lave
tank	crime	rame	sonde	riche
rampe	prose	tôle	troupe	traîne
panne	vente	cœur	canne	nasse

ANNEXE

ORGANISATION SCHEMATIQUE DES ESSAIS

Les stimuli : le matériel phonétique.

Il pourra comprendre des sons purs à différents niveaux d'intensité, des bruits brefs, des transi-

toires, tops, clics, tic-tacs de montre, etc..., d'intensité et de durée variable (étude de la « constante de temps »), enfin des émissions vocales. Celles-ci pourront varier en :

Timbre, hauteur, volume, rythme.

La voix consistera en des émissions de sons, de lettres « isolées », de chiffres, de phonèmes, de logatomes, de mots et de phrases.

A ces essais exécutés avec des systèmes de haute fidélité, seront adjoints des essais avec déformation par filtres, passe-bandes, écoute téléphonique, etc... enfin avec masquage; dans ce dernier cas, le son masquant, bruit blanc, bruit de salle et ambiances diverses, sera enregistré en même temps que la voix;

D'autre part, il semblerait utile de prévoir des épreuves de fatigabilité du nerf auditif et de pré-masquage : après audition d'un bruit fort d'intensité et de durée repérées, l'auditeur serait invité à répéter des signaux (chiffres, mots), énoncés à voix faible, ce qui permettrait de déterminer le temps de récupération du nerf auditif.

Le matériel d'Enregistrement.

Il devra être de haute fidélité. Le microphone étalonné, dont on connaîtra la courbe de réponse, sera placé d'une façon correcte vis-à-vis du « parleur » ou du générateur de son; le volume et l'intensité seront contrôlés par un décibel-mètre, et notés sur l'enregistrement.

L'inscription se fera sur bandes magnétiques ou sur disques obtenus directement par gravure et non par pressage. La constance de la vitesse de défilement aura été soigneusement vérifiée pour éviter toute déformation due aux variations de vitesse; les amplificateurs seront examinés sous le rapport de leur double distorsion de fréquence et d'intensité qui devra demeurer faible; enfin, les générateurs de son comporteront un appareil permettant de contrôler la tension aux bornes et la courbe de réponse du haut-parleur. Ainsi vérifiée à tous les niveaux, l'inscription conservera une qualité et une constance indispensable à l'exécution de mesures correctes.

Les conditions d'écoute.

Le haut-parleur sera utilisé de préférence aux écouteurs; la dimension de la pièce d'examen, son insonorisation, son temps de réverbération seront étudiés de façon à donner une exacte connaissance de l'influence des ondes acoustiques sur l'oreille.

De même, seront prises en considération : la distance du sujet à la source sonore, l'orientation de la tête et les modifications apportées par la présence du corps de l'auditeur dans le champ acoustique. Il sera nécessaire de faire des mesures de façon à avoir une notion aussi exacte que possible de la pression des ondes sur le tympan.

Pour certains essais, il pourra être indiqué de prendre deux sources de son consistant en deux haut-parleurs commandés par deux enregistrements

séparés, l'un donnant le bruit d'ambiance, l'autre la parole. Ce procédé permet de modifier le rapport bruit-niveau de parole, à volonté, et d'obtenir une plus grande variété d'effets de masque, puisque les mots ne sont plus liés par l'enregistrement aux variations du bruit.

Un appareillage basé sur ces principes de fonctionnement est actuellement en cours de réalisation pour l'examen systématique de l'audition du personnel de la S. N. C. F. Nous remercions la direction médicale de ses services des renseignements qu'elle a bien voulu nous fournir à ce sujet.

L'ENREGISTREMENT DES FLUCTUATIONS DE VITESSE DES ENREGISTREURS A L'AIDE D'UN ANALYSEUR DE FRÉQUENCES MUSICALES

PAR

M. GRUTZMACHER et W. KALLENBACH

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig*

Introduction.

Les fluctuations de vitesse des enregistreurs représentent un caractère essentiel de la qualité des appareils d'enregistrement. Pour rester imperceptible, le pleurage ne doit pas excéder 0,2 % pour la musique, par exemple la musique de piano. Dans le cas des appareils dictaphones, des valeurs plus élevées sont admissibles. Pour mesurer des fluctuations très petites, un appareil a été étudié en Allemagne à l'Institut Radiotechnique, à Nürnberg (*Rundfunktechnisches Institut Nürnberg*), faisant usage de la démodulation de phase et permettant de mesurer le pleurage dans un

gistrement de la longueur des périodes d'une oscillation à l'autre, sans inertie. Au chapitre suivant, le dispositif est décrit et l'utilité de la méthode est montrée par quelques exemples.

Le dispositif enregistreur de fréquences sonores.

La disposition de l'appareil utilisé pour enregistrer les fondamentales du langage parlé est montrée par le diagramme d'ensemble (fig. 1). Les oscillations sonores du haut-parleur sont transformées par le microphone en tensions correspondantes qui, de leur côté, sont renforcées à l'aide d'un

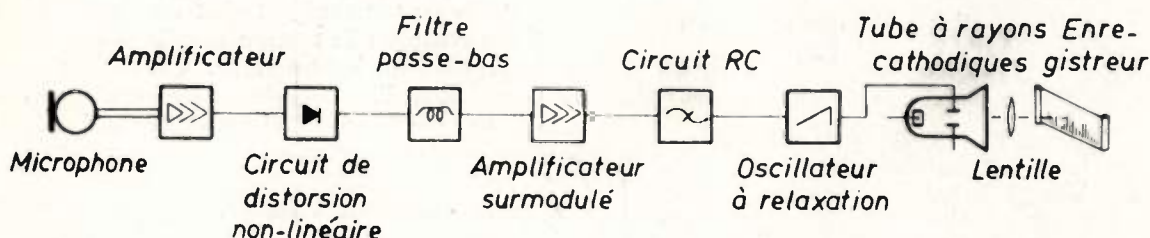


FIG. 1. — Diagramme d'ensemble de l'enregistreur de fréquences sonores

domaine de 0,1 à 1,5 %. L'appareil exige l'enregistrement d'une fréquence de 5 000 c/s et est destiné essentiellement à contrôler les enregistreurs de haute qualité utilisés dans les studios, où il a fait ses preuves. Souvent la mesure des fluctuations n'est plus possible dans le cas des appareils dictaphones parce qu'ils ne permettent plus l'enregistrement d'une fréquence de 5 000 c/s et, en outre, les fluctuations surmontent le domaine de mesure. Dans ce cas, l'enregistreur de fréquences sonores, conçu d'abord pour des recherches phonétiques, s'est révélé efficace. Il permet l'enre-

gistement. Dans le circuit suivant, les distorsions non linéaires sont produites, pour élever l'amplitude de la fondamentale, au moyen des fréquences différentielles des harmoniques supérieurs. Le circuit suivant se compose d'un filtre passe-bas dont la fréquence limite peut être adaptée à la hauteur du son du haut-parleur en quatre degrés entre 100 et 200 c/s. La tension résultante, à peu près sinusoïdale, est déformée à l'aide de l'amplificateur suivant surmodulé en une forme rectangulaire. La sortie de l'amplificateur surmodulé est reliée à un circuit RC de constante de

temps très petite, différenciant les ondes rectangulaires et formant des impulsions aiguës. Le principe des transformations diverses est montré figure 2.

Un oscillateur à relaxation suit cet amplificateur et sa tension en forme de dents de scie est utilisée pour dévier le spot lumineux d'un tube

de manière à livrer un enregistrement assez important sur le papier photographique. Au moment de parler, les impulsions sortant du circuit RC attaquent la grille du thyatron de l'oscillateur et synchronisent l'oscillation de relaxation correspondant à la fréquence fondamentale de la parole. Comme conséquence de la synchronisation l'am-

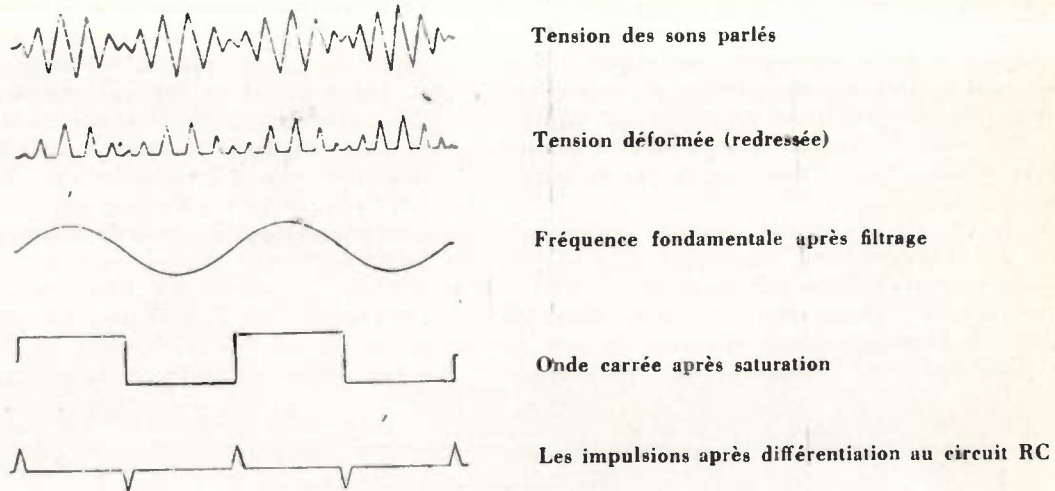


FIG. 2. — Transformation des sons en impulsions

à rayons cathodiques, spot qui est enregistré sur papier photographique défilant devant une lentille.

La fréquence de l'oscillateur de relaxation est ajustée à 50 c/s environ, au-dessous des fréquences fondamentales les plus basses de la voix humaine. Dans le cas où le microphone n'est pas attaqué par des oscillations acoustiques, le générateur produit des oscillations d'une certaine amplitude, ajustées

plitude de l'oscillation est diminuée d'un degré déterminé par la fréquence fondamentale. Supposons l'oscillation de relaxation linéaire et la fréquence attaquant 100 c/s, l'amplitude diminuera de moitié, dans le cas de 200 c/s d'un quart, etc..., c'est-à-dire que l'amplitude sera inversement proportionnelle à la fréquence. A dessein, l'oscillation de relaxation de ce dispositif n'est pas

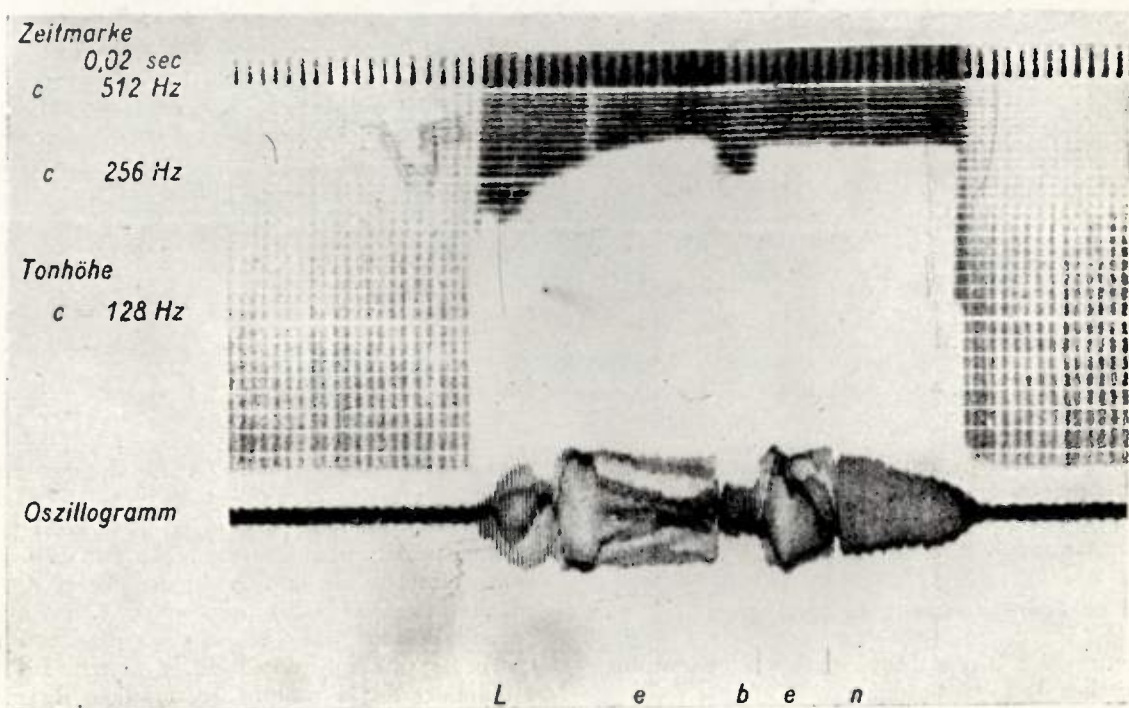


FIG. 3

linéaire mais correspond au chargement d'un condensateur par une résistance. Choissant des dimensions convenables, il est possible d'obtenir une échelle à peu près linéaire de la gamme musicale dans un domaine de deux octaves. Comme exemple, l'enregistrement du mot « *Leben* », pris dans une publication de GRUTZMACHER et LOTTER-MOSER de 1938, est reproduit figure 3. La vitesse du papier d'enregistrement est 10 cm/s, valeur qui est généralement utilisée dans les recherches phonétiques. A cette vitesse, les oscillations enregistrées sont approchées de manière à donner une courbe à peu près continue du mouvement mélodique. Par cette méthode, il est possible d'obtenir un enregistrement sans inertie de la parole ou du chant.

Dans le cas de la mesure des fluctuations de vitesse des enregistreurs sonores, on n'a qu'à remplacer le microphone par la sortie de l'enregistreur sonore. Quelquefois, il est désirable d'utiliser un filtre passebande d'octave au lieu du filtre passe-bas pour éliminer des oscillations

construction. L'enregistrement sonore se fait, dans ce cas, à l'aide d'une manchette magnétique grâce à laquelle la piste est enregistrée en spirale. La première ligne présente le pleurage d'un appareil dont l'intelligibilité auditive est suffisante, quoique les fluctuations atteignent une valeur de 6 %. Dans le cas du deuxième appareil (ligne 2), les fluctuations sont si grandes que l'intelligibilité est perturbée considérablement. Les valeurs mesurées atteignent jusqu'à 10 %. Le troisième appareil (ligne 3) est de qualité médiocre, les fluctuations se trouvent entre les valeurs de ligne 1 et 2. L'appareil fut arrêté et remis en marche deux fois et l'on voit que les temps d'arrêt et de départ sont très courts (respectivement 1/50 et 1/100 s). Les fréquences de fluctuations d'ordre de 50 c/s sont causées par le moteur à courant alternatif et produisent une rigueur du son. En outre, on observe à chacun des trois enregistrements une interruption de l'oscillation qui peut être due au recouvrement des bouts collés de la manchette.

Les figures suivantes se rapportent à un magné-

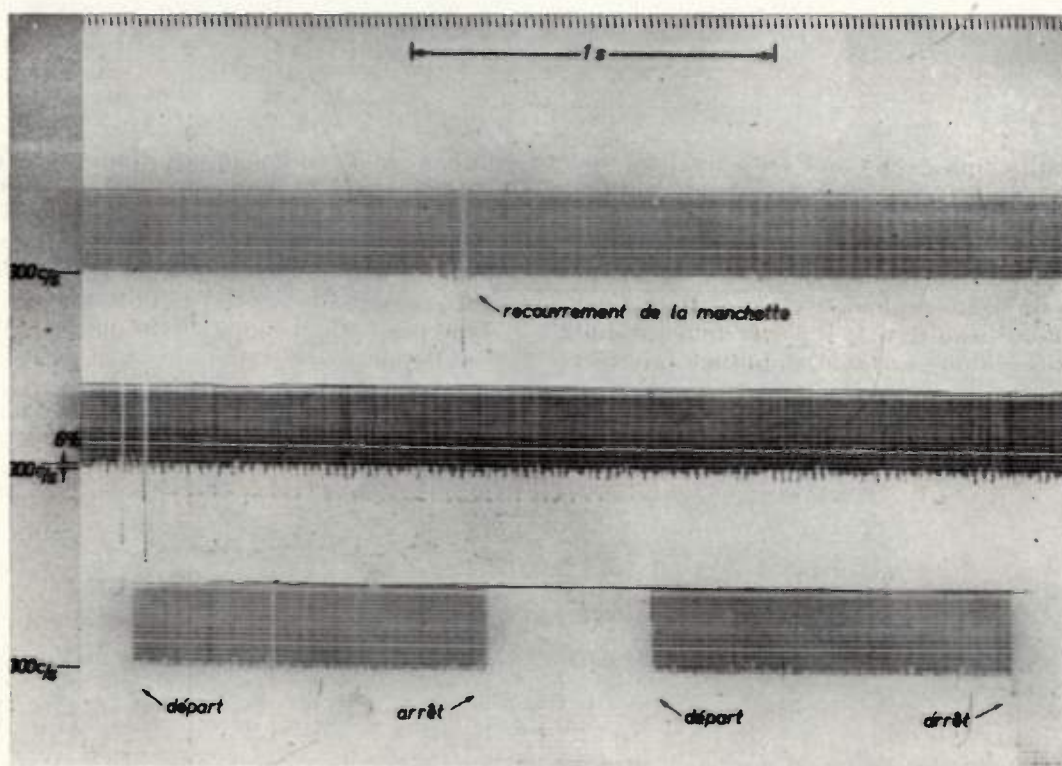


FIG. 4. — Les fluctuations de vitesse de 3 appareils dictaphones à manchons de qualité différente

parasites basse fréquence. Pour mesurer le pleurage, il faut enregistrer d'abord une fréquence constante, par exemple 300 c/s et alors reproduire cet enregistrement.

Résultat de l'enregistrement du pleurage.

Les figures 4 à 8 montrent quelques exemples d'application de la méthode.

La figure 5 contient les enregistrements de trois appareils dictaphones différents, mais de même

tophone de haute qualité originalement construit pour les vitesses de 76,2 et 38,1 cm/s. Les fluctuations, à ces vitesses, sont inférieures à 0,1 %. Pour rendre possibles des mesures de l'ouverture de la fente effective de la tête de mesure et des pertes magnétiques, il était nécessaire d'appliquer un second moteur pour les vitesses de 19,05 et 9,53 cm/s. Par manque de place, ce moteur fut installé au dehors de la plaque de montage du magnétophone en un endroit peu favorable pour le mouvement du ruban magnétique. Les premiers résultats

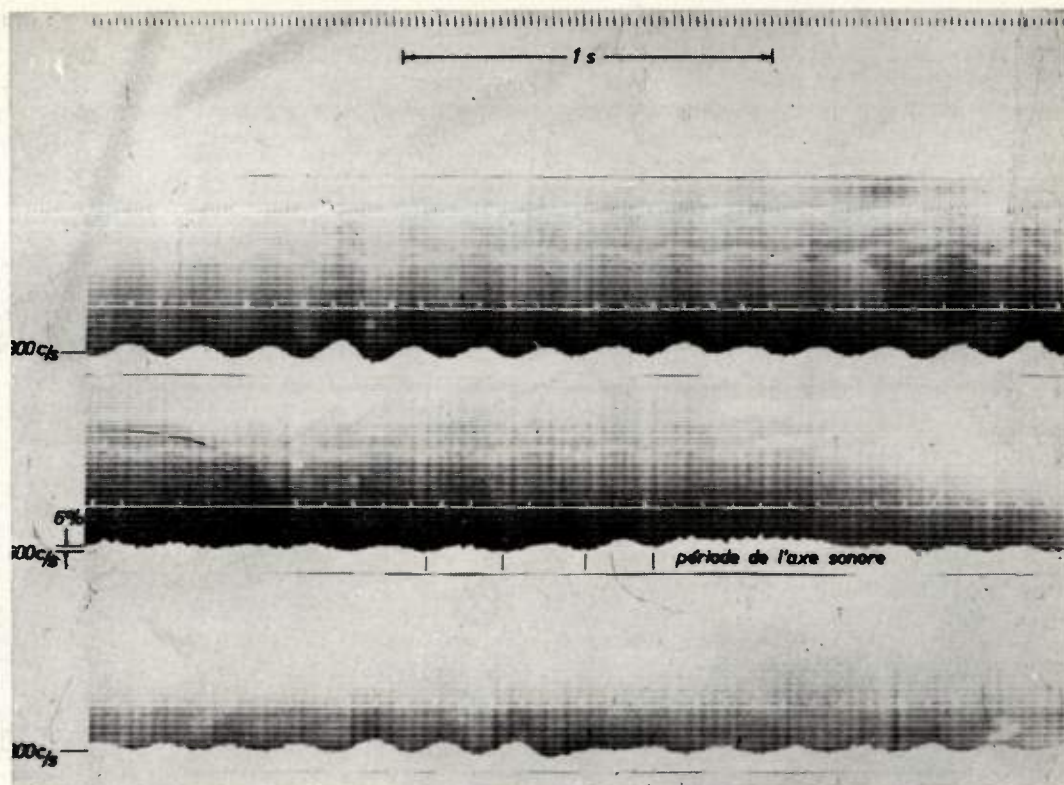


FIG. 5. — Les fluctuations de vitesse d'un magnétophone après modification de la vitesse de 76,2 cm/s à 9,53 cm/s

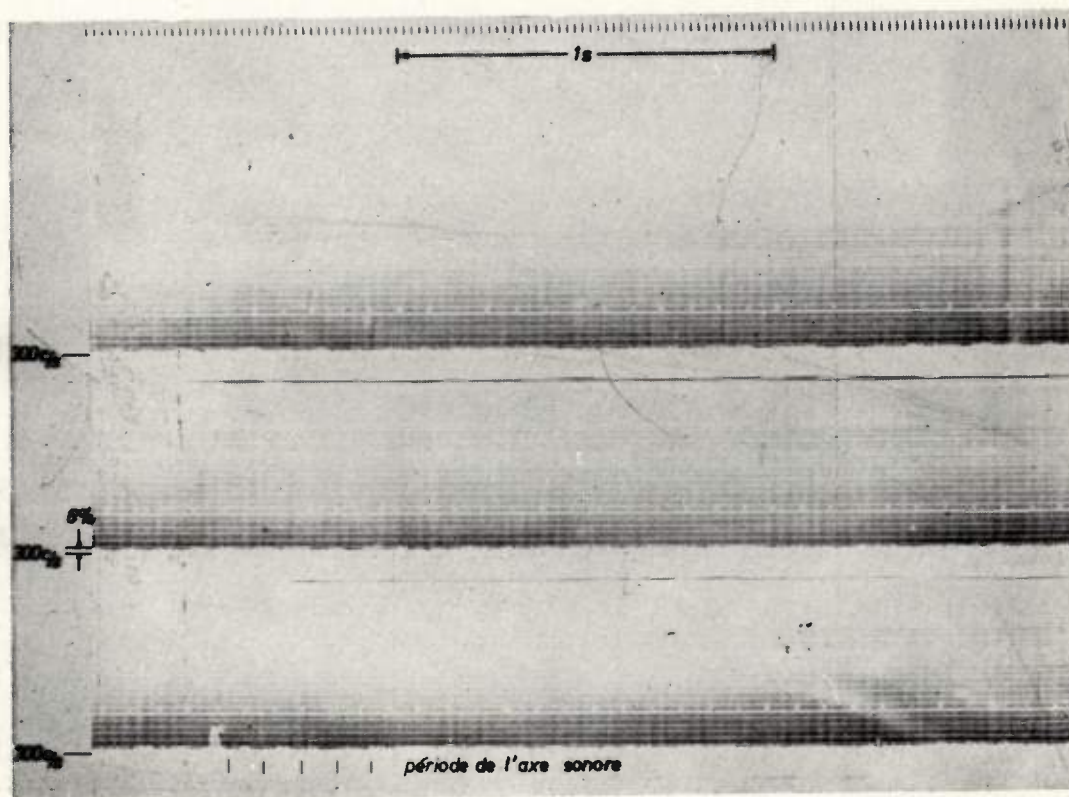


FIG. 6. — Les fluctuations de vitesse d'un magnétophone après modification de la vitesse de 76,2 cm/s à 19,05 cm/s

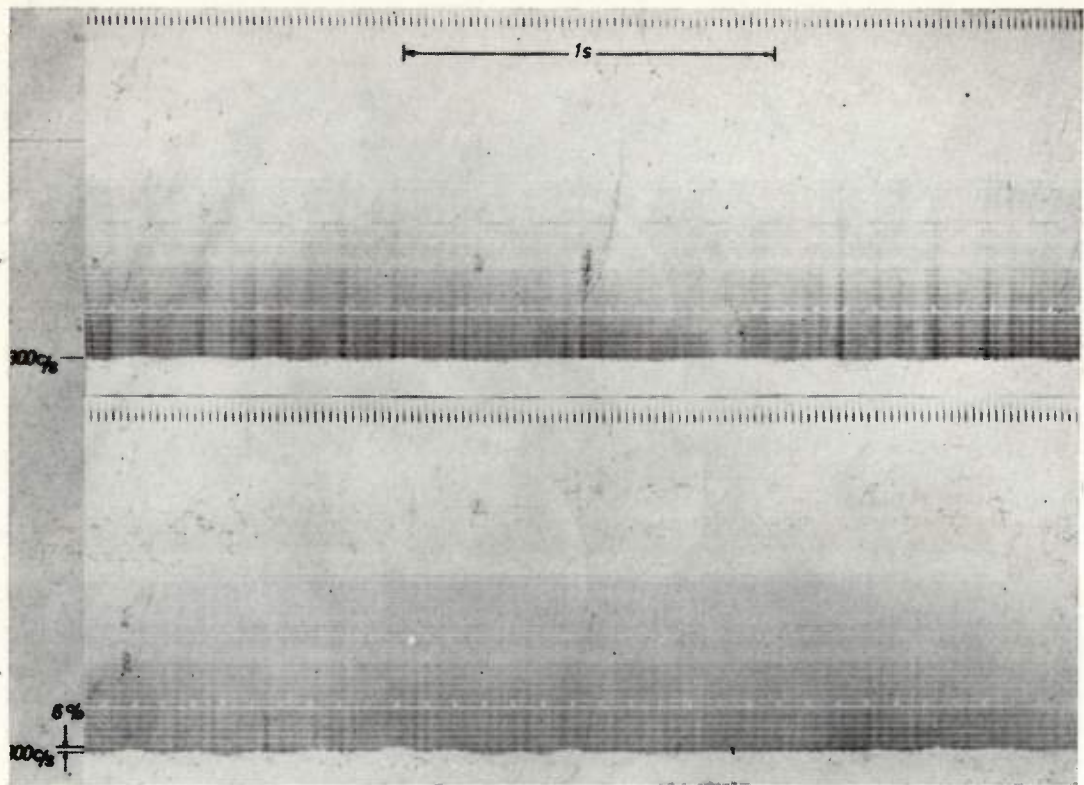


FIG. 7. — Réduction des fluctuations de vitesse à l'aide d'un volant (9,53 cm/s)

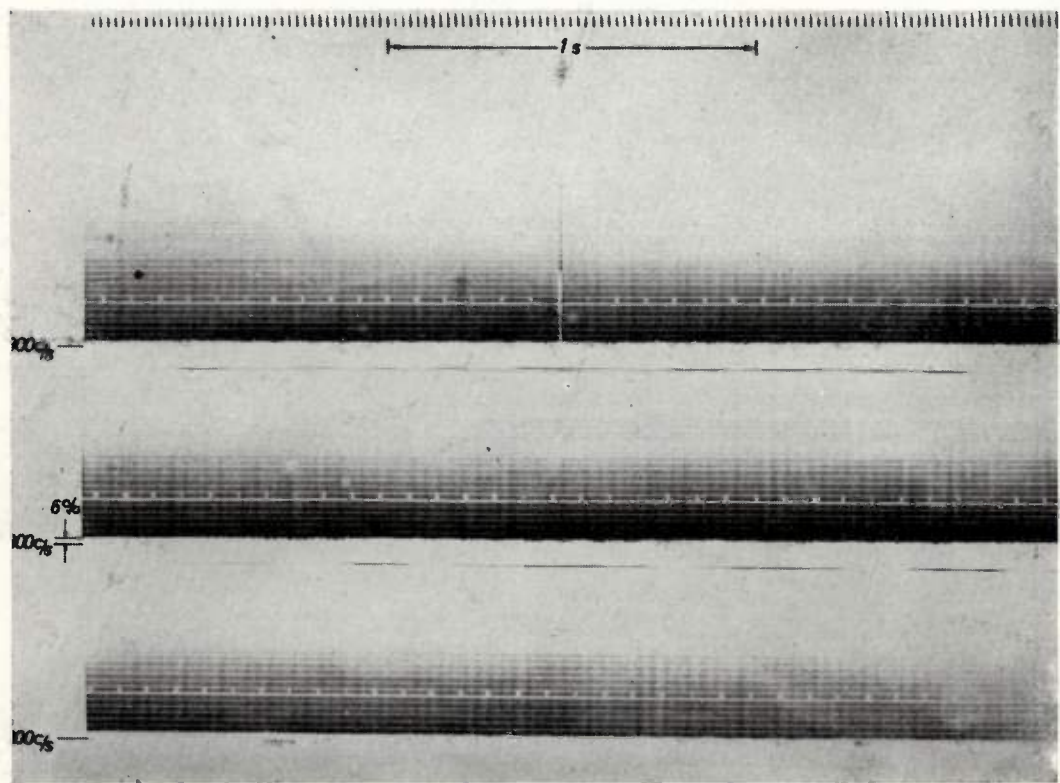


FIG. 8. — Réduction des fluctuations de vitesse à l'aide d'un volant (19,05 cm/s)

obtenus sur dispositif sont reproduits dans les figures 5 et 6. On observe une modulation d'amplitude assez grande, presque sinusoïdale, d'une fréquence d'environ 5 c/s à la vitesse de 9,53 cm/s et d'une amplitude plus petite de fréquence de 10 c/s environ à 19,05 cm/s. Cette modulation dérivant d'une excentricité du rouleau sonore de quelques centièmes de millimètres, produit un vibrato excellent sans perturbation essentielle de l'intelligibilité. En poursuivant l'enregistrement à 9,53 cm/s, on voit que l'amplitude de la modulation change de quelques secondes. Cet effet résulte d'une superposition des fluctuations à l'enregistrement et à la reproduction du son et est causé par le glissement changeant du ruban magnétique. Le phénomène est à observer aussi dans le cas des appareils de haute qualité, cependant à une amplitude plus petite. Aux dernières figures 7 et 8, les fluctuations sont montrées après l'installation d'un volant égalisant, entre la tête de reproduction et le rouleau sonore du second monte. Le succès de cette mesure est évident, quoique les fluctuations n'aient pas disparu complètement. Par diminution de l'excentricité, il a été possible de réduire le

pleurage à un tel degré que les mesures exécutées peuvent être considérées comme satisfaisantes.

Nous avons voulu montrer par quelques exemples l'efficacité de la méthode de mesure du pleurage des enregistreurs. Par un dispositif accessoire décrit par GRUTZMACHER et LOTTERMOSER en 1940, il est possible de rendre plus sensible la méthode, mais grâce à l'appareil de RTJ mentionné dans l'introduction, cette élévation de la sensibilité n'est plus de grande importance.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GRUTZMACHER. — M. und LOTTERMOSER, W., Über ein Verfahren zur trägheitsfreien Aufzeichnung von Melodiekurven Akust. Z. 2, 1937, 242.
- [2] GRUTZMACHER. — M. und LOTTERMOSER, W., Die Verwendung des Tonhöhenschreibers bei mathematischen, phonetischen und musikalischen Aufgaben. Akust. Z. 3, 1938, 183.
- [3] GRUTZMACHER. — M. und LOTTERMOSER, W., Die Aufzeichnung kleiner Tonhöhenschwankungen, Akust. Z. 5, 1940, 1.
- [4] KALLENBACH. — W., Eine Weiterentwicklung des Tonhöhenschreibers mit Anwendungen bei phonetischen Untersuchungen, Akust. Beihefte 1, 1951, AB 37 — 42.

APPLICATIONS DE L'ENREGISTREMENT DANS LA MARINE

PAR

M. G. MEUNIER

Ingénieur en Chef du Génie Maritime

Je veux donner quelques indications sur l'emploi de l'enregistrement dans la Marine pour l'étude des bruits sous-marins.

Je signale seulement l'emploi très fréquent des enregistrements dans les appareils qui servent à l'entraînement des opérateurs des appareils d'écoute.

Les principaux bruits sous-marins sont le bruit de la mer elle-même, et des êtres qui y vivent, les bruits transmis par les machines des bâtiments, les bruits d'origine hydrodynamique dus au mouvement de la coque et surtout au mouvement des hélices. Ces derniers ont un spectre sensiblement continu qui s'étend jusqu'à 100 kc/s en décroissant d'environ 7 dB par octave. L'utilisation des ultrasons est comme vous le savez fréquente parce qu'ils permettent l'emploi d'appareils plus directifs. Ils sont d'ailleurs beaucoup moins affaiblis dans l'eau que dans l'air, sensiblement de 4 dB par km à 20 kc/s, de 30 dB par km à 100 kc/s.

Il est nécessaire de bien connaître les bruits que peut émettre un bâtiment ennemi, de réduire le plus possible le bruit de nos propres bâtiments, bruit qui les décèle et qui gêne leur propre écoute.

Le contrôle du silence d'un sous-marin comporte

par exemple l'enregistrement du bruit de ses divers auxiliaires lorsqu'il est stoppé, l'enregistrement du bruit de ses hélices lorsqu'il est en marche.

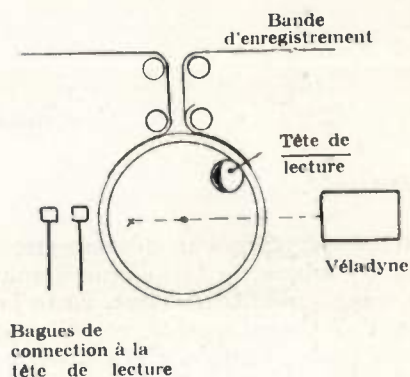


FIG. 1

Ce dernier d'abord très faible augmente rapidement à partir d'une certaine allure. L'enregistrement fait par exemple avec un microphone immergé relié à une station d'écoute à terre

permettra au commandant du sous-marin de se rendre compte des bruits émis dans l'eau par son bâtiment. Ils peuvent être assez différents de ceux qu'il entend à bord.

L'étude méthodique des bruits, leur analyse au besoin permettent de déceler les bruits anormaux, d'examiner par exemple l'efficacité des suspensions élastiques des machines auxiliaires. L'intérêt d'un enregistrement est évident, en particulier lorsqu'il permet de prolonger en quelque sorte indéfiniment, par lecture sur une bande fermée, un son de caractère fugitif ou variant rapidement comme le bruit d'un bâtiment qui passe.

Il est commode d'utiliser plusieurs pistes, l'une servant à enregistrer des indications de service, les autres reliées à divers microphones.

L'analyse la plus simple est faite au moyen de filtres. Un commutateur peut les relier à tour de rôle, un enregistreur de niveau notant les niveaux dans les diverses bandes. Une analyse plus fine peut être faite avec un analyseur, par exemple l'analyseur hétérodyne couvrant de façon continue la gamme 4 kc/s — 100 kc/s (filtre à quarts 250 kc/s, largeur 250 périodes) que l'Industrielle des Téléphones a étudié en 1947 pour la Marine Nationale, et qui a depuis trouvé de nombreuses autres applications.

Il existe maintenant des analyseurs dont la gamme s'étend jusqu'à des fréquences très basses de quelques périodes par seconde. Nous avons envisagé primitivement pour faciliter l'analyse de ces très basses fréquences l'emploi d'une multiplication de fréquence par lecture de la bande magnétique à une vitesse très supérieure à la vitesse d'enregistrement. Un procédé analogue a souvent été employé comme vous le savez pour

l'analyse des houles. Les variations de pression correspondantes sont enregistrées optiquement sur un film. Une bande de film étant placée sur une roue, l'enregistrement est lu par une cellule photo-électrique. On lance rapidement la roue qui ralentit progressivement. Les fréquences des divers harmoniques de l'onde ainsi multipliées par un coefficient variable sont tour à tour égales à la fréquence d'un filtre électromécanique relié à un enregistreur. Les harmoniques de repères de temps inscrits également sur la bande donnent des repères de fréquence.

Dans le cas de l'enregistrement magnétique, voici la disposition qui avait été étudiée sur notre demande par la Précision Cinématographique. La bande d'enregistrement forme une boucle enroulée autour des deux joues d'un cylindre. Un plateau tournant intérieurement porte les têtes de lecture reliées par des bagues aux amplificateurs. Le plateau est entraîné par un « Vélodyne » servo-mécanisme dont la vitesse est asservie à une tension de commande. La commande de la vitesse étant liée mécaniquement au déroulement du papier de l'enregistreur, celui-ci peut être gradué en fréquence.

Notons que l'on peut en principe faire ainsi l'analyse pendant que la bande se déroule, et que l'enregistrement se poursuit.

Mais avant d'analyser les très basses fréquences il faut les enregistrer. Les appareils courants paraissant mal convenir, nous avons commandé un appareil AMPEX dans lequel le signal à enregistrer module une fréquence porteuse de 27 kc/s. L'amplificateur de lecture alimente un discriminateur de type à comptage d'impulsion qui restitue le signal initial.

LA QUALITÉ MUSICALE DES ENREGISTREMENTS ET L'UTILISATION DES SYSTÈMES COMPRESSEURS-DÉCOMPRESSEURS

PAR

A. WARNIER

Compagnie Française Thomson-Houston

I — GÉNÉRALITÉS.

Les systèmes compresseurs-décompresseurs, très connus en technique de téléphonie commerciale, n'ont pas encore, industriellement, vu le jour dans la technique de haute qualité, et, en particulier, dans la musique enregistrée. S'agit-il de leur manque d'intérêt, ou de difficultés insurmontables dans leur emploi ? C'est à ces questions que cette conférence essaiera de répondre.

Mais il a semblé qu'avant d'aborder les imperfections actuelles de la musique enregistrée, auxquelles les systèmes compresseurs-décompresseurs peuvent apporter de l'amélioration, il convenait de faire rapidement le point des résultats obtenus,

en général, dans la musique enregistrée. En effet, la qualité globale n'est pas une sorte de moyenne, mais elle est déterminée par la plus mauvaise des qualités partielles.

Nous ne voudrions pas employer de trop grands mots, mais il semble toutefois que le terme de tournant de l'histoire définit assez bien le point actuel de l'enregistrement. Il y a quelque quinze ans, il n'y avait pas lieu de demander à un musicien s'il ne rêvait pas quelque chose de mieux pour la musique enregistrée. S'il pouvait avoir quelque embarras à répondre, c'était sur le point de savoir par où commencer à récriminer. Maintenant, il existe des reproductions qui, de l'aveu de bons amateurs de musique sont équivalentes

à de la musique « en chair et en os ». Rassurons-nous, ce n'est pas toujours ainsi et il nous reste à faire !

Nous allons donc successivement nous occuper du spectre, de la distorsion, du bruit de fond et de la dynamique.

2 — QUALITÉ ACTUELLE DE LA MUSIQUE ENREGISTRÉE.

2 — 1. Spectre et distorsion.

Pendant très longtemps, les défauts les plus marquants du phonographe ont été l'étroitesse du spectre et de la distorsion. C'est naturellement ce qui a retenu d'abord l'attention des techniciens et pendant longtemps il n'y a eu aucune crainte de dépasser le but.

Mais nous sommes maintenant à un point où il y a lieu de mesurer assez exactement le chemin à parcourir de peur qu'il ne soit déjà négatif !

En effet, en ce qui concerne le spectre, tant au point de vue des graves (sauf peut-être le 32 pieds de l'orgue) qu'au point de vue des aiguës, les haut-parleurs et la gravure n'ont à peu près plus rien à souhaiter.

Quant aux distorsions, on mesure des distorsions sur signal sinusoïdal unique de 35 ou 40 dB pour une chaîne complète, ce qui correspond à 45 ou 50 dB pour les amplitudes des fausses notes de transmodulation. Or, c'est, dans les plus mauvais cas, le niveau évanouissant de parasites qu'indiquent les mesures physiologiques d'effet de masque.

Nous sommes donc, sur ce point aussi sinon au but, du moins très près : peut-être même l'avons-nous dépassé. Il serait donc très intéressant de faire sur ce point des expériences musicales, dont le scénario pourrait être le suivant :

Un orchestre joue devant des auditeurs. Un micro, placé devant l'orchestre, est connecté à un amplificateur donnant une distorsion importante et mesurable, et connecté lui-même à un haut-parleur dont le son s'ajoute à celui de l'orchestre. On fait varier la proportion de son venant du haut-parleur par rapport à celui de l'orchestre, pour déterminer le seuil au-dessus duquel les auditeurs commencent à se rendre compte de la distorsion. Cette disposition a l'avantage que la contribution du haut-parleur aux sons naturels est faible.

2 — 2. Bruit et dynamique.

Le bruit de fond était aussi un défaut très voyant des anciens disques, mais cette question est inséparable d'une autre : la dynamique. En effet :

1°) les pianissimi doivent émerger du bruit de fond et comme, d'autre part, il faut qu'ils soient entendus comme pianissimi, c'est-à-dire à la limite d'audition, le bruit de fond ne doit pas être entendu. Autrement dit, il doit être noyé dans le bruit ambiant auquel l'oreille est tellement habituée qu'elle ne l'entend plus ;

2°) Les exigences de la gravure limitent l'amplitude des fortes.

Avant de parler chiffres, il est bon de préciser ce qu'on entendra par dynamique. C'est le rapport entre le niveau maximum des fortes et le niveau évanouissant des piani, c'est-à-dire un niveau juste supérieur au bruit ambiant. Il ne faut pas confondre ce rapport avec celui entre la puissance moyenne d'un passage piano et la puissance moyenne d'un passage forte. Ce dernier rapport est bien plus petit que le précédent.

BRUIT DES DISQUES ACTUELS.

a) Disques de type ancien.

Le bruit de fond rapporté au signal maximum est d'environ 35 à 40 dB. Son spectre est grossièrement assimilable à du bruit blanc, avec cependant moins de fréquences moyennes et basses.

b) Nouveaux disques (polyvinyle).

Les pâtes nouvelles qui ont permis de serrer davantage les sillons et de réduire à la moitié la vitesse des disques, avec une définition suffisante dans l'aigu, ont beaucoup amélioré le bruit, qui se présente maintenant sous le double aspect suivant :

— un bruit continu, ayant un spectre comparable à un bruit blanc, ce bruit est d'ailleurs dû, outre au disque même, à tous les bruits de l'enregistrement : souffle des amplificateurs, bruit de la bande magnétique, bruit de surface de la cire, galvanoplastie, etc... (ces bruits supplémentaires existaient bien pour les anciens disques, mais comme ils étaient notablement plus petits que le bruit des disques, ils ne comptaient pas).

Le bruit global est maintenant de l'ordre de 55 à 60 dB pour un disque neuf.

— un bruit essentiellement discontinu, formé de « picks » de grande amplitude, mais extrêmement brefs de densité moyenne très variable, depuis quelques unités par face, jusqu'à 100 ou 200.

Avec le vieillissement et l'usure, le nombre des « picks » forts augmente, et il s'y ajoute ce qu'on pourrait appeler une « poussière de picks », à la limite de résolution pour l'oreille et dont le niveau, d'abord peu supérieur à celui du bruit précédent, peut devenir notablement plus grand.

Les « gros picks », quand ils ne sont pas trop nombreux, ne sont pas bien gênants : la probabilité pour qu'ils masquent une note qui devrait être à la fois d'amplitude pas très forte, et très piquée, est pour ainsi dire inexistante.

La « poussière de picks » est plus dangereuse. Du fait que son spectre est très tiré vers le haut, elle masque assez efficacement les fréquences aiguës, bien que son intensité moyenne soit faible.

En somme, si les disques neufs, lus avec de bons lecteurs, donnent un bruit de 55 à 60 dB, on élargit leur vie très notablement en se contentant de bruits de 45 et même 40 dB.

2 — 3. Dynamique — répercussions musicales.

La dynamique qu'on peut réaliser découle des chiffres précédents. Avec les disques de type ancien, on a droit à environ 35 dB de dynamique. Or, la dynamique naturelle qui se tient à 40 ou 50

dB avec la musique de chambre et le petit orchestre, monte à 60 et 70 dB avec le grand orchestre.

Naturellement le génie inventif des techniciens, doublés de très authentiques musiciens, s'est donné libre cours pour pallier, du mieux possible, la difficulté : les solutions sont un compromis entre les deux extrêmes :

— comprimer progressivement la dynamique, c'est-à-dire, en gros, diviser les dB par un facteur constant. On a ainsi une musique qui rappelle la musique originelle, mais terne.

— « tricher » avec la dynamique. Par exemple, en vue d'un forte à venir, on la diminue progressivement de manière à avoir, au moment du forte, une marge plus grande. Ou bien on remplace les nuances progressives par des nuances à montée plus rapide (sous sa forme la plus brutale, dynamique par tout ou rien).

Le résultat pratique est que dans le cas des disques de type ancien, la musique à faible dynamique n'est pas trop mal traitée, mais le grand orchestre est beaucoup trop écrasé.

Les disques de polyvinyle permettent une dynamique normale pour la musique de chambre et le petit orchestre, mais le grand orchestre reste écrasé, malgré les truquages de dynamique, moins brutaux que ceux qu'on est obligé d'employer sur les anciens disques, mais tout de même importants.

Conclusion — Qualité globale actuelle.

Il apparaît donc que si, en ce qui concerne le spectre et la distorsion, nous touchons actuellement à la perfection, la double question de la dynamique et du bruit de fond reste en arrière.

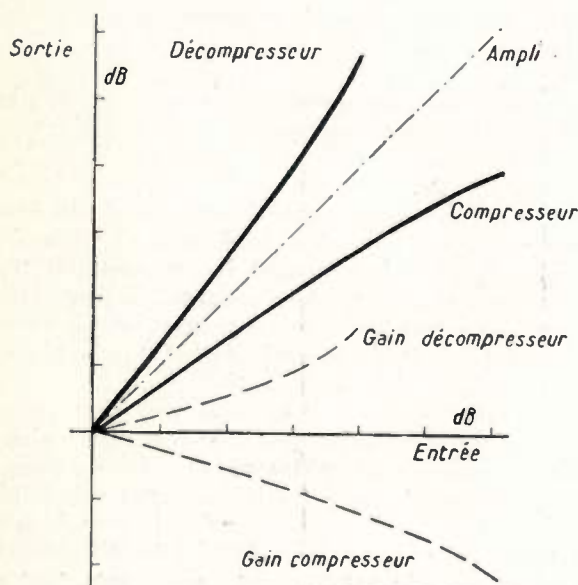


FIG. 1

Les systèmes compresseurs-décompresseurs ont pour but de s'attaquer à ce problème : à priori, leur intérêt apparaît donc important, non seulement en soi, mais dans l'ensemble du problème de qualité.

3 — COMPRESSEURS-DÉCOMPRESSEURS.

Reprenons le palliatif de la « compression intelligente » indiquée plus haut (parag. 2-2. 3.). Si, après lecture du disque, un autre musicien, par une manœuvre inverse du premier, restituait la dynamique originelle, le problème de la dynamique serait résolu.

Que deviendrait le bruit ?

L'expérience la plus élémentaire permet de prévoir qu'il y aurait certainement amélioration, mais pas de chiffrer cette amélioration. Or, le système compresseur-décompresseur n'est que la réalisation automatique de ces manœuvres. Il y a donc un problème de bruit dans ce cas : c'est ce qu'il faudra maintenant examiner. Ensuite, à la tête du problème technique à résoudre, nous en verrons les difficultés et les solutions qui ont été proposées.

Donnons auparavant quelques définitions : (figure 1)

— un amplificateur ordinaire donne un signal de sortie à chaque instant proportionnel à celui d'entrée. Si nous considérons la courbe entrée-sortie, en coordonnées logarithmiques, c'est une droite à 45°;

— on appelle compresseur un organe tel que cette courbe sortie/entrée soit au-dessous de cette droite à 45°;

— on appelle décompresseur un organe pour lequel la courbe sortie/entrée soit au-dessus de la droite à 45°.

Pour ces appareils, on peut définir un gain, variable avec le niveau, représenté par la différence entre la courbe déjà définie et la droite à 45°.

3 — 1. Bruit dans les systèmes compresseurs — décompresseurs.

Ceci dit, l'émergence d'un bruit en la présence du signal musical est régie par ce qu'on appelle l'effet de masque.

3 — 1. 1. Effet de masque.

L'expérience la plus grossière permet de se rendre compte que le seuil de sensation d'un signal

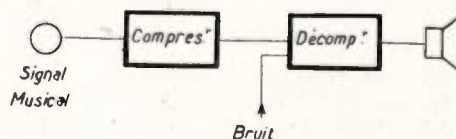


FIG. 2

sonore A s'élève quand le niveau d'un autre signal B simultanément s'élève lui-même.

Mais la loi est très complexe : la question n'est déjà pas simple quand il s'agit de 2 sons purs; elle a été étudiée aussi assez complètement quand il s'agit de voir comment un son pur émerge du bruit (bruit blanc) mais ici, d'abord le problème

est renversé : c'est de l'émergence du bruit par rapport au signal qu'il s'agit, et le signal musical est presque toujours complexe.

La seule chose qu'on puisse faire, c'est de déterminer les cas les plus défavorables pouvant se présenter avec une probabilité raisonnable. On a alors les deux faits suivants :

a) pour des niveaux de signal élevés, on se rapproche de la loi simple que le niveau de bruit doit être inférieur d'une certaine quantité au niveau musical.

b) quand le signal musical disparaît ou devient évanouissant, il suffit que le bruit lui soit un peu inférieur pour n'être pas entendu.

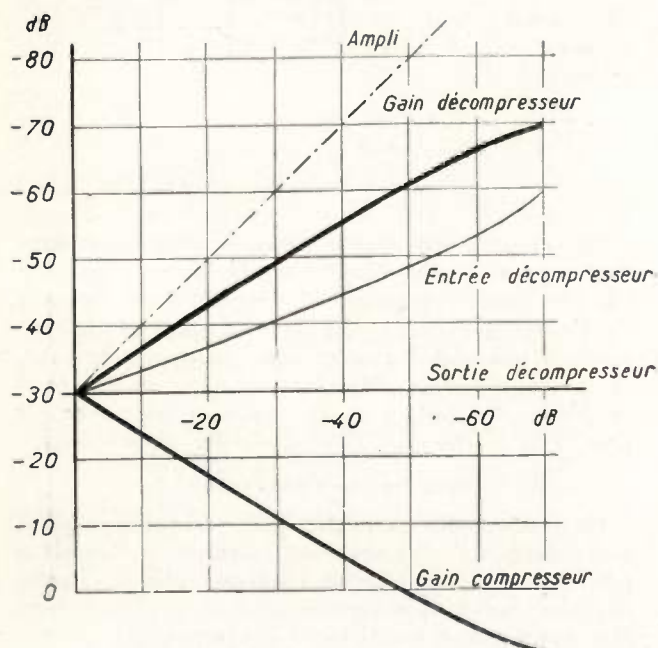


FIG. 3. — La courbe du " gain décompresseur " est aussi celle du " bruit évanescent ".

On peut schématiser la courbe du bruit maximum admissible en fonction du signal de la manière indiquée. (figure 3).

3 — 1. 2. Rôle du décompresseur.

Considérons maintenant une chaîne contenant un compresseur et un décompresseur. Nous supposons que le bruit est injecté dans cette chaîne, entre compresseur et décompresseur. (figure 2).

Donnons au gain du décompresseur en fonction du niveau de sortie, la même courbe que celle définie plus haut pour le bruit évanescent. On aura ainsi, à tous niveaux, un bruit évanescent.

Le signal d'entrée au décompresseur sera la différence entre le signal de sortie et la courbe de gain. Nous voyons ainsi que nous n'avons plus qu'une dynamique de 30 dB à l'entrée du décompresseur.

Le compresseur devra avoir un gain tel qu'il fournisse cette dynamique à l'entrée du décompresseur. C'est donc la courbe du gain du décompresseur inversée.

3 — 1. 3. Forme pratique des courbes de compression et de décompression.

Telles sont les courbes optima pour le gain des deux organes du système. Mais, pratiquement, il est intéressant que la loi du gain ne dépende pas du niveau absolu, c'est-à-dire qu'elle soit linéaire.

La droite optimum est obtenue en joignant les points extrêmes de la courbe optimum et en menant une tangente à cette courbe. Quand on fait cette construction sur l'exemple pris, on trouve une pente voisine de 1/2. (figure 4).

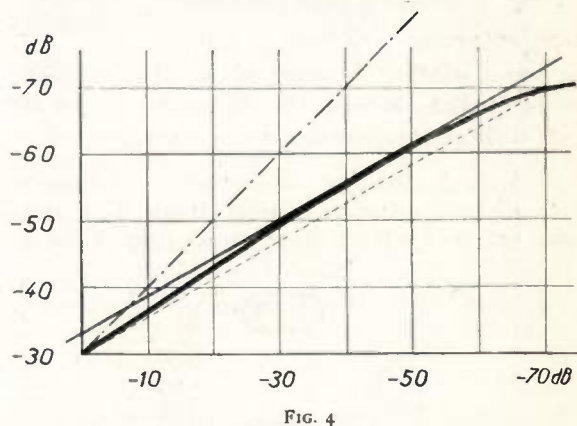


FIG. 4

Or, nous verrons que, pour le décompresseur surtout, cette loi est particulièrement simple. Nous l'avons donc adoptée. La perte par rapport à la loi optimum n'est pas grande. Pour une étendue de 70 dB, on peut aller jusqu'à un bruit de -35 dB. Même avec une petite marge (-40) le gain de bruit est donc de 30 dB.

3 — 2. Réalisation des compresseurs.

On connaît les réalisations classiques des compresseurs et décompresseurs (par exemple pour la téléphonie commerciale). Les difficultés supplémentaires des systèmes destinés à l'enregistrement de haute qualité sont dues essentiellement à deux causes :

a) le système de compression de dynamique repose sur le postulat qu'on peut définir une enveloppe des signaux musicaux, autrement dit que la

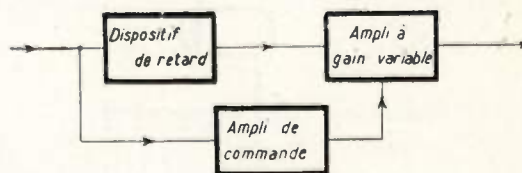


FIG. 5

fonction du temps représentant l'enveloppe des oscillations varie beaucoup plus lentement que les oscillations. Or, ce postulat est à la limite de la vérité.

b) L'autre difficulté consiste dans la grande dynamique d'entrée et, par suite, dans les variations importantes de gain à réaliser.

Nous allons partir d'une réalisation classique; nous verrons ses défauts et chercherons ensuite

comment y remédier. Un compresseur comprend essentiellement : (figure 5)

— un ampli à gain variable commandé électriquement;

— un ampli de commande donnant, avec la loi voulue, la tension faisant varier le gain du précédent;

— un système retardant la modulation appliquée à l'ampli commandé, de manière à compenser l'inévitable retard.

3 — 2. 1. Ampli à gain variable.

Les performances à réaliser sont :

- une variation de gain de 35 dB environ;
- la qualité ordinaire de distorsion (— 40 dB) et de bruit propre (mieux que — 40).

3 — 2. 1. 1. *Solution classique* — *Inconvénients*. — La réalisation la plus simple d'un ampli à gain variable est un étage symétrique à lampes

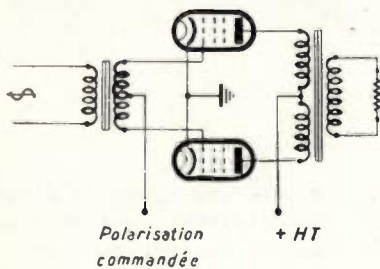


FIG. 6

à pente variable, dont on commande le gain en faisant varier la polarisation. Ce schéma présente les inconvénients suivants : (figure 6)

Pour réduire de 35 dB la pente d'une lampe, il faut rendre très petit son courant de plaque et cela au moment où le signal est maximum. Celui-ci doit donc être très petit pour éviter la distorsion. Mais dans ces conditions :

— le bruit de fond et le bruit microphonique propres de l'étage sont difficiles à éviter;

— la composante de « cloquage » due à la variation de tension de commande qui se trans-

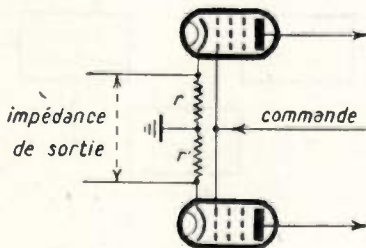


FIG. 7

met un déséquilibre du push-pull prend une valeur élevée par rapport à la modulation.

3 — 2. 1. 2. *Solution adoptée*. — On sait que l'impédance d'un ampli à Contre-Réaction est inversement proportionnelle au taux de Contre-Réaction, lequel est proportionnel au gain de l'ampli. Si

donc on fait varier la pente d'un étage, on fait varier par là même l'impédance de sortie de l'ampli. Si ensuite, on envoie la modulation, à courant constant, dans cette impédance, on a, à ses bornes, une tension variable avec la tension de commande de la pente. (figure 7).

Ce procédé a les avantages suivants :

1°) c'est quand le signal est maximum que le courant continu est maximum dans les lampes (pour avoir le gain minimum).

2°) Le rapport signal/cloquage est indépendant de ce taux.

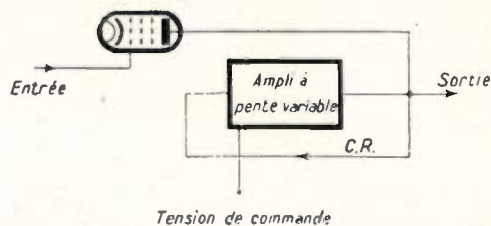


FIG. 8

On emploie en réalité un montage à couplage cathodique : on démontre facilement que le rapport signal/cloquage est indépendant du taux de Contre-Réaction et ne dépend que du courant modulé pouvant traverser sans distorsion le tube, et de l'équilibrage. Mais cet équilibrage est bien meilleur du fait que le courant des tubes est asservi à la tension de commande. (figure 8).

3 — 2. 2. Système de commande

Ce système doit, à partir de la modulation prise à l'entrée du compresseur, donner à l'ampli à pente variable la tension continue qui, à chaque niveau, procure la compression voulue. Il doit donc être soumis aux conditions suivantes :

a) dans les accroissements de signal, il doit suivre rapidement, pour éviter les surmodulations (au-dessus de la modulation max.); on peut retarder quelque peu le signal sur l'ampli commandé, mais une ligne artificielle électrique de 2 ou 3 ms est déjà onéreuse : on ne peut donc aller bien loin dans cette voie et pratiquement, on s'en est tenu à 1 ms;

b) d'autre part, la tension envoyée pour commander l'ampli à gain variable doit être exempte de résidus de modulation, pour éviter la distorsion ordinaire.

3 — 2. 2. 1. *Système classique*. — Le moyen classique de concilier ces deux conditions est l'emploi du système Condensateur-Résistance. Mais, pour éviter des résidus provenant des plus basses fréquences (30 c/s) qui peuvent descendre à 60 c/s (2×30) il faut une constante de temps très forte. Par exemple, pour une distorsion de 2 % (à 60 c/s) il faut une fréquence quadrante de l'ordre de la seconde.

Si maintenant, nous considérons le passage inverse forte-piano il y aura dans ce passage, un trainage de l'ordre de la seconde, ce qui donne un empâtement inadmissible de la dynamique

(on peut, en effet, avoir des notes se succédant à 0,1 seconde environ). On sait produire des constantes de temps beaucoup plus petites avec un filtrage suffisant au moyen de filtres classiques. Par exemple, un filtre classique peut affaiblir des fréquences supérieures à 60 c/s à mieux que 40 dB, avec une constante de temps inférieure à 50 ms. Mais ces filtres sont à peu près réversibles, c'est-à-dire que leur constante de temps pour le continu est indépendante du sens du courant, et cette constante de temps est beaucoup trop forte pour le passage pianoforte.

Pour concilier ces trois exigences :

- très faible constante de temps piano-forte
- bon filtrage
- faible constante de temps forte-piano

on a eu recours à plusieurs dispositions :

3 — 2. 2. 2. *Voies multiples.* — Le principe en est le suivant : (figures 9 et 10) le signal musical est

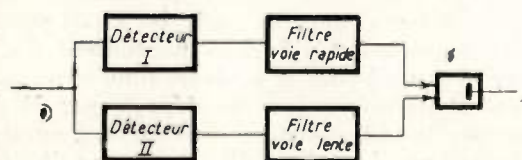


FIG. 9

appliqué à deux systèmes comprenant chacun un détecteur et un filtre : le premier est un filtre à condensateur-résistance de constante de temps modérée (50 ms par exemple), l'autre est un passe-bas classique de constante de temps du même ordre (50 ms).

En régime établi, leurs tensions de sortie sont à peu près égales (la voie « lente » donnant une tension un peu plus élevée que l'autre). Un dispo-

Tension
de commande

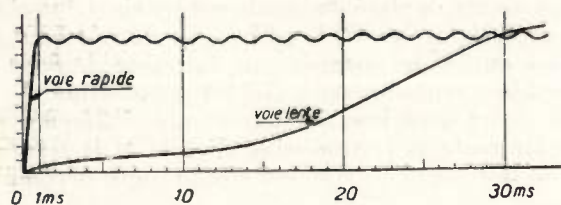


FIG. 10

sitif à diode prend, à chaque instant, la plus grande des deux tensions, et c'est cette tension qui est envoyée comme tension de commande de l'ampli à gain variable.

Dans un passage piano-forte, la voie « rapide » suit la dynamique à moins de 1 ms, puis, au bout de 30 ms la voie lente impose sa tension filtrée. Il y a donc, pendant une trentaine de ms, une distorsion qui peut être importante. Nous en verrons plus loin la répercussion.

Naturellement, on peut employer plusieurs voies, de constantes de temps convenablement étagées.

3 — 2. 2. 3. *Détection « polyphasée » des fréquences basses.* — On fait la détection du signal, non avec deux anodes seulement, mais avec tout un système d'anodes, alimentées avec des décalages convenables. Les résidus de détection sont en même temps d'amplitude plus faibles et de fréquence plus élevée.

Le déphasage est facile à obtenir par des moyens connus et il suffit de le réaliser pour les fréquences les plus basses.

On a avantage à faire cette détection polyphasée également sur la voie rapide : mieux en effet est filtrée cette voie, et plus on peut réduire la différence d'amplitude qui doit exister entre les deux voies pour qu'en régime établi, la voie lente fonctionne seule.

3 — 3 Réalisation des décompresseurs.

Le problème du décompresseur est moins ardu que celui du compresseur.

En effet, la difficulté essentielle de celui-ci, le risque de sur-modulation au passage piano-forte ne se retrouve pas pour le décompresseur. En effet, au passage piano-forte, le retard de la commande tend au contraire à ralentir la rapidité de ce passage, en créant, au contraire, une sous-modulation temporaire. Au passage forte-piano, le niveau ne se stabilise à sa nouvelle valeur qu'avec un certain retard ; on a donc une sur-modulation relative temporaire, mais qui de toute façon reste en dessous de la modulation qui existait avant.

Réalisation. — Le principe du décompresseur peut être l'analogue, mutatis mutandis, de celui du compresseur classique. Le fait que le gain doit

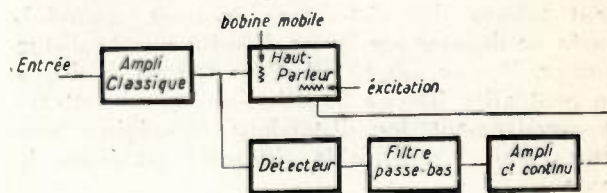


FIG. 11

être proportionnel à la tension d'entrée rend assez facile la mise sur pied d'un ampli à pente variable : la pente de beaucoup de lampes varie en effet linéairement avec la tension. Mais on peut s'adresser aussi à un autre phénomène, en profitant de la même loi. On emploie un haut-parleur électrodynamique à excitation bobinée (ou électrostatique) et on envoie dans la bobine d'excitation le signal BF détecté et filtré de la manière ordinaire. (figure 11)

Ainsi, les décompresseurs ne sont pas techniquement compliqués : circonstance heureuse puisqu'ils doivent être beaucoup moins chers et plus simples que les compresseurs.

3 — 4. Défauts des systèmes compresseurs-décompresseurs.

On vient de voir que les systèmes exposés ci-dessus constituent un compromis entre les imperfections suivantes :

a) une distorsion en régime permanent : celle-ci est très connue, elle ne doit pas dépasser — 40 dB

b) des phénomènes de transition comprenant :
— distorsion d'enveloppe, la forme de celle-ci étant modifiée par les constantes de temps des filtres

— distorsion transitoire : il y a pendant que la voie « rapide » impose seule sa tension, une certaine distorsion. Cette distorsion, ne se produisant que pendant un temps de l'ordre de 30 à 40 ms, doit être étudiée à part.

3 — 4. 1. *Distorsions transitoires.* — A priori, on pourrait craindre que les distorsions tolérables fussent être du même ordre que les distorsions en régime établi (soit de — 40 dB). Heureusement, on peut tolérer beaucoup plus, comme l'ont montré des essais conduits sur le principe suivant :

Une très bonne chaîne de transmission est alimentée simultanément :

1) par le signal musical, aussi bon que possible

2) par ce même signal passant dans un amplificateur à forte distorsion (par exemple contenant un redresseur). Le gain de cet amplificateur est commandé par un signal qui est, grossièrement, la dérivée de la dynamique. On réalise ainsi une distorsion n'existant que pendant les variations de dynamique.

On remarque alors qu'il faut des distorsions très élevées pour produire un effet musical appréciable. Bien entendu, cet effet est d'autant plus marqué que la durée de la distorsion est plus faible. Pour des durées de l'ordre d'une dizaine de ms, on peut tolérer des distorsions énormes, quand la durée ne dépasse pas 30 ms, il suffit que la distorsion ne dépasse pas 15 dB. Pour 100 ms de durée, on peut aller jusqu'à 20 dB. Ensuite, on rattrape progressivement les distorsions en régime soutenu : pour 1 seconde la différence est évanouissante.

3 — 4. 2. *Distorsion de l'enveloppe.* — C'est un problème techniquement difficile : il est certain, en effet, que la forme même de la distorsion de dynamique intervient, et pas seulement sa valeur absolue ; d'autre part, les distorsions dépendent de la forme de la dynamique, qui est très variable.

Bien entendu, les différents instruments supportent inégalement bien les imperfections de réglage : les plus caractéristiques sont le piano et surtout la parole. Par des réglages appropriés, on peut faire en sorte que le piano soit plus empâté, ou au contraire, plus piqué qu'au naturel. Quant à la voix, elle peut devenir, soit plus empâtée, soit raquette ou « aboyée » (1).

(1) Il s'agit ici de ce qu'on peut appeler la « parole artistique », c'est-à-dire pour laquelle il est important de conserver, en dehors de l'intelligibilité proprement dite, le timbre et la musique de la voix : il a été reconnu que cela exige une « définition » aussi bonne que celle requise pour la musique.

Il n'en est évidemment pas de même en téléphonie commerciale, pour laquelle on ne demande guère que l'intelligibilité avec très peu d'information supplémentaire. Tout ce qui est dit dans cette étude à propos de la musique et de la parole artistique ne s'applique donc pas aux problèmes de téléphonie commerciale, et il ne faut pas s'étonner que les solutions, dans ce cas, soient très différentes, non seulement dans leur réalisation (en général beaucoup plus simple) mais même dans leurs principes.

Mais l'expérimentation physique est compliquée et on ne peut encore indiquer une liaison bien nette entre les phénomènes physiques et leurs répercussions musicales. C'est celles-ci qu'on a trouvées plus expédient d'étudier directement, malgré ce qu'une telle méthode a d'imprécision et de longueur.

4. — CONCLUSION GÉNÉRALE

Tels quels, les résultats musicaux sont très satisfaisants. Ils doivent être résumés sous deux têtes de chapitre :

— à l'actif, protection contre le bruit, c'est-à-dire augmentation de la dynamique,

— au passif, distorsions diverses.

4 — 1. Augmentation de dynamique.

Ce phénomène est assez variable avec les composantes du signal musical, mais des essais portant sur des musiques très variées permettent d'affirmer qu'en gros, quand le bruit de fond entre compresseur et décompresseur ne dépasse pas 35 dB, il n'est pas du tout entendu, alors qu'on peut avoir une dynamique de 60 à 70 dB. Autrement dit, avec des pâtes pas plus mauvaises que celles des disques actuels, de qualité moyenne, on peut réaliser des dynamiques de 60 à 70 dB, sans avoir aucune trace de bruit.

Avec les disques en polyvinyle, la marge de sécurité est très importante en ce qui concerne le bruit d'enregistrement, et la « poussière de picks » ; quant aux « gros picks » ils sont fortement atténués.

4 — 2. Distorsions de transition.

Notre expérimentation musicale est encore un peu courte, malgré de nombreux essais. Ceux-ci ont tout de même montré, qu'à partir de très bons disques ou bandes magnétiques, lus avec de bons ensembles reproducteurs, il est impossible à des amateurs musiciens de déceler une différence musicale entre la transmission directe et la transmission à travers le système compresseur-décompresseur.

L'appareil construit n'avait incorporé que les perfectionnements de la double voie (lente et rapide) et de la variation de gain par impédance cathodique ; les autres perfectionnements améliorent certainement encore les distorsions de dynamique.

De toute façon, il est hors de doute que la musique à laquelle il a été fait allusion est fort honorable, et que l'avantage d'une restitution complète de la dynamique, dans le cas du grand orchestre, est bien supérieur à l'inconvénient des quelques imperfections, toujours assez fugitives, qui ont été remarquées.

SECTION II. — ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

ASPECTS DE L'EXPLOITATION DE L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE EN RADIODIFFUSION

PAR

E. FONTAN-PEREZ

Ingénieur des Télécommunications

(Espagne)

Le montage d'un programme musical offre d'habitude plus de difficultés que celui de l'enregistrement de la parole. Dans ce dernier, l'habileté du monteur consiste à saisir l'emphase du discours afin qu'on ne remarque pas la différence d'intonation entre une phrase prononcée à un moment donné et celle qui la suit dans le montage même si elle a été prononcée plusieurs minutes avant ou après la précédente.

L'édition de programmes musicaux doit être réalisée de la même façon que celle de voix ou de bruits, avec la seule différence que l'éditeur de musique doit être extraordinairement soucieux du rythme et du ton. C'est pourquoi on conseille, dans beaucoup de cas, le réenregistrement, au lieu de la coupure et de l'embranchement.

Les procédés qui ont été employés jusqu'ici en Espagne pour la coupure et l'embranchement des rubans sont très simples : ils se réduisent généralement à l'usage de ciseaux et de ruban adhésif.

Au moyen de ce système, il faut obtenir un embranchement souple où les bouts du ruban restent joints sans aucun espace visible entre eux. On a constaté que la coupure diagonale élimine le « click » de la coupure en angle de 90°.

Le système de coller la bande au moyen d'un liquide en superposant les morceaux de ruban a été aussi utilisé par nous, surtout dans les bandes allemandes d'émulsion complète, mais ceci devenait plus gênant — et de plus — l'embranchement superposé n'est pas aussi parfait que le plat et il donne lieu à un petit saut en passant sur la tête de lecture.

Après avoir collé un morceau de ruban adhésif sur les bouts de la bande, il doit être pressé fortement afin que le collage agisse parfaitement. Il faut avoir soin de ne pas presser trop fortement pour

que la surface magnétique du ruban ne reste pas enfoncée dans l'embranchement. Si cela arrive, on n'établit pas un bon contact avec les têtes, et les hautes fréquences resteront atténuées dans l'embranchement.

Le ruban adhésif restant doit être coupé avec des ciseaux, en coupant le ruban enregistreur jusqu'à une profondeur de 0,05 mm. Ceci a pour but d'empêcher que même la plus petite quantité de collage n'apparaisse sur la surface du ruban, et par conséquent, sur les têtes d'enregistrement ou de lecture.

Un grand soin dans l'embranchement a comme résultat d'obtenir par la suite un son tout à fait naturel, qui ne trahit presque jamais l'artifice de l'enregistrement.

Un opérateur expert met généralement 25 secondes environ pour faire un embranchement temporaire et un peu plus de temps pour un définitif.

Si la bande doit être utilisée à plusieurs reprises (ce qui est très logique) il vaut mieux effectuer des embranchements parfaits, selon le procédé définitif.

La concentration exigée à l'audition pendant une séance d'enregistrement devient très pénible puisqu'on doit déceler tout son irrégulier dans des plans faibles, terminaisons sifflantes, paroles éteintes, etc..., et par conséquent la lassitude apparaît plus rapidement. Cette lassitude diminue de cinquante pour cent la capacité de l'ouïe pour déceler des sons, ce qui cause un engourdissement plus que normal du système auditif.

L'enregistrement sur ruban est, en lui-même, une profession et, à l'égal de tout autre métier, plus on le pratique plus on le domine.

Systèmes pour faire plusieurs copies d'un ruban matrice. — Nécessité d'appareils pour faire des copies, et qui remplissent des conditions précises.

Une des activités de la Société à laquelle j'appartiens, consiste à produire des programmes à Madrid et à les envoyer ensuite en province pour les reproduire dans les petits postes locaux.

Ces programmes sont généralement de deux sortes :

Premièrement. — Programmes qui sont financés par quelque forme commerciale;

Deuxièmement. — Programmes de qualité et d'intérêt général, qui ne sont généralement pas à la portée de ces petits postes émetteurs.

C'est pourquoi, dès le début de ce type d'activité, il faut songer à la production de plusieurs copies d'un même programme.

Les systèmes utilisés ont été très divers. Le plus simple de tous, que nous avons utilisé le plus souvent, a été celui d'enregistrer dans plusieurs appareils. Dans ce cas, le programme provenant du studio passe par un amplificateur distributeur avec autant de sorties que d'appareils d'enregistrement. Ainsi tout consiste à mettre en marche les appareils en même temps.

D'autres fois, le programme était enregistré préalablement sur un ruban matrice de 76 cm/s dans le but d'en faire plus facilement le montage, l'on reproduisait ensuite ce ruban, et l'on enregistrerait simultanément sur les appareils copieurs de la même façon que nous avons indiquée ci-dessus.

Ce système offre un inconvénient : on met le même temps à faire les copies qu'à reproduire la bande matrice; par conséquent, si nous voulions obtenir beaucoup de copies de ce programme, il fallait ou bien utiliser beaucoup d'appareils copieurs, ce qui représentait un grand inconvénient, ou bien répéter l'opération successivement, pour les motifs énoncés ci-dessus.

Nous avons constaté le besoin de disposer d'un appareil capable de faire les copies d'un programme dans un minimum de temps. Nous savons qu'il y a des années, l'on utilisait en Amérique un appareil composé de plusieurs appareils enregistreurs et contenant autant de mécanismes de « trainages » et de têtes d'enregistrement et effaceurs que de copies que l'on désirait réaliser. Il y avait un amplificateur unique avec lequel on envoyait le signal aux différentes têtes d'enregistrement et, dans d'autres cas, chaque système d'entraînement avait son oscillateur; où bien il y avait aussi un oscillateur unique pour tout l'ensemble d'appareils.

Cet appareil qui, en raison de sa complication, est appelé « monstre » par son auteur, est, à notre avis, excessivement compliqué.

Plus tard nous avons appris que quelques maisons américaines, précisément la Maison Ampex, va lancer ou a déjà lancé sur le marché un appareil copieur de rubans pour douze copies. Entre temps, pour résoudre notre problème qui devient de jour en jour plus pressant, nous avons commencé à utiliser le système suivant :

« Etant donné qu'une grande partie des copies que nous devons faire sont pour des postes utilisant la vitesse de 19 cm, nous avons installé dans ce but trois appareils enregistreurs d'une vitesse de 38 cm. Le ruban matrice enregistré à 19 cm est reproduit sur l'un deux à 38 et enregistré à 38 sur les deux autres en les égalisant convenablement. L'enregistrement à cette vitesse devient inintelligible, mais passé à la vitesse de 19 cm, la qualité est bonne. La courbe que nous avons obtenue grâce à ce système est de 50 à 8 000 c/s avec ± 2 dB.

Avec cette vitesse de 38 cm il est possible de faire quatre copies en 35 minutes.

Les caractéristiques de l'appareil duplicateur de rubans Ampex sont assurément connues par vous, et je ne vous fatiguerai pas avec sa lecture.

J'ignore l'existence sur le marché européen d'appareils de ce type et ses caractéristiques, mais je vous serais très obligé si quelqu'un des congressistes ici présents voulait bien me fournir quelque information.

Emmagasinage de bandes : Nous croyons que l'endroit d'emmagasinage des rubans doit réunir principalement les conditions d'être un lieu frais et éloigné de champs électriques et magnétiques. Voyons comment le manque de ces conditions peut influencer dans la conservation des rubans :

L'effet d'écho se présente usuellement dans beaucoup de classes de bandes. En ce qui nous concerne, d'une façon précise, il est apparu dans les bandes d'émulsion magnétique complète et dans quelques types d'émulsion pour une seule face.

Nous avons aussi remarqué que dans les bandes enregistrées à la vitesse de 38 cm/s et de 19 cm/s, le phénomène est beaucoup plus difficile de percevoir que dans ceux de 76 cm.

L'effet d'écho qui est plus prononcé lorsque le niveau d'enregistrement est plus grand, équivaut à un enregistrement sans « bias ». Cet effet augmente avec le temps d'emmagasinage et varie avec les conditions de celui-ci. Dans la pratique et avec de bonnes bandes, le transfert de signal d'une face à l'autre ne peut être détecté qu'après un temps considérable.

Dans les bandes qui ont une surface non magnétique, la cause qui rend l'effet plus remarquable dans les hautes fréquences que dans les basses, est que la partie non magnétique du ruban cause une atténuation beaucoup plus grande aux champs de longueurs d'ondes courtes qu'à ceux de plus longues longueurs d'onde.

L'effet augmente avec la température. Le coefficient de température n'est pas le même pour tous les rubans ni pour tous les temps d'emmagasinage, mais il est de 1 dB environ pour chaque 6° centigrades, pour qu'il soit avantageux de garder les bobines enregistrées dans un lieu frais.

L'effet d'écho dans une bande de bonne qualité non-surmodulée reste normalement au-dessous du niveau de bruit de l'enregistrement; mais si la bobine est soumise à quelque champ (alternatif ou continu) il peut arriver à acquérir une certaine

importance. Une grande part des effets d'écho peut être attribuée à cette cause. De même que pour effacer une bande, il faut disposer de champs magnétiques de mille ou deux mille Oersteds avec des champs de quelques Oersteds l'effet d'écho peut augmenter d'une façon remarquable.

Par conséquent il est important, pour conserver en bon état les enregistrements, de les garder loin de sources de champs étrangers tels que les lignes de courant (de puissance), moteurs, etc...

Les signaux enregistrés sur bande, après un certain temps d'emmagasinement, deviennent plus difficiles à effacer. Ainsi, une note basse qui peut être facilement effacée immédiatement après l'enregistrement, devient plus difficile à effacer après plusieurs mois d'emmagasinement. Il y a eu des cas où l'on a trouvé que la tête effaceuse a été insuffisante pour effacer le signal, c'est pourquoi il faut utiliser un effaceur magnétique externe. Concrètement, les bandes d'émulsion totale sont plus dures à effacer. C'est pourquoi il est convenable d'emmagasiner les bandes après les avoir démagnétisées.

Une chose curieuse au sujet de laquelle on a peu écrit, c'est qu'après avoir effacé le signal au moyen de l'effaceur magnétique, celui-ci peut revivre dans quelques cas pendant la polarisation (biasing) ou une autre excitation.

La chaleur a pour effet d'accélérer et d'accentuer la consolidation de l'enregistrement, de telle façon que, d'après les données d'une publication américaine, une bande emmagasinée quelques heures à 80° centigrades, montre les mêmes défauts que si elle avait été emmagasinée à température normale pendant quelques mois.

Un enregistrement qui a acquis un état de semi-permanence, peut être effacé, après un procès de démagnétisation et un long emmagasinement.

Commentaires aux normes du C.C.I.R. pour l'échange international des programmes.

Le C. C. I. R. signale comme vitesses principales celle de 76,2 cm/s et celle de 38,1 cm/s et comme vitesse secondaire celle de 19,05 cm/s.

En Espagne, la S. E. R. utilise des appareils de ces trois vitesses et l'expérience semble indiquer que la vitesse de 76 cm/s n'est ni commerciale ni économique, étant donné qu'à 38 cm on obtient des courbes de réponse aussi bonnes qu'à 76 cm. Aussi arrive-t-il que nos appareils de 76 cm ne sont guère utilisés que pour des programmes qui doivent être passés ensuite à des disques ou pour quelques programmes d'une durée inférieure à 20 minutes.

En Espagne, notre Société utilise de préférence la vitesse de 38 cm, mais cependant pour des programmes qui, enregistrés à Madrid, sont envoyés aux petits postes émetteurs de 200 W, on utilise celle de 19, car la plupart de ces petits postes émetteurs emploient des appareils semi-professionnels de 19 cm qui ont une bonne réponse jusqu'aux 8 000 c/s.

Nous pensons que les fabricants d'appareils doivent diriger leurs recherches en vue d'obtenir une courbe de réponse aux 19 cm de 50 à 15 000 c/s avec + 2 dB.

Il y a déjà des appareils américains, l'Ampex par exemple, qui donnent une courbe de 70 — 10 000 avec + 2 dB.

En ce qui concerne le type de noyaux de bobine bien qu'on en admette actuellement deux types pour l'échange international de programmes, on doit tendre à l'unification pour faciliter l'échange. Nous suggérons l'adoption du type de noyau plus généralement utilisé en Amérique qui possède l'avantage de pouvoir être adapté facilement aux appareils européens; ceci n'est pas le cas avec le noyau européen qui est plus difficile à adapter aux appareils américains.

Pour la Radiodiffusion, je pense que l'enregistrement à double « trait » n'offre pas d'intérêt.

DYNAMIQUE DE L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

PAR

D. KLEIS

*Laboratoire de Recherches Philips
N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken
Eindhoven — Pays-Bas*

La dynamique de la reproduction du son joue un rôle important dans l'électroacoustique. On ne peut pas dire, il est vrai, que la dynamique seule détermine la qualité de la reproduction du son. Il y a encore d'autres facteurs très importants aussi, comme la courbe de fréquence, la stéréophonie, temps de réverbération de la salle de reproduction diffusibilité du son. Mais toujours est-il qu'une bonne dynamique contribue considérable-

ment à une reproduction fidèle et naturelle du son. Tout d'abord il faut se demander quelle est la grandeur de la dynamique du son naturel, ce qui nous permet de voir si les canaux de transmission électroacoustiques, parmi lesquels on entend également les installations pour l'enregistrement et la reproduction du son, sont en mesure de comprendre cette dynamique. Nous nous limiterons en l'occurrence à la musique et à la parole.

Ce sont les grands orchestres symphoniques qui ont la plus grande dynamique. Le plus grand volume sonore qu'elles atteignent dans une salle de concert est estimé à 110 phones. D'autre part, le bruit parasite ne peut pas baisser au-dessous de 30 phones. Nous pouvons donc dire que la dynamique dans la musique se monte globalement à 80 phones; celle de la parole est considérablement plus basse.

Nous pouvons aussi parler de la dynamique d'un canal de transmission électroacoustique : d'une part il y a un niveau de signal maximum admissible qui dépend de la distorsion que l'on considère encore acceptable; d'autre part il y a le bruit parasite du canal. Tenant compte du fait que les signaux les plus forts ne se produisent que rarement dans la musique, produisant alors également de la distorsion dans l'oreille, il convient d'admettre pour ces plus forts signaux une intermodulation de dix pour cent, ce qui pour le cas que le rapport linéaire entre le signal d'entrée et de sortie s'écarte par un terme cubique correspond à peu près à une distorsion harmonique de deux et demi pour cent. Lorsqu'on fait correspondre ce niveau de signal à 1 000 c/s avec 110 phones, l'on peut déterminer le volume du bruit parasite pour le canal de transmission selon la méthode de BERANEK et du rapport de ces niveaux l'on peut déduire la dynamique acoustique du canal de transmission.

En cas de transmission de musique par des lignes et des amplificateurs l'on peut réaliser la dynamique de 80 phones de l'orchestre symphonique. La transmission radiophonique et les enregistrements mécaniques, optiques ou magnétiques sont plus ou moins insuffisants. La transmission radiophonique FM, des bons disques d'enregistrement et l'enregistrement magnétique peuvent s'approcher le plus près de la dynamique naturelle. La dynamique de l'enregistrement magnétique peut, dans la condition actuelle de la technique, être estimé à environ 70 phones, c'est-à-dire 10 phones de moins que la dynamique de l'orchestre symphonique.

Etant donné cet état de chose il faudra essayer d'utiliser le mieux possible la dynamique du canal disponible. On peut considérer dans ce cas que la répartition d'énergie dans le spectre de musique n'est pas régulier, mais que les parties basses et hautes du spectre comprennent moins d'énergie que la gamme moyenne, alors que le bruit de salle n'est pas un bruit blanc, pas plus que le bruit du canal de transmission. On peut alors essayer, au moyen de filtres devant le canal de transmission, d'adapter l'une à l'autre la dynamique du signal et celle du canal, en d'autres termes, on peut appliquer une préaccentuation (pré-emphasis) ce qui permet d'augmenter la dynamique. On peut aussi essayer de prévoir derrière le canal des filtres passe-bande adjacents commandés par le signal qui permettent de ne faire passer que la gamme de fréquences dans laquelle le signal surpasse à un certain degré le bruit parasite.

Si de cette façon l'on n'atteint pas encore la dynamique désirée, il faudra ou bien se contenter

de la dynamique plus faible réalisable, ou bien recourir à la compression de dynamique devant le canal et éventuellement à une expansion derrière le canal.

Heureusement nous pouvons constater qu'une dynamique de 70 phones est pratiquement dans tous les cas suffisante pour pouvoir réaliser une reproduction sonore d'une très bonne qualité, de sorte que la compression de dynamique en cas de vitesses de ruban de 30 et 15 in/sec le spectre de musique entier peut être transmis.

En considérant la dynamique de l'enregistrement magnétique nous devons nous rendre compte qu'en effet cette méthode d'enregistrement occupe une plaque unique. Ceci est dû au fait que le ruban magnétique peut être magnétisé en sens positif aussi bien qu'en sens négatif et qu'elle présente dans les deux sens les mêmes caractéristiques. Ceci signifie que tant qu'il n'y a pas d'enregistrement de composantes de courant continu il ne peut jamais se produire des sons harmoniques pairs, pas plus que des sons combinés dont la fréquence est la différence des fréquences de deux composantes de signal, qui dans d'autres méthodes d'enregistrement peuvent se manifester d'une façon très gênante et peuvent provoquer, par exemple, une perturbation de fréquence relativement basse des bruits fricatifs aigus s et f .

Ceci signifie en outre que quand il n'y a pas d'enregistrement de signal, la bande magnétique se trouve dans une situation démagnétisée et neutre, c'est-à-dire que les moments magnétiques des parties élémentaires ne sont pas groupées par une cause extérieure, mais qu'ils sont réparties de façon statistique selon la direction et dans des limites déterminées également de façon statistique selon la grandeur. Si nous mesurons le flux magnétique de cet ensemble à une distance qui est grande par rapport à la distance réciproque des parties élémentaires, comme le fait, en effet, la tête de lecture du magnétophone, ce flux sera très faible, parce qu'il ne sort pas de dipôles, mais de pôles d'ordre plus élevé. Donc, également les variations dans ce flux dues à la répartition statistique des moments magnétiques dans la bande passante seront faibles, en d'autres termes, le bruit de fond zéro est très faible.

Lorsque par une cause extérieure, dans ce cas par le champ magnétique près de la fente de la tête d'enregistrement, la bande est magnétisée dans un sens déterminée, les moments magnétiques seront en partie orientés et présenteront une composante dans la direction de ce champ. Ces moments magnétiques orientés se comportent par rapport à la tête de lecture comme des dipôles et émettent alors donc plus de flux par la tête qu'à la condition démagnétisée. Par suite de la répartition non homogène des moments magnétiques le flux magnétique présentera encore des variations, qui, cependant, en valeur absolue, seront bien plus fortes que c'était le cas à l'état démagnétisé. Il est clair que le flux, ainsi que les fluctuations dans ce flux augmenteront au fur et à mesure qu'augmente le nombre de moments magnétiques orientés,

convertis en dipôles, en d'autres termes le signal à la tête de lecture est accompagné par un bruit augmentant d'intensité avec le signal et surpassant de loin le bruit de fond zéro.

Dans l'enregistrement magnétique nous devons donc distinguer un bruit de fond zéro très faible et un bruit de modulation bien plus élevé, qui est plus ou moins proportionnel au signal. Comme nous l'avons constaté déjà plus tôt, le bruit de fond zéro se trouve environ 70 phones au-dessous du niveau de signal d'intermodulation de dix pour cent. Par contre, le bruit de modulation ne se trouve que 45 — 55 phones au-dessous du niveau de signal momentané, si nous mesurons le bruit de nouveau de la façon discutée.

Si nous comparons l'enregistrement magnétique avec l'enregistrement optique, soit modulation en largeur, soit modulation d'intensité, il est évident que dans le cas d'enregistrement optique il doit toujours y avoir une piste zéro, soit de largeur moyenne, soit de densité moyenne, parce que la largeur de piste et la densité ne peuvent pas devenir négatives. S'il n'y a pas de signal, il y a en effet déjà une modulation de courant continu, qui donne un bruit de modulation à cause de l'état granuleux du film. En cas de largeur de piste zéro, respectivement de piste entièrement noircie, il n'y a pas de signal, ni de bruit. Ce bruit de modulation de la piste zéro, qui est complètement comparable au bruit de modulation de l'enregistrement magnétique, joue dans l'enregistrement optique le rôle de bruit de fond zéro. En ce cas le bruit de modulation de l'enregistrement optique est encore plus élevé que celui de l'enregistrement magnétique, parce que le nombre de parties élémentaires dans la piste dans les limites d'une longueur d'onde déterminée, correspondant à la même fréquence, est de beaucoup plus petit dans l'enregistrement optique que dans l'enregistrement magnétique. Le bruit de modulation d'enregistrement magnétique est donc plus faible que le bruit de fond zéro d'enregistrement optique; le bruit de fond zéro du magnétophone est encore plus faible que son bruit de modulation.

De cette façon l'on peut dire que le bruit de la cellule photo-électrique en cas d'exploration optique est aussi un bruit de modulation.

Rappelons encore que dans le cas de modulation d'intensité dans l'enregistrement optique le bruit disparaît entièrement en cas de noircissement complet et en cas de piste entièrement transparente et qu'il est au maximum en cas de modulation moyenne. Ceci signifie que contrairement au cas d'enregistrement magnétique le bruit est élevé s'il n'y a pas de signal et qu'il baisse à mesure que le signal est plus grand! On peut diminuer le bruit en adaptant la piste zéro à la modulation qu'on attend et l'on obtient alors les systèmes dits « noiseless ».

Par ce qui précède nous avons vu que la bande magnétique a une dynamique assez élevée pour réaliser une reproduction sonore d'une bonne qualité, à savoir de 70 phones environ. Hélas, on a constaté que cette dynamique n'est souvent pas atteinte dans des systèmes de lecture et d'enregistrement, d'une part parce que le bruit de fond se

trouve être augmenté, d'autre part parce que certains éléments dans la chaîne augmentent la distorsion. Nous considérons davantage les causes de ce phénomène.

L'avantage du très faible bruit de fond sera annihilé, s'il y a une magnétisation de courant continu dans la bande. L'enregistrement reçoit alors une piste zéro ayant un bruit de modulation. Ceci peut se produire lorsque la tête de lecture ou la tête d'enregistrement est magnétisée.

Si le champ continu sur la tête est faible, il ne se produit dans la bande que des processus réversibles, c'est-à-dire en passant la tête de lecture les moments magnétiques sont plus ou moins orientés et retournent ensuite à leur répartition statistique. Pendant la reproduction il y a donc une composante de courant continu dans la bande qui augmente le bruit de fond, mais n'affecte pas l'enregistrement.

Lorsque le champ continu sur la tête de lecture ou à la tête de l'enregistrement non excitée est plus fort, un nombre de moments magnétiques qui peuvent facilement s'inverser, peut passer à une nouvelle situation d'équilibre et la maintenir jusqu'à ce qu'ils soient de nouveau répartis de façon statistique par le mouvement thermique, ce qui ne se présentera qu'après un long intervalle. A cette magnétisation de courant continu coopèrent les mêmes moments magnétiques que ceux qui contribuent à l'effet d'écho, ce processus se déroulant dans ce dernier cas dans le champ d'une couche voisine du support d'enregistrement bobiné. Par application d'énergie venant de l'extérieur par exemple en chauffant la bande ou en la faisant traverser un faible champ d'effacement, l'on peut favoriser la désorientation et éliminer en grande partie l'effet d'écho ainsi que la magnétisation de courant continu. Ici aussi il se présente donc une augmentation du bruit de fond, mais la détérioration de l'enregistrement est encore réparable.

La situation devient encore plus grave quand la tête d'enregistrement est magnétisée pendant l'enregistrement. Un champ continu relativement faible donne alors une permanente magnétisation de courant continu de la bande.

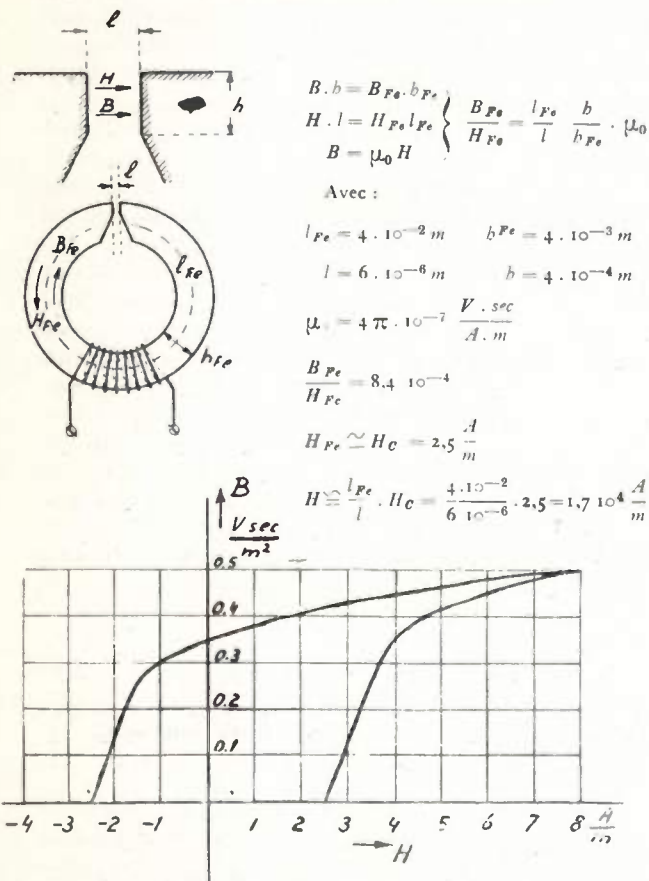
Il faut remarquer à ce sujet qu'en cas de têtes à fente courte même si le noyau consiste en une matière magnétique douce, comme le « Mu-métal » ou le « nickaloy », la magnétisation rémanente est assez grande pour donner un champ à la fente qui produit déjà ces effets. Envisageons une tête de « Mu-métal » dont le circuit magnétique a partout la même largeur et dont les dimensions sont spécifiées dans la figure 1; alors nous voyons que selon le calcul dans la même figure le champ magnétique dans le fer est pratiquement égal à la force coercitive H qui pour le « Mu-métal » s'élève à 2,5 A/m.

Ceci fournit à la fente un champ de

$$H = \frac{4 \cdot 10^4}{6} \cdot 2,5 = 1,7 \cdot 10^4 \text{ A/m.}$$

Considérons ensuite qu'une bande normale jusqu'à un niveau de signal d'intermodulation de dix

pour cent est modulée avec un champ de signal de $4 \cdot 10^4$ A/m. Pour une bande d'un rapport signal-bruit de modulation de 45 phones, $1,7 \cdot 10^4$ A/m donne un bruit de — 53 phones par rapport au niveau d'intermodulation de 10 %. Nous voyons alors que même la magnétisation d'une petite partie du « Mu-métal » fournit déjà une magnétisation en courant continu perceptible de la bande et provoque donc un bruit de fond supplémentaire, de sorte qu'en cas de magnétisation de quinze pour cent du matériau de la tête, le bruit de fond nul de — 70 phones commencera à augmenter.



Courbe B en fonction de H pour « Mu-Métal »
(empruntée à *Telcon Metals*)

Fig. 1. — Magnétisation permanente de la tête magnétique.

Un effet dont toutes les conséquences équivalent à la magnétisation par courant continu de la tête d'enregistrement, est l'asymétrie du courant de polarisation qui peut être provoqué par une distorsion harmonique paire de l'oscillateur H.F. ou de l'amplificateur de courant de polarisation. Une distorsion de un pour cent par une deuxième harmonique donne une augmentation des crêtes positives et une diminution des crêtes négatives du champ de polarisation de un pour cent réalisant ainsi un enregistrement d'une composante continue égal à l'enregistrement produit par un champ de courant continu sur la fente de la tête d'enregistrement de un pour cent de l'amplitude du champ de polarisation.

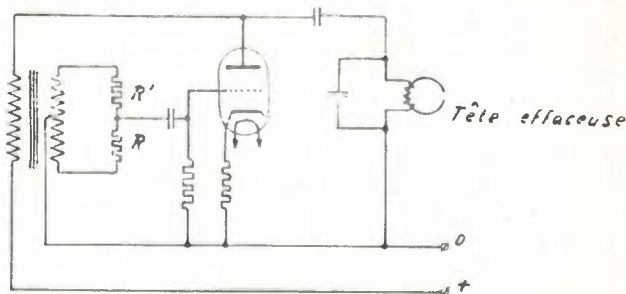
On applique à la même bande que nous venons de citer comme exemple un champ de polarisation

sur la fente de $2,7 \cdot 10^5$ A/m de sorte que un pour cent d'asymétrie donne une magnétisation par courant continu correspondant à celle d'un champ continu sur la fente de $2,7 \cdot 10^3$ A/m qui donnerait un bruit de modulation de — 45 phones par rapport à la puissance de sortie ; ceci correspond à — 68 phones par rapport au niveau d'intermodulation de dix pour cent. Il se trouve donc qu'une deuxième harmonique de un pour cent dans le courant de polarisation mène déjà une limitation de la dynamique.

En ce qui concerne l'asymétrie du courant d'effacement il en va de même que pour le courant de polarisation.

C'est donc une nécessité urgente de limiter l'asymétrie de courant d'effacement et de courant de polarisation à une valeur très faible, en tout cas jusqu'à moins de un pour cent. A cet effet, l'on peut utiliser des filtres ou des oscillateurs et des amplificateurs push-pull dont, cependant, le push-pull doit être excellent.

On peut éliminer l'asymétrie du champ d'effacement de façon simple en construisant le circuit magnétique de telle façon qu'à un endroit situé à une plus grande distance possible de la fente il se produise une saturation pour un courant d'excitation inférieur à la valeur de crête du courant d'effacement. Aussi les crêtes positives et négatives du champ d'effacement sur la fente sont-elles limitées symétriquement à un courant d'effacement asymétrique, comme la limitation par la saturation



R résistance normale du côté de la réaction positive.
R' résistance à coefficient de température négatif du côté de la réaction négative.

Fig. 2. — Montage oscillateur h.f. pour l'enregistrement magnétique

est toujours de façon symétrique. Cette méthode ne peut pas être utilisée pour la tête d'enregistrement, le champ du signal accusant alors une très forte distorsion.

Un autre moyen simple et bon marché consiste en l'utilisation d'un circuit oscillateur self-capacité, dans lequel la tête d'effacement est incorporée comme self-induction dans le circuit oscillateur et dans lequel, outre une forte réaction, une forte contre-réaction, qui est fournie en intercalant une résistance fonction de l'amplitude (thermistor), a été appliquée. En ce cas l'amplitude de l'oscillateur est limitée par la contre-réaction, qui augmente avec l'amplitude, en maintenant la linéarité du circuit. On peut limiter davantage la distorsion en utilisant une tête d'effacement d'un facteur de qualité élevée ; une tête à noyau de ferroxcube

s'est avérée très utilisable pour ce but. Le schéma de principe de ce circuit est représenté dans la figure 2. Un tel oscillateur présente pour un rendement d'énergie de presque cinquante pour cent, une distorsion bien inférieure à un pour mille.

Le courant de polarisation peut aussi être prélevé sur cet oscillateur en intercalant ou non un tube amplificateur à forte contre-réaction.

Le bruit de fond zéro peut aussi se trouver enlevé par l'utilisation d'un courant de polarisation d'une fréquence trop basse. En ce cas-ci le champ de polarisation lui-même est enregistré dans la bande magnétique et le bruit de fond de modulation de cet enregistrement enlève le bruit de fond zéro du signal reproduit.

Outre les points discutés, l'appareillage d'enregistrement offre peu de problèmes qui ne puissent être résolus selon les règles de la technique normale de l'amplification basse fréquence. En règle générale, on peut dire qu'il est utile de réaliser la courbe de fréquences désirée pour une préaccentuation (pre-emphasis) déterminée, par une contre-réaction en fonction de la fréquence dans l'amplificateur d'enregistrement, surtout en cas de forte préaccentuation.

Ayant traité les problèmes relatifs à l'enregistrement, passons maintenant aux problèmes de la limitation de la dynamique en ce qui concerne la reproduction. Ces problèmes sont posés du fait que, dans le cas d'une courbe de fréquences droite de la combinaison amplificateur d'enregistrement bande magnétique, le flux traversant la tête de lecture est proportionnel au signal, alors que la tension à vide sur la tête de lecture pour des signaux sinusoïdaux est proportionnelle à la fréquence. En cas d'amplitude constante du flux magnétique traversant la tête de lecture, la courbe de fréquences de la tension à vide sur la tête de lecture allant de 25 à 16 000 c/s augmente d'un facteur de 640 ou de 56 dB. La dynamique du signal sur la tête de lecture sera donc de $70 + 56 = 126$ dB et si cette tension est appliquée sur la grille du premier tube amplificateur, l'amplificateur doit donc avoir une dynamique d'au moins 126 dB.

Par suite de la proportionnalité avec la fréquence de la tension à vide sur la tête de lecture, la tension de signal est très faible pour un signal de fréquence basse, de sorte que l'on court le risque que dans les octaves basses le bruit de fond de l'amplificateur, le ronflement et les harmoniques de ronflement dépassent le niveau de perturbation de la bande. Sous ce rapport, il convient d'adapter la tête de lecture de façon optimum à l'entrée de l'amplificateur de reproduction, afin que le niveau d'entrée soit aussi élevé que possible. C'est pourquoi l'on essaiera, soit de mettre le plus de spires possible sur la tête de lecture, soit d'élever le plus possible la tension sur la tête en utilisant un transformateur d'entrée devant l'amplificateur. Cette élévation de tension est limitée par le fait que la self-induction de la tête éventuellement montée en série avec la self-induction répartie du transformateur d'entrée, s'accordera avec la capacité d'entrée de l'amplificateur et avec la capacité du conducteur. Cet accord mène à une crête de

résonance suivie par une chute assez raide de la courbe de fréquences. Il y a moyen d'amortir cette résonance et d'égaliser l'effet résiduel ; cependant ceci présente l'inconvénient suivant : en cas d'usure de la tête, la self-induction devient plus basse et la fréquence de syntonisation plus élevée, de sorte que la courbe de fréquences change lentement. C'est pourquoi il vaudra mieux de ne pas choisir trop élevée la proportion de transformation ou le nombre de spires sur la tête, de sorte que la fréquence de syntonisation se trouve encore au-delà de la gamme de fréquences, par exemple à 18 000 c/s. Si cette fréquence augmente par suite de l'usure de la tête, l'influence sur la courbe de fréquences du signal sera minime. Il faut encore remarquer que le plus souvent la meilleure adaptation est obtenue en utilisant un transformateur d'entrée et en appliquant sur la tête un nombre relativement petit de spires. En ce cas, la capacité du conducteur reliant la tête à l'amplificateur ne joue qu'un rôle secondaire dans l'adaptation, ce qui permet d'augmenter la tension d'entrée.

En cas d'adaptation optimum dans une gamme de fréquence de 25 à 16 000 c/s la tension d'entrée du premier tube amplificateur à dix pour cent d'intermodulation de la bande magnétique pour une bande normale, s'élève à environ 20 mV à 1 000 c/s ou 0,5 mV à 25 c/s, de sorte que pour le premier tube amplificateur il faut poser la condition que le bruit de fond dans la plus basse octave soit très faible et ne dépasse pas 5 μ V, c'est-à-dire que l'effet dit de scintillation du premier tube amplificateur doit être particulièrement faible. Un ronflement de 50 c/s doit rester au-dessous de 10 μ V, des harmoniques de ronflement de 150 c/s au-dessous de 1 μ V.

Un tube amplificateur B. F. peut remplir cette condition. Cependant, ce qui est aussi important que le premier tube, c'est la protection de la tête contre des champs parasites de la fréquence du réseau. L'on a souvent besoin d'une double boîte de blindage en « Mu-métal ».

Un tube amplificateur d'un souffle équivalent au souffle donné par une résistance de 10 000 Ω donne un bruit blanc environ 1,7 μ V sur la gamme de fréquences de 25 - 16 000 c/s.

Par rapport au niveau de signal ceci donne, après égalisation de la courbe de fréquences, une dynamique de 87 phones, outre le ronflement et l'effet dit de scintillation. Donc le bruit d'amplificateur dans la gamme moyenne et dans les octaves élevées ne doit jamais jouer un rôle, puisque, en cas de courbe de fréquences droite de la bande magnétique avec pré-amplification (pre-emphasis) le niveau de signal sur la tête est à 16 000 c/s de 56 dB plus élevé qu'à 25 c/s, de sorte qu'il est possible, sans introduire un bruit d'amplificateur, d'égaliser dans l'amplificateur une baisse de la courbe de fréquence de la bande pour les hautes fréquences.

Comme nous l'avons déjà constaté plus tôt, l'amplificateur doit avoir une dynamique d'au moins $70 + 56$ dB = 126 dB, si la tête ou le transformateur d'entrée est directement relié à la grille du premier tube amplificateur. L'amplificateur n'ayant pas besoin d'introduire de bruit de fond, il reste

à savoir si cette dynamique de 126 dB du signal ne mènera pas à une distorsion dans l'amplificateur. C'est pourquoi il y a lieu de se demander s'il est possible d'égaliser la courbe de fréquences de la tension à vide de la tête de lecture avant que celle-ci est reliée à la grille. Dans ce cas la dynamique du signal à la grille ne sera que de 70 phones.

La façon la plus simple de réaliser ceci est d'appliquer à la tête de lecture ou au côté secondaire du transformateur une résistance. R (figure 3). L'impédance intérieure de la tête, qui est une self-induction L , donne alors, combinée avec la résistance R l'égalisation désirée. Ainsi, le niveau de

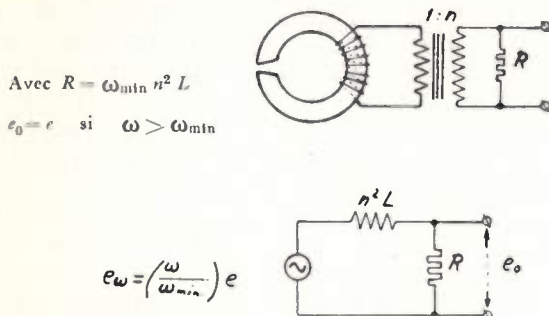


FIG. 3. — Egalisation de la courbe de fréquence à la tête lectrice.

signal sur la tête de lecture devient pour toutes les fréquences égal au niveau à la plus basse fréquence. Comme par suite de l'amortissement par la résistance l'élévation de la tension de la tête de lecture par le transformateur d'entrée peut être plus considérable, le premier tube ne donne pas encore un bruit de fond supplémentaire. Cependant le signal est tant affaibli que le bruit de fond de la résistance R dépasse le niveau de perturbation de la bande. Quoique le risque de surcharge soit donc devenu plus petit, la dynamique a diminué tout de même.

Lorsqu'on calcule à une égalisation de 25 à 16 000 c/s le signal à une intermodulation de bande de dix pour cent et le bruit de fond de la résistance R , l'on trouve que la dynamique ne peut être supérieure à environ 65 phones. Cette méthode n'est donc pas recommandable. De préférence nous effectuerons donc l'égalisation après un ou plusieurs étages d'amplification.

Maintenant nous allons voir s'il ne se présente pas de distorsion de l'amplificateur au plus haut niveau de signal, si nous n'égalisons pas immédiatement après la tête de lecture. On peut s'attendre à ce que la distorsion de l'amplificateur augmente vers les hautes fréquences, puisque le signal augmente en proportion avec la fréquence. Un effet plus grave peut donner la distorsion de son différentiel. Deux notes assez aiguës peuvent ensemble donner un son différentiel assez bas par la distorsion causée par un terme quadratique dans la courbe. Le réseau d'égalisation affaiblit ce son différentiel beaucoup moins que les sons de signal de fréquence plus élevée, de sorte que le son différentiel ressort avec force. Lorsque d_2 et d_3 sont les pourcentages de distorsion du 2^e et du 3^e

harmonique et d le pourcentage de son différentiel tout ceci pour le cas que l'égalisation soit effectuée devant l'amplificateur et d_2' , d_3' , d' les grandeurs correspondantes pour le cas où l'égalisation est effectuée après l'amplificateur, l'on peut faire le calcul suivant, supposant qu'il ne se présente qu'une déviation de la courbe linéaire du tube par suite d'un terme quadratique et cubique :

$$d_2' = \frac{\omega}{\omega_{\min}} d_2$$

$$d_3' = \left(\frac{\omega}{\omega_{\min}} \right)^3 d_3$$

$$d_v' = \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_{\min} (\omega_1 - \omega_2)} d_v = 0,7 \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_{\min} (\omega_1 - \omega_2)} d_2$$

Dans ce calcul ω présente la fréquence de signal en cas de mesure de la disproportion simple, ω_1 et ω_2 sont les fréquences de signal en cas de mesure du son différentiel. La distorsion simple et de son différentiel correspond à la même modulation de l'amplificateur. A un niveau de signal maximum la distorsion a été mesurée sur un amplificateur déterminé avec égalisation après le premier étage d'amplification.

A 4 000 c/s, $d_2' = 0,3 \%$, ce qui ne nuit pas encore à la qualité de la reproduction sonore.

Le son différentiel de deux sons de 4 000 et 4 250 c/s était cependant, déjà égal à $d' = 7,7 \%$.

On voit donc que de cette façon il peut se produire en cas de faibles pourcentages de distorsion simple une distorsion spécifique des notes aiguës fort perturbantes (distorsions, bas accompagnement de l'harmonie d'alto et de soprano). La bande elle-même ne peut pas donner ces effets, celle-ci ne produisant pas de distorsion harmonique paire.

On peut remédier à cet inconvénient en utilisant un amplificateur push-pull qui doit avoir un bon push-pull ou bien une très forte contre-réaction.

Ce dernier moyen est le plus efficace, si cette contre-réaction est une fonction de la fréquence de telle façon qu'en même temps l'égalisation soit effectuée. En ce cas nous trouvons pour les pourcentages de distorsion.

$$d_2'' = \frac{\omega_{\min}}{\omega} d_2$$

$$d_3'' = \frac{\omega_{\min}}{\omega} d_3$$

$$d_v'' = \frac{\omega_{\min}}{\omega_1 - \omega_2} d_v = 0,7 \frac{\omega_{\min}}{\omega_1 - \omega_2} d_2$$

Dans ce cas la distorsion a donc considérablement diminué, et en même temps la distorsion du son différentiel ne ressort plus.

La dynamique d'un amplificateur construit de cette façon peut considérablement dépasser celle du

ruban magnétique, ainsi permettant de bénéficier à l'avenir de la réalisation possible d'une meilleure bande magnétique.

Un tel amplificateur peut être construit de deux façons : dans la contre-réaction peut en même temps être intercalée l'impédance de la tête ou non (figure 4). Les deux systèmes ont leurs avantages spécifiques.

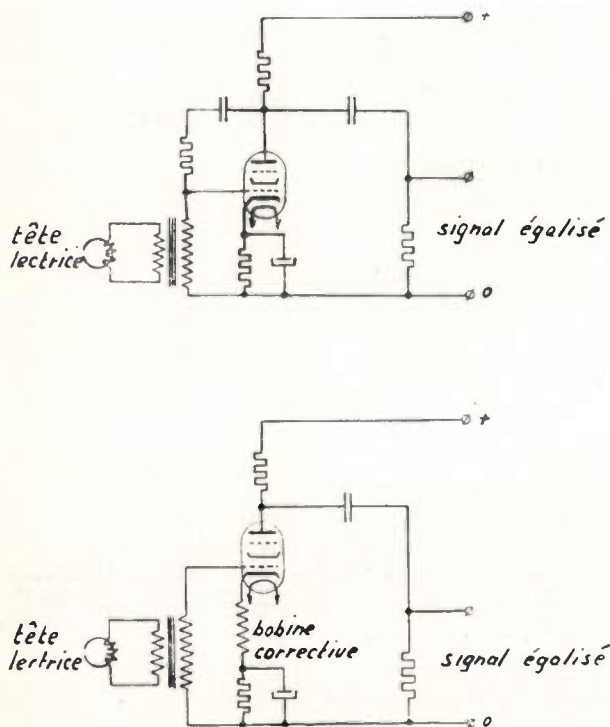


FIG. 4. — Deux montages de principe pour l'égalisation du signal dans l'amplificateur de lecture par contre-réaction.

Si la contre-réaction s'effectue par l'intermédiaire de l'impédance de la tête, l'amplification de l'amplificateur, donc également la puissance de sortie du signal augmentera en cas d'usure provoquant une baisse de la self-induction de la tête. Par cette contre-réaction l'impédance dont la tête est apparemment chargée est basse, de sorte que de même qu'en cas d'égalisation par l'application d'une résistance appropriée sur la tête l'on peut augmenter davantage la puissance d'entrée du signal en élevant la proportion du transformateur d'entrée. Le deuxième circuit manque cet avantage, cependant la puissance de sortie du signal ne change pas non plus en cas d'usure de la tête. Comme le signal en cas d'adaptation optimum est, également dans le deuxième cas, largement suffisant pour ne pas introduire de bruit d'amplificateur, la deuxième méthode est la plus recommandable.

Ayant montré les différents maillons dans la chaîne de l'enregistrement magnétique et de la reproduction et ayant traité leur construction optima, nous pouvons nous demander s'il y a une possibilité d'augmenter la dynamique de 70 phones

de l'enregistrement magnétique par des mesures spéciales.

En premier lieu, on pourrait envisager l'enregistrement stéréophonique sur deux pistes juxtaposées. Ceci fournit une qualité de reproduction bien meilleure que la reproduction à un canal. Dans la combinaison acoustique des signaux venant des haut-parleurs des deux canaux, nous avons utilisé pour l'enregistrement et la reproduction toute la largeur de la bande, de sorte qu'on s'attendrait à ce que la proportion signal-bruit de fond de la combinaison soit la même que celle de la reproduction par un canal. Ceci est, en effet, le cas au point de vue physique, cependant, la dynamique perçue par l'oreille se trouve avoir augmenté. On peut expliquer ce phénomène par le fait que le volume de signal en cas de reproduction stéréophonique est plus grand que lorsqu'on fait produire la même énergie de son par un haut-parleur simple, alors que ceci n'est pas applicable au bruit passant dans les deux canaux.

Une autre méthode correspond au fait que la dynamique de la bande magnétique est la plus mauvaise dans les basses octaves. Le bruit de fond de la bande est le plus grand ici, le bruit zéro aussi bien que le bruit de modulation, et la dynamique peut encore être diminuée par le ronflement ou par l'effet de scintillation. On pourrait transposer vers le haut la bande de fréquences de signal de 1 000 c/s par exemple et la remettre dans la position initiale pendant la reproduction. De cette façon l'on peut couper les octaves ayant la plus petite dynamique, de sorte que la dynamique totale augmente.

Une troisième méthode, dans laquelle on utilise également deux pistes consiste dans l'enregistrement des octaves basses dans une piste et des octaves élevées dans l'autre. Ainsi l'intermodulation des notes basses et des notes aiguës est éliminée. Comme celles-ci donnent une distorsion bien plus gênante que celles provoquées par les sons harmoniques, la bande peut être modulée de façon plus profonde au même degré de distorsion et la dynamique a donc augmenté. On peut combiner cette méthode avec un enregistrement stéréophonique en enregistrant les notes aiguës des deux canaux des deux côtés de la bande et les notes basses combinées des deux canaux dans la moyenne des trois pistes. De cette façon le problème de la diaphonie des canaux stéréophoniques est résolu, sans avoir nui à la stéréophonie par la combinaison des notes basses, les notes basses ne contribuant pas à l'audition directive.

Il est apparu qu'il est aussi possible d'enregistrer deux signaux successivement dans deux couches de la même piste, de sorte qu'ils se trouvent superposés l'un sur l'autre. Alors on enregistre d'abord avec un courant de polarisation relativement élevé et on superpose un enregistrement avec un faible courant de polarisation, effaçant ainsi la couche supérieure du premier enregistrement et y substituant le deuxième enregistrement. Lorsqu'on enregistre de cette façon d'abord les notes basses en y superpo-

sant ensuite les notes aiguës, ce qui est seulement possible avec une petite différence de durée de propagation, l'intermodulation se trouve être inférieure de plus de 10 dB à celle en cas d'enregistrement normal, de sorte qu'ici aussi on a réalisé un gain de dynamique en faveur de l'auditeur.

Pour l'utilisation des deux méthodes, enregistre-

ment séparé des notes basses et aiguës juxtaposés ou superposés, on n'a qu'à diviser la tête d'enregistrement à un canal. Le reste de l'équipement, l'amplificateur d'enregistrement et la chaîne de reproduction restent les mêmes. Un tel enregistrement peut être reproduit sur un appareil de reproduction conventionnel normal.

UN SYSTÈME D'ENREGISTREMENT ET DE REPRODUCTION DES SIGNAUX DE TÉLÉVISION

PAR

C. G. MAYER

Représentant technique de R. C. A. en Europe

Au congrès de Télévision de votre Société qui s'est tenu à Paris en 1948, j'ai eu l'honneur de vous présenter nos progrès dans l'enregistrement de la télévision sur film photographique. C'est ce qui me rend très heureux d'avoir maintenant l'occasion de vous mettre au courant du système R. C. A. d'enregistrement et de reproduction des signaux de télévision par ruban magnétique. L'étude de ce procédé a été faite au Centre de recherches David SARNOFF (David SARNOFF Research Center) par le Docteur F. H. OLSON et ses collaborateurs (1) à qui nous devons cette communication. Malheureusement, ils ne peuvent pas être présents, de sorte que ce m'est un agréable devoir que de vous parler aujourd'hui de ce sujet.

Les appareils que je vais décrire permettent d'enregistrer et de reproduire les images monochromes et les images en couleurs; une démonstration publique en a été faite aux Laboratoires R. C. A. de Princeton (New Jersey), au mois de Décembre 1953.

Ruban.

Le ruban est formé d'une base en acétate de cellulose revêtue d'un oxyde rouge de fer. La base d'acétate a une épaisseur de 43 microns; l'épaisseur du revêtement d'oxyde de fer est de 10 microns environ. La largeur du ruban employé pour la reproduction de la télévision en couleurs est de 12,7 mm; pour la reproduction monochrome il suffit d'un ruban de 6,35 mm de large, de sorte qu'il

est possible d'enregistrer deux programmes en parallèle sur un ruban de 12,7 mm. La force coercitive du ruban employé dans la démonstration était de 250 oersteds, avec une aimantation résiduelle de 770 gauss.

Mécanisme d'entraînement du ruban.

Ce mécanisme a été établi de manière à réduire au minimum les variations rapides de la vitesse pour cause de déformation des images. On appréciera avec quelle précision doit être maintenue la constance de la vitesse par cette remarque : une variation brusque de la vitesse égale à un millionième produit un petit écart d'environ 5 millimètres dans l'image reçue sur un écran de 30 centimètres. De plus les variations lentes de la vitesse doivent rester bien en-dessous de un élément d'image par ligne de balayage.

On a donné (figure 1) un schéma du mécanisme qui produit le mouvement du ruban. La vitesse du déroulement est produite par un rouet entraîné à 30 tours par seconde ayant une circonférence de 30 centimètres. Les variations brusques de la vitesse sont éliminées par l'emploi d'un volant. Il est nécessaire que les paliers qui supportent l'arbre de ce volant soient finis avec la plus grande précision, qu'ils soient parfaitement alignés, et que l'équilibrage, tant statique que dynamique en soit particulièrement soigné. Même quand les vitesses du mécanisme d'entraînement sont parfaites, il faut veiller à maintenir la constance de la tension du ruban, sans quoi il se produirait des variations de la position du ruban, conséquences des efforts de traction. On maintient la constance de la tension du ruban en faisant entraîner une génératrice par

(1) Harry F. OLSON, W.-D. HOUGHTON, A.-R. MORGAN, Joseph ZENEL, Maurice ARTZT, J.-G. WOODWARD et J.-T. FISCHER.

Note du Traducteur : dans la traduction nous avons maintenu l'adjectif « composite » du texte original dans l'expression « signal composite » qui désigne le signal électrique formé par la réunion des 4 signaux originaux, soit 3 signaux de couleurs et 1 signal de synchronisme.

l'arbre de la bobine d'alimentation et en utilisant un dispositif à réaction pour maintenir la charge de cette génératrice. Il faut que cette condition soit réalisée quand la vitesse varie entre les deux valeurs extrêmes de 300 tours par minute pour une bobine pleine et 600 tours par minute pour une bobine vide. La bobine qui reçoit le ruban est entraînée par un moteur et le circuit de réaction est disposé de manière qu'il se produise une tension constante au déroulement. Ces deux tensions d'alimentation au déroulement du ruban et à la prise du ruban sont maintenues constantes, que les bobines soient pleines ou vides. On voit dans le schéma qu'il existe quatre poulies folles pour guider le ruban sur les têtes, sur le rouet et sur la bobine d'enroulement. Une molette folle en caoutchouc est pressée contre le rouet et son rôle est de comprimer le ruban de manière à le maintenir au contact du rouet pour déterminer sa vitesse.

Les bobines qui reçoivent le ruban forment une partie importante du mécanisme d'entraînement du ruban; il faut qu'elles n'aient pas une inertie excessive pour que la durée de démarrage soit satisfaisante, et qu'elles soient parfaitement équilibrées pour qu'on retire tous les avantages

centrale a un diamètre de 20 cm. Quand on emploie un ruban de 53 microns d'épaisseur, une bobine pleine contient environ 2 000 mètres de ruban. Un ruban de 12,5 mm de largeur et de 2 000 mètres de long, pèse environ 2 kg et se déroule en 4 minutes environ à la vitesse de 9 mètres par seconde, équivalente à 32 km à l'heure. On considère que la durée normale d'un élément de programme de télévision est de 15 minutes et l'un des buts des recherches actuellement en cours est d'atteindre cette durée par une bobine de 48 cm de diamètre.

Têtes d'enregistrement et têtes de reproduction.

L'énorme difficulté du problème de l'enregistrement des signaux d'image sur ruban magnétique apparaît à tous ceux qui ont la pratique de l'art correspondant de l'enregistrement sonore. Un calcul simple montre que, si l'on enregistre une fréquence de 4 Mc/s sur un ruban se déroulant à 9 mètres par seconde, la longueur d'onde mesurée sur le ruban est inférieure à 2,5 microns. Il faut évidemment que la longueur effective de l'entrefer soit nettement inférieure à la longueur d'onde à enregistrer, et c'est un véritable problème que de fabriquer des têtes correspondant à des entrefers de dimensions aussi réduites. De plus, les entrefers doivent être alignés très soigneusement pour qu'un même ruban puisse être employé à l'enregistrement sur une tête et à la reproduction sur une autre tête sans qu'il y ait diminution de la qualité de l'image obtenue.

Quand on considère qu'il faut couvrir une bande de fréquences de 16 à 18 octaves, on réalise que c'est un problème extrêmement difficile que de fabriquer des têtes ayant les qualités électriques et magnétiques nécessaires. Les matériaux magnétiques doivent avoir une perméabilité élevée, constante dans toute la bande des fréquences; de même l'impédance électrique de la bobine qui enveloppe le circuit magnétique de la tête doit être raisonnablement constante, et exempte de résonance, particulièrement aux fréquences élevées. Il faut également que la configuration des têtes satisfasse à certaines conditions. En premier lieu, la tête mise en place doit être stable, malgré les variations de température et d'humidité; en second lieu, la tête doit résister à l'usure produite par le frottement du ruban. Troisièmement, la tête doit avoir des dimensions très petites pour permettre l'utilisation des voies multiples employées dans l'enregistrement et la reproduction des images en couleur. Il faut également satisfaire à plusieurs autres conditions mécaniques relatives au montage des têtes, à la mise sous écran des connexions électriques, au réglage de la position des têtes, etc... Malgré ces difficultés il a été possible d'établir un ensemble de têtes satisfaisantes et de les employer pour donner une solution raisonnable à tous les problèmes qui se posaient.

Les expériences ont permis d'établir que la réponse en fréquence des têtes est uniforme,

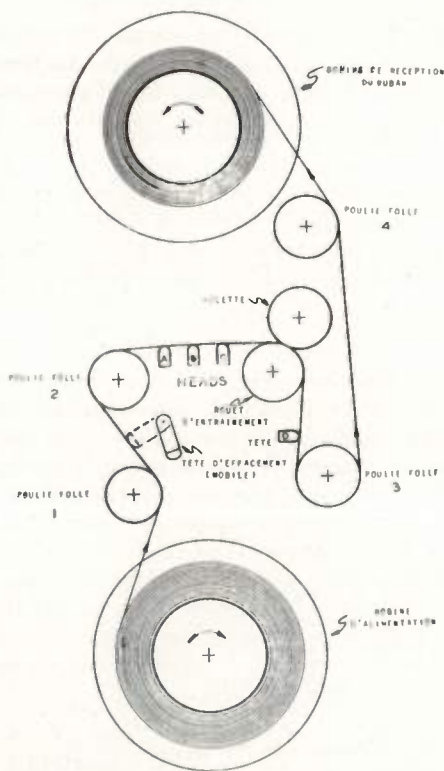


FIG. 1

de l'entraînement à tension constante. La durée d'utilisation d'une bobine pleine dépend du diamètre de cette bobine, de l'épaisseur du ruban et de sa vitesse d'entraînement. Les bobines employées actuellement ont 43 cm de diamètre et leur partie

qu'elle donne un rapport signal/bruit satisfaisant jusqu'à 3,5 Mc/s et que l'impédance de la tête primaire ne donne pas de résonance à la fréquence la plus élevée. Les propriétés de l'habillage des têtes ont été satisfaisantes bien que la mise au point de cet habillage ne soit pas achevée.

Dispositif d'enregistrement et de reproduction du son.

Dans les dispositifs usuels d'enregistrement du son sur ruban magnétique, le ruban se déplace habituellement à une vitesse de 38 cm par seconde environ. Il est nécessaire d'apporter un soin particulier à la construction et au réglage de ces appareils pour que les fréquences élevées, 10 000 c/s par exemple, soient reproduites d'une manière satisfaisante, à cause de la longueur d'onde extrêmement courte qui leur correspond. Dans l'enregistrement de la télévision où la longueur d'onde est environ 25 fois plus élevée, il se présente des conditions tout à fait inverses pour l'enregistrement des audiofréquences. Il est alors plus difficile d'enregistrer et de reproduire les audiofréquences les plus basses aux niveaux usuels au-dessus du bruit, à cause de la longueur d'onde extrêmement grande qui leur correspond. Par exemple, un son de 100 c/s, enregistré par ruban video correspond

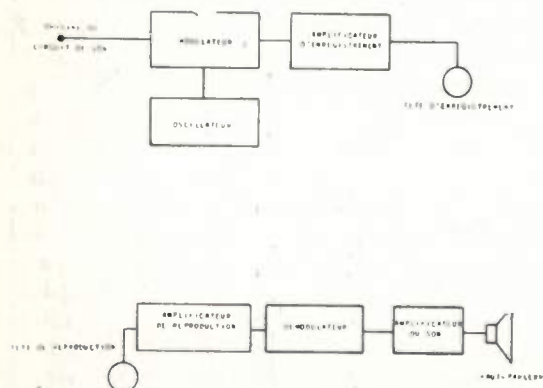


FIG. 2

à une longueur d'environ 10 centimètres, alors que, sur un ruban d'enregistrement sonore du type normal, la longueur d'onde est seulement de 0,25 centimètre au plus. L'étude de ce problème, où il faut tenir compte de la nécessité d'éviter la diaphonie entre la piste sonore et les pistes d'image adjacentes, a conduit à une nouvelle méthode d'enregistrement du son faisant intervenir une porteuse modulée.

On a donné figure 2 un schéma de principe de l'équipement sonore. On voit que le signal enregistré sur ruban est une porteuse modulée par le signal sonore, qu'il faut démoduler à la reproduction. Les amplificateurs d'enregistrement et de reproduction comportent l'un et l'autre des circuits accordés, et leur bande passante est centrée sur la porteuse de 150 kc/s. Les têtes du circuit du son sont semblables à celles du circuit d'image.

Dispositif d'enregistrement et de reproduction sur les signaux de télévision en couleur.

Le schéma de masse de la figure 3 indique les appareils nécessaires à l'enregistrement d'un signal d'image composite en couleur, recueilli à la sortie d'une installation microondes ou à la sortie video d'un récepteur de télévision. Le signal composite est appliqué à un démodulateur de couleur qui restitue en 3 sorties séparées, les trois signaux des couleurs (rouge, vert et bleu) en même temps que l'information de synchronisme qui leur est associée. Les quatre signaux ainsi obtenus sont conduits à des amplificateurs d'enregistrement, puis à leurs têtes respectives d'enregistrement. Le signal de son module une porteuse comme il a été décrit précédemment et traverse un cinquième amplificateur d'enregistrement d'où il est conduit à la tête d'enregistrement sonore.

Les amplificateurs d'enregistrement sont établis de manière à produire les compensations de phase et de fréquence et à donner les flux nécessaires pour l'enregistrement; de cette manière, les signaux sont enregistrés sur le ruban magnétique au moyen de 5 pistes différentes.

Comme il est indiqué au schéma, le ruban se déplace vers le haut, et il existe une tête d'effacement qui permet d'effacer toutes les informations enregistrées sur le ruban, et de le mettre à nouveau en état de recevoir un nouvel enregistrement.

La tête d'effacement consiste en un aimant permanent de construction spéciale, qui soumet les éléments du ruban à des champs magnétiques alternés, et qui laisse le ruban dans un état magnétique fixé à l'avance. Cette tête est éloignée du ruban quand on ne désire pas effectuer l'opération d'effacement.

Le ruban traverse ensuite les têtes d'enregistrement où une nouvelle information est emmagasinée sous forme d'un flux correspondant au signal. Le ruban, après avoir reçu l'enregistrement, traverse les cinq têtes de reproduction dans lesquelles sont engendrés des signaux électriques correspondant aux flux enregistrés sur le ruban. Ces signaux peuvent être employés pour la reproduction ou pour le réglage. Puisque les têtes de reproduction ne modifient pas le type de flux enregistré, il est possible de reproduire les signaux enregistrés autant de fois qu'on le désire, simplement en faisant traverser la machine par le ruban, la tête d'effacement étant mise à l'écart, les têtes d'enregistrement n'étant pas excitées.

Chaque amplificateur d'enregistrement contient un dispositif de polarisation particulier qui permet d'obtenir une amplitude suffisante du signal d'image. Ainsi le niveau du signal « noir » d'image est déterminé de manière à avoir une valeur déterminée sur la caractéristique magnétique du ruban. Le signal « blanc » fait alors varier l'état magnétique qui lui correspond. Les signaux qui sont produits par le ruban magnétique ont essentiellement la même forme que les signaux

issus d'une caméra de télévision en couleurs. Pour employer ces signaux à la modulation d'un émetteur de télévision, il faut les combiner de manière à former un signal composite utilisable à l'émission.

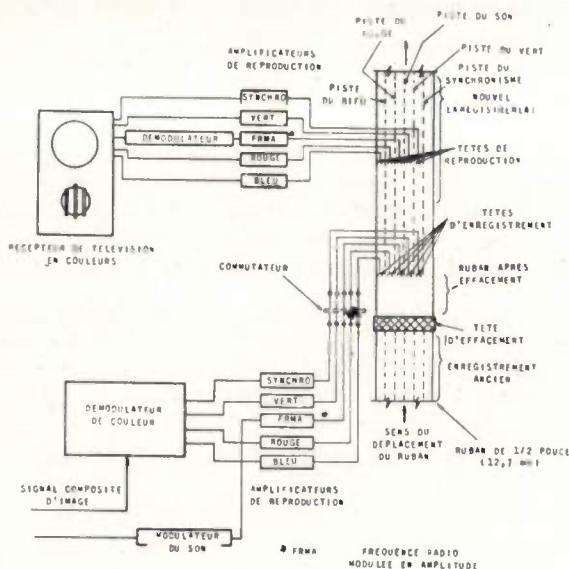


FIG. 3

sion, comme cela se produit dans la caméra d'un studio. Il existe cependant une différence dans l'emploi des signaux issus d'un ruban magnétique, car ici les signaux de synchronisme sont reconstitués et ils sont relatifs à l'information enregistrée sur le ruban.

Enregistrement vidéo et reproduction de la télévision monochrome.

Pour enregistrer la télévision en blanc et noir il suffit d'employer deux pistes sur ruban de 1/4

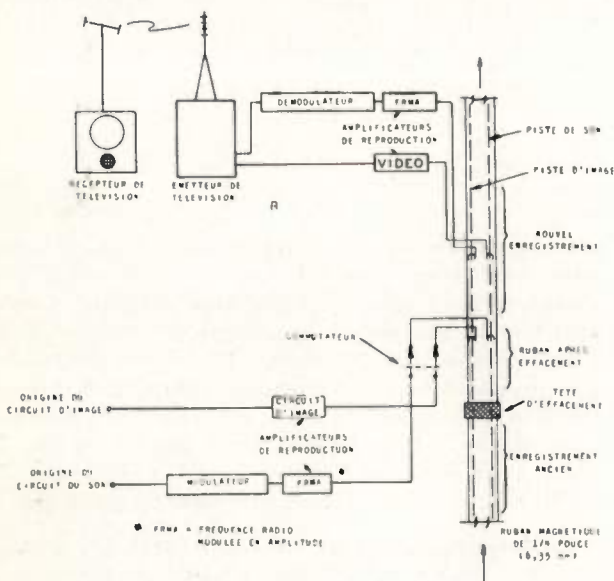


FIG. 4

de pouce (6,35 mm). Comme il est indiqué figure 4, une piste reçoit le signal video complet (son et synchronisme) et l'autre piste est utilisée pour le signal de son. Ces signaux sont traités d'une manière analogue à celle décrite plus haut pour ceux de la télévision en couleurs, mais ici on trouve à la sortie de l'amplificateur de reproduction le signal d'image complet qui, en même temps que le signal de son démodulé, peut être appliqué à un émetteur de télévision; l'émission peut être reçue dans un récepteur de télévision monochrome du type normal.

Comparaison des deux procédés d'enregistrement de la télévision : film photographique et ruban magnétique.

L'enregistrement par tube récepteur cathodique sous sa forme usuelle est indiqué figure 5. Ici l'image de télévision est reproduite sur un récepteur d'image et on emploie une caméra de cinéma, de type convenable, pour photographier l'image produite sur l'écran et pour enregistrer le son. Le film subit le développement et les manipulations consécutives et habituellement on fait une copie (a print) avant que les images puissent être reproduites. La reproduction exige une autre installation qui peut être un balayage par flying-spot ou un projecteur de cinéma et une caméra de télévision convenable. Ces opérations consomment beaucoup de temps et la qualité des images est imparfaite car elles doivent subir à la fois les aléas de la télévision et ceux de la photographie.

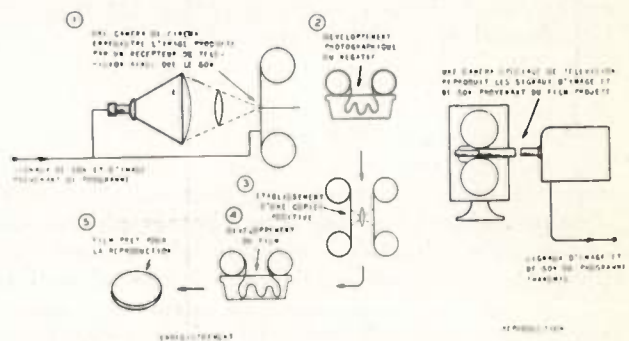


FIG. 5

La figure 6 donne un schéma de la méthode d'enregistrement sur ruban magnétique qui vient d'être décrite. Aucun travail de développement ou de copie n'est nécessaire quand on emploie le ruban magnétique. Il est possible de reproduire le programme enregistré sur le ruban au moyen de l'appareil qui a servi à l'enregistrement. Comme dans la pratique du cinéma, quand il s'agit d'enregistrer et de reproduire un programme de longue durée, on utilise plusieurs bobines de ruban.

Des estimations comparatives des prix de revient (comprenant la main-d'œuvre, le prix du ruban employé et l'amortissement du matériel) sont de beaucoup en faveur du ruban magnétique.

magnétique en citant les paroles du Docteur ENGSTROM, Vice-Président chargé des Laboratoires R. C. A.

« Alors qu'il reste encore à traiter quelques problèmes techniques pour que l'équipement

« d'enregistrement d'image sur ruban magnétique
« prenne un caractère commercial, la R. C. A.
« considère que la partie la plus difficile du problème a été résolue et qu'il est certain que le
« problème de l'enregistrement sera complètement
« résolu avec un plein succès ».

ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE DES SIGNAUX VIDEO

PAR

J. T. MULLIN

Ingénieur en Chef

des « BING CROSBY ENTERPRISES »

La nécessité d'enregistrer les signaux de télévision est chose bien établie. Il suffit de suivre pendant quelques heures les programmes transmis par une quelconque station de télévision pour se rendre compte qu'une grande partie des heures d'émission est consacrée à la transmission d'enregistrements sur tube. Sauf cas exceptionnels, il y a assez de perte de qualité pour que l'on puisse reconnaître un tel enregistrement sur un récepteur domestique courant.

Il y a, en effet, dans le procédé de l'enregistrement sur tube, un très grand nombre de points de la chaîne où des dégradations peuvent apparaître, et l'on peut en citer jusqu'à quatorze, dont neuf sont dans la partie de la chaîne relative au traitement de l'information sous sa forme optique.

Nous avons pensé, aux « BING CROSBY ENTERPRISES », dès Avril 1948, que si l'information video pouvait être traitée de la même façon que les enregistrements sonores de haute qualité sur ruban magnétique, les techniques d'enregistrement seraient simplifiées, et les étapes optiques seraient éliminées. La méthode d'enregistrement deviendrait alors presque complètement électronique et les prix de revient seraient réduits par la simplification du mode opératoire et la diminution du volume de matériel à prévoir. On ne doit pas perdre de vue, par exemple, que le ruban magnétique peut être effacé à volonté et réutilisé presque indéfiniment.

On examina un certain nombre de modes d'approche du problème susceptibles d'offrir des possibilités de solution. Un procédé, plus que tous les autres, apparut comme étant le plus prometteur. Vers la fin de 1949, sa possibilité avait été démontrée par des expériences et c'est ce système qui a

servi de base à notre « video tape recorder » actuel, ou en abrégé « V. T. R. ».

Etant donné la nature du problème à résoudre, il faut d'abord déterminer quelle est la fréquence la plus élevée qu'il sera désirable de reproduire et, ensuite, combiner tout l'équipement autour de cette valeur. Ainsi l'équipement devra répondre à toutes fréquences comprises entre zéro cycles et la fréquence de coupure en question.

Comme prémices de nos calculs, nous nous assignâmes de réaliser une maquette de notre « V. T. R. », qui restituerait des images ayant une définition supérieure à celle d'un bon enregistrement 16 mm sur tube.

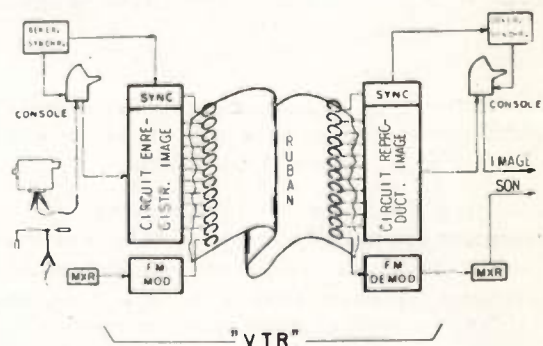


FIG. 1

Le fonctionnement du V. T. R. est basé sur une méthode visant à conserver au ruban sa vitesse de défilement ordinaire et, par suite, permettant de fournir un spectacle d'un quart d'heure à partir de bobines de dimensions raisonnables. Au lieu d'enregistrer une piste unique sur toute la lon-

gueur de la bande, comme pour le son, ce qui entraîne une vitesse de défilement élevée, vu la bande de fréquences nécessaires, nous enregistrons simultanément l'information video sur 10 pistes parallèles (figure 1). Une onzième piste est réservée aux signaux de synchronisation verticale et horizontale, et une douzième piste au son. A la reproduction, les signaux provenant des dix pistes video sont combinés pour produire le signal unique d'une image à haute définition.

La figure 2 représente le procédé d'enregistrement.

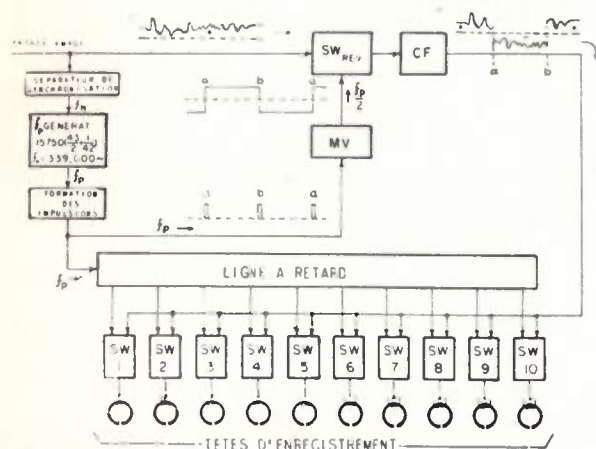


Fig. 2

La synchronisation-ligne du signal video d'entrée actionne une série de circuits de comptage de telle manière qu'il en sorte des impulsions dont la fréquence de récurrence f_p est liée à la fréquence f_h des lignes horizontales par la relation :

$$f_p = f_h \left(\frac{43}{2} + \frac{1}{42} \right)$$

Pour $f_h = 15\,750$ c/s, cette relation donne :

$$f_p = 339\,000 \text{ c/s}$$

Les impulsions de fréquence f_p font basculer un multivibrateur qui actionne un commutateur électronique SW_{rev} , inverseur de polarité.

L'examen des formes d'ondes de la figure 2 montre comment la polarité du signal video entrant est périodiquement inversée par ce commutateur. Celui-ci est soigneusement équilibré : il déclenche et atteint son régime stable dans les deux sens en moins de 0,05 microseconde. Le signal video ainsi inversé à la cadence de 169,5 kc/s, est appliqué à travers un amplificateur cathodique à une série de 10 commutateurs en parallèle, tandis que les impulsions à la fréquence f_p sont appliquées à une ligne à retard. Rappelons que la fréquence de récurrence de ces impulsions est de 339 kc/s. Leur durée est d'environ 0,15 microsecondes.

La ligne à retard comporte 9 sections d'égal retard. Ainsi, l'excitation des sorties successives

par une impulsion pénétrant dans la ligne à retard se fait toutes les 0,295 microsecondes, tandis que la cadence des excitations d'une même sortie par les impulsions successives est de 2,95 microsecondes.

L'impulsion ne durant que 0,15 microsecondes, chacun des commutateurs branchés sur une sortie de la ligne à retard pourra recevoir l'échantillonnage du signal video pendant la durée entière de l'impulsion. Le fonctionnement de chaque commutateur applique donc pendant 0,15 microsecondes une impulsion de courant à la tête d'enregistrement qui lui est associée, et le signal enregistré sur la bande devient un petit aimant élémentaire dont l'intensité d'aimantation est fonction de l'amplitude du signal video à l'instant de l'échantillonnage, tandis que la polarité de ce petit aimant est fonction de celle du signal video au même instant, telle qu'elle a été déterminée par le commutateur SW_{rev} .

Comme le petit aimant est le résultat d'une impulsion de courant de durée extrêmement brève, il n'y aura pratiquement pas d'étalement dû au mouvement du ruban et l'épaisseur de l'aimant élémentaire sera à peu près égale à la largeur de l'entrefer de la tête d'enregistrement.

Peu de temps après que la tête N° 1 a enregistré un élément de signal, l'impulsion, retardée par la ligne à retard, se présente au commutateur suivant de la chaîne et le signal video échantillonné à nouveau est enregistré cette fois par la tête N° 2 et ainsi de suite pour les dix commutateurs et les 10 têtes.

A la fin de cette séquence, la polarité des signaux video d'entrée s'inverse et chaque tête d'enregistrement est alors excitée en sens inverse. Le premier petit aimant enregistré dans la bande, sous la tête N° 1 a progressé par suite de l'entraînement de la bande et ne se trouve plus sous l'entrefer de cette tête. Lorsque le commutateur de la tête N° 1 excite à nouveau cette tête pendant 0,15 microsecondes, l'aimant que le nouvel échantillonnage enregistre sur la bande est de polarité contraire à celle du précédent. Ceci se répète pour les neuf autres têtes.

En résumé, c'est un signal alternatif qui est enregistré sur chaque piste. Chacune des moitiés, positive et négative de ce signal, représente un point d'image et la fréquence des alternances est 169,5 kc/s. Chaque tête enregistre donc 339 000 points par seconde et, puisqu'il y a dix têtes, le système est capable d'enregistrer 3 390 000 points par seconde, c'est-à-dire l'information contenue dans un signal video dont la largeur de bande s'étend jusqu'à 1,695 Mc/s.

Il n'est pas nécessaire dans ce type d'enregistrement d'utiliser une polarisation, car l'amplitude du signal est suffisamment élevée pour que la réponse en amplitude soit linéaire.

A la reproduction chacune des dix têtes video est excitée par un fort courant porteur, à 169,5

Kc/s qui se trouve modulé en amplitude par l'information video originale (voir figure 3).

A l'aide d'un redresseur à double alternance, et après préamplification, chaque signal est converti en une tension de signe constant comportant une forte composante à 339 kc/s. Cette fréquence est

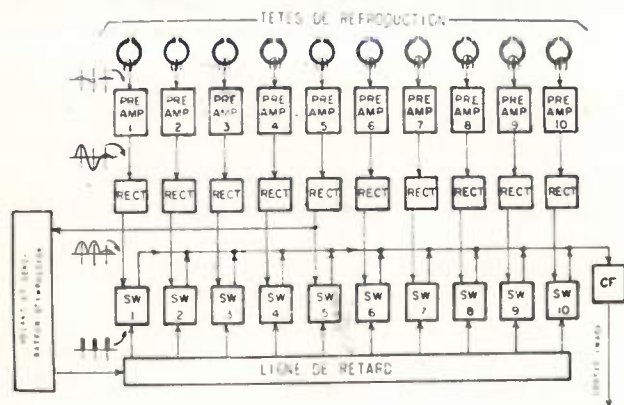


FIG. 3

utilisée pour commander la génération des impulsions d'échantillonnage et définir leur phase correcte, chose possible puisque cette composante existe même lorsque les signaux sont à leur niveau minimum. On forme ainsi des impulsions à 339 kc/s et d'une durée de 0,15 microsecondes. Au moyen d'une ligne à retard ces impulsions échantillonnent séquentiellement les signaux redressés provenant des diverses pistes au moyen de commutateurs électroniques, dont les sorties reliées en parallèle sur une connexion commune, reforment sur celle-ci le signal video original.

Ce signal contient toutefois une forte composante de commutation à 3,39 Mc/s. Cette composante donne à l'image une modelé caractéristique (acceptable en laboratoire), mais indésirable pour la radiodiffusion visuelle.

On a dit plus haut que la durée des impulsions d'échantillonnage est de 0,15 microsecondes, alors que la plus petite période d'échantillonnage du signal video est de 0,34 microsecondes : il y a, en conséquence, un temps perdu de 0,19 microsecondes entre deux échantillonnages consécutifs. En décalant ces instants d'échantillonnage de tout le système, de telle sorte qu'alternativement et quinze fois par seconde ils soient retardés ou non de 0,14 microsecondes, on peut doubler le nombre des points constituant effectivement la trame de l'image. On obtient ainsi une image à haute définition qui, pour l'œil, semble contenir beaucoup plus de détails qu'une image à 3,39 Mc/s. Ceci est dû, en partie, au fait que la technique d'échantillonnage de notre système, avec ses signaux à fronts raides, provoque une sensation de netteté et qu'il ne peut pas y avoir d'étalement. Généralement, cette façon de faire ne provoque pas de papillotement sauf sur des lignes de transition contrastées.

Pour être transmissible, le signal doit présenter des variations continues. Dans ce but, nous

avons réalisé des organes raccordés à la sortie video et qui ne suivent que les valeurs de pointe des échantillonnages successifs. Ainsi, l'image est amenée à un niveau d'énergie moyen, qui sera sur le même que celui des signaux de télévision habituels. Cet organe (*boxcarring*), qui relie par une courbe continue les échantillons du signal, utilisé conjointement avec la modulation à 15 c/s des échantillonnages, fournit finalement des images possédant une fréquence de coupure mal déterminée, mais située entre 1,69 et 3,39 Mc/s.

La figure 4 représente l'image reproduite sur le tube de contrôle sans utilisation, ni du « boxcarring », ni de la wobulation des échantillonnages à 15 c/s. Elle indique donc le résultat que l'on peut atteindre avec une coupure brusque à 1,69 Mc/s. Elle montre également la structure des points qui en résulte.

Les signaux de synchronisation horizontale et verticale sont enregistrés sur la piste N° 11, car ils ne doivent pas être perturbés par l'effet de l'échantillonnage. S'il en était autrement, la cadence de l'échantillonnage provoquerait de légers décrochages de la synchronisation-ligne, se traduisant par des dentelures sur l'image.



FIG. 4

Le son est enregistré sur une piste particulière au moyen d'un système de haute qualité à modulation de fréquence faisant intervenir une porteuse de 100 kc/s modulée à indice élevé de 50 à 150 kc/s. A la reproduction, on obtient un rapport signal/bruit supérieur à 65 décibels, avec moins de 0,5 % de distorsion harmonique.

Le mécanisme d'entraînement du ruban est représenté sur la figure 5. Cette machine occupe une surface de 1 m × 0,65 m. Le ruban est entraîné à la vitesse de 2,50 m/s et la machine peut recevoir des bobines assurant chacune environ 16 minutes de programme, ce qui donne un temps de battement suffisant pour mettre en route une seconde machine lorsque l'on exécute un programme d'une demi-heure. Le ruban se déroule à partir de l'axe gauche, passe sur le cabestan d'entraînement, puis sous le groupe des têtes, et enfin va

s'enrouler sur la bobine portée par l'axe de droite. Il est à noter que la bande peut être manipulée sous forme de galettes sans flasques. Des bobines pour bande de 12,7 mm ne sont donc pas nécessaires et pour le réenroulement à grande vitesse on utilise une bobineuse à tendeur. La console ne contient pas d'autres organes que le mécanisme d'entraînement, y compris les moteurs.

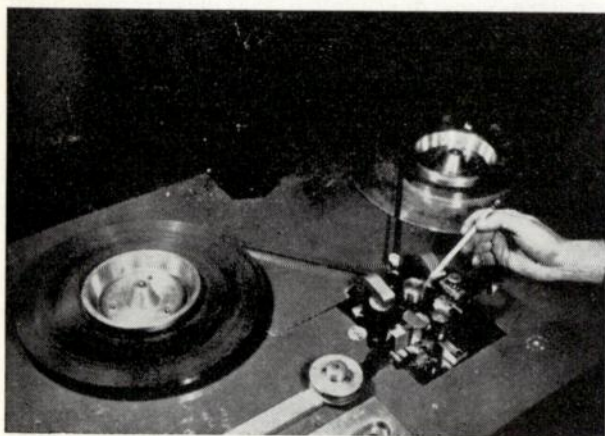


FIG. 5

Le système V. T. R. utilise la bande standard à oxyde magnétique brun, de largeur de 12,7 mm, au lieu de la largeur habituelle de 6,35 mm. Cette bande a un support en acétate recouvert d'oxyde de fer à coercivité standard.

Une certaine économie de volume peut être réalisée en utilisant un support plus mince en « mylar », nouveau plastique de DU PONT. Etant donné la conception du mécanisme d'entraînement, cette bande mince ne subit aucune déformation permanente du fait de son défilement, même en



FIG. 6

marCHE avant ou marCHE arrière à grande vitesse. Signalons que par son emploi, le temps de défilement peut arriver à dépasser 20 minutes sans augmenter le diamètre de la bobine.

La figure 6 représente la disposition de l'équipement électronique associé à l'appareil. L'appareillage de lecture occupe la première baie à gauche. Presque la moitié de cette baie est occupée par les alimentations régulées. La seconde baie contient l'équipement pour l'enregistrement vidéo et encore ici un peu plus de la moitié du bâti est occupé par les alimentations. La partie inférieure de la troisième baie contient un récepteur de contrôle normal. Au-dessus de celui-ci se trouve l'équipement d'enregistrement et de reproduction du son, ainsi qu'un petit haut-parleur.

Nous avons disposé de deux sources de signaux vidéo : d'une part, un télécinéma à « flying-spot » (bande passante 8 mégacycles), d'autre part, un bon récepteur de télévision.

En regardant de plus près l'équipement des baies sur la figure 6, on voit qu'il existe un très grand nombre de boutons de réglage. En travaillant avec ce premier modèle on s'est aperçu qu'un grand nombre de ces réglages pouvaient devenir automatiques, ou même pouvaient être supprimés. Il y avait 52 organes de réglage dans les circuits vidéo primitifs, le nombre en a été réduit à 9, dont la plupart sont même normalement bloqués.

L'enregistreur nouveau modèle est représenté figure 7. Les dimensions en sont très réduites. Sans doute le châssis représenté ne contient pas ses alimentations, mais la consommation d'énergie a été réduite. L'équipement de lecture fait actuellement l'objet d'une simplification analogue. Simplification et miniaturisation vont de pair, et d'ici peu, il sera possible de faire tenir tout l'équipement électronique dans la console même de la machine.

On voit tout de suite quelle économie d'encombrement il en résultera pour l'ensemble de l'installation, qui n'est cependant, même sous sa forme actuelle, pas spécialement encombrante puisqu'elle n'occupe pas plus de place qu'un enregistreur sur film et un télécinéma.

Notre effort de contraction n'a pas été limité aux dimensions de la machine. Nous avons commencé avec des rubans de 25 mm, puis nous avons réduit cette largeur à 12,7 mm pour une vitesse de défilement de 2,50 m/s. Nous sommes maintenant capables d'enregistrer à la même vitesse, sur bandes de 9,5 mm.

Nous avons démontré, en Novembre 1951, le fait que l'enregistrement magnétique des signaux vidéo était possible, mais la qualité de cet enregistrement était alors tout à fait insuffisante, car la démonstration était faite avec un équipement qui n'était qu'un équipement de principe. Nous utilisions alors un appareil enregistreur ordinaire de marque AMPEX, et nous le faisons marcher à une vitesse que nous étions obligés de considérer comme déraisonnable. Nous employions une tête à faible entrefer et l'enregistrement ainsi que la reproduction étaient directs.

Onze mois plus tard, nous avons déjà amené notre système à pistes multiples à un point tel que l'on pouvait lire des caractères d'imprimerie confus et reconnaître l'identité d'une personne autrement qu'en gros plan. C'est alors, le 3 octobre 1952,

que Wayne JOHNSON, animateur de notre Société, enregistra et reproduisit, dans une démonstration du système, la première image animée à haute résolution qui ait été jamais reproduite par un procédé autre que la photographie.

Les premières reproductions furent extrêmement frustes. Du papillotement, du sautellement latéral, des images fantômes et l'existence de moirures obliques furent généralement observés. Par contre, on doit dire que les images étaient bien uniformément nettes et que l'échelle des gris était tout à fait acceptable, point sur lequel le système éliminait déjà deux défauts bien connus de l'enregistrement sur tube cathodique. Il fallait cependant effectuer un travail supplémentaire pour venir à bout des défauts signalés.

Dans l'état actuel du système V. T. R., le papillotement a été grandement réduit, le sautellement

mineurs, nous pensons que nous sommes à même de démarrer la production de systèmes V. T. R. pour certaines applications militaires.

Du point de vue des utilisateurs futurs, il y a évidemment beaucoup de questions qu'ils peuvent se poser quant aux possibilités ultimes et aux limitations de notre technique nouvelle.

La première de nos intentions est, de toute évidence, d'introduire le système V. T. R. comme un nouveau moyen d'accomplir les tâches actuellement remplies par l'enregistrement sur tube pour le noir et blanc et la couleur. Il n'est pas douteux que cette application commence par les émissions de télévision différée. Le programme à différer sera fourni directement au V. T. R. et l'enregistrement de ce programme n'exigera que très peu de surveillance, laissant l'opérateur libre d'observer l'image de contrôle « instantanée » qui lui est

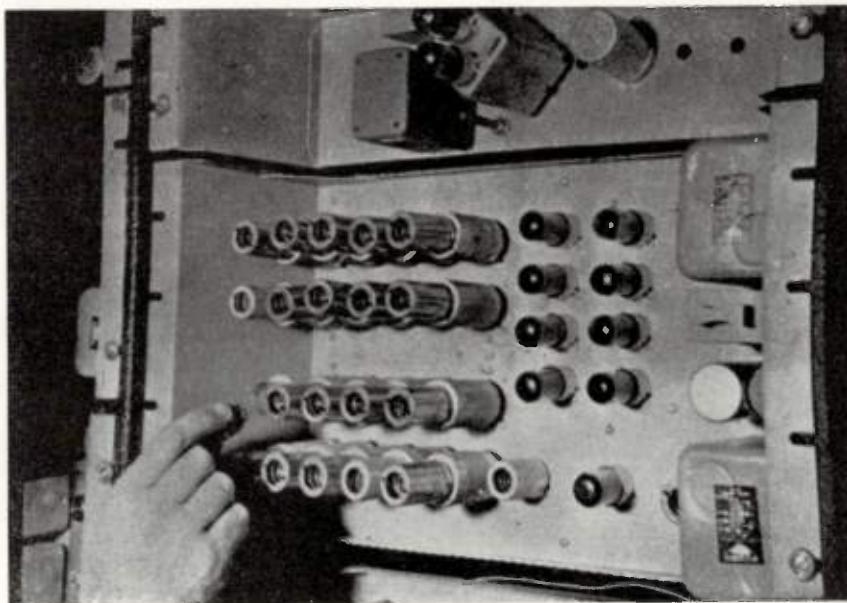


FIG. 7

latéral est inexistant, les moirures ont été rendues beaucoup plus acceptables et les échos ont été supprimés dans une large mesure.

Avant que le système V. T. R. soit introduit dans le domaine de la télévision radiodiffusée, nous continuerons à réduire encore les échos, à éliminer les moirures et à améliorer la finesse des images, par une augmentation de la fréquence d'échantillonnage.

Pour satisfaire aux besoins de la télévision de demain, l'enregistrement magnétique des signaux vidéo devra être capable de s'appliquer à la couleur. La construction de notre premier enregistreur magnétique de signaux en couleur est en route. Il sera naturellement basé sur le système qui vient d'être décrit ici et que nous avons perfectionné de façon à obtenir une économie de bande magnétique.

Même s'il reste à résoudre quelques problèmes

fournie par une tête de lecture, sur laquelle la bande passe immédiatement après son enregistrement. Comme l'opérateur est ainsi en mesure de vérifier l'enregistrement complet, y compris le son, il lui suffit de rebobiner aussitôt la bande qui vient d'être enregistrée et qui est prête à être utilisée quand on voudra, sans qu'il soit nécessaire de se livrer à aucun nouveau contrôle. Aussitôt après sa diffusion la bande peut être effacée, ce qui la laisse prête à recevoir un autre enregistrement.

Des programmes entiers de télévision peuvent être préparés séquence par séquence, en utilisant le V. T. R. comme enregistreur idéal. On appréciera tout particulièrement la façon dont la bande magnétique est montée. Puisque l'image et le son y sont enregistrés côte à côte, un simple coup de ciseau en travers du ruban permettra aux monteurs d'ajuster leur programme sans perte possible de synchronisme. Les collures sont faites par la

méthode classique du ruban adhésif, et on peut arracher celui-ci si l'on veut remanier le montage.

Une objection logique que l'on pourrait faire au montage magnétique aussi bien video que sonore est que le monteur *ne voit pas ce qu'il fait*. Ceci n'est pas aussi grave que l'on se l'imagine et nous connaissons de bonnes techniques dans l'art de pratiquer des coupures sans voir. Dans notre expérience limitée, nous avons pratiqué plusieurs fois des coupures et des raccords de cette façon avec un succès complet. Cependant, nous nous proposons de réaliser une table de montage qui permettra de vérifier visuellement et tout à loisir sur un tube de contrôle chaque image particulière de la bande ainsi que d'entendre en permanence le son correspondant à cette image. Ainsi le montage deviendra aussi aisé qu'il l'est actuellement pour les films cinématographiques.

En employant la technique de prises de vues par séquences et le matériel V. T. R., on peut affirmer qu'une production entière pourra être enregistrée en un seul jour de tournage. Ceci est possible d'abord parce que l'on peut examiner très rapidement les résultats du tournage. Après avoir pris une série de vues d'une séquence particulière, le producteur pourra les examiner aussitôt au moyen d'un tube de contrôle et d'un haut-parleur actionnés par fil depuis la salle du V. T. R. Il pourra sélectionner la prise qu'il préfère et passer à la scène suivante, en sachant que « l'affaire est dans le sac ».

De tels avantages combinés avec les effets de commutations, de fondus au noir et de fondus enchaînés réalisés sur le pupitre, aussi bien qu'avec l'emploi simultané de plusieurs caméras, effets que seules peuvent procurer les techniques de la télé-

vision, donnent au travail du producteur un rendement et une souplesse extrêmes.

Les enregistrements V. T. R. ont, évidemment, besoin d'être recopiés, ce qui est obtenu ici par un simple procédé de ré-enregistrement. Contrairement aux méthodes utilisées dans le tirage des films, où une seule copie peut être faite à la fois, un grand nombre de bandes peuvent être enregistrées simultanément à partir d'un seul original.

Il n'y a aucune raison de penser que, dans sa phase finale de développement, le procédé V. T. R. ne puisse remplacer n'importe quel procédé cinématographique. Avec les perfectionnements que nous lui apporterons, le système V. T. R. fournira encore une meilleure qualité d'image, tant en télévision noir et blanc qu'en télévision en couleur.

Le fait que l'entreprise révolutionnaire du système V. T. R. ait pu atteindre si rapidement son présent état technique témoigne hautement de la qualité du personnel qui a travaillé au développement de l'idée première. Il est probable que nous n'aurions jamais, sans Wayne R. JOHNSON, réussi à enregistrer des signaux video. Il a guidé, et il continue à le faire, tout notre programme de recherches avec toute sa compétence et sa puissance de travail. Au sein de son équipe remarquable de collaborateurs, il faut mentionner spécialement : Ed. COREY et Chester SHAW, pour le travail accompli dans la réalisation des circuits électroniques, Eugene BROWN, Edward KINNEY et Dean DE MOSS, pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans les problèmes concernant l'entraînement mécanique et la réalisation de têtes magnétiques révolutionnaires, spécialement étudiées et réalisées pour cette étude.

UN MAGNÉTOPHONE A VOIES MULTIPLES POUR DISPATCHING

PAR

Henry PIRAUX

Ingénieur à la S. A. PHILIPS

1. — But de l'appareillage.

Le besoin se faisait sentir depuis longtemps de pouvoir enregistrer simultanément un grand nombre de commutations téléphoniques ou radiophoniques, par exemple pour des buts de dispatching ou pour les services de sécurité de trafic aérien ou de police. Des enregistrements doivent de préférence être réalisés sur une bande unique laquelle doit aussi permettre d'enregistrer concurrentement un signal de temps; cette disposition permet ultérieurement de contrôler les temps exacts d'une conversation donnée.

Par ailleurs, il est indispensable qu'un tel appareillage puisse fonctionner en permanence sans aucune interruption. On peut également admettre que les bandes enregistrées soient mises en archi-

ves pendant un certain temps; comme dans la plupart des cas cet appareil sera surtout utilisé à titre de vérification et de contrôle, les plus hautes exigences doivent se poser en ce qui concerne sa sécurité de fonctionnement en service permanent.

2. — Description générale.

Les considérations précédentes ont conduit PHILIPS à réaliser un magnétophone à voies multiples dont on trouvera ci-après une description schématique.

Cet appareil se compose de trois unités principales :

- a) 1 unité d'enregistrement,
- b) 1 unité de lecture,
- c) 1 unité d'effacement.

Pour la réalisation on a veillé spécialement à utiliser du matériel de toute première qualité et à mettre au point une construction des unités par châssis à fiches facilement interchangeables. Grâce à ce principe de construction, l'entretien et la suppression d'éventuels dérangements sont considérablement facilités. Pour pouvoir monter les mécanismes d'entraînement et les amplificateurs dans les baies, on a réalisé des châssis de mêmes dimensions et de 48,3 cm de largeur. Les différents éléments sont conçus de telle sorte que l'on puisse procéder à un montage superposé ou juxtaposé après l'enlèvement de la plaque protectrice.

3. — Fonctionnement.

La figure 1 montre le schéma de principe de l'appareillage de fonctionnement. Celui-ci permet l'enregistrement simultané de 15 circuits (y compris celui du signal de temps). Une conversa-

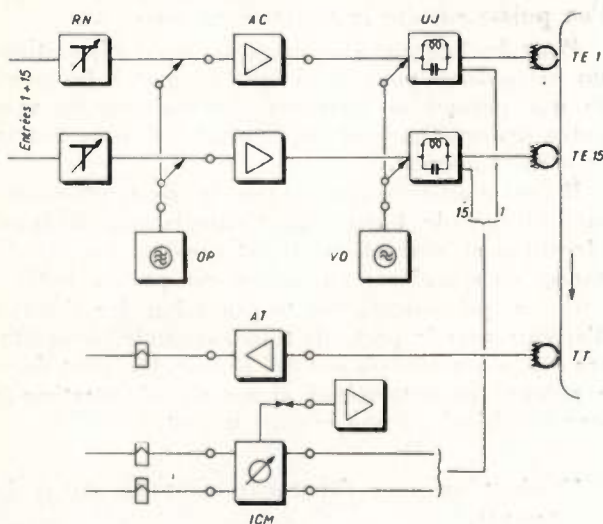


FIG. 1. — RN Régulateur de niveau.

- AC Amplificateur de circuit.
- UJ Unité de jonction.
- OP Oscillateur pour le courant pilote.
- VO Oscillateur pour courant de polarisation.
- AT Amplificateur témoin.
- ICM Instrument de contrôle et de mesure.
- TE Tête d'enregistrement.
- TT Tête témoin (pilote).

tion à enregistrer attaque la tête d'enregistrement par l'intermédiaire de l'amplificateur du circuit correspondant. A l'entrée de l'amplificateur, il est ajouté au signal de conversation un signal pilote et, à la sortie de l'amplificateur, un courant de polarisation.

Le signal de conversation et le signal pilote sont enregistrés sur la bande magnétique au moyen de la tête d'enregistrement. Pour obtenir la pleine modulation de la bande, la tension à l'entrée de l'amplificateur doit être de 0,775 V (1 mW sur 600 Ω = 0 dBm). Un régulateur de niveau à gamme de réglage de -10 dBm à 10 dBm, monté à l'entrée de chaque amplificateur de circuit, permet d'adapter le niveau du signal de conversation à l'appareillage.

Les signaux des 15 circuits sont enregistrés sur bande magnétique de 16 mm de largeur. Chaque

mécanisme a été prévu pour des bobines de 1 500 mètres, ce qui correspond à une durée d'enregistrement de 8 h 45mn. Les signaux des 15 circuits sont enregistrés par 3 unités d'enregistrement, chacune d'elles étant par conséquent prévue pour l'enregistrement de 5 pistes. L'appareillage comporte 3 mécanismes identiques qui permettent un enregistrement ininterrompu de n'importe quelle durée car, en fin de bande, la commutation sur le mécanisme suivant s'effectue automatiquement.

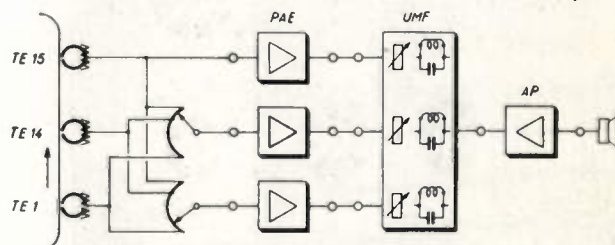


FIG. 2. — PAE Préamplificateur pour l'écoute.

- UMF Unité de mixage et de filtrage.
- AP Amplificateur de puissance.
- TE Tête de lecture.

L'appareillage de lecture dont la figure 2 donne le schéma de principe, comporte des mécanismes identiques à ceux qui sont utilisés dans l'appareillage d'enregistrement; toutefois, les circuits amplificateurs ne conviennent que pour la lecture simultanée de trois circuits dont l'un est prévu pour la piste de temps et les deux autres pour la lecture de n'importe quel circuit de conversation.

Pour des raisons de sécurité, il n'est pas possible d'effacer le son enregistré, ni sur l'appareillage d'enregistrement, ni sur celui de lecture. L'effacement ne peut être réalisé que sur un appareillage séparé. On conserve ainsi toute sécurité en vue du contrôle d'archive.

4. — Sécurité de fonctionnement.

Une telle installation doit naturellement, étant donné son but, avoir une sécurité totale de fonctionnement. A cet effet, aussi bien les blocs d'alimentation que les oscillateurs fournissant le courant de polarisation et le signal pilote se composent de deux unités identiques dont l'une sert de réserve. En cas de panne dans une de ces unités, un relais automatique effectue instantanément la commutation sur l'unité de réserve, tout en déclenchant un signal avertisseur près de l'appareil défectueux et au poste de télécommande.

En ce qui concerne les amplificateurs de circuits, lesquels comportent des accessoires et des tubes de qualité professionnelle et de longévité accrue, le gain est contrôlé individuellement et automatiquement au moyen d'un signal pilote. Si le gain s'écarte de la valeur pré-réglée, un signal avertisseur est également déclenché près de l'amplificateur et au poste de télécommande.

Dans la baie d'amplificateurs se trouve un amplificateur de réserve préchauffé qui, en cas de panne dans un amplificateur, peut immédiatement remplacer celui-ci.

Le signal pilote pour le contrôle des amplificateurs de circuit est enregistré sur la bande en même temps que le signal de conversation. La fréquence du signal pilote est telle qu'elle n'affecte pas l'intelligibilité des conversations, mais reste

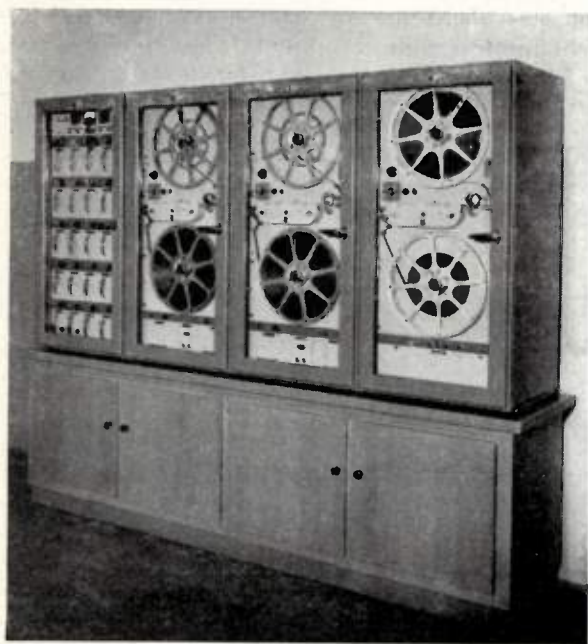


FIG. 3. — Vue générale de l'appareillage d'enregistrement.

cependant dans la gamme audible; ce signal est enregistré simultanément sur les 15 pistes de la bande.

Outre les têtes d'enregistrement, le mécanisme

comporte une tête de lecture qui peut lire 5 pistes et qui, après le filtrage, conduit le signal pilote à un amplificateur témoin. Ce signal permet donc de contrôler en même temps le bon fonctionnement du mécanisme. Si par exemple pour une raison quelconque la bande est bloquée, l'amplificateur témoin ne recevra pas de signal pilote et la commutation sur le deuxième mécanisme s'effectuera automatiquement. Dans ce cas également, la défectuosité est signalée sur le mécanisme lui-même et au poste de télécommande.

En plus de ce contrôle, le fonctionnement du mécanisme est surveillé par deux « contrôleurs de tension de bande » qui, en cas de rupture ou en fin de bande, assurent la commutation automatique sur le mécanisme suivant et la signalisation correspondante. Des mesures spéciales ont aussi été prises afin que lors de n'importe quelle interruption (dérangement au réseau ou toute autre) le mécanisme qui a fonctionné en dernier soit indiqué pour que l'on puisse ensuite le remettre en marche.

Pour les travaux de révision ou de réparation, un mécanisme peut aussi être bloqué à la main, ce qui permet de démonter un mécanisme sans autre manœuvre, tout en laissant les deux autres en service normal.

Il faut d'ailleurs ajouter que la construction des mécanismes de lecture et d'enregistrement étant identique et normalisée, il est possible en cas de panne, de remplacer un mécanisme par un autre.

En ce qui concerne la transmission des signaux d'alarme vers le poste de télécommande, deux étages d'urgence séparés ont été prévus. On peut donc à volonté prédéterminer si un signal avertisseur sera considéré ou non comme urgent.

Nombre de circuits	15 (dont un pour l'enregistrement du signal de temps).
Bande magnétique	type non homogène, par exemple Scotch III A.
Largeur de la bande	16 mm.
Vitesse de la bande	4,75 cm par s.
Longueur de la bande	max. 1 500 m.
Durée d'enregistrement par bande	max. 8 h 45 mn.
Commutation à la fin de la bande	sans interruption.
Temps de commutation en cas de rupture de la bande	1 s.
Niveau d'entrée par circuit	0,775 V (1 mW sur 600 Ω), $\pm$ 10 dBm.
Impédance d'entrée	600 Ω (sur demande : 20 k Ω).
Gamme de fréquences par circuit	300-3 000 c/s à $\pm$ 3 dB près, par rapport à 1 000 c/s.
Distorsion	max. 5 % à pleine modulation.
Rapport signal/bruit/distance, par circuit	meilleur que — 35 dB à pleine modulation.
Diaphonie entre deux circuits quelconques	meilleur que — 35 dB à pleine modulation.
Nombre de circuits de lecture	3 (dont un pour la lecture du signal de temps).
Puissance de sortie des amplificateurs de lecture	5 W (sortie de ligne séparée).
Alimentation de l'appareillage d'enregistrement	C. A. 220 V, 50 c/s.
Consommation	environ 600 VA.
Alimentation de l'appareillage de lecture et de l'appareillage d'effacement	C. A. 220 V, 50 c/s.

La baie d'amplificateurs comporte une unité spéciale de contrôle et de mesure; cette unité permet le contrôle périodique et sans aucune interruption dans le fonctionnement, de toutes les tensions d'alimentation, des courants de polarisation, du courant pilote et du gain de tous les amplificateurs de circuit. Ce contrôle s'effectue par l'intermédiaire de commutateurs multiples, d'amplificateurs de mesure et d'un instrument de mesure convenablement calibré. De plus, cette unité permet d'ajuster et de contrôler individuellement la modulation de chaque circuit; à cet effet, une prise de casque a été prévue.

Revenant sur le signal pilote, nous pouvons encore dire qu'il assure le contrôle de l'appareillage d'enregistrement lors de la lecture de la bande. A cet effet, les circuits de lecture sont pourvus d'un filtre qui permet de diriger sur le haut-parleur soit le signal de conversation seul, soit ce même signal accompagné du signal pilote. Il est

ainsi possible de vérifier à la lecture si l'appareillage a bien fonctionné, même si l'on n'a pas enregistré le signal de conversation. Ce contrôle comprend tous les éléments de l'appareillage, parce que le signal pilote est appliqué à l'entrée de l'amplificateur de circuit (voir figure 2).

L'appareillage de lecture ne comporte pas de dispositif de contrôle muni de commutateurs automatiques ou de systèmes de signalisation. Par contre, il comprend un haut-parleur témoin, une sortie de ligne ainsi qu'une sortie à haute impédance pour la connexion d'un casque.

La figure 3 représente l'appareillage complet d'enregistrement.

5. — Caractéristiques techniques.

Le tableau publié résume les principales caractéristiques techniques de cet appareil à voies multiples dont les applications nous paraissent devoir se développer rapidement.

MAGNÉTOPHONE PORTATIF AUTONOME

PAR

M. SGUBBI

(A. C. E. M. A.)

Dans le cadre du Congrès consacré à l'Enregistrement Sonore et à ses nombreuses applications, il nous a paru intéressant de souligner quelques-unes des immenses possibilités de l'enregistrement magnétique portatif et autonome à petite vitesse.

Mais d'abord qu'il nous soit permis d'évoquer le passé, c'est-à-dire les débuts du cinéma sonore et, partant, du premier vrai matériel de reportage. Encore que l'opposition soit flagrante entre le mot reportage évocateur de mobilité, d'autonomie et ces lourds camions de son que nous avons connus : peu maniables, coûteux, exigeant le concours d'une véritable équipe de techniciens.

Ainsi depuis fort longtemps le problème était-il posé : comment réduire au maximum le matériel de reportage sonore et partant : accroître ses possibilités.

La réponse devrait être, vous le savez, fournie vingt ans plus tard par l'enregistrement magnétique.

Voilà pourquoi à côté des enregistreurs magnétiques classiques alimentés par le courant secteur, nous nous sommes attachés voici plusieurs années déjà, à réaliser l'appareil que nous vous présentons aujourd'hui : l'Acemaphone PA 52 B.

Cet appareil, enregistrant sur bande magnétique de 6,35 mm à la vitesse de 19,05 cm, n'est tributaire d'aucune source de courant extérieure puisque l'entraînement du film est assuré par un jeu de moteurs à ressorts de haute précision, tandis que

l'alimentation de l'amplificateur, à 6 lampes, est assurée par un bloc de piles sèches, haute et basse tensions, à grande capacité.

Le fonctionnement de l'appareil est des plus simples :

— la bande magnétique vierge, en bobines standard de 375 mètres assurant une demi-heure d'enregistrement est entraînée à vitesse rigoureusement constante par un des moteurs mécaniques. Elle passe devant l'unique tête magnétique qui assure soit l'enregistrement, soit la lecture. Puis la bande débitée est bobinée par le second moteur.

La durée du fonctionnement des moteurs qui est de 7 minutes sans interruption, peut être portée à 30 minutes si l'on remonte les moteurs lors de la marche.

Durant tout l'enregistrement le contrôle de la modulation est aussi bien visuel qu'auditif puisqu'il est assuré par voltmètre et casque d'écoute.

L'Acemaphone PA 52 B est en outre pourvu d'un dispositif mécanique assurant le rebobinage d'une bobine de 375 mètres en moins de 2 minutes.

Signalons enfin que la bande passante de cet appareil est de 50 à 8 000 périodes pour une distorsion de fréquence de + ou - 2 décibels et un rapport signal/bruit de fond de l'ordre de 45 décibels.

Le tout pesant à peine 17 kg. Ainsi donc se trouvait réalisé notre vieux rêve.

En quelques années plusieurs séries de cet appareil ont été livrées tant en France qu'à l'étranger, car c'était l'auxiliaire qu'attendaient tous les techniciens du son, depuis ceux de la Radiodiffusion jusqu'aux Ethnologues.

Mais notre satisfaction fut peut-être plus grande encore lorsque l'Acemaphone PA 52 B eut sa place dans l'industrie cinématographique où eurent lieu justement nos premières armes.

L'expérience a montré, en effet, que pour des séquences moyennes de 2 à 3 minutes, une synchronisation absolument parfaite pouvait être obtenue pourvu que l'appareil de prise de vue ait un défilement uniforme.

Non seulement notre enregistreur supplée au camion de son dans ses emplois courants, mais il le remplace partout où ce dernier ne peut aller.

Nous nous contenterons maintenant d'énumérer quelques films réalisés en partie grâce à notre appareil :

- Vacances de M. HULOT.
- Massacre en dentelle.
- Quai des Blondes.
- Monsieur Taxi.
- Il est Minuit Docteur SCHWEITZER,
- et la toute récente version des 3 Mousquetaires.

UN ENREGISTREUR-LECTEUR MAGNÉTIQUE POUR L'ENREGISTREMENT DES RADIOCOMMUNICATIONS AIR-SOL-AIR DANS L'AVIATION CIVILE

PAR

M. R. VERGELY

Ingénieur au Service d'Etudes

Ministériel des Travaux Publics et Transports

ET

M. R. LEHMANN

Ingénieur au Département

Acoustique-Téléphonométrie

du Centre National d'Etudes des Télécommunications

I — GENERALITES

La nécessité d'un appareil d'enregistrement automatique des communications radiotéléphoniques entre les tours de contrôle et les avions en vol s'était fait sentir il y a plusieurs années déjà en vue d'avoir des documents en cas d'accidents. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O. A. C. I.) a prescrit, dans ses recommandations, l'obligation d'utiliser de tels appareils dans tous les centres de contrôles régionaux, les centres de contrôle d'approche, les centres de contrôles d'aérodromes et c'est en vue de normaliser un matériel pour la France et l'Union Française que le Ministère des Travaux Publics et des Transports a chargé le Centre National d'Etudes des Télécommunications (C. N. E. T.) d'étudier un cahier des charges permettant la mise au point d'un prototype donnant toutes garanties du point de vue fonctionnement et performances. Cette étude fut menée conjointement par la Section d'Etudes Ministérielle des Travaux Publics et des Transports et le Département Acoustique-Téléphonométrie du C. N. E. T.

Le but du présent travail est de décrire succinctement, d'une part la réalisation qui a été exécutée avec toutes les caractéristiques mécaniques et tous les dispositifs de sécurité qui ont été envisagés et, d'autre part, les performances électro-acoustiques de l'ensemble enregistreur-lecteur.

II — DESCRIPTION GENERALE DE L'APPAREIL

Cet enregistreur magnétique se compose d'un enregistreur proprement dit et d'un lecteur entièrement séparé.

L'enregistreur se présente sous forme d'un meuble ayant les dimensions suivantes :

- hauteur : 1 m.
- largeur : 0,520 m.
- profondeur : 0,350 m.

Son poids est d'environ 125 kg.

Le lecteur se présente sous forme d'une valise ayant les dimensions suivantes (posée à plat et couvercle fermé) :

- hauteur : 0,450 m.
- largeur : 0,480 m.
- profondeur : 0,420 m.

Son poids est d'environ 30 kg.

L'alimentation des deux appareils est faite en courant alternatif monophasé, 50 périodes par seconde, de tension 115, 125 ou 220 volts. Elle comporte des fusibles calibrés pouvant être changés très rapidement, ainsi qu'une lampe de signalisation alimentée à 50 % au-dessous de sa valeur normale, indiquant que l'appareil est en fonctionnement.

1° L'enregistreur proprement dit.

Les figures 1 et 2 donnent deux vues de cet appareil, de face, montrant les deux bobines et les divers boutons de contrôle et de commande.

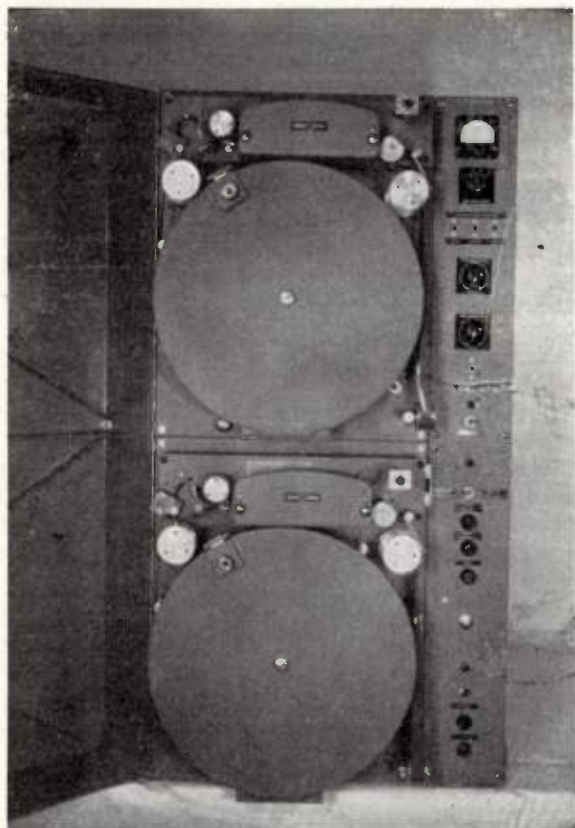


FIG. 1. — Vue de l'appareil enregistreur de face (carters fermés).

Il comporte dans le même meuble deux éléments identiques A et B, de façon à assurer la continuité de l'enregistrement à la fin d'une bobine, avec recouvrement. Chaque élément permet une durée totale d'enregistrement de 4 heures; il utilise une bande magnétique lisse en triacétate de cellulose de 19 mm de largeur (charge de rupture 8 kg). Cette bande contient deux pistes parallèles de 6,3 mm de largeur et permet donc un double enregistrement simultané.

La vitesse de défilement de la bande est de 9,5 cm/s. La longueur totale de bande pour un enregistrement continu de 4 heures est de 1 370 mètres et elle est enroulée sur une bobine ayant un diamètre de 355 mm.

A) Défilement de la bande :

La figure 3 montre le schéma de principe du défilement d'une bande.

Les deux bobines : débitrice B1, et réceptrice B2, sont montées sur le même axe, dans un chargeur ou carter unique. La bobine B1 tourne folle à frottement doux sur cet axe qui entraîne la bobine réceptrice B2 par l'intermédiaire d'un moteur asynchrone à grand glissement. La bande sort du carter par une première ouverture, passe sur une poulie P1, puis sur les poulies R1 et R2

qui la guident et l'amènent dans le plan de la bobine réceptrice.

La bande passe ensuite sur les têtes, d'effacement T_{ef} , d'enregistrement voie radio T_M , d'enregistrement voie horaire T_H et de lecture T_L

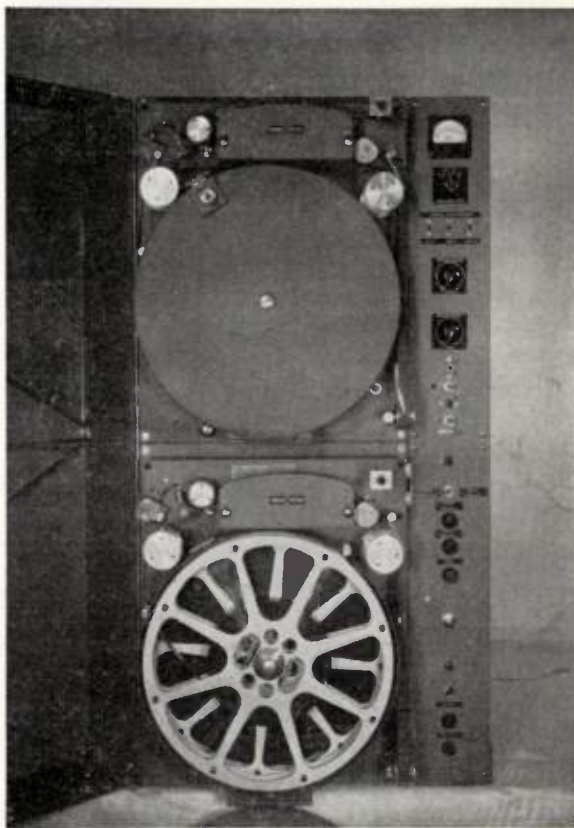


FIG. 2. — Vue de l'appareil enregistreur de face (carter de la machine B ouvert).

(contrôle d'enregistrement voie radio). La commande du défilement de la bande est assurée par l'axe M du moteur asynchrone synchronisé de défilement, axe sur lequel appuie un galet presseur G. La bande passe ensuite sur la poulie P2 et entre dans le carter par une deuxième ouverture pour s'enrouler sur la bobine réceptrice. L'axe M commandé par le moteur de défilement tourne en permanence. L'entraînement de la bande est assuré par un galet presseur G commandé par un électro-aimant. Dans ces conditions, la mise en route de la bande a lieu de façon pratiquement instantanée.

B) Continuité de l'enregistrement :

En fin de bande, celle-ci quitte la bobine débitrice, puis la poulie P1. Le contact à mercure C1 qui s'appuyait primitivement sur la bande pivote en s'engageant dans une rainure prévue sur la poulie P1. Il ferme le circuit d'un relais mettant en marche la machine B (en agissant sur le galet presseur G de cette machine). Les deux machines tournent en même temps, assurant ainsi la continuité de l'enregistrement. La fin de la bande de la première machine, après avoir parcouru le chemin P1, R1, R2, M, quitte le galet G et l'axe

M, la poulie P2, et disparaît dans le carter; mais, en quittant la poulie P2, le contact à mercure C2 (identique à C1) bascule, arrêtant ainsi la machine A.

La durée de recouvrement correspondant au trajet P1, R1, P2 est d'environ 10 secondes.

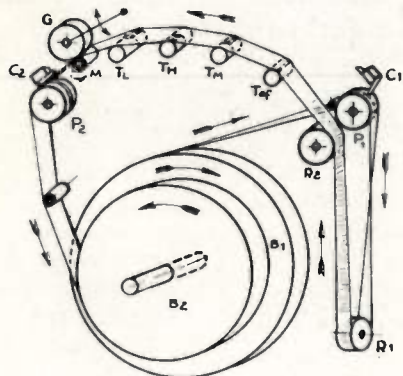


FIG. 3. — Schéma de principe du défilement d'une bande.

B1. — Bobine débitrice.	C1 { Contacts d'inversion et
B2. — Bobine réceptrice.	C2 { d'alarme.
M. — Axe du moteur de défilement.	Tel. — Tête d'effacement.
G. — Galet presseur.	TM. — Tête d'enregistrement voie radio.
P1 P2 { Poulies de guidage de la bande	TH. — Tête d'enregistrement voie horaire.
R1, R2 {	TL. — Tête de lecture (contrôle voie Radio).

C) Les amplificateurs :

La figure 4 donne le schéma de principe du système d'amplificateurs utilisé, ainsi que la façon dont les diverses têtes sont mises en circuit.

L'enregistreur a deux entrées indépendantes, présentant chacune une impédance de 600 ohms à la fréquence de 1 000 Hz. La première (voie I) est destinée à être connectée à une ligne par laquelle arrivent les communications radiotéléphoniques à enregistrer (provenant de la sortie du récepteur radioélectrique et du microphone modulant l'émetteur). La deuxième (voie II) est destinée à être connectée sur une ligne téléphonique reliée à l'horloge parlante.

Un voltmètre, gradué en décibels (vu-mètre), muni d'un commutateur, permet d'apprécier les deux niveaux d'entrée; il est gradué en dB au-dessus et au-dessous de 1 mW.

Chacune des entrées est munie d'un affaiblisseur réglable qui permet de ramener le niveau moyen d'entrée à 1 mW lorsque ce niveau est trop élevé (maximum 300 mW).

Après l'affaiblisseur de la voie I est placé un amplificateur de compression à réglage automatique; cet amplificateur donne un niveau de sortie ne s'abaissant que de 12 dB lorsque le niveau d'entrée varie de 1 mW à 30 dB au-dessous de ce niveau. Le temps de désensibilisation est inférieur à 30 millisecondes et le temps de resensibilisation de l'ordre de 400 millisecondes.

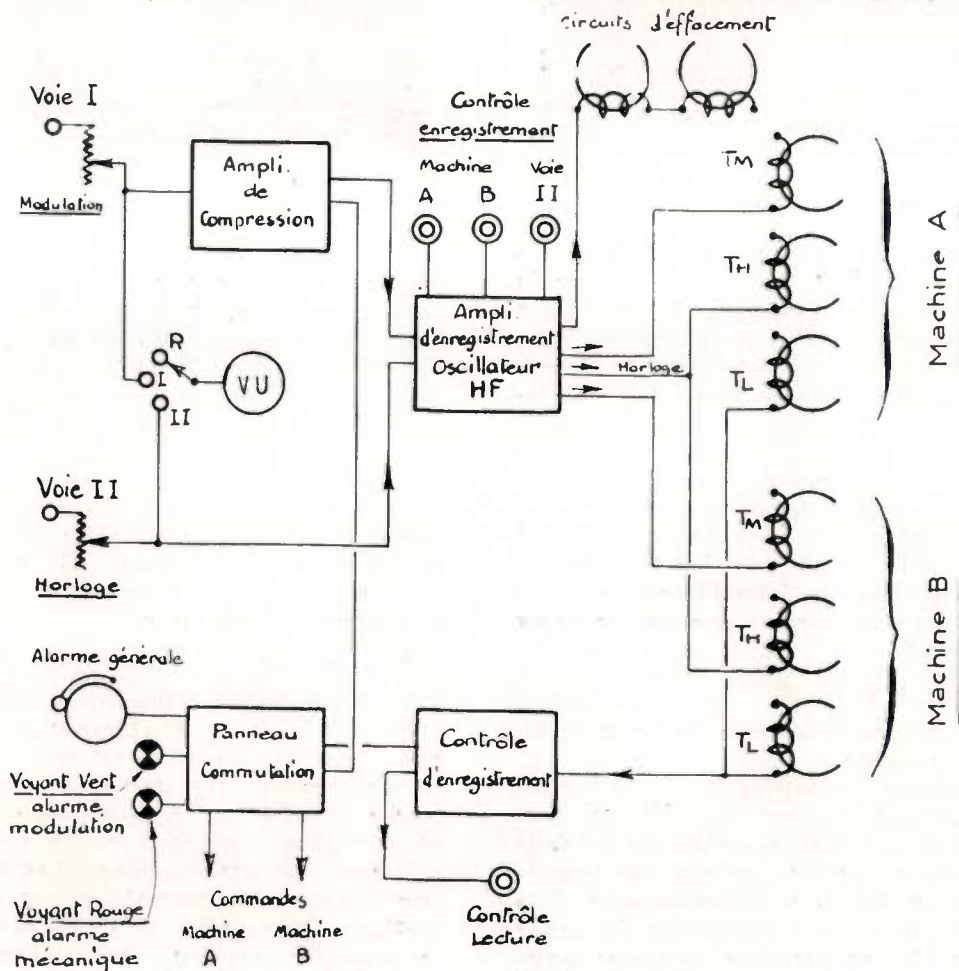


FIG. 4. — Enregistreur : schéma électrique de principe.

Après cet amplificateur de compression, se trouve un amplificateur double d'enregistrement. Le premier est attaqué par la tension provenant de l'amplificateur de compression (voie I), le deuxième par la tension provenant de la sortie de sortie de l'affaiblisseur (voie II). Les tensions de sortie sont appliquées respectivement aux têtes d'enregistrement T_M et T_H qui enregistrent, sur deux pistes parallèles, sur la bande magnétique.

Avant leur application aux têtes d'enregistrement, on superpose à ces tensions une tension haute fréquence de polarisation donnée par un oscillateur HF de fréquence 25 Kc/s. Cet oscillateur fournit également la tension appliquée à la tête d'effacement.

L'intensité du courant HF de polarisation dans chaque tête d'enregistrement est de l'ordre de 1.5 mA, et l'intensité du courant HF d'effacement de l'ordre de 250 mA.

D) Modes de fonctionnement :

Un bouton de commande, placé sur l'appareil, permet de choisir un des deux modes de fonctionnement suivants :

- a) — Marche continue;
- b) — Marche intermittente.

Nous envisagerons successivement ces deux types de fonctionnement.

a) *Marche continue* : Les deux machines étant chargées, il est possible de les faire fonctionner de façon continue, soit successivement, soit simultanément.

A la mise sous tension du meuble enregistreur, les moteurs synchrones de défilement sont alimentés, ainsi que les amplificateurs.

En agissant sur le bouton poussoir de commande de démarrage de la machine A, on actionne un relais qui commande à son tour :

- l'électro-aimant solidaire du galet de caoutchouc G qui assure le défilement de la bande;
- le moteur asynchrone de commande de la bobine réceptrice.

En fin de bande (ou en cas de rupture de bande) de la machine A, la machine B se met en route automatiquement suivant le processus indiqué au paragraphe « Continuité de l'enregistrement ».

b) *Marche intermittente* : Dans ce cas, la mise en route est commandée par les communications reçues sur la voie I. A cet effet, un relais de démarrage automatique des machines est disposé dans l'amplificateur de compression. Dès qu'une tension basse fréquence est transmise à cet amplificateur, le relais envoie une tension d'excitation aux relais de démarrage des machines A et B. Des relais supplémentaires à garde empêchent les deux machines de démarrer simultanément. Si les deux sont chargées, c'est la machine A qui fonctionne la première. Si seule une des deux est chargée, c'est elle qui se met en fonctionnement. La continuité de l'enregistrement est assurée de la même façon qu'en marche continue.

La mise en route en marche intermittente est assurée pour un niveau d'entrée de l'ordre de 25 dB au-dessous de 1 mW. Quand la modulation disparaît, le relais de l'amplificateur de compression cesse, après 10 secondes environ, d'alimenter le relais de mise en route de la machine en service et celle-ci s'arrête.

En ce qui concerne les signaux horaires, ils sont enregistrés en permanence pendant toute la durée de fonctionnement de la machine.

E) Contrôles de l'enregistrement :

Sur chaque machine A et B est disposée, à l'avant de la tête d'enregistrement voie radio, une tête de lecture TL. Ces têtes attaquent un amplificateur de lecture à la sortie duquel peut être branché un casque. On a donc, ainsi, un contrôle permanent de l'enregistrement sur la voie radio.

Un contrôle auditif, avant enregistrement, peut également être effectué par un casque branché à la sortie de l'amplificateur d'enregistrement.

F) Contrôle de fonctionnement :

L'appareil a été conçu de façon que le personnel de surveillance soit prévenu immédiatement par un dispositif d'alarme dans les trois cas suivants :

- fin de bande;
- panne mécanique;
- panne électrique.

a) *Fin de bande* : Au moment où le contact C2 bascule, arrêtant la machine dont la bande est entièrement enregistrée, un voyant rouge s'allume et une sonnerie est mise en fonctionnement (cette sonnerie peut être coupée par un interrupteur extérieur).

En cas de rupture de bande, l'alarme est déclenchée par le même processus.

b) *Incidents mécaniques et électriques* : Les incidents mécaniques (autres que la rupture de bande) et électriques sont signalés grâce à l'amplificateur de lecture. En fonctionnement normal, dès qu'une modulation arrive à l'entrée de l'enregistreur, un voyant vert s'allume; ce voyant s'éteint lorsque l'amplificateur de lecture reçoit cette modulation.

— Si le moteur M n'entraîne plus la bande, l'amplificateur de lecture ne reçoit plus de modulation, le voyant vert s'allume et au bout de 15 à 18 secondes environ la sonnerie tinte par intermittence.

— Si l'amplificateur d'enregistrement correspondant à la machine utilisée est en dérangement, l'alarme de modulation entre en action.

Dans les deux cas, en faisant démarrer l'autre machine, l'alarme s'arrête et on peut, sur cette dernière, poursuivre l'enregistrement.

Enfin, si l'amplificateur de lecture est en dérangement, le voyant vert reste allumé et la sonnerie tinte. On peut arrêter cette sonnerie en coupant l'alarme de modulation et continuer l'enregistrement.

G) Inviolabilité de l'enregistrement :

L'effacement des enregistrements se fait sur l'enregistreur lui-même, immédiatement avant tout nouvel enregistrement.

Les deux bobines, débitrice et réceptrice, sont placées dans un chargeur ou carter inviolable pourvu d'une serrure de sûreté. Lorsque la machine est chargée et le carter fermé, il n'est plus possible, en cours d'enregistrement, de revenir en arrière. D'autre part, dès la fin de l'enregistrement, la bande, en quittant la poulie P2, disparaît à l'intérieur du carter. Ce carter est amovible, mais pour pouvoir avoir accès à la bobine enregistrée (pour lecture ou nouvel enregistrement), il faut disposer de la clé spéciale de sûreté.

Les bandes enregistrées sont ainsi conservées et stockées pendant le temps prescrit par les règlements en vigueur.

2° Le reproducteur-lecteur.

Le lecteur comporte un dérouleur-enrouleur et un lecteur proprement dit. Le dérouleur-enrouleur permet d'effectuer le changement de sens d'enroulement de la bande à une vitesse réglable dont la valeur maximum est environ 40 fois supérieure à celle de l'enregistrement. Il peut être arrêté à un

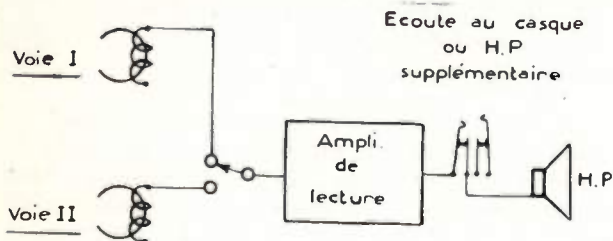


FIG. 5. — Lecteur : schéma électrique de principe.

moment quelconque de l'opération pour permettre la lecture d'une partie quelconque de la bande. Le sens de rotation du dérouleur-enrouleur peut être inversé si l'on a dépassé la partie de l'enregis-

trement que l'on veut reproduire. Le schéma de principe est donné sur la figure 5.

Le lecteur comporte deux têtes de lecture mises en service par un commutateur et permettant de lire, soit la piste voie radio, soit la piste voie horaire. Les signaux horaires étant enregistrés en permanence (pendant tout le temps que l'enregistreur a fonctionné), il est alors facile de retrouver rapidement la partie de l'enregistrement que l'on veut reproduire, connaissant l'heure à laquelle cet enregistrement a été fait.

L'écoute se fait normalement sur un haut-parleur inclus dans le lecteur. La puissance de sortie est réglable par un potentiomètre. Une deuxième sortie permet d'écouter par un casque (cette sortie à coupure met hors circuit le haut-parleur).

III — CARACTERISTIQUES ELECTROACOUSTIQUES

Diverses caractéristiques électroacoustiques étaient exigées de l'appareillage étudié. En particulier, avaient été précisées des clauses relatives :

- à la courbe de réponse en fonction de la fréquence;
- à la distorsion harmonique;
- à la puissance électrique fournie;
- aux niveaux d'enregistrement;
- aux rapport signal/bruit;
- à l'intelligibilité de l'ensemble enregistreur-lecteur.

Etant donné qu'il ne s'agit que d'enregistrement et de reproduction de la parole, nous nous étions limités, a priori, à une bande passante relativement restreinte comprise entre 200 et 4 000 Hz : nous admettions une variation de ± 2 dB du niveau de sortie, en fonction de la fréquence, pour un niveau d'entrée constant. En ce qui concerne la distorsion harmonique, nous nous étions fixés comme limite supérieure la valeur de 10 % pour

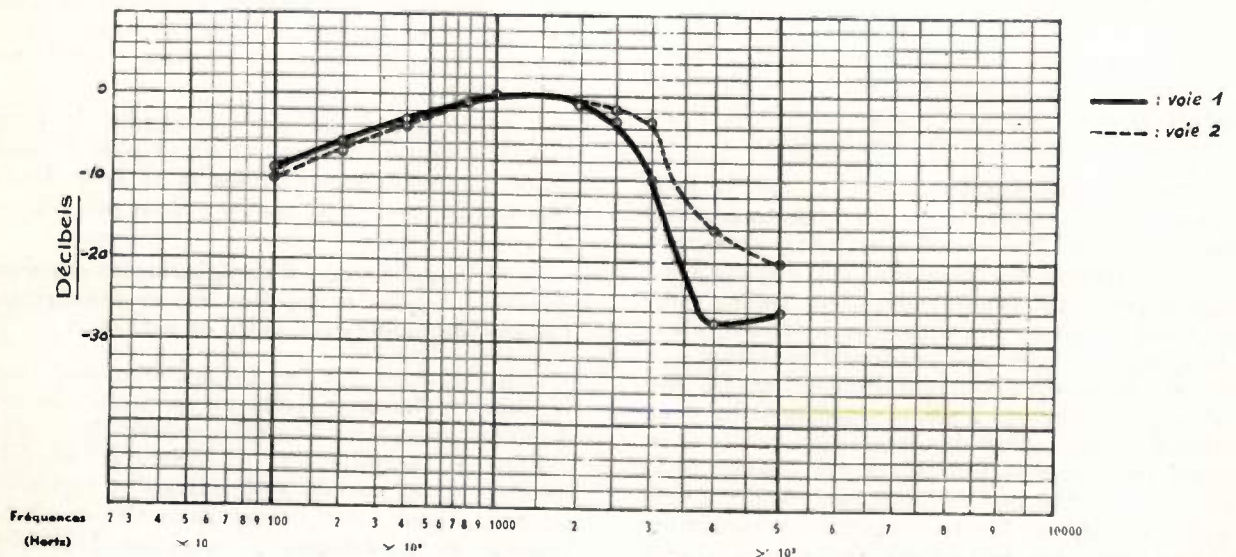


FIG. 6. — Caractéristique de fréquence de l'enregistreur-lecteur.

la même bande de fréquence, pour un niveau à l'entrée de 30 dB au-dessous de 6 mW. L'écoute, à la lecture, étant prévue à l'aide d'un haut-parleur, il a été demandé une puissance de sortie maximum de 2 watts pour un niveau d'entrée de 6 mW, puissance pouvant, d'ailleurs, être réglée manuellement à l'aide d'un potentiomètre.

Il était demandé, d'autre part, que les enregistrements puissent être effectués pour des niveaux d'entrée variant de 30 dB au-dessous de 6 mW à 0 dB par rapport à cette même référence et le démarrage, en marche intermittente, devait s'effectuer automatiquement pour un niveau d'entrée égal à 30 dB au-dessous de 6 mW. En ce qui concerne le rapport signal sur bruit, il devait être supérieur à 26 dB pour un niveau d'entrée de 5 mW et l'intelligibilité de l'ensemble enregistreur-lecteur, mesurée par les méthodes téléphonométriques courantes, devait être supérieure à 85 %, pour les logatomes, lorsque l'enregistrement était exécuté à l'aide d'un microphone de haute qualité pour un niveau d'entrée de l'ordre de 6 mW.

Performances électro-acoustiques mesurées.

1°) Courbe de réponse :

Les courbes de réponses en fonction de la fréquence de l'ensemble enregistreur-lecteur ont été mesurées pour trois niveaux d'entrée : 0, — 15 et — 30 dB par rapport à 6 mW et pour trois niveaux de sortie égaux à 0,5, 1 et 2 watts. Ces mesures ont été successivement exécutées sur les deux voies (voie radiotéléphonique et voie horloge). La figure 6 montre les caractéristiques relevées sur les deux voies, pour une puissance de sortie de 1 watt à 1 000 Hz et pour un niveau d'entrée de 6 mW. Les caractéristiques ne variaient pas de plus de ± 2 dB par rapport à celle indiquée sur la figure 6, lorsque le niveau d'entrée diminuait progressivement de 30 dB ou lorsque la puissance de sortie était, soit doublée (2 watts), soit diminuée (0,5 watt). Enfin, les courbes de réponse des deux machines A et B (machines du haut et du bas des figures 1 et 2) sont pratiquement équivalentes.

2°) Distorsion harmonique :

Elle a également été mesurée pour les deux voies, pour plusieurs niveaux d'entrée et de sortie et pour plusieurs fréquences comprises entre 100 et 5 000 Hz. Pratiquement, cette distorsion reste toujours très inférieure à 10 %, ce qui est conforme aux clauses prévues. A titre indicatif, la figure 7 met en évidence la variation de la distorsion harmonique en fonction de la fréquence, pour des niveaux d'entrée de 6 mW et de 15 et 30 dB au-dessous, la puissance de sortie étant réglée de façon à être égale à 1 watt à 1 000 Hz. La figure 8 met en évidence la variation de la distorsion en fonction de la puissance fournie, pour un niveau d'entrée de 30 dB au-dessous de 6 mW.

3°) Rapport signal/bruit :

Ce rapport a été mesuré à la fréquence 1 000 Hz, pour l'ensemble enregistreur-lecteur, pour les

trois niveaux d'entrée précédemment indiqués et pour les trois puissances de sortie de 0,5, 1 et 2 watts : il a toujours été trouvé de l'ordre de 45 dB.

4°) Mesures d'intelligibilité :

L'indice d'intelligibilité de l'ensemble enregistreur-lecteur, pour des logatomes, devait être supérieur à 85 % dans des conditions normales d'enregistrement et de reproduction. L'essai a été exécuté par la méthode téléphonométrique courante en utilisant, au total, 1 800 logatomes. Un opérateur parlait devant un microphone de haute qualité relié à l'entrée de la voie 1 du magnétophone, avec un volume normal de voix : environ 80 phones sur le microphone tenu à 10 cm des lèvres, l'enregistrement étant exécuté de façon continue. La lecture a été faite de deux façons :

a) à l'aide d'un haut-parleur, avec un niveau de l'ordre de 65 phones à la reproduction (en champ acoustique libre).

b) à l'aide de casques placés à la sortie « écoute » du lecteur, le niveau de reproduction étant également de l'ordre de 65 phones.

Dans le premier cas, l'intelligibilité obtenue était de 88 % environ (soit 96 % aux sons), tandis qu'elle était de 86 % dans le second cas (soit 95 % aux sons).

IV — CONCLUSIONS

Ce matériel a été entièrement réalisé avec des pièces détachées du type professionnel (transformateurs étanches, etc...) conformes aux spécifications C. C. T. U. Les tubes utilisés sont de la série miniature. Les moteurs sont calculés largement pour éviter tout pleurage et comportent leur propre ventilation.

L'enregistreur permet une durée totale d'enregistrement continu de 8 heures; il peut fonctionner pendant un temps beaucoup plus long (de l'ordre de 24 heures et davantage) lorsqu'il est mis en route par les communications radiotéléphoniques à enregistrer.

Ce mode de fonctionnement est très intéressant car il permet de faire de sérieuses économies de bande magnétique (à cause des durées prescrites de conservation des enregistrements). Il n'est possible que si les récepteurs radioélectriques comportent un « silencieux », car l'appareil ne peut s'arrêter que pour un niveau d'entrée très faible. De tels récepteurs équipent actuellement les tours de Contrôle de l'Aviation Civile et l'utilisation de ce type de démarrage automatique peut donc être envisagée avec confiance, les mesures exécutées sur le prototype qui vient d'être décrit ayant montré que sur la position « marche intermittente », le démarrage se faisait pour un niveau de 23,5 dB au-dessous de 6 mW, tandis que l'arrêt se faisait pour un niveau de 30 dB au-dessous de cette même puissance.

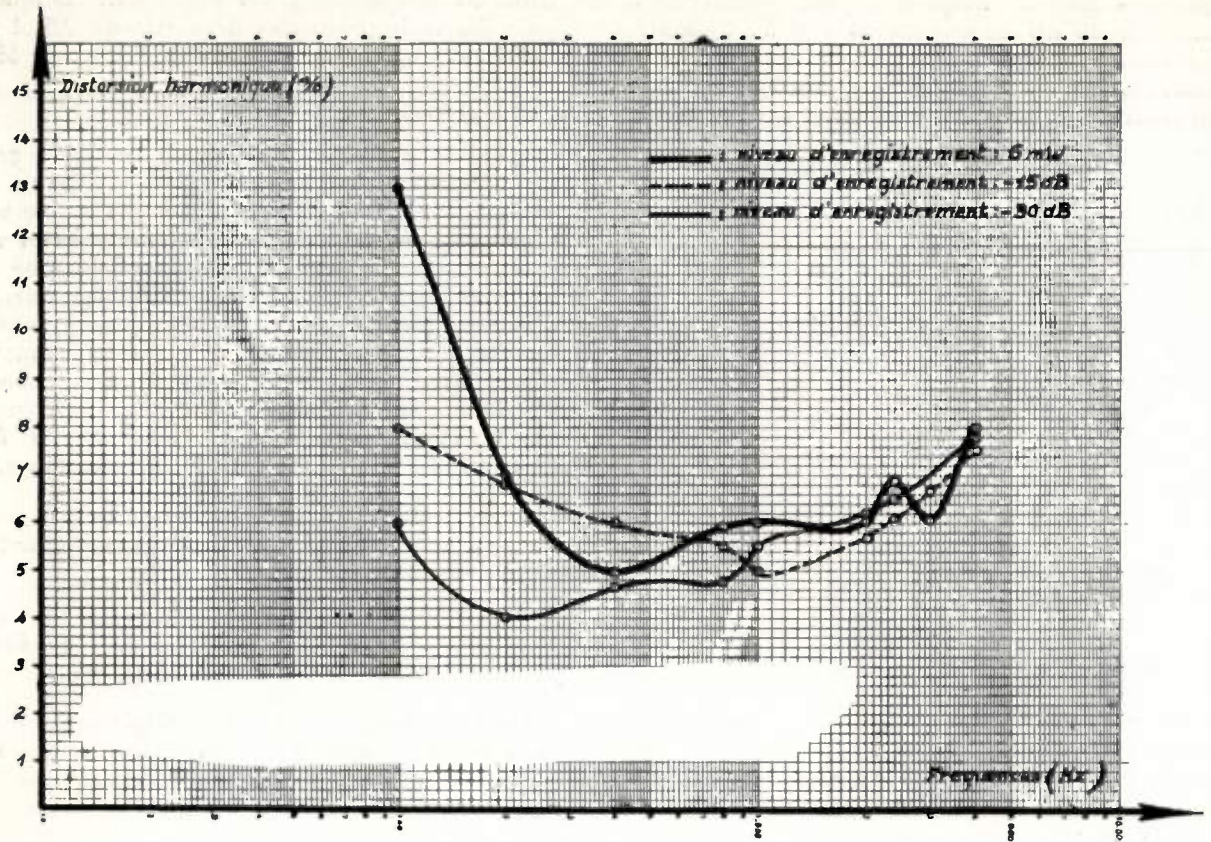


Fig. 7. — Distorsion harmonique de l'enregistreur-lecteur pour 3 niveaux d'enregistrement.

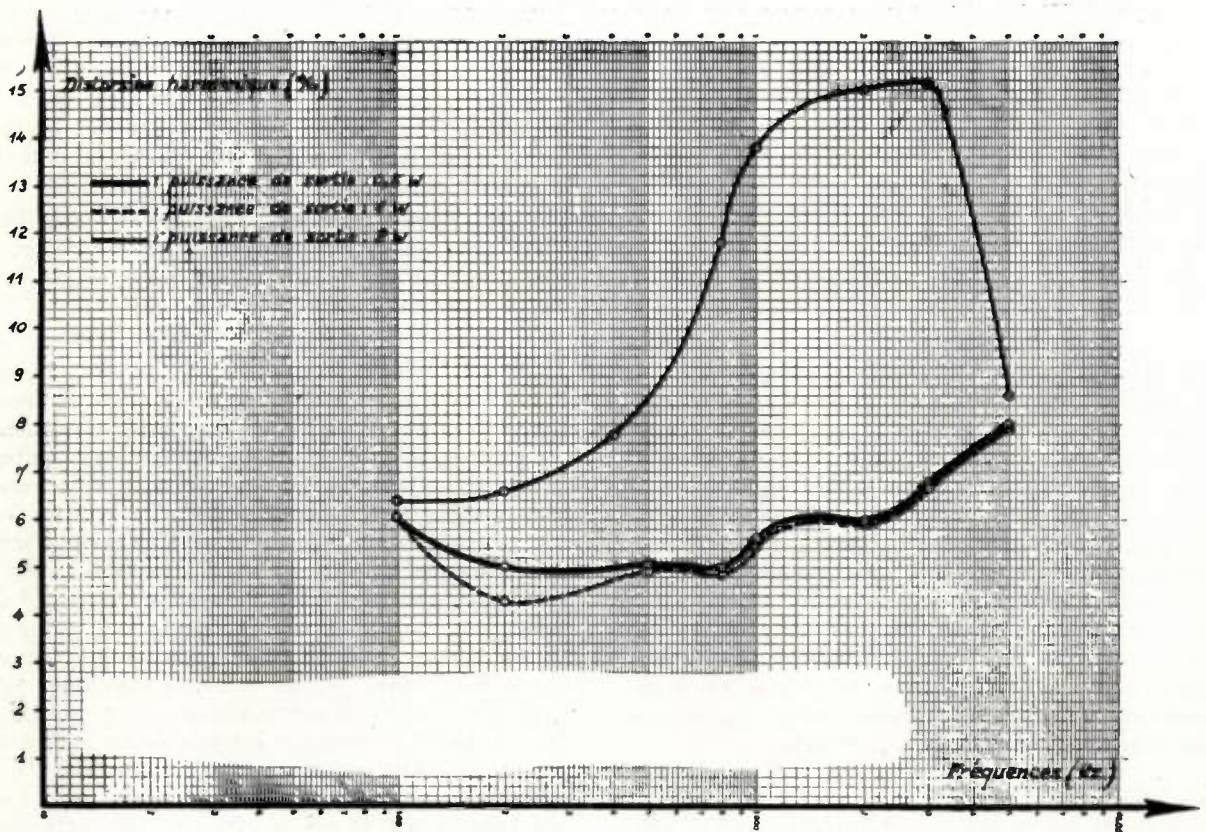


Fig. 8. — Distorsion harmonique de l'enregistreur-lecteur pour 3 puissances de sortie (niveau d'enregistrement : — 30 dB (6 mW)).

Du point de vue acoustique, toutes les spécifications imposées dans le cahier des charges ont été observées, sauf en ce qui concerne la courbe de réponse qui, à la fréquence 4 000 Hz, est légèrement faible. Cependant, dans l'ensemble, l'appareil

donne toute satisfaction et doit permettre d'observer avec facilité et exactitude les règles de sécurité demandées par l'O. A. C. I. en ce qui concerne l'enregistrement automatique des radiocommunications air-sol et sol-air.

COMPLÉMENTS

ÉTUDE DU PROCESSUS D'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE AVEC COURANT ALTERNATIF SUPERPOSÉ (1)

PAR

J. BORNE

*Laboratoire d'Electronique
et de Physique appliquées*

Au cours de la conférence, les résultats des mesures effectuées au moyen de l'appareil présenté par le L. E. P. ont été donnés.

Le matériau de la piste magnétique avait une coercivité moyenne de 250 oersteds et deux séries de mesures ont été faites, utilisant des courants de polarisation de 100 mA puis 300 mA à une fréquence de 5 Mc/s. Les zones d'enregistrement correspondant à ces courants entourent sur la figure 9, les surfaces équi-champ 0,6 et 0,2.

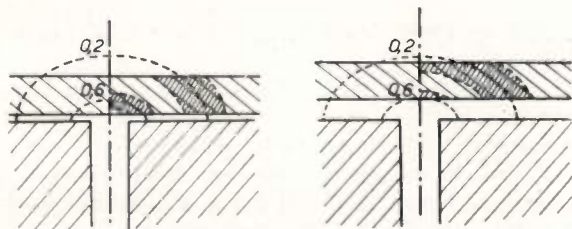


FIG. 9

On voit que du point de vue des hautes fréquences, pour lesquelles la surface seulement de la piste entre en jeu au cours de la reproduction, un courant de polarisation élevé a pour effet de reporter la zone d'enregistrement à une plus grande distance de la fente donc à un endroit où le champ de signal a une valeur plus faible, sur une longueur plus grande, ce qui produit un affaiblissement des très courtes longueurs d'onde à la fois par diminution du signal et variation de la phase au cours de l'inscription.

Par contre pour les basses fréquences, on a bien un affaiblissement du champ de signal mais le volume d'enregistrement est notablement augmenté, ce volume intervenant dans sa totalité pour la reproduction des grandes longueurs d'onde, et les variations de phase du signal restant négligeables,

le résultat est que le signal enregistré se trouve finalement augmenté.

Regardons maintenant ce qui peut se produire lorsque la distance entre la tête et la piste augmente, pour un courant de polarisation constant.

Dans le cas où on emploie un courant de polarisation normal de 100 mA, le fait d'éloigner la

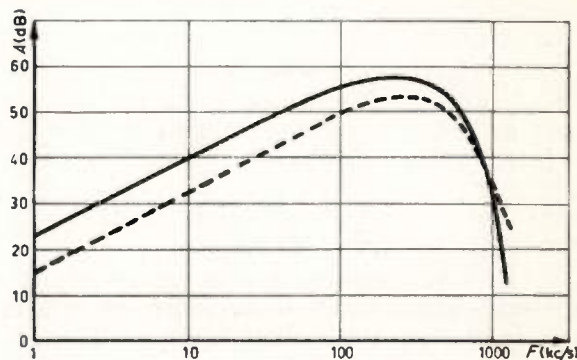


FIG. 10

piste d'une distance de 5 μ conduit à une diminution du volume de la zone d'enregistrement en même temps qu'à une augmentation de longueur de cette zone. Ces deux effets produisent un affaiblissement aussi bien sur les basses que sur les hautes fréquences.

Par contre si l'on emploie un courant de polarisation plus élevé, 300 mA lors de nos expériences, le fait d'éloigner la piste d'une distance de 5 μ conduit seulement à une augmentation de la longueur de la zone d'enregistrement sans que son volume en soit notablement affecté, ceci laisse prévoir un affaiblissement des courtes longueurs d'onde sans que l'enregistrement des grandes longueurs d'onde soit altéré.

Voici maintenant quelques résultats expérimentaux confirmant ces déductions :

La figure 10 montre l'évolution de la réponse

(1) Complément au texte paru dans l'Onde Electrique de mars 1954.

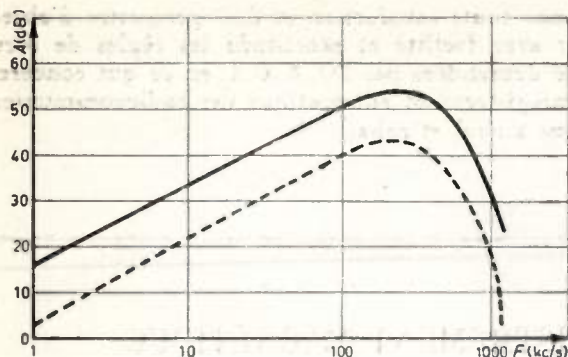


FIG. 11

suivant la valeur du courant de polarisation, la courbe en trait plein correspond à une polarisation normale et la courbe en pointillé correspond à une polarisation plus forte.

La figure 11 montre l'affaiblissement sensiblement constant de la réponse lorsqu'on éloigne la

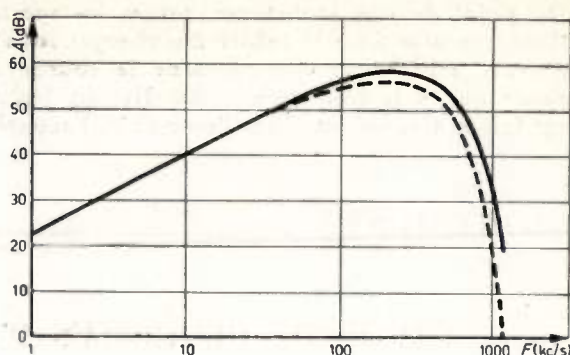


FIG. 12

piste d'une distance de 5 μ pour un courant de polarisation normal.

La figure 12 montre enfin que l'affaiblissement avec la distance n'est sensible que vers les hautes fréquences si l'on emploie un courant de polarisation élevé.

L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE DES FRÉQUENCES SUPÉRIEURES A 100 kc/s (1)

PAR

J. PERILHOU

Laboratoire d'Electronique et de Physique Appliquées

Le calcul des pertes de la lecture des hautes fréquences est précisé comme suit :

Supposons que l'on dispose de têtes d'enregistrement de lecture ayant une fente de 10 microns de largeur. La longueur d'onde la plus courte, susceptible d'être lue facilement, sera prise égale à 20 microns. Dans ces conditions, l'épaisseur de la couche magnétique sera fixée à 10 microns.

Si l'on veut enregistrer une fréquence de 1 Mc/s, la vitesse linéaire de la piste nécessaire sera de 20 m/s d'où un diamètre du tambour d'environ 25 cm.

Supposons que l'on puisse réaliser une distance tête-piste, à la lecture, de 1 micron. La formule :

$$\text{Affaiblissement} : 55 \frac{d}{\lambda} \text{ dB.}$$

montre que cet écartement produit une chute de 3 dB.

La formule donnant l'affaiblissement dû à l'épaisseur de la piste donne, pour une piste de 10 microns d'épaisseur, une chute de 10 dB environ.

D'après la théorie de Monsieur WESTMIJZE, il y a encore une chute de 10 dB due à la démagnétisation. Le total fait un affaiblissement d'environ 23 dB.

Si l'on retranche ces 23 dB des 70 dB que donnerait la réponse théorique, avec accroissement linéaire de 6 dB par octave, il reste 47 dB.

LES NOUVEAUX APPAREILS D'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE DU SON EMPLOYÉS PAR LES SOCIÉTÉS DE RADIODIFFUSION DE LA RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE ALLEMANDE (1)

PAR

H. SCHIESSER

(Rundfunk Technisches Institut, Nuremberg)

Appareillage pour le ralenti et l'accélééré sonore.

Une autre étude, déjà mentionnée par les Etats-Unis au congrès d'acoustique de Delft, concerne un

appareil permettant d'obtenir l'accélération ou le ralentissement du temps sonore sans modification de la hauteur du son.

Le principe repose sur une lecture discontinue de la bande enregistrée, la vitesse relative entre la bande et la tête de lecture restant égale à la

(1) Complément au texte pour dans l'Onde Electrique de mars 1954.

vitesse d'enregistrement. La figure 3 représente les têtes de lecture et le principe de reproduction. Les deux dessins de gauche représentent le principe de deux réalisations possibles pour la tête de lecture. En haut quatre têtes montées sur un cylindre que la bande enveloppe sur 90° . La relation entre la vitesse de la bande et la vitesse de rotation du cylindre est telle que la vitesse relative est correcte et que la hauteur du son original est reproduite. Les tensions produites par les quatre têtes sont amenées à l'amplificateur au moyen d'un collecteur, ou comme dans le cas de la figure au moyen de bagues collectrices. Sur le dessin du bas, la tête ne comporte qu'une seule bobine fixe placée à l'intérieur d'un anneau tournant à haute perméabilité comportant quatre entrefers. Le flux magnétique est amené au système fixe en passant par de larges pièces polaires.

Ainsi qu'on le voit sur la figure dans quatre exemples particuliers, en cas d'extension (ralenti) deux entrefers consécutifs reproduisent des sections de bande qui se chevauchent; en cas de compression (accélééré) il existe des coupures entre les sections de bande effectivement reproduites.

à compléter un magnétophone normal. Au milieu de la platine on peut encore voir la tête de lecture. La bande est entraînée entre l'axe du moteur et

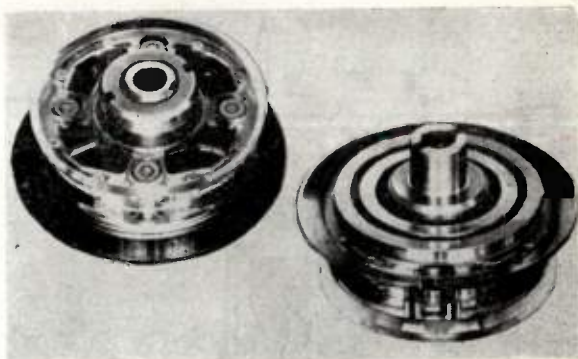


FIG. 4

le cylindre de caoutchouc. L'axe est solidaire du stator du moteur qui est rendu rotatif, la tête de lecture étant entraînée par le rotor. Au moyen de

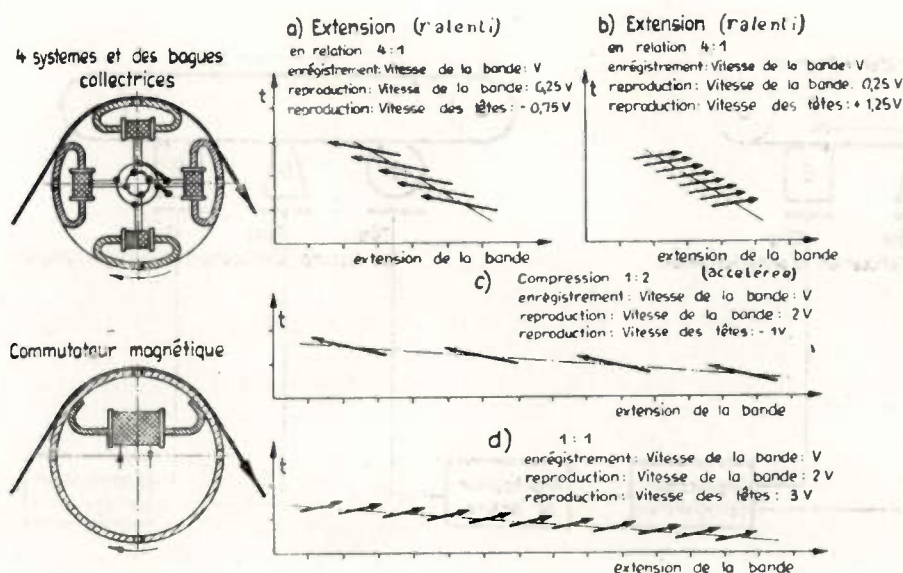


FIG. 3

La longueur des flèches indique la grandeur de ces sections, la durée de reproduction d'un tel élément est en moyenne de 40 ms. La pente des flèches varie en raison inverse de la vitesse relative, elle est toujours la même. La pente des lignes pointillées représente la vitesse de la bande pendant la lecture. Par suite de la durée très courte des éléments reproduits, l'exploration de ceux-ci peut se faire dans le sens normal (exemples a et c) ou dans le sens inverse (exemples b et d).

La figure 4 représente une tête. On y voit les quatre bobines, les entrefers et à la partie inférieure les bagues collectrices.

La construction de l'appareil, y compris le système de commande, est représentée sur la figure 5. Il s'agit d'une réalisation expérimentale destinée

la manivelle, qui dans la réalisation définitive sera remplacée par un moteur, on peut faire tourner le stator dans un sens ou dans l'autre. De cette façon on peut faire varier de façon continue la vitesse absolue de la bande et par conséquent le taux d'extension ou de compression.

L'appareil qui vient d'être décrit a d'abord été réalisé comme supplément d'un dictaphone pour faciliter la transmission d'un enregistrement. Il permet l'accélééré ou le ralenti dans le rapport 2 et au delà, non seulement pour la parole mais même pour la musique, avec une qualité étonnante.

La fréquence de commutation d'environ 25 c/s est à peine perceptible quand l'angle de contact entre la bande et la tête est de 90° .

On envisage d'utiliser cet appareil dans les émissions dramatiques pour permettre d'accorder au rythme de l'action le tempo d'un élément de

l'un par l'autre, pour aboutir à de nouvelles formes d'expression.

La figure 6 représente une vue d'un tel studio.

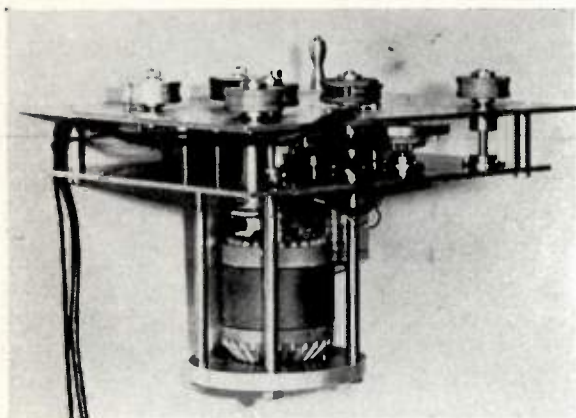


FIG. 5

bruitage. L'appareil sera fabriqué par les établissements Telefonbau und Normalzeit, à Francfort-sur-le-Main.



FIG. 6

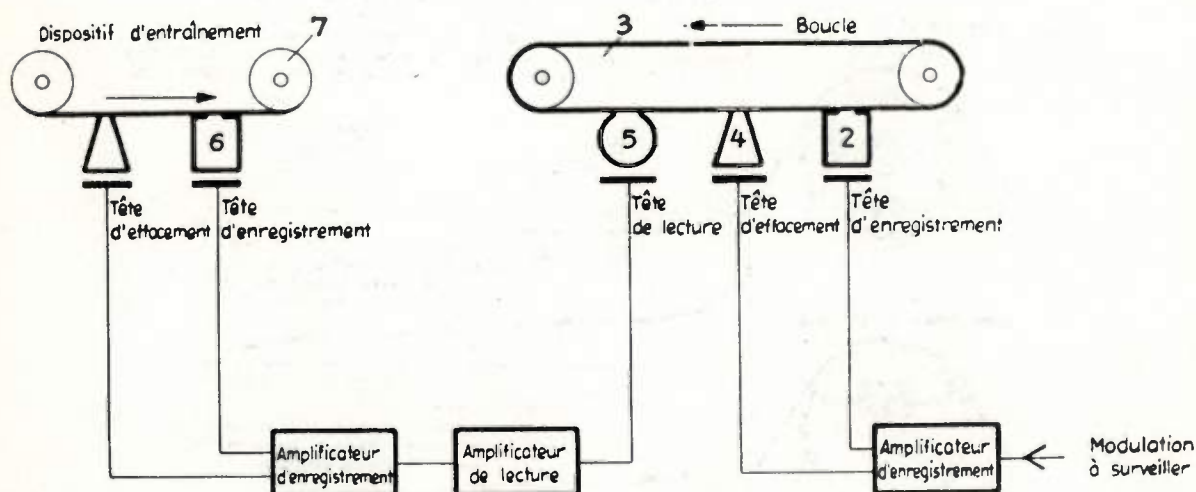


FIG. 7

Appareils pour la musique électronique.

Les auteurs et réalisateurs d'émissions dramatiques s'intéressent vivement à tous les moyens utilisables pour modifier les tonalités naturelles et créer des tonalités artificielles. Le studio de musique électronique de la N.W.D.R. à Cologne utilise par exemple une multiplicité de sources sonores, telles que oscillateurs, générateurs de bruits, générateur de bruit blanc, instruments de musique électronique. Les signaux obtenus ne sont pas seulement réverbérés de façon artificielle par le procédé déjà indiqué, mais subissent en outre des transpositions en fréquence. Leurs fréquences sont filtrées, les rythmes et la dynamique peuvent être modifiés, on peut effectuer des modulations d'amplitude ou de fréquence, ou même l'intermodulation de deux sons

On voit au premier plan la table de régie, en arrière un instrument de musique électronique : le Mélochord, à droite un magnétophone avec un dispositif spécial pour permettre le déroulement de boucles, et enfin deux appareils d'enregistrement à quatre pistes sur film standard perforé de 35 mm. Ces appareils sont employés pour enregistrer et reproduire en synchronisme les différentes composantes d'une composition de musique synthétique ou des séquences de sons naturels. On peut donc toujours corriger la modulation de ce qui a été enregistré sur certaines pistes. Ces appareils sont analogues à ceux qu'utilise le cinémascope.

Appareil pour l'enregistrement des pannes.

La figure 7 montre le principe d'un autre appareil récemment mis au point. Il s'agit d'un appa-

reil de surveillance de la modulation quittant un centre de radiodiffusion.

Jusqu'à présent, l'heure, la durée, la nature des incidents d'exploitation étaient notés sur un rapport qui ne permettait pas toujours de retrouver les causes des pannes et d'en éviter la répétition. L'appareil décrit ici enregistre tous les incidents depuis leur origine et permet de remédier à ces inconvénients.

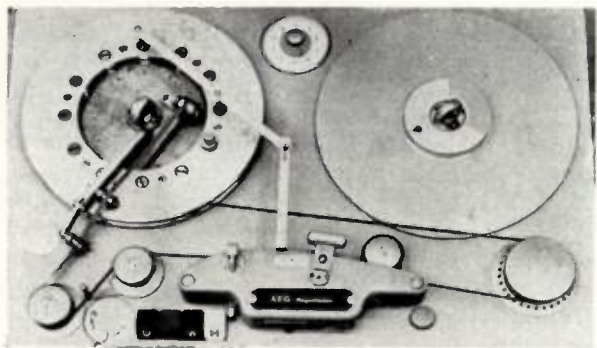


FIG. 8

La modulation à surveiller est continuellement enregistrée sur une boucle de bande ayant une capacité de une minute. A chaque tour le signal déjà enregistré est effacé et laisse la place à un

nouvel enregistrement. Si l'employé assurant la surveillance constate une panne, il met en marche l'appareil de gauche qui enregistre la modulation venant de la tête de lecture de la boucle, et par conséquent la modulation enregistrée sur la boucle pendant les 60 secondes écoulées. On emploie comme magasin une bobine spéciale visible sur la figure 8. C'est une bobine fixe sur laquelle se trouvent enroulées plusieurs spires de bande. Quand la bande est tirée de l'intérieur de la bobine les spires tournent sur des galets guides et la bande s'enroule de l'extérieur. Cette bobine est associée à un mécanisme de déroulement normal. Au moment où l'on remarque une panne le dispositif d'entraînement est mis en marche par une télécommande. L'enregistrement définitif qui s'effectue alors se fait à partir d'un instant qui précède le commencement de l'incident.

Pour la surveillance des différents appareils décrits ci-dessus on a créé un certain nombre d'appareil de mesure et d'accessoires dont la description détaillée serait un peu longue. Ce sont entre autres : les appareils pour la mesure du pleurage, des distorsions non linéaires, du glissement de la bande, et des courants dans les têtes magnétiques. Egalement des circuits équivalents pour le réglage des corrections des amplificateurs, et des bobines d'induction pour contrôler l'efficacité des têtes de lecture.

SECTION III. — ENREGISTREMENT POUR LE CINÉMA

APPLICATION DES PROCÉDÉS MAGNÉTIQUES A LA SONORISATION DES FILMS CINÉMATOGRAPHIQUES.

PAR

A. DIDIER

*Professeur au Conservatoire National
des Arts et Métiers*

M. A. Didier rappelle les solutions apportées au problème du cinéma parlant :

Chronophone Gaumont 1910. Son sur disque, amplificateur à air comprimé, synchronisme par voie électrique entre le tourne-disques et le projecteur cinématographique.

Son photographique sur film, bandes séparées, une bande son et une bande image (*Cinéphone GAUMONT, PETERSEN, POULSEN* 1927). Puis idée de superposer le son et les images sur la même bande — film rationnel de Léon Gaumont —. L'inscription sonore était obtenue sur gélatine bichromatée contenant des colorants opaques à la lumière infra-rouge et transparents dans le spectre visible, ce qui permettait de disposer de toute la largeur utile du film 35 mm pour l'inscription sonore.

Ensuite images et sons sur la même bande, côte à côte. L'image est diminuée en largeur, l'inscription sonore se présente sous forme d'une piste de 3 mm de largeur en marge des images. Cette solution n'a pas varié depuis vingt-cinq ans. De grands progrès, portant sur les modulateurs de lumière, les lecteurs de son photoélectriques, les émulsions photographiques et les méthodes de développement et de tirage permettent d'obtenir des résultats électro-acoustiques très satisfaisants.

Il n'en est pas de même du son photographique sur les films de formats réduits 16 et 9,5 mm. Le son de ces films est obtenu soit par réduction optique, soit par réenregistrement. La réduction optique conduit généralement à une anamorphose de la piste — cette dernière est comprimée dans le sens de la hauteur. A. DEBRIE a imaginé et réalisé un dispositif optique évitant cette déformation : la piste originale 35 mm est dédoublée en deux pistes identiques réduites dans les mêmes proportions hauteur/largeur. Le réenregistrement évite également ce grave inconvénient.

Malgré ces dispositions, la vitesse de défilement du film 16 mm à la cadence de 24 images par seconde — 18 cm/seconde — ne permet pas de dépasser une dynamique de reproduction de 30 phones pour une bande passante de 60 à 5 000 Hz (à -2 dB) et pour un taux de distorsion non linéaire de l'ordre de 5 %.

Les films en couleurs fournissent des résultats encore inférieurs par suite de la diminution de contraste de la piste sonore.

Les procédés magnétiques.

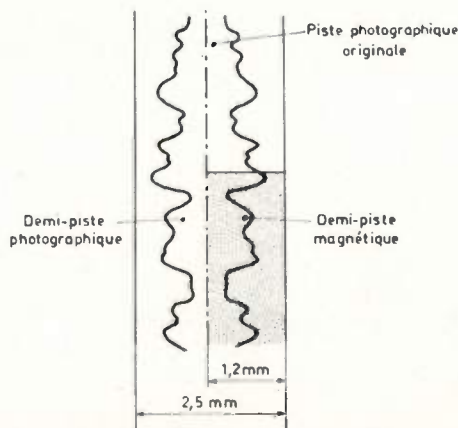
Le principe du procédé découvert par POULSEN en 1899 n'obtint à ses débuts qu'un succès de curio-

sité. Il fallut attendre trente années pour voir la première réalisation industrielle : la machine à ruban magnétique STILLE — à la même époque, 1928 — PFLEUMER imaginait la bande magnétique telle que nous la connaissons de nos jours : support plastique recouvert d'un matériau ferromagnétique.

L'emploi de la haute fréquence tant pour l'effacement que pour la prémagnétisation (CARLSON et CARPENTER 1927 — WEBER et von BRAUMUHL 1941 — augmentant considérablement la dynamique (rapport signal/bruit de fond) en abaissant simultanément le bruit de fond et le taux de distorsion non linéaire permit un développement rapide du procédé. Depuis quelques années, l'industrie cinématographique utilise concurremment les procédés photographiques et les procédés magnétiques.

Ces derniers sont généralement employés sous forme transitoire — le son original est enregistré sur bande magnétique 35 mm perforée synchrone — l'excellente qualité du son magnétique permet d'effectuer toutes les opérations de montage et de mélanges sans perte de qualité.

Le son final mélangé, destiné aux copies standard d'exploitation est reporté par voie photographique normale — le tirage photographique est évidemment plus simple et plus économique que les reports copie par copie.



Les techniques nouvelles du cinéma à triple écran (cinérama) — du grand écran et de l'écran panoramique (cinémascope) demandent des effets sonores, du son stéréophonique ou pseudo-stéréophonique — distribué par plusieurs hauts-parleurs et ce, partant par plusieurs voies sonores.

Les pistes magnétiques multiples, portées par la bande image, permettent de conserver pour chaque voie sonore une excellente dynamique de reproduction. D'autre part, au début de cet exposé, nous avons évoqué les problèmes relatifs aux films de format réduit, là encore la piste magnétique fournit une solution de qualité.

Le dépôt des pistes sur les films — vierges ou développés — qu'il s'agisse du format 35 mm, du

phone et d'un enregistrement musical — report de bande magnétique 6,35 mm.

Le son original photographique du film sera conservé — il est en densité fixe symétrique — il suffira de déposer la piste sur la moitié de la trace sonore (figure 5). La machine comprend : un plateau débiteur à friction, un dispositif de défilement à vitesse rigoureusement constante (18 cm/s), des dispositifs de tension du film, un système



Sonorisation des films cinématographiques

format substandard 16 mm ou des formats réduits 9,5 et 8 mm pose des problèmes techniques que nous allons vous exposer expérimentalement.

La machine qui se trouve devant vous va enduire un film 16 mm — déjà sonore photographique — d'une piste magnétique — l'opération durera un quart d'heure environ. Après quoi nous sonoriserons le film devant vous — au moyen d'un micro-

enducteur à niveau constant avec guidage latéral du film, un projecteur optique permettant d'aligner exactement l'axe de la piste sonore et le bord du dépôt de la piste magnétique, un contrôle magnétique — sans contact — dont le principe repose sur la variation de réluctance de l'entrefer d'un noyau magnétique. On cale l'appareil au zéro au moyen d'un étalon.

Le volume du produit ferromagnétique qui passe dans l'entrefer déséquilibre l'appareil si ses dimensions — largeur et épaisseur — ne sont pas conformes à l'étalon — d'où un réglage très précis et immédiat. La sensibilité permet d'apprécier le micron.

Le film est ensuite séché par infra-rouge puis dans une armoire conditionnée — air filtré et chaud, après quoi il est réenroulé sur un plateau récepteur muni d'une friction.

L'enregistrement du film ainsi obtenu s'effectue ensuite sur un projecteur mixte photographique-magnétique. La qualité du son obtenu permet de se rendre compte de la sécurité d'emploi des divers dispositifs présentés.

QUESTIONS POSÉES.

M. IVONNET. — Rectification de la valeur moyen-

ne de la dynamique du son photographique sur film 16 mm (copies de série) 18 phones.

M. DIDIER. — Je vous accorde cette valeur — j'avais cité 30 comme maximum — votre intervention confirme encore davantage ce que j'annonçais.

M. CARRÈRE signale une augmentation du bruit de fond de la piste photographique du film 16 mm expérimenté après le dépôt de la demi-piste magnétique.

M. DIDIER. — Les conditions de l'expérience faite hâtivement devant vous et n'ayant pour but qu'une démonstration rapide de toute la chaîne depuis le dépôt de la piste jusqu'au son final reproduit ne sont pas idéales. L'augmentation théorique du bruit de fond de 6 dB est peut-être dépassée dans cette expérience.

Il s'agit, répétons-le, d'une démonstration très enlevée et non d'une manipulation consciencieuse permettant des mesures comparatives.

ÉVOLUTION DE LA TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT ET DE REPRODUCTION DES SONS

(cf. article de M^r A. Didier paru dans le numéro de Mars de l'Onde Electrique (pages 213 à 215))



FIG. 1. — Phonographe Edison - 1878.

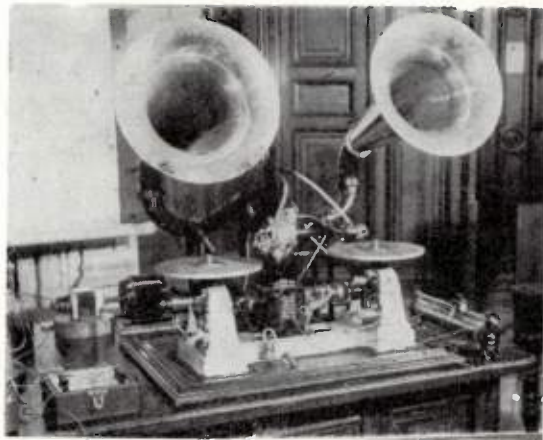


FIG. 2. — Chronophone Gaumont, premier cinéma parlant - 1910

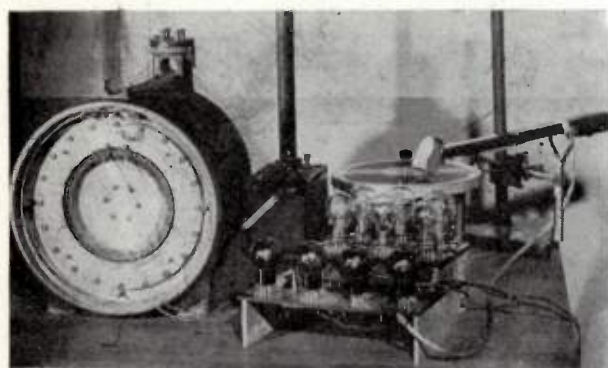


FIG. 3. — Ecouteur de repérage par le son - 1917 — Premier haut parleur électro-dynamique

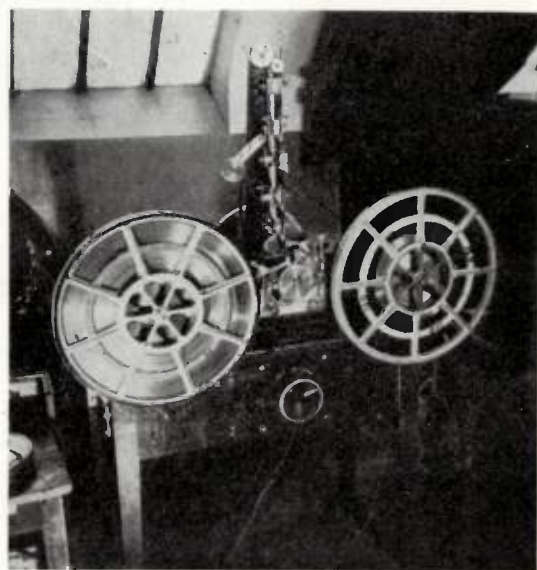


FIG. 4. — Machine magnétique Stille à ruban d'acier - 1930.

SECTION V. — APPLICATIONS ET EXTENSIONS

ENREGISTREMENTS GÉOPHYSIQUES SUR BANDE DE MAGNÉTOPHONE

PAR

G. DUPOUY

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

doit être substitué au spot masqué. On obtient ce

Les physiciens disposent de nombreux procédés pour l'enregistrement des grandeurs variables dans le temps; depuis le style sur papier enduit de noir de fumée, jusqu'au papier photographique en passant par la plume et l'encre, les procédés chimiques, etc...

Ces procédés se prêtent inégalement à l'enregistrement de phénomènes rapidement variables. Le problème de l'oscillographe étudié dès la fin du 19^e siècle par André BLONDEL a poussé vers l'emploi des moyens photographiques pour lesquels l'index inscripteur, pinceau lumineux, est sans inertie. Le pinceau d'électrons de l'oscillographe cathodique jouit de la même propriété.

Tous les problèmes d'enregistrements physiques ne sont pas résolus pour autant, lorsqu'il s'agit de grandeurs rapidement variables :

— d'une part, entre la grandeur physique et le pinceau lumineux ou le faisceau cathodique, des intermédiaires peuvent être nécessaires comportant inertie, élasticité et frottements, par exemple le miroir dans le procédé photographique.

— d'autre part, lorsque l'enregistrement doit être permanent, la consommation du support d'enregistrement peut devenir rapidement prohibitive, aussi bien du point de vue financier, que de celui du dépouillement consécutif à l'enregistrement.

A titre d'exemple, voici l'évolution des réalisations en matière de magnétisme terrestre et de séismologie :

1^o Enregistrement des trois composantes du magnétisme terrestre sur magnétographe *LA COUR*. Une journée d'enregistrement figure sur 38,5 cm de longueur de papier photographique (figure 1). Des phénomènes d'une durée inférieure à la minute, représentée par 0,25 mm, sont à peu près indiscernables.

2^o Enregistrement des trois composantes du déplacement sismique ; de plus grandes vitesses de déroulement sont nécessaires ; les phénomènes à observer étant épisodiques, et d'une durée de l'ordre de l'heure, on utilise l'enregistreur hélicoïdal faisant un tour dans un temps d'environ une

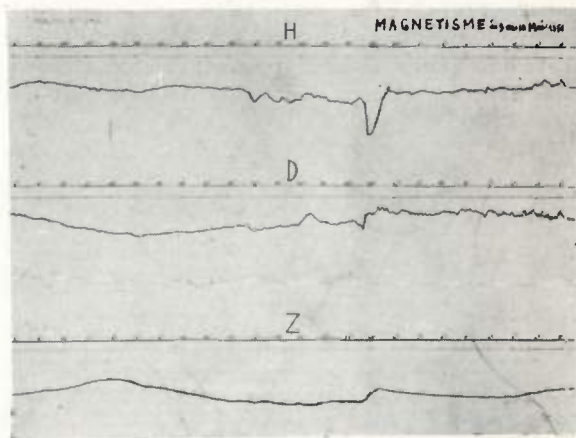


FIG. 1. — Magnétographe Lacour à marche lente

heure. Tant qu'il n'y a pas de séisme, le spot trace des hélices régulières ; lorsque survient un séisme appréciable, le spot recouvre les spires d'hélices voisines, sans que le chevauchement soit gênant pour le dépouillement (figure 2).

3^o Magnétographe *LA COUR* à marche rapide (figure 3). On utilise un enregistreur hélicoïdal comme dans les séismographes ; mais ici il y a des variations lentes de grande amplitude ; les lignes successives d'enregistrement seraient mélangées et indéchiffrables si le spot n'était pas masqué dès qu'il sort de la bande étroite qui lui est attribuée. Pour que d'autre part l'enregistrement reste continu, un autre spot décalé d'une quantité connue

résultat au moyen d'une série de prismes à réflexion totale donnant de la source lumineuse une série d'images régulièrement espacées.

4° Le magnétographe apériodique GIBault (figure 4) répond à une préoccupation cependant

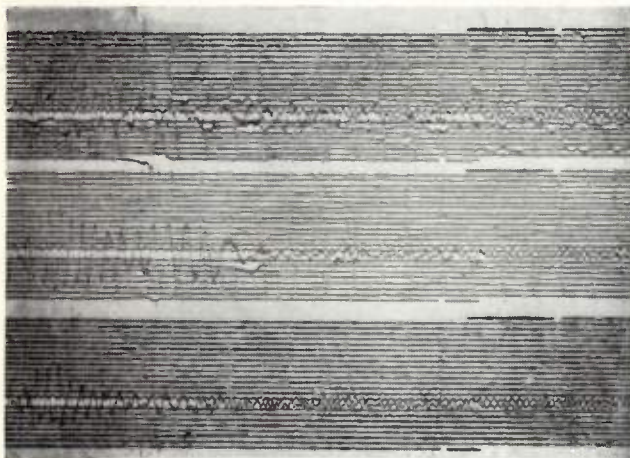


FIG. 2. — Haut : Z. Galitzine électromagnétique.
Milieu : Grandes périodes, vertical Z.
Bas : Grandes périodes, horizontal Nord-Sud, Parc St-Maur, 1953.

fondamentale qui n'avait pas été observée dans le LA COUR à marche rapide : la grandeur enregistrée n'est représentative de la grandeur étudiée que si l'équipage mobile est dépourvu de fréquence propre, ou du moins convenablement amorti pour cette fréquence. En faisant usage d'aimants modernes à haut pouvoir coercitif, convenablement amortis par courants de Foucault dans

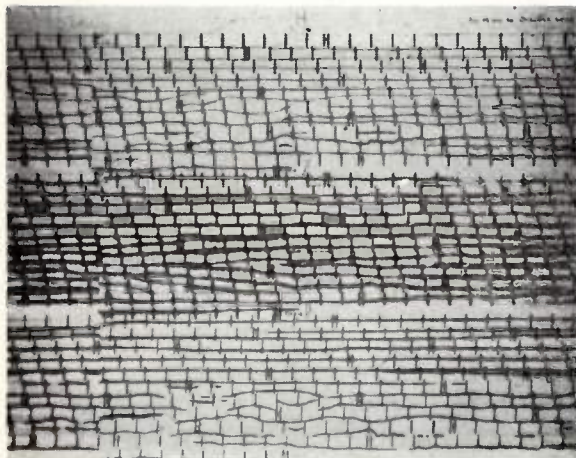


FIG. 3. — Magnétographe Lacour à marche rapide.

des masses conductrices voisines, on a vu apparaître des pulsations importantes du champ magnétique terrestre, de périodes comprises entre quelques secondes et quelques dizaines de secondes. L'étude détaillée de ces phénomènes se poursuit à l'Institut de Physique du Globe de Paris.

Pour aller plus loin dans la gamme des fréquences présentes dans l'agitation magnétique naturelle,

il faut réduire l'inertie des équipages mobiles aimantés. Simultanément le couple directeur diminue. A égale déviation de l'équipage mobile on constate aisément que la période propre décroît proportionnellement aux dimensions linéaires de l'aimant utilisé. On est donc tenté d'utiliser des aimants très petits. Mais les miroirs mesurant la déviation, qui ont de l'inertie, doivent être diminués dans les mêmes proportions; leur pouvoir séparateur optique diminue semblablement, et l'on rencontre ainsi une limitation physique infranchissable, du moins si l'on conserve des équipages mobiles matériels. On est ainsi conduit à rechercher des moyens de mesure du champ magnétique sans éléments mobiles matériels; c'est ce que font les radio-électriciens lorsque, par des moyens purement électriques, ils mesurent un champ électromagnétique dont la nature physique ne diffère pas de celle du champ des magnéticiens. Notamment rien n'interdit à ces derniers de tendre des boucles ou des cadres et d'y mesurer des forces électromotrices induites dans telle gamme de fréquence que les moyens électroniques actuels permettent d'amplifier correctement.

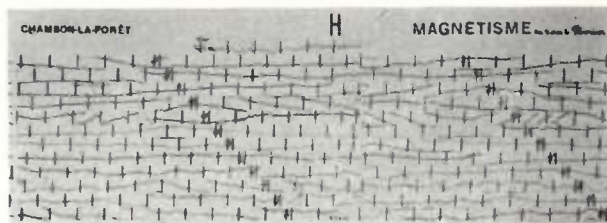


FIG. 4. — Magnétographe à périodique Gibault

Cette évolution a déjà pris corps dans des conditions que nous verrons dans un instant; elle ne résoud pas toutefois le second problème posé par l'enregistrement de phénomènes rapidement variables : celui de la consommation du support d'enregistrement.

Une remarque s'impose immédiatement à ce sujet : les radio-électriciens depuis longtemps, sont réputés enregistrer les variations dans le temps du champ électromagnétique, et ce, dans une gamme de fréquences incomparablement plus élevée que celle des pulsations rapides du champ magnétique terrestre. Les radio-électriciens seraient-ils exempts du problème des quantités de support d'enregistrement ?

Un examen sommaire montre que les radio-électriciens n'enregistrent pas le champ électromagnétique incident; mais une grandeur statistique ou conventionnelle liée à ce champ, et choisie de façon à constituer une grandeur lentement variable.

Il s'agit d'une grandeur statistique lorsqu'on mesure la valeur efficace d'un champ, car ce n'est autre chose que la valeur quadratique moyenne de ce champ pendant un certain temps précédent le moment de l'enregistrement.

Il s'agit d'une grandeur conventionnelle lorsqu'on mesure cette valeur efficace du champ dans une étroite bande de fréquence librement choisie. On ne conteste pas ici l'intérêt pratique ou théorique de telles mesures; on constate seulement qu'elles ne constituent pas une véritable mesure du secteur champ magnétique en fonction du temps, comme celles que font les magnéticiens.

Pour ceux-ci le problème du support d'enregistrement reste difficile; le ruban de magnétophone leur apporte aujourd'hui une grande espérance.

Cette étroite bande peut recevoir des empreintes différentes à l'échelle de 1/50 millimètre, qui est la largeur d'entrefer d'une tête de magnétophone. Elle permet donc d'enregistrer, à la vitesse de déroulement de 77 cm/s jusqu'à des fréquences de l'ordre de 10 000 périodes par seconde. Ces variations sont aisément reconstituables en forme de courant électrique autant de fois qu'on le désire. Enfin les bandes sont faciles à effacer en vue du réemploi pour un nouvel enregistrement.

Le physicien trouve une autre ressource dans la bande de magnétophone : c'est la transposition de fréquences; il suffit d'enregistrer et lire avec des vitesses de déroulement différentes. Certains phénomènes pourront ainsi recevoir des présentations nouvelles, susceptibles d'un certain intérêt, au même titre que le cinéma au ralenti ou à l'accélération pour l'étude de phénomènes très rapides (chocs) ou très lents (aspects de la couronne solaire).

Ces idées directrices ont été mises en œuvre à l'Institut de Physique du Globe de Paris, d'une part pour le champ magnétique terrestre, d'autre part pour l'agitation sismique. A cet effet, on a fait construire un enregistreur magnétophone lent, susceptible de trois vitesses de déroulement, respectivement égales au 1/1 000, au 1/500 et au 1/250 de la vitesse normale de 77 cm/s. La fréquence du courant prémagnétisant des têtes de magnétophone qui est ordinairement voisine de 50 Kc/s a pu être transposée dans la même proportion. On a jusqu'ici utilisé le courant à 50 c/s du réseau industriel convenablement dosé.

On a ainsi réalisé trois catégories d'essais.

1° *Agitation microsismique.*

On sait que la sensibilité des sismographes a été considérablement accrue avec l'invention par GALITZINE, il y a quelques dizaines d'années, des sismographes électromagnétiques.

Ceux-ci sont formés d'une masse suspendue aussi librement que possible suivant un des trois degrés de liberté, liée à une bobine mobile dans un entrefer d'aimant. Le courant induit est envoyé dans un galvanomètre à haute sensibilité, dont les constantes du système oscillant, déterminent la courbe de réponse aux diverses fréquences.

L'accroissement de sensibilité obtenu par le sismographe électromagnétique s'est trouvé limité par la constatation d'une agitation permanente de la terre, indépendante des séismes caractérisés, avec une amplitude de l'ordre de grandeur du

millième de millimètre, que l'on a appelé agitation microsismique. Les conditions et les causes de ce frémissement permanent de la Terre sont encore très mal connues; on souhaite pouvoir les connaître mieux. On a imaginé d'associer un sismographe électromagnétique non pas avec un galvanomètre, mais avec un amplificateur à courant continu, et à envoyer le courant de sortie dans la tête de l'enregistreur lent. On utilisait un amplificateur à vibreur de fabrication américaine Perkin-Elmer, dont l'amplification en tension pouvait atteindre 107, et dont la courbe de réponse était bien horizontale depuis la fréquence 0 jusqu'à la fréquence 5 c/s, et légèrement tombante de 5 c/s à 10 c/s.

Les fréquences connues de l'agitation microsismique sont ordinairement comprises entre 1/3 et 1/6 c/s. Lors de la lecture à vitesse normale elles sont transposées dans la gamme 150 c/s à 300 c/s. L'agitation microsismique est ainsi convertie en un phénomène audible.

Le courant de lecture peut d'autre part être analysé harmoniquement. Cette opération a été effectuée au département acoustique du C. N. E. T. sur un spectrographe acoustique du à l'ingénieur PIMONOFF. On a trouvé un spectre comportant une pointe marquée dans la gamme de l'agitation microsismique connue; et une autre pointe sur des fréquences plus aiguës correspond à l'agitation industrielle malheureusement trop intense à l'Observatoire du Parc St. Maur où ont été faits les essais. Le procédé permettra d'étudier commodément les variations en fonction du temps de l'agitation microsismique moyenne. On eut souhaité enregistrer aussi un séisme caractérisé; les essais n'ont pas été poursuivis pendant un temps suffisant pour obtenir ce résultat.

2° *Variations du champ magnétique terrestre (procédé de la boucle).*

En plaçant sur le sol une boucle de fil conducteur de quelques milliers de mètres carrés, on doit recueillir une tension induite représentative des variations de la composante verticale du champ magnétique terrestre.

Cette tension appliquée à l'amplificateur à courant continu fournit un courant de sortie enregistrable sur l'enregistreur lent.

L'expérience a été tentée dans un site calme, l'observatoire de Chambon-la-Forêt (Loiret); elle a fourni à la lecture des sons permanents de tonalité variée suivant le jour et l'heure de l'enregistrement.

Cependant, diverses expériences complémentaires ont fait apparaître l'influence majeure dans la formation de ces sons, de tensions induites par le réseau d'électricité voisin, et susceptibles de saturer l'amplificateur très sensible utilisé. Le fonctionnement de l'amplificateur exigeant l'alimentation en courant industriel, il n'a pas été possible jusqu'ici de lever la difficulté.

3° *Variations du champ magnétique terrestre (procédé du concentrateur magnétophone).*

Pour impressionner efficacement la bande de magnétophone sans interposition d'un amplificateur électronique, on a imaginé de capter le flux magnétique terrestre au moyen d'une longue antenne en métal à haute perméabilité magnétique, comme en font quelques aciéries avec des alliages de fer-nickel-molybdène, soumis à des traitements thermiques soignés. (fig. 5).

Les deux extrémités de l'antenne se terminent par de larges épanouissements collecteurs du flux magnétique. Celui-ci est amené à la partie centrale sur un étroit entrefer semblable à celui d'une tête de magnétophone, entre les deux faces duquel se trouve créée une différence de potentiel magnétique enregistrable sur la bande qui défile devant lui.

La construction de cet appareil a soulevé de délicats problèmes. D'une part ses dimensions sont importantes si l'on veut obtenir sur l'entrefer des

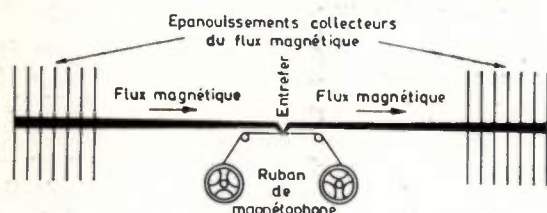


FIG. 5. — Schéma du concentrateur magnétophone

différences de potentiel magnétique suffisantes pour être enregistrables : l'appareil réalisé a une longueur de 23 mètres; ses épanouissements terminaux ont une largeur de 3 mètres; il comporte 100 kg environ de mumétal molybdène, en bandes de 25 mm de largeur, et de 0,3 mm d'épaisseur. Le calcul des fuites magnétiques qui sont importantes malgré la perméabilité élevée, a été conduit par des méthodes empirico-mathématiques analogues à celles employées pour le calcul des machines électriques. Des études spéciales ont été effectuées sur la perméabilité anhystérétique : celle que l'on observe sur le métal soumis à un champ alternatif superposé dit prémagnétisant, champ qui a le double avantage d'établir la proportionnalité du flux au champ, et d'accroître la perméabilité apparente dans le rapport de 1 à 3 environ.

L'appareil construit, prémagnétisé par du courant industriel à 50 c/s, doit fournir un enregistre-

ment efficace pour des champs naturels de l'ordre de grandeur de $2 \text{ à } 3 \times 10 - 6$ oersteds. L'application de champs artificiels a montré que ces conditions étaient sensiblement réalisées, jusqu'à des fréquences de l'ordre de 5 ou 10 périodes par secondes.

Des enregistrements d'une durée totale de 4 ou 5 jours ont été effectués au début de l'année 1954. Ils ont montré, à la lecture par transposition de fréquence dans le rapport de 1 à 600, un calme général, sauf certains jours et à certaines heures où l'on entend des sortes de sifflements ou chants d'oiseaux de tonalité et de hauteur variable.

L'époque de ces bruits est repérable au moyen de marques de temps effectuées de 3 en 3 heures par un champ artificiel de fréquence 1, commandé par une pendule.

Les chants d'oiseaux ont jusqu'ici été presque tous observés à la fin de la matinée.

Ces résultats sont encore trop récents pour que l'on puisse fournir une explication quelconque, autre que l'imputation à des phénomènes ionosphériques.

Ainsi peut-on espérer voir prochainement une exploration nouvelle des propriétés du champ magnétique terrestre dans une gamme jusqu'ici inconnue, impossible à étudier au moyen de magnétographes à aimants des types usuels.

Il ne faut pas se dissimuler cependant que l'on ne pourra s'élever notablement dans la gamme des fréquences sans rencontrer les effets du réseau industriel à 50 c/s, qui ne peuvent qu'être très notables en tous lieux, comparativement aux valeurs très faibles des phénomènes naturels.

Les radioélectriciens s'intéressant à la radio-électricité naturelle s'efforcent d'autre part de descendre dans la gamme des fréquences étudiées. Des enregistreurs d'atmosphériques ont été construits au Laboratoire National de Radioélectricité pour la longueur d'onde 60 km, correspondant à la fréquence 5 000 c/s qui est une fréquence acoustique.

Le point de rencontre des magnéticiens et des radioélectriciens semble devoir se situer à 50 c/s que, ni les uns, ni les autres ne pourront atteindre à cause de la présence du réseau industriel.

UNE MÉTHODE PHOTOGRAPHIQUE D'ENREGISTREMENT SONORE SUR DISQUE DE VERRE

PAR

A. S. FORTY

B.A., A.M.I.E., British Post Office

1. — Introduction.

L'Administration Britannique des P. T. T. (British Post Office) réalise et utilise depuis dix sept ans des enregistrements sur disque de verre. Le champ d'application de cette technique est restreint, mais, dans son domaine limité, la méthode présente des avantages que n'égale aucune autre forme d'enregistrement.

Les enregistrements sont effectués par procédé photographique sous forme de pistes sonores circulaires sur des disques de verre plans, d'un diamètre de 12 pouces (30 cm) et revêtus d'une émulsion sensible convenable. On obtient ainsi des négatifs à partir desquels on peut faire, par simple tirage direct, un nombre quelconque de positifs (également sur disques de verre). Pour reproduire le son, on entraîne un positif par un arbre en rotation auquel il est fixé par un moyeu central, et on explore optiquement les pistes sonores.

La durée du signal enregistré sur chaque piste dépend, bien entendu, de la vitesse de rotation pour laquelle le disque est prévu : elle est habituellement de l'ordre de 1 à 2 secondes, et dépasse rarement 5 secondes. Le procédé s'applique donc principalement aux machines à délivrer des messages, qui ont à reproduire de courts éléments de phrases, ou d'autres signaux, soit isolément, soit sous forme de combinaisons, et répétés à de fréquents intervalles. Il convient particulièrement à ce type de machine par le fait que l'usage du disque n'entraîne sur lui aucune usure mécanique, et que, si on prend certaines précautions pour conserver l'émulsion, la vie du disque est pratiquement illimitée. L'Horloge Parlante Britannique constitue un exemple de machine qui utilise cette forme d'enregistrement. Les disques originaux, mis en exploitation en 1936, ont été en service permanent 24 heures par jour jusqu'en 1950, date à laquelle ils ont été remplacés à la suite d'un défaut dans le scellement des verres protecteurs de l'émulsion.

2. — Méthode d'enregistrement.

La figure 1 montre un négatif type. Des pistes sonores doubles sont enregistrées sous forme de surfaces variant par leurs deux frontières, normalement espacées de 1 mm et dont chacune est large de 2 mm. Pour chaque piste, la longueur de

la circonférence correspondante et la position angulaire dépendent de l'usage prévu pour le disque, et on peut ajuster ces quantités à volonté à l'enregistrement. On voit sur la figure 1 que chaque secteur de piste commence et se termine en pointe, pour éviter les clicks sonores auxquels donnerait lieu, à la reproduction, une terminaison brutale de la piste. Au voisinage du centre de chaque disque, on enregistre systématiquement des pistes noires, non modulées, de largeur maxi-

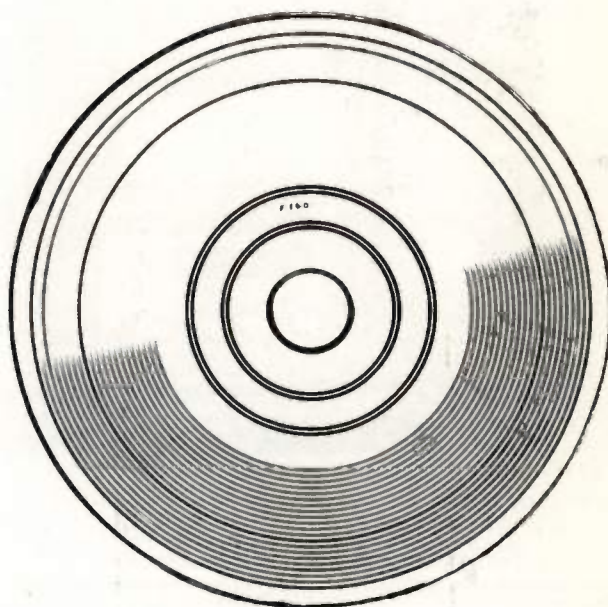


FIG. 1. — Négatif sur disque de verre

mum, pour aider à centrer les disques sur leurs moyeux (pour lesquels une série de dimensions standard a été adoptée).

Dans la plupart des applications on a besoin d'une série de pistes portant de la parole. Elles sont enregistrées par une technique de copie. Le son à reproduire est d'abord enregistré sur un film sonore classique de 35 mm qui est développé, et lu, et on choisit avec soin les phrases ou les mots nécessaires. Piste par piste, on effectue alors progressivement les enregistrements sur le disque de verre négatif en transférant la piste sonore de chaque fragment de film sur le disque à l'aide d'un appareil enregistreur spécial. Cette méthode

pour graver le disque présente deux avantages essentiels. En adoptant une technique de copie, on évite dans une large mesure les difficultés que présente l'enregistrement en direct de courtes phrases. Avant de commencer l'enregistrement final, on fait un choix des fragments de films satisfaisants et on ne risque pas de gâcher le disque en enregistrant des phrases mal prononcées. En outre, l'orientation correcte de la piste résulte d'une mesure d'angle préférable à une synchronisation en temps.

D'autre part, la vitesse de copie est entièrement arbitraire. On utilise normalement une vitesse relativement lente; on peut alors employer des plaques lentes, à grain fin et à pouvoir résolvant élevé avec, pour résultat, une augmentation de la gamme de fréquences et une diminution du bruit

de fond dû aux dimensions du grain et au manque de contraste.

La manœuvre de l'obturateur, les extinctions et la manipulation d'ensemble de l'appareil enregistreur se simplifient pour les faibles vitesses d'enregistrement, mais en contre-partie, la gamme de fréquence d'enregistrement se trouve décalée vers une plus basse région du spectre, d'où il découle que les amplificateurs d'attaque du galvanomètre doivent être étudiés pour passer les fréquences infra-acoustiques.

3.— L'appareil enregistreur.

3 — 1 — Description Générale.

L'appareil enregistreur est représenté figure 2. Dans la chambre noire 1 une plaque sensible est

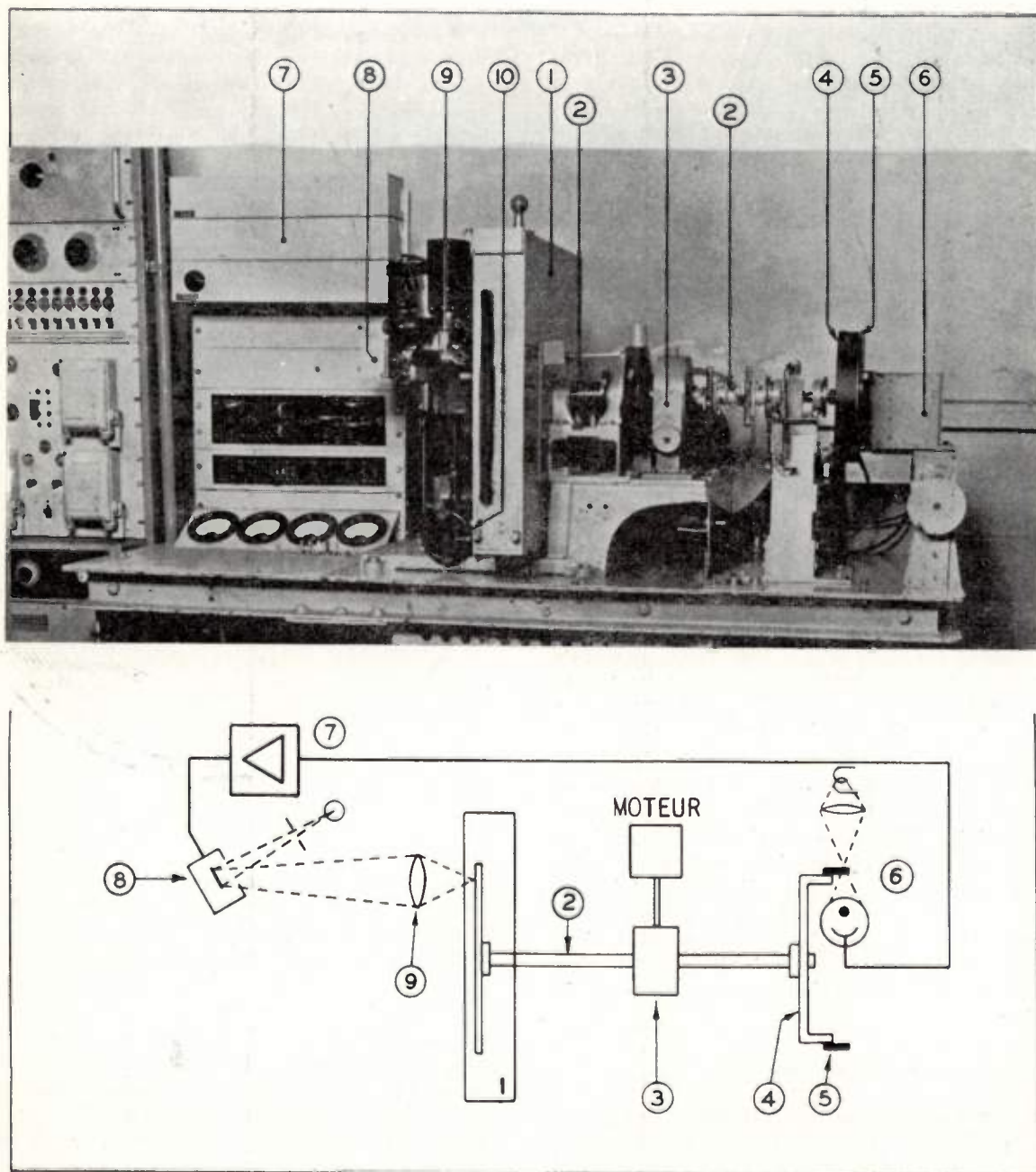


Fig. 2. — Appareil enregistreur

portée par un support fixé à l'arbre 2. Cet arbre, qui présente une grande rigidité à la torsion, peut être entraîné à vitesse constante par une roue phonique par l'intermédiaire d'un train d'engrenages 3. A l'autre extrémité de l'arbre est fixé un tambour à la périphérie duquel est enroulé un morceau de film sonore 5, maintenu par un bandeau de fixation de façon à ce que la piste sonore dépasse le bord du tambour. Une tête de lecture 6, composée d'une source lumineuse, d'un système optique, d'une cellule photoélectrique et d'un amplificateur à charge cathodique délivre des signaux électriques sous l'influence de la piste sonore du film lorsque l'arbre de l'appareil tourne. Ces signaux traversent les amplificateurs 7 et sont appliqués à un galvanomètre à miroir 8. Celui-ci module un faisceau lumineux qui, par l'intermédiaire du système optique 9, enregistre sur la plaque sensible une copie fidèle de la piste sonore du film. Un dispositif de « fading » permet de faire varier la longueur enregistrée sur chaque piste, tandis que le réglage de la position de la piste sur sa circonférence se fait en desserrant un joint universel sur l'arbre principal et en ajustant correctement le calage angulaire du tambour à film. La position de la piste suivant le rayon de la plaque s'ajuste en élevant ou abaissant le système optique 9 à l'aide d'une vis d'entraînement commandée par la manivelle 10. Un jeu de contacts, associé au mécanisme moteur, actionne un obturateur mécanique de sorte qu'on peut enregistrer des pistes circulaires complètes sans danger de double exposition.

La roue phonique qui entraîne l'arbre principal, fonctionne de façon satisfaisante à toute vitesse comprise entre 100 et 1 000 tours/minutes ce qui correspond à des vitesses de l'arbre variant d'un tour en 200 secondes à un tour en 20 secondes. Cette souplesse dans le choix de la vitesse est précieuse pour deux raisons. D'une part, elle permet d'adapter l'exposition à la sensibilité des plaques (l'exposition est, naturellement, inversement proportionnelle à la vitesse de l'arbre). D'autre part, en fixant le rapport entre la vitesse d'entraînement et la fréquence d'une onde sinusoïdale pure appliquée au galvanomètre, on peut enregistrer avec précision un nombre entier de cycles d'une fréquence donnée sur une piste sonore complète.

Le diamètre du tambour à film utilisé dépend de la vitesse de rotation prévue pour le disque. On dispose d'une série de tambours dont le diamètre varie de 1,7 à 28 pouces (de 4,32 à 72,5 cm), correspondant à des vitesses de disque variant de 200 à 12 tours/minute.

La tête de lecture des tambours à film utilise une lampe de 75 watts, avec un système optique qui projette sur le film une image en forme de fente, dont la largeur est environ 0,0005 pouce (0,013 mm). Ce spot explore le film sonore standard de 35 mm sans perte appréciable pour les hautes fréquences, jusqu'à 10 kc/s. On emploie des cellules photoélectriques à vide, en raison de leur stabilité et de leur absence de distorsion. Un étage amplificateur à charge cathodique est monté

dans le même sous-ensemble que la cellule. Pour certaines applications (y compris la copie) il peut être nécessaire de monter sur l'axe de l'appareil un disque de verre au lieu d'un tambour à film. On dispose d'une seconde tête de lecture pour ce genre de source.

L'étage cathodique de la tête de lecture alimente un préamplificateur à deux étages, de type classique, lui-même suivi par l'amplificateur d'attaque du galvanomètre, représenté figure 3. Dans ce dernier, l'étage de sortie est alimenté à travers une pentode et le premier étage est soumis à une contre réaction en courant. L'impédance de sortie est donc élevée, et le galvanomètre est alimenté à courant pratiquement constant, d'où résulte une amélioration de sa réponse en fréquence.

Le galvanomètre est un instrument à fer mobile

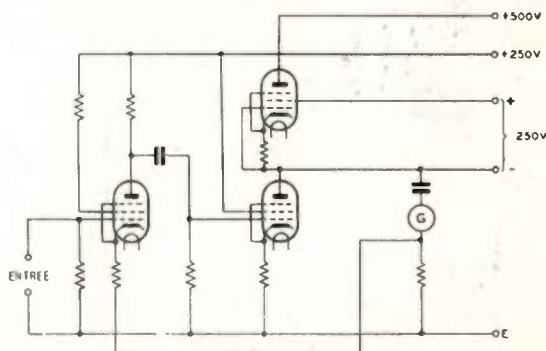


FIG. 3. — Amplificateur d'attaque du galvanomètre.

dont l'équipage et le miroir sont supportés par une suspension rigide en bronze phosphoreux; sa fréquence de résonance est voisine de 1 700 c/s. Un anneau de cuivre est déposé par électrolyse à l'extrémité de l'équipage, pour produire un amortissement de la pointe de résonance par courants de Foucault. De grands entrefers à air dans le circuit magnétique alternatif améliorent la linéarité.

Une lampe à décharge à vapeur de mercure sous pression élevée d'une puissance nominale de 250 watts sert à l'enregistrement. Elle donne une source de lumière intensément brillante mais dense qui permet d'exposer de façon satisfaisante des plaques lentes aux vitesses pratiques de l'appareil. La lampe est alimentée en courant continu à travers une résistance chutrice et, pour prolonger sa vie, on intervertit périodiquement la polarité des électrodes.

Comme ce type de source ne permet pas de contrôler l'exposition par variation de la brillance de la lampe, on utilise à cette fin des filtres absorbants non sélectifs.

3 — 2 — Le dispositif optique.

La figure 4 donne un schéma théorique du dispositif optique de l'appareil enregistreur.

Le Condensateur optique 2 produit une image de l'arc 1 sur les volets du diaphragme compensateur 5, disposé immédiatement devant la lentille de projection 6. Ce diaphragme compensateur sert à commander la quantité de lumière qui atteint la plaque, pour les pistes de différents diamètres.

L'exposition effective d'une piste est proportionnelle à la quantité de lumière (L) qui traverse le système optique et inversement proportionnelle à la vitesse de la surface de la plaque, c'est-à-dire au diamètre (D) de la piste en cours d'impression. Le diaphragme compensateur est commandé par le chariot sur lequel est monté le système optique, et disposé de telle façon que les volets sont grands ouverts quand le chariot est en position haute, c'est-à-dire quand on enregistre la piste extérieure du disque. Dans cette position, toute la lumière émise par l'arc passe dans la lentille de projection. Quand le chariot est abaissé pour enregistrer des pistes de plus petit diamètre, les volets du dia-

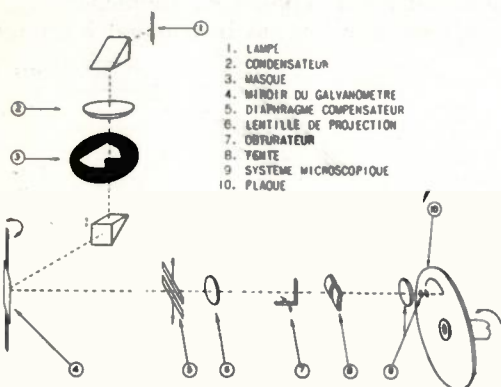


FIG. 4. — Dispositif optique de l'enregistreur.

phragme compensateur se ferment graduellement de façon que le rapport L/D reste constant. On obtient de cette façon des pistes également exposées.

La lentille de projection 6 fournit une image du masque 3 sur la fente 8. Le masque est découpé en forme de double coin, ce qui produit une onde double bilatéralement variable. Ce type de piste offre l'avantage de laisser moins de distorsion s'introduire par suite des variations possibles d'éclairement le long de la fente d'enregistrement, ou par suite d'un mauvais alignement de cette fente d'enregistrement.

Le système microscopique 9 forme une image réduite de la fente 8 sur la plaque 10. La dimension de la fente est d'environ 0,0015 pouce (0,04 mm) et le rapport de réduction optique est 3. Dès lors, la largeur effective de l'image de la fente sur la plaque est d'environ 0,0005 pouce (0,013 mm). La lame obturatrice 7 permet de s'assurer qu'une piste est exposée suivant un cercle entier. Elle est actionnée par un circuit à relais commandé par deux cames calées, l'une sur l'axe principal de l'appareil, l'autre sur l'arbre de la boîte d'engrenages qui tourne 50 fois plus vite que le précédent, de façon à rendre précise l'opération.

4. — Utilisation.

4 — 1 — Confection du négatif.

Le support de plaque qui porte le disque négatif de verre peut être rendu étanche à la lumière par interposition d'un panneau coulissant, et peut être

enlevé de l'appareil pour recharge en chambre noire. Ce support est tel qu'un dispositif à cellule photoélectrique peut être introduit à la place du disque et employé en liaison avec un oscilloscope cathodique pour contrôler le taux de modulation et la distorsion, à la mise en marche. Ce système est utile également pour déterminer la position correcte du galvanomètre qui donnera une piste équilibrée.

Le support de plaque porte aussi une petite plaque rectangulaire (4 1/4 pouces $\times$ 3 1/4 pouces, soit 11 cm $\times$ 8 cm). On dispose de plaques ainsi dimensionnées revêtues de la même émulsion que les disques de verre; elles servent à déterminer l'exposition correcte, la précision du fonctionnement des diaphragmes, etc... Lorsque les essais préliminaires sont terminés, on charge le support de plaque avec un disque de verre, et on l'insère dans l'appareil enregistreur. Le morceau de film correspondant à la première piste est fixé au tambour, le système optique est réglé pour donner le rayon de piste voulu, le couplage entre le support de plaque et le tambour est ajusté pour que la piste soit correctement orientée sur le disque; les cames de commande du système de « fading » sont mises en position, et on insère sur le trajet optique un filtre absorbant non sélectif qui donne l'exposition convenable. Finalement l'arbre est mis en mouvement, on actionne la clef d'obturateur et la piste complète est automatiquement impressionnée. Lorsque toutes les pistes sont ainsi impressionnées la plaque est retirée et développée suivant les procédés normaux.

4 — 2 — Epreuves positives.

A l'aide des négatifs sur disque de verre, on fait par contact des épreuves qui seront utilisées dans les machines reproductrices. Chaque positif est normalement revêtu d'un verre scellé au disque le long de la circonférence et le long de l'orifice central. Ce revêtement protège l'émulsion contre les mauvais traitements mécaniques, et empêche aussi la dégradation qui pourrait résulter de l'emploi du disque à température élevée ou en milieu humide.

Dans les applications où la vitesse de reproduction est élevée (il est arrivé d'utiliser une vitesse de 1 500 tr/mm), le disque et son moyeu doivent être équilibrés avec précision. Dans ce but a été mise au point une technique de meulage de la tranche de l'épreuve terminée, pour rendre la périphérie rigoureusement circulaire et concentrique aux pistes.

5. — Performances et limitations.

5 — 1 — Réponse en fréquence.

La réponse aux fréquences élevées d'un disque de verre terminé est limitée par les dimensions de la longueur d'onde la plus courte qu'on puisse enregistrer sur la plaque de façon satisfaisante. Avec l'équipement actuel, elle est d'environ deux millièmes de pouce (le facteur qui limite à cet égard étant le dispositif optique de l'appareil enregistreur plutôt que le pouvoir résolvant de

l'émulsion), ce qui donne 20 000 comme nombre maximum de périodes qu'on peut enregistrer sur la piste extérieure du disque.

À l'extrémité basse fréquence du spectre, on peut demander à la réponse en fréquence du disque de s'étendre jusqu'à 50 c/s. Pour la parole, on emploie rarement, à la restitution, des vitesses de disque supérieures à 60 tours/minute, la durée de la phrase devenant alors trop courte pour être utilisable. Ainsi le plus petit nombre de périodes nécessaire par tour de disque est-il de 50 ce qui reproduit 50 c/s sur un disque tournant à 60 tr/m. La gamme de fréquences nécessaire à l'enregistrement est alors définie de la façon suivante.

La fréquence la plus élevée à passer est celle qui correspond à l'enregistrement de 20 000 périodes par tour de disque, pour la vitesse d'enregistrement maxima de 1 tour en 20 secondes, soit 1 000 c/s.

La fréquence inférieure est relative à l'enregistrement de 50 périodes par tour, pour la vitesse minima d'enregistrement de 1 tour en 200 secondes, soit 0,25 c/s. La bande totale nécessaire est donc de 11 octaves.

La figure 5 montre dans quelle mesure ces conditions sont remplies.

La courbe 1 montre les variations de courant dans le galvanomètre, à excitation constante de

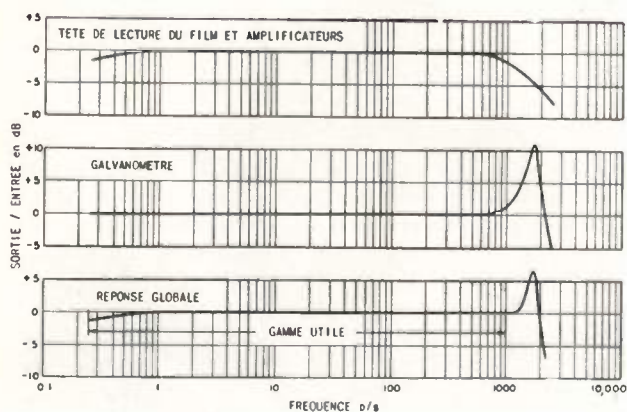


FIG. 5. — Réponse en fréquence de l'enregistreur

la cellule photoélectrique lectrice de film ; on l'a obtenue en lisant des pistes sonores de fréquence pure à différentes vitesses.

La courbe 2 montre les variations, en fonction de la fréquence, de la sensibilité du galvanomètre à courant constant dans la bobine. Dans cette courbe, l'ordonnée représente le taux de modulation du faisceau lumineux enregistreur, mesuré à l'aide d'une cellule photoélectrique substituée à la plaque sensible.

La courbe 3 est la somme des courbes 1 et 2 ; elle représente la caractéristique de la réponse globale en fréquence du système d'enregistrement.

La plupart des applications des disques de verre concernent une parole de qualité téléphonique, et exigent une réponse en fréquence qui n'a pas à dépasser 3 500 c/s. Ce résultat peut s'obtenir sur les pistes extérieures, avec une vitesse du disque

ne dépassant pas 12 tours/minute et une longueur de phrase de 5 secondes. Dans ces conditions, la planéité du disque est importante à l'enregistrement comme à la restitution, sinon la défocalisation peut occasionner une sérieuse perte dans la réponse aux fréquences élevées.

5 — 2 — Distorsion.

L'épreuve finale peut présenter de la distorsion harmonique pour diverses raisons. Si l'enregistrement initial de la parole s'est fait sur ruban ma-

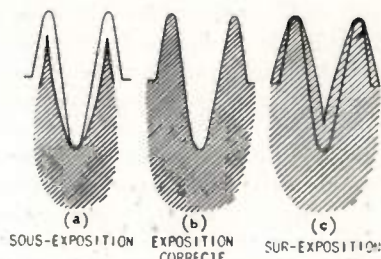


FIG. 6. — Distorsion d'étalement d'image

gnétique avant d'être transféré sur le film sonore à partir duquel sont copiées les pistes du disque, chacun des deux premiers supports peut introduire de la distorsion.

L'appareil enregistreur lui-même, y compris les amplificateurs, le galvanomètre et le système optique, apporte une distorsion relativement faible s'il est correctement réglé. Il est important que l'équipage du galvanomètre soit centré avec précision dans son entrefer et que l'éclairement du masque d'enregistrement soit uniforme. Si on prend les précautions nécessaires, on limite le taux d'harmonique 2 dû à l'enregistreur à moins de 2 %, de même que le taux d'harmonique 3.

D'autres distorsions peuvent s'introduire au développement du négatif et de l'épreuve positive par suite d'un étalement ou d'une contraction de l'image (Réf. 1). Cet effet est illustré par la figure 6, où l'onde 6 a est obtenue à partir d'un négatif sous-exposé ou sous-développé, 6 c résulte d'une sur-exposition ou d'un sur-développement, et 6 b

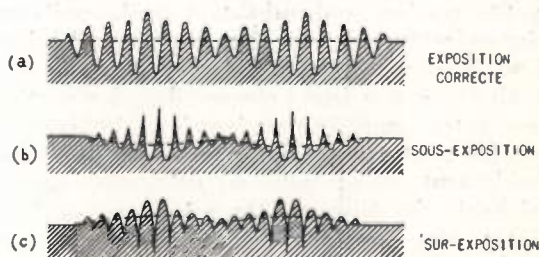


FIG. 7. — Piste de contrôle de la distorsion

montre les conditions correctes. La présence de cette forme de distorsion peut être facilement mise en évidence par enregistrement et lecture d'une onde modulée en amplitude du type représenté figure 7 (pour simplifier, seule est représentée l'enveloppe en une frontière de la piste). Si l'exposition a été correcte, l'amplitude moyenne de l'onde

enregistrée (représentée par le trait interrompu) est constante, et après lecture on ne détecte aucune fréquence basse. Si au contraire il y a sur ou sous-exposition, on peut mesurer la basse fréquence. Comme ce défaut affecte particulièrement les fréquences élevées, on utilise une porteuse de 9 000 périodes par tour de disque, et la fréquence modulatrice est choisie pour donner 400 périodes par tour.

Pour les raisons évoquées au prochain paragraphe, la densité de l'épreuve finale doit être forte, condition qui normalement devrait apporter une distorsion du type de la figure 4 c. On peut cependant corriger la sur-exposition de l'épreuve en réalisant le négatif avec un degré convenable de sous-exposition. Une épreuve normale obtenue à partir d'un tel négatif donnerait normalement une distorsion comme celle de la figure 6 a, mais la sur-exposition de l'épreuve ajoute juste assez d'étalement pour fournir une onde finale correcte. Il est maintenant d'usage courant de constituer sur chaque négatif sur disque de verre, une piste sonore du type représenté sur la figure 7. On fait des épreuves d'essai avec différents temps de pose, et on les développe de façon normale. On adopte alors la pose qui se trouve donner la distorsion minima pour les autres épreuves demandées.

5 — 3 — *Signal/Bruit.*

Le bruit de fond constitue la plus sérieuse source de limitation du procédé d'enregistrement sur disque de verre actuellement décrit. Dans un enregistrement magnétique de bonne qualité, ou avec des disques de laque, on peut obtenir un rapport signal/bruit de 60 dB ; mais avec les disques de verre, le rapport est habituellement de l'ordre de 30 dB. L'importance du niveau de bruit est due en partie à l'émulsion et en partie au support. Les disques sont revêtus à la main d'une couche d'émulsion extrêmement mince. En conséquence, les « piqûres » et les particules de poussière ont considérablement plus d'effet que dans la famille des films sonores fabriqués mécaniquement. En outre, il s'avère que le support de verre plan porte de minuscules inclusions de rouge en dépôt dans les petits cratères qui subsistent après polissage. Ces imperfections du verre ne sont pas visibles à l'œil nu, mais sont, pour une large part, à l'origine du bruit élevé, par leur présence dans les portions transparentes, non impressionnées, de la piste sonore. On peut, par un poli poussé, améliorer considérablement (d'environ 6 dB), le rapport signal/bruit des disques. De même, en réalisant les tirages avec forte opacité dans les noirs, suivant la méthode décrite au paragraphe précédent, on peut réduire le bruit dû aux piqûres situées dans la partie noire des pistes sonores, ces piqûres se trouvant alors comblées par l'effet d'étalement d'image.

5 — 4 — *Variations de la vitesse d'entraînement.*

Quand on fait les négatifs par le procédé de copie, la plaque est couplée rigidement au tambour à film, et des variations de la vitesse de rota-

tion n'apportent pas de modulation correspondante sur les pistes sonores. L'irrégularité de la vitesse d'entraînement est cependant indésirable car elle donne lieu à une modulation de densité.

Les pistes sonores normales à pleine densité ne manifestent pas cette modulation, mais elle peut contribuer au bruit de fond en raison de sa présence au bord de la piste où se trouve une région frontière de plus faible densité due aux dimensions finies de la fente d'enregistrement. Bien entendu, les variations de vitesse d'entraînement agissent aussi défavorablement sur les pistes enregistrées directement à partir d'un oscillateur, et non pas par copie d'un film ou d'une autre plaque.

Des efforts considérables ont été fournis pour rendre avec certitude la vitesse de rotation de l'arbre de l'appareil enregistreur aussi constante que possible ; des coupleurs flexibles appropriés sont interposés entre la roue phonique et l'arbre rapide de la boîte d'engrenage, lui-même couplé à un volant important.

6. — *Applications.*

Il n'existe pas d'équipement standardisé pour lire les enregistrements sur disque de verre. Il faut donc étudier une machine pour chaque problème

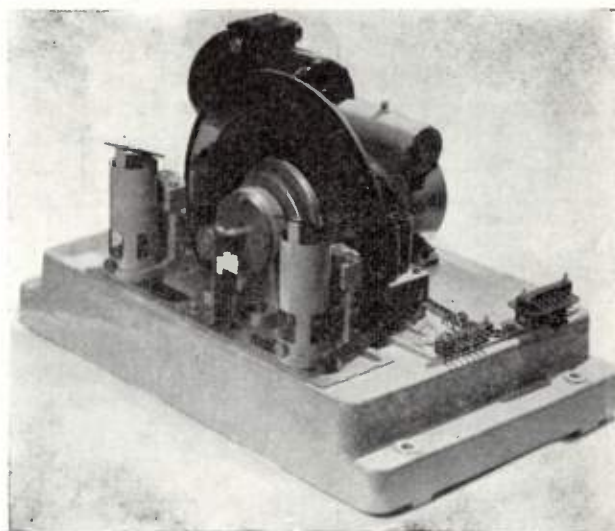


FIG. 8. — Machine parlante simple.

nouveau qui se présente. Les machines réalisées jusqu'ici se classent, en gros, dans deux catégories suivant la méthode utilisée pour balayer les pistes sonores. La première classe, à laquelle appartient l'Horloge Parlante Britannique explore chaque piste individuellement à l'aide d'un système semblable à celui qu'utilisent la plupart des projecteurs de films sonores, alors que la seconde explore l'image projetée d'un groupe de pistes. Ces deux types sont décrits dans les chapitres suivants.

6 — 1 — *Exploration individuelle par système optique.*

La figure 8 montre une machine simple conçue pour émettre des avis d'encombrement (du type

« No lines at London », — « Circuits tous occupés à Londres » —), pour emploi en exploitation interurbaine automatique. Le disque de verre est monté sur un arbre entraîné par un moteur synchrone par l'intermédiaire d'une boîte d'engrenages. Plusieurs pistes sont enregistrées sur le disque, porteuses des phrases du type indiqué ci-dessus, mais avec différents noms de lieu. Une seule d'entre elles est utilisée en chaque endroit où est installée

asservi et elle dispose des facilités nécessaires pour modifier ses annonces suivant l'heure. L'annonce complète est de la forme « At the third stroke — it will be twelve — fifty nine — and ten seconds — pip, pip, pip » (« Au troisième pip — il sera douze heures — cinquante-neuf minutes — et dix secondes — pip, pip, pip »). Les traits d'union indiquent la façon dont cette annonce est fractionnée pour être reproduite. Certaines parties de l'an-

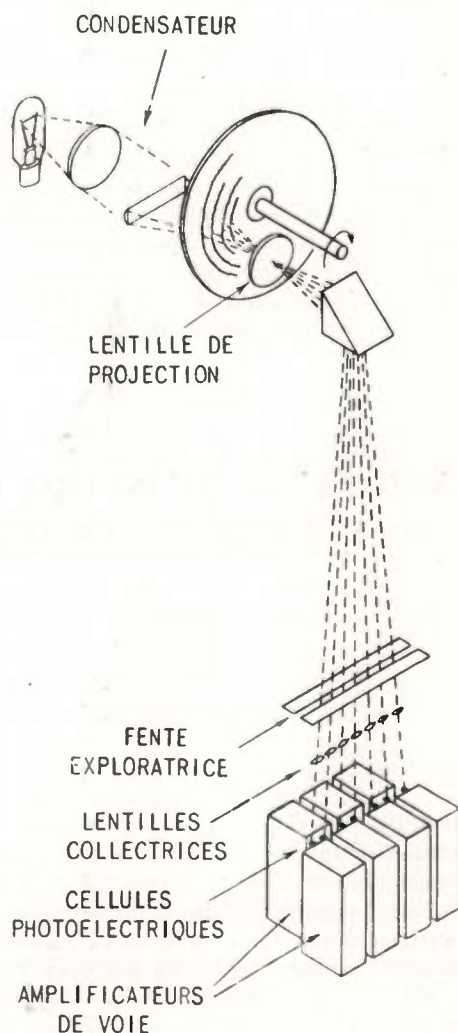
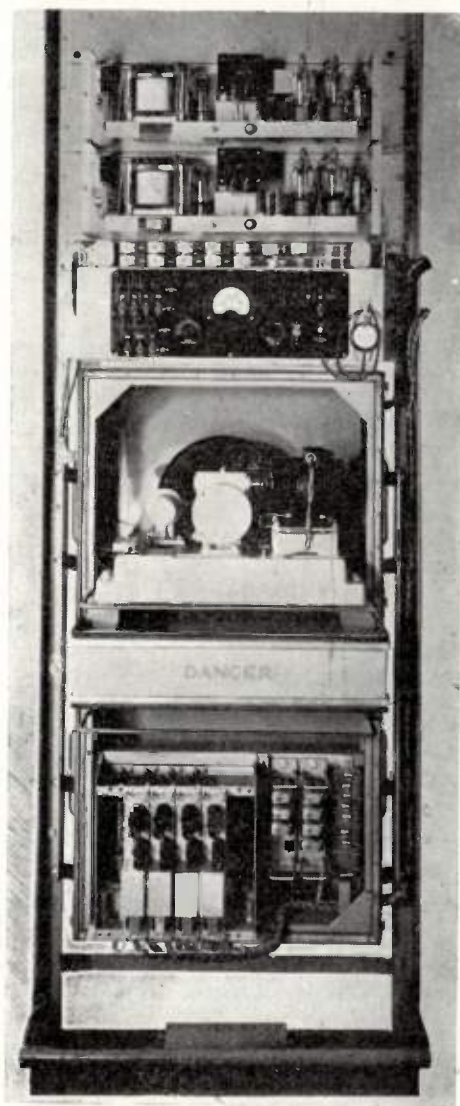


Fig. 9. — Machine parlante du type à projection.

une machine. Une piste supplémentaire porte les mots « Test Call », — « Appel d'Essai » — (utilisés pour les essais systématiques).

La machine a deux têtes lectrices qui consistent en une lampe, un système optique et un amplificateur à sortie cathodique ; il y a aussi, naturellement, les amplificateurs associés et des circuits d'alarme. Chaque tête de lecture a une position fixe et reproduit continuellement sa propre piste sonore.

L'Horloge Parlante (Ref. 2) est une machine plus évoluée appartenant à ce type ; son moteur est

nonce (« Au troisième pip », et les « pips ») ne changent pas, et sont reproduits par des têtes d'exploration fixes. Les autres éléments de la phrase sont reproduits par des têtes de lecture montées sur chariots mobiles, et un mécanisme de commande modifie la position de ceux-ci pour la rendre conforme à l'heure exacte et choisit la sortie de la cellule photoélectrique convenable, au moment opportun. Des appareils auxiliaires servent à maintenir avec précision l'heure exacte, corrigent automatiquement l'horloge en des instants récurrents en comparant ses signaux à ceux d'un observatoire,

et assurent la continuité du service en effectuant la commutation sur un second équipement identique en cas de panne ou de mauvais fonctionnement d'un élément du système.

6 — 2 — Exploration par projection.

La figure 9 montre une machine qui constitue une forme évoluée de l'Annonciateur d'Encombrement décrit ci-dessus. Outre l'annonce « No Lines at London », cet équipement énonce d'autres phrases telles que « Delay half (ou one, two, three) hour at London », — « Attente une demi (ou une, deux, trois) heure (s) à Londres » — « Refer to Records », — « Consultez vos Annuaire(s) » — ; et « Test Call ». A tout instant, on peut accéder sur un disque à ces sept annonces.

Suivant le diagramme théorique de la figure 9, une lentille de projection forme une image d'une portion du disque sur une fente, sous laquelle une rangée de cellules photoélectriques reproduit la série des pistes sonores élargies. Pour reproduire simultanément plusieurs pistes, ce système est considérablement plus économique que celui où on utiliserait des têtes exploratrices individuelles. De

plus, on peut utiliser pour l'exploration une fente relativement large, puisque sa grandeur effective est réduite par le pouvoir grossissant du système de projection.

7. — Conclusion.

Cet article n'a permis de décrire que les principes fondamentaux de la technique d'enregistrements sur disque de verre. La méthode est souple et se prête à la réalisation d'enregistrement d'une nature autre que celle de messages vocaux; on fait, par exemple, des disques porteurs d'enregistrements de signaux de test de télé-imprimeurs et de tonalités diverses. Il n'est pas douteux que bien d'autres applications analogues auront lieu dans l'avenir.

RÉFÉRENCES

- [1] J. V. BAKER et D. H. ROBINSON, « Modulated high frequency recording as a means of determining conditions for optimal processing », *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, Vol 30, page 3, Janvier 1938.
- [2] E. A. SPEIGHT et O. W. GILL, « The Post Office Speaking Clock », *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, Vol 80, page 493, Mai 1937.

LA MEILLEURE UTILISATION DES PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES POUR L'ENREGISTREMENT DES QUANTA DE LUMIÈRE

PAR

D. GABOR

Imperial College of Science and Technology (Londres)

La quantité d'illumination qu'il faut faire passer par un objet microscopique pour le photographier peut suffire pour abîmer l'objet, surtout quand il s'agit de la cinématographie des objets vivants, avec illumination ultra-violette. On a proposé de réduire l'illumination par l'intermédiaire des images électroniques. C'est là une proposition très intéressante dans beaucoup de problèmes de photographie et de cinématographie, mais on n'y gagne pas beaucoup en microscopie. Il est très facile, en microscopie, de choisir un grossissement tel que l'on obtienne une certaine quantité d'information ⁽¹⁾ avec une quantité de lumière minimum, ce qui n'est pas possible par exemple en cinématographie, où le grossissement et l'exposition sont déterminés à l'avance. Or, si l'on fait la comparaison des meilleures émulsions photographiques, tels que le SuperXX, avec les meilleures cameras électroniques, on trouve que

dans les conditions d'utilisation optimum l'« image orthicon » ne surpasse la pellicule SuperXX que par un facteur 2 environ ⁽²⁾. Les meilleurs tubes « orthicon » sont encore inférieurs à un instrument idéal car ils n'enregistrent tous les photons qu'à un facteur de 100 près. Pour les meilleures émulsions le facteur est de 200.

Il existe pourtant une méthode purement optique qui permet d'augmenter la sensibilité d'une plaque photographique d'au moins un ordre de grandeur, dans tous les cas où on peut se servir de la lumière cohérente. C'est la méthode du « fond cohérent », dont F. ZERNIKE ⁽³⁾ a été le premier à se servir pour augmenter la visibilité des franges d'interférence très faibles.

L'amplification des images faibles au moyen du principe du fond cohérent est expliqué dans la figure 1. Le dispositif est un interféromètre, type JAMIN

⁽¹⁾ Il n'est pas nécessaire ici d'entrer dans la discussion de la quantité d'information dans une image photographique. Une étude approfondie de ce problème a été faite récemment de L.S.G. KOVASZNAVY et Y.K. PIEN, « Resolution of the photographic plate and information theory » Report, the John Hopkins University, Baltimore, 1954.

⁽²⁾ A. ROSE, Television Pickup Tubes and the Problem of Vision, *Advances in Electronics*, Vol. 1, p. 131-166, Academic Press, New York 1948. Voir surtout fig. 6, p. 147.

⁽³⁾ F. ZERNIKE, *Physica* 5, 785, 1938, *Proc. Phys. Soc.* 61, 158, 1948.

ou MACH, avec des intensités de lumière très différentes dans les deux branches. La majeure partie de la lumière, soit 99 %, passe par la branche inférieure, et une très petite fraction, soit 1 %, par la branche supérieure, qui contient l'objet et un système optique pour en former une très faible image sur une plaque photographique. A cette faible image l'interféromètre ajoute, à la plaque, le fond uniforme.

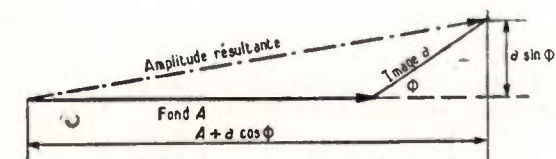
Si l'on essaye cette expérience avec la lumière incohérente la faible image sera noyée dans le fond. La situation change absolument si l'on se sert de la lumière monochromatique et cohérente, c'est-à-dire capable de produire des franges d'interférence. Dans

être prise soit avec contraste d'amplitude, soit avec contraste de phase, mais non avec les deux à la fois.

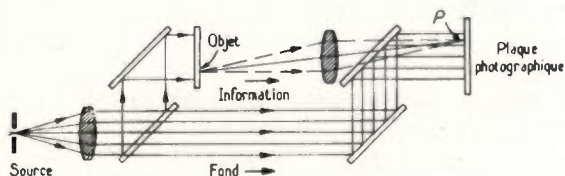
D'ailleurs cette méthode d'amplification optique par fond cohérent correspond exactement à la réception « hétérodyne » ou « homodyne » en radio. Comme en optique on ne peut pas construire un « oscillateur local » indépendant, la forte amplitude qu'il faut ajouter au signal doit être dérivée de la même source lumineuse ; c'est justement ce que nous avons appelé le « fond cohérent ».

Il est évident que l'on peut obtenir une forte amplification par cette méthode, mais on sait bien que ce n'est pas l'amplitude qui importe mais le rapport

DISPOSITIF



Soit I l'intensité du fond, i l'intensité de l'image.



A. FOND INCOHERENT. La résultante est $I + i$

B. FOND COHERENT. Addition vectorielle des amplitudes.

L'intensité résultante est $(A + a \cos \varnothing)^2 + (a \sin \varnothing)^2$ dont les termes principaux sont

$$A^2 + 2Aa \cos \varnothing = i + 2\sqrt{Ii} \cos \varnothing$$

La composante de la petite intensité i en phase avec le fond cohérent se trouve fortement amplifiée. Une intensité i égale à 1 % de I produit un contraste de 1,5 : 1 entre les maxima et les minima d'interférence.

FIG. 1

ce cas on a addition non pas des intensités mais des amplitudes. Supposons, par exemple, que l'objet soit un petit trou dans une plaque opaque. Au point P de la plaque le rapport des intensités du fond et de l'image est 100 : 1, mais le rapport des amplitudes n'est que 10 : 1. Si, par hasard, les amplitudes se trouvent en phase, l'intensité au point P sera $1,1^2 = 1,21$, surpassant l'intensité du fond uniforme de 21 %, ce qui constitue un contraste bien visible. En réalité le contraste est encore meilleur, parce que l'énergie supplémentaire de 20 % se trouve empruntée à une zone étroite autour de l'image du trou, où les amplitudes sont en antiphasse, donc l'intensité est réduite à 0,80. Le contraste sera donc de $1,21/0,8 = 1,5$ entre les maxima et les minima d'interférence, ce qui est très visible, et nous avons réalisé ceci avec une intensité sur l'objet qui peut être de beaucoup inférieure à la limite de visibilité.

On peut objecter que nous avons supposé que les deux amplitudes sont en phase au point P ; si elles étaient en quadrature l'objet serait invisible. Cette objection est justifiée ; l'image amplifiée ne contient que la moitié de l'information totale, puisque les parties de l'objet qui ont produit des amplitudes en quadrature avec le fond n'y contribuent en rien. Mais il ne faut pas oublier qu'une image optique ne contient jamais plus que la moitié de l'information totale. Par exemple une image microscopique peut

signal/bruit. Or, en ajoutant le fond cohérent nous avons sans doute augmenté le bruit ; on peut bien se demander si l'on y a gagné ? En fait si la plaque photographique était un instrument idéal, qui compte tous les photons, il est bien évident que l'on n'y gagnerait rien puisque on ne peut pas dépasser un instrument idéal. Un calcul facile démontre que dans ce cas le gain est exactement annulé par le bruit. Mais la plaque photographique est loin d'être un récepteur idéal de photons ; même les meilleures sont inférieures à cet idéal par un facteur de 200 environ. Il se peut donc que l'on gagne en sensibilité par la méthode du fond cohérent, et c'est ce qui est démontré sur la figure 2.

Supposons qu'il s'agisse de déterminer l'absence ou la présence d'un petit trou qui est projeté sur la plaque photographique dans une petite aire σ , que l'on peut supposer égale à la limite de séparation optique de l'instrument. Selon la loi établie par ORNSTEIN et V. KREVELD et par SELWYN un petit écart δ , $d\delta$ de la densité uniforme D moyenne sur σ aura la probabilité

$$P(\delta, \sigma) = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi G^2}} e^{-(\sigma^2/2G^2)} d\delta \quad (1)$$

« G » est le « grain », une longueur qui n'est pas exactement une constante ; elle est doublée si l'on passe

d'une densité $D = 0,3$ à $D = 1,3$. G va de 0,1 à 0,4 microns, dans les plaques clichés, et de 0,6 à 1,5 microns dans les émulsions très sensibles.

L'écart moyen carré de la fluctuation de densité est donc

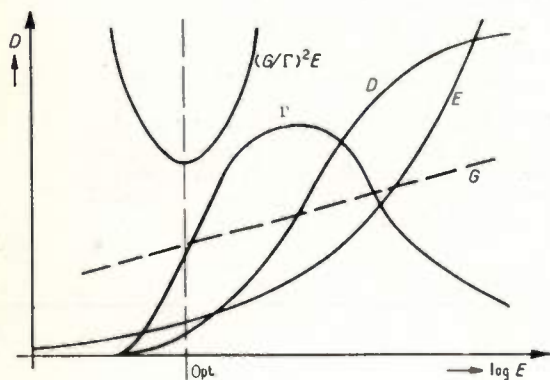
$$\overline{\delta^2} = G^2 / \sigma \quad (2)$$

Un « signal », c'est-à-dire une image, ne sera visible que si l'écart de la densité est au moins égal à la racine de la fluctuation moyenne carrée. (Les expériences indiquent que pour la visibilité subjective il faut dépasser cette limite par un facteur de 3 à 5, mais ceci n'importe pas si l'on ne veut faire qu'une

A la limite de visibilité le carré de cette quantité est égal à la moyenne du carré des fluctuations spontanées, donc

$$\varepsilon_{\min} = (\sigma e)_{\min} = 2,65 \left[\left(\frac{G}{\Gamma} \right)^2 E \right]_{\min} + \frac{1}{2} h \nu \quad (4)$$

C'est l'énergie minimum qui est nécessaire, en moyenne, pour constater la présence ou l'absence d'un élément de l'image. Nous avons ajouté au second terme la fluctuation quantique de la lumière, qui représente la limite de détection dans un instrument idéal. Le suffixe « min » se rapporte à l'exposition de fond E optimum, qui rend minimum l'expression $E (G/\Gamma)^2$.



E = illumination

G = grain

Loi de répartition des fluctuations δ de densité dans une petite aire σ selon Selwyn

$$P(\delta, \sigma) d\delta = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi G^2}} e^{-(\sigma \delta^2 / 2 G^2)} d\delta$$

Fluctuation carrée moyenne

$$\overline{\delta^2} = G^2 / \sigma$$

Energie minimum qui produit une densité égale à la fluctuation moyenne, avec fond cohérent

$$\varepsilon_{\min} = 2,65 [(G/\Gamma)^2 E]_{\min}$$

Energie minimum avec fond incohérent

$$\varepsilon_{\min} = 2,30 [GE\sqrt{\sigma}/\Gamma]_{\min}$$

En faisant la longueur $\sqrt{\sigma}$ égale à la séparation linéaire, qui est de 30-100 G on trouve que l'énergie minimum avec fond cohérent est 100-200 fois plus petite qu'avec fond incohérent.

La limite est 5-10 quanta pour les meilleures plaques et pellicules photographiques.

FIG. 2

comparaison avec un instrument idéal). Soit E l'exposition du fond, c'est-à-dire le produit intensité $\times$ temps, et e la quantité correspondante pour l'image. Avec la méthode du fond cohérent le terme principal du signal est

$$2 \sqrt{Ee} \cos \varnothing$$

dont la moyenne carrée est, avec tous les valeurs de l'angle de phase $\varnothing$ également probables

$$2 Ee$$

Selon la loi de HURTER et DRIFFIELD ce signal produira un écart de densité photographique

$$\delta_s = \Gamma \log_{10} \frac{E + \sqrt{2Ee}}{E} \simeq 0,434 \Gamma \sqrt{\frac{2e}{E}} \quad (3)$$

Comme on voit dans la figure 2, c'est un minimum assez prononcé, et l'optimum est à gauche du gamma maximum.

Si l'on fait le même calcul avec la lumière incohérente, on trouve pour l'énergie de représentation d'un élément d'image

$$\varepsilon_{\min} = 2,30 \left(\frac{GE}{\Gamma} \sqrt{\sigma} \right)_{\min} + \frac{1}{2} h \nu \quad (5)$$

Il y a cette différence très intéressante entre les deux formules (4) et (5) que le grossissement ne figure pas dans l'expression pour la lumière cohérente tandis qu'il apparaît dans (5) sous la forme de $\sqrt{\sigma}$, c'est-à-dire la longueur minimum dans l'émulsion photographique que l'on peut choisir pour représenter un élément indépendant de l'image. C'est à peu près le pouvoir séparateur de l'émulsion, qui est

de 30-40 G pour la plupart des plaques pour de bons contrastes, et de 100 G environ pour les contrastes faibles.

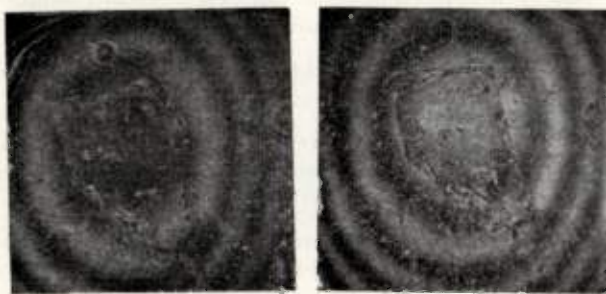
Grâce à la courtoisie de Monsieur E.W.H. SELWYN (Kodak Research Laboratories, Harrow, Angleterre), j'ai obtenu les données suivantes pour le minimum de $E (G/\Gamma)^2$ dans la pellicule KODAK SuperXX.

$$E = 1,34 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^2 \quad G = 0,6 \times 10^{-4} \text{ cm} \quad \Gamma = 0,6$$



Faisceau porteur d'information, isolé

Fond cohérent, isolé



La résultante de l'interférence des deux faisceaux

FIG. 3. — Images prises avec la méthode du fond cohérent

Les fonds dans les deux photographies sont décalés d'un quart d'onde. Pour rendre visible ce déphasage une différence légère de courbure est introduite entre les fronts d'ondes de l'image et du fond. Toutes les photographies sont prises avec la même durée d'exposition. L'intensité du faisceau porteur d'information est à peu près 1/10 de l'intensité du fond.

pour $\lambda = 4358$ ongströms (Lumière violette). On en déduit que $2,65 E (G/\Gamma)^2$ est équivalente à 8 photons, donc, en ajoutant le terme $\frac{1}{2} h\nu$ on trouve qu'avec la méthode du fond cohérent la sensibilité de l'émulsion SuperXX n'est inférieure à l'idéal que par un facteur de 17, tandis qu'avec la lumière incohérente ce facteur était de 200. C'est une augmentation de sensibilité d'un facteur de 12 environ, mais en vérité on peut doubler ce chiffre. Nous l'avons obtenu en prenant la moyenne des contrastes ; $\overline{\text{ces}} \varnothing = \frac{1}{2}$. Or, aux points où les amplitudes d'image

et du fond sont en phase ou en antiphasse le contraste est doublé. On peut donc dire, à juste titre, que la méthode du fond cohérent augmente la sensibilité de la plaque par un facteur de 24 pour la moitié de l'information contenue dans une image optique.

Comme nous l'avons signalé plus haut, en photographiant un objet on perd toujours la moitié de l'information. Comment obtenir l'autre moitié ? Avec une illumination incohérente on peut faire deux photographies, une avec contraste d'amplitude, une autre avec contraste de phase. Or, avec l'illumination cohérente on peut obtenir ces deux photographies en décalant le fond d'un quart d'onde, mais si on les prend à la suite il faut doubler l'exposition. J'ai construis un nouveau microscope avec lequel les deux micrographies peuvent se prendre simultanément ; il faut encore doubler l'exposition, mais au moins on est assuré que l'objet n'a pas changé d'un photon à l'autre. Ce microscope sera décrit ailleurs ; la figure 3 contient quelques épreuves, qui démontrent assez clairement qu'avec la méthode du fond cohérent on peut faire des photos avec une illumination de l'objet qui est tout à fait insuffisante pour noircir la plaque d'une façon perceptible.

TRANSMISSION DES NIVEAUX D'EAU

PAR

M. GARREAU

Directeur de la Société S. A. R. E. G.

S'il est relativement aisé d'effectuer une mesure, il est plus difficile de transmettre celle-ci à une distance quelconque. Le problème que pose la transmission d'une mesure a fait l'objet de beaucoup de réalisations généralement adaptées à des cas particuliers. Chaque voiture moderne possède un indicateur de niveau d'essence et cette indicateur semble si naturelle qu'il ne viendrait à l'idée de personne de savoir comment elle s'effectue.

Cependant, ce contrôle si pratique et si « simple » a exigé, d'une part, un dispositif de transformation du niveau d'essence en une quantité électrique (variable), d'autre part, la transmission

de celle-ci au tableau de bord par une ligne électrique spéciale et, de plus, un système récepteur qui traduit ces variations de quantité électrique en une indication pratique de mesure, soit en litres, soit en pourcentage de remplissage du réservoir.

Cette transmission de niveau n'étant à effectuer que pour un seul indicateur et à une distance n'excédant pas quelques mètres, elle peut être réalisée très simplement et à un prix modique.

Le problème est différent quand il s'agit de transmettre la même indication à une longue distance et en plusieurs points; tel est le cas de la

transmission des hauteurs d'eau des réservoirs d'alimentation des villes.

En effet, ceux-ci sont disséminés dans la nature en des points essentiellement élevés et placés au plus près possible de leur utilisation. La station de pompage qui, elle, est nécessairement installée à un niveau bas, alimente en général plusieurs réservoirs qui sont munis d'un contrôle de niveau par flotteur et index visible de l'extérieur.

Le contrôle du niveau de l'eau est, dans ce cas, effectué de la manière suivante : ou bien le réservoir est placé très près du lieu de pompage et il suffit de regarder le niveau d'eau, ou bien, s'il est placé à une certaine distance, il est possible de le contrôler avec une lorgnette, mais par beau temps seulement, ou bien alors, dans le cas d'une distance assez grande, il faut aller vérifier sur place.

De plus, il existe quelques réservoirs avec pompage automatique, c'est-à-dire qu'ils se remplissent automatiquement dès que le niveau de l'eau a atteint un certain minimum.

En raison des nécessités d'installation, ces réservoirs sont placés assez loin des centres urbains et il est également nécessaire de contrôler leur niveau.

Dans tous ces cas, sauf quand le réservoir est installé à proximité des pompes, il ne peut être question de contrôler en permanence les réserves d'eau des réservoirs. Et cependant, pour prouver l'intérêt de cette mesure, je voudrais citer le cas d'un incendie dans une ville — cas dans lequel il est absolument nécessaire de connaître la quantité d'eau disponible.

Ceci n'est d'ailleurs qu'un exemple pris parmi d'autres, car sans aller jusqu'au sinistre il est des cas, ne serait-ce qu'en des période de faible pluviométrie, où il est nécessaire d'alimenter une ville en eau potable et de savoir de quelle volume d'eau l'on dispose.

En collaboration avec la Compagnie Générale des Eaux nous avons étudié un téléindicateur de niveau d'eau, dont les caractéristiques générales sont les suivantes :

Les hauteurs d'eau sont enregistrées en langage clair sur un ruban magnétique et transmises par ligne téléphonique.

Cet appareil considéré comme abonné donne le niveau d'eau sur appel téléphonique.

Il se branche, d'une part, sur le secteur électrique par une simple prise de courant et, d'autre part, il est raccordé au réseau téléphonique des P. T. T. (en accord, bien entendu, avec la Direction générale des Télécommunications du Ministère des P. T. T.).

La liaison avec le réservoir est réalisée dans le cas le plus général par une poulie et un câble relié au flotteur ou, dans d'autres cas, par système manométrique.

Le principal avantage de cet appareil est qu'il n'exige pas de ligne spécialement construite pour son usage. En effet, les frais d'établissement d'une ligne sont énormes et représentent facilement plusieurs fois le prix d'achat de l'appareil et cette installation demande un temps assez long à établir.

Dans la plupart des cas, il passe une ligne téléphonique à proximité du réservoir et même le téléphone est bien souvent installé dans la Tour.

De plus, les signaux émis ne le sont ni en fréquences choisies, ni en code quelconque; ils le sont en langage clair, c'est-à-dire que le réservoir indique le lieu où il se trouve, la confirmation de son numéro et la hauteur de l'eau en mètres et en sous-multiples.

Il n'exige donc pas de dispositif de transformation à la réception, ce qui diminue le montant de l'installation et surtout permet d'être reçu par toute personne qui le juge utile.

Ce téléindicateur parlant est essentiellement constitué des éléments suivants :

1° Un ruban magnétique sans fin comportant 20 pistes parallèles enregistrées;

2° Une tête de lecture électromagnétique pouvant s'immobiliser devant l'une quelconque des vingt pistes enregistrées;

3° Un dispositif mécanique liant d'une façon fidèle, robuste et indéréglable, la commande de la position de la tête de lecture au niveau de l'eau dans le réservoir et assurant également le défilement de la bande magnétique devant la tête de lecture pendant la durée de la transmission;

4° Un dispositif électromagnétique provoquant les réponses de l'appareil à chaque appel téléphonique.

La hauteur d'eau à mesurer a été divisée en 20 tranches. Le ruban magnétique de 70 mm de large comporte donc 20 pistes. Ce choix de 20 pistes correspond aux besoins normaux, la hauteur indiquée étant définie dans ce cas à $\pm 2\%$. L'étude de l'appareil a porté, en grande partie, sur la précision de l'indication précise de la hauteur transmise.

La bande enregistrée comportant des pistes séparées il n'est pas question d'indiquer des grandeurs intermédiaires en mettant la tête à cheval sur deux pistes; il faut que la tête se déplace par bonds correspondants au 1/20 de la hauteur totale à mesurer et il faut, d'autre part, que l'erreur de mesure soit réduite au minimum.

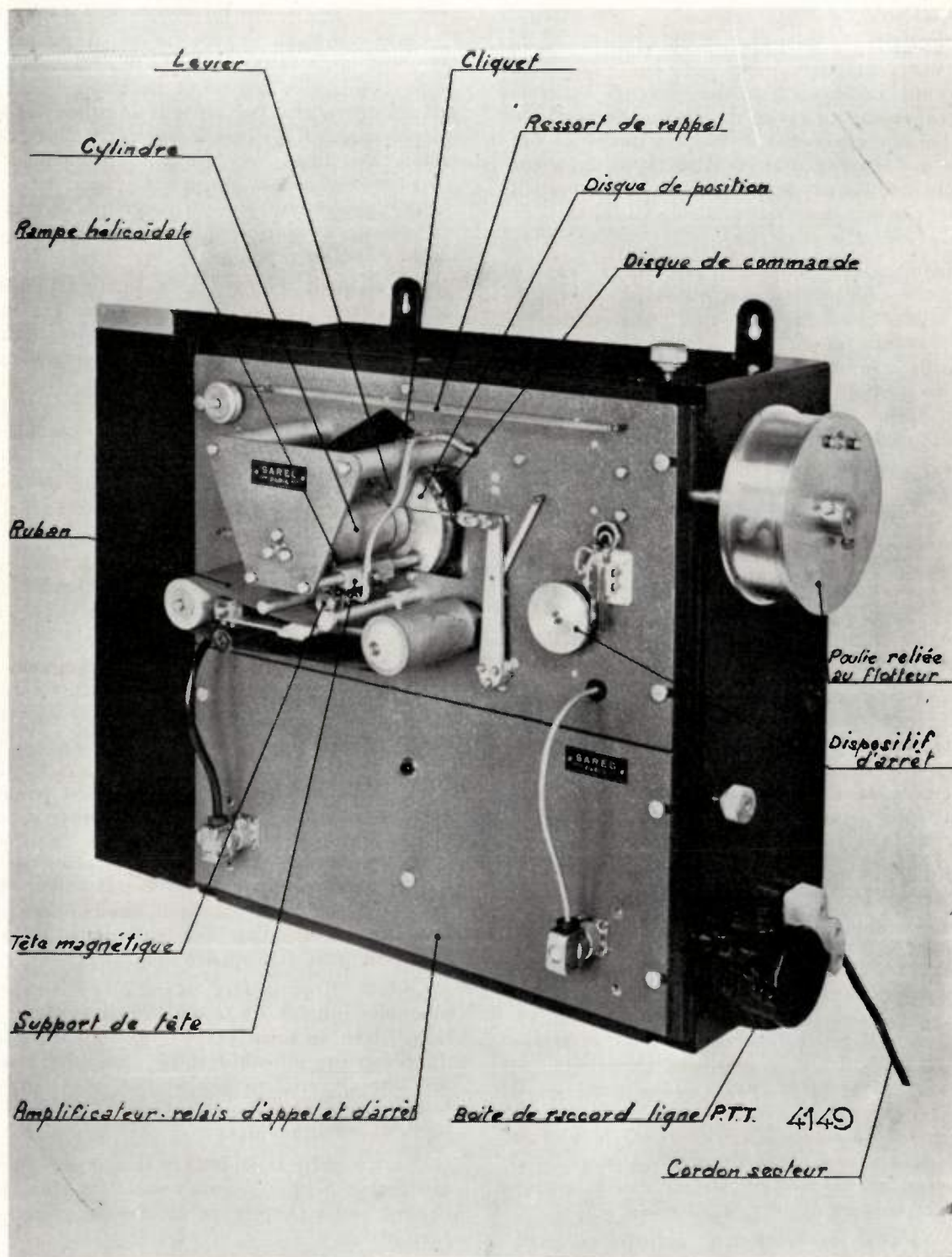
Le dispositif mécanique utilisé permet d'indiquer la hauteur par bond de 1/20 de la hauteur totale avec une tolérance de $\pm 1/40$, ce qui est le minimum réalisable.

La tête magnétique de lecture doit donc pouvoir occuper 20 positions définies mécaniquement.

La tête magnétique est fixée sur un support à glissières placé perpendiculairement au sens de

défilement du ruban. Le déplacement du support est commandé par un cylindre tournant muni d'une rampe hélicoïdale transformant son mouvement de rotation en un mouvement de translation

d'un disque fixe de position qui en comporte 20 sur sa périphérie. D'autre part, le cylindre est rappelé par un ressort qui tend à le ramener vers la position d'indication de niveau minimum. Le



de la tête. Le cylindre effectue un demi-tour pour un déplacement de la tête égal aux 20 pistes.

Le cylindre est muni d'un levier comportant un cliquet. Ce cliquet peut s'engager dans les crans

du cliquet pouvant s'engager dans les vingt différents crans du disque, il définit donc les 20 positions possibles de la tête de lecture.

La largeur du cliquet est suffisante pour qu'il

puisse s'appliquer en même temps sur le disque de position et sur un second disque que l'on peut appeler disque de commande, monté à côté du disque de position et concentriquement à celui-ci.

C'est ce disque de commande qui sert à déterminer la position de la tête en fonction de la hauteur d'eau.

Pour ce faire, il est muni de deux secteurs de rayons différents raccordés par des rampes à faible pente. Le rayon d'un des secteurs est légèrement supérieur au rayon du disque de position, ce qui permet de libérer le cliquet des crans de position, et l'autre secteur est d'un rayon inférieur au rayon du disque de position, ce qui permet l'encrochement du cliquet dans les crans de position.

Au moment de l'appel, une came et un embrayage — dont je parlerai plus tard — rappellent le levier et le cliquet à une position correspondant au maximum de niveau et le relâche ensuite. Tant que le cliquet se trouve écarté du disque de position par le secteur à rayon maximum du disque de commande, il ne peut s'arrêter dans un cran du disque de position; mais dès qu'il atteint la rampe de raccordement des deux secteurs, il se rapproche des crans et s'immobilise dans le premier cran qui se trouve dégagé.

La rotation du disque de commande est elle-même commandée par la poulie reliée au câble du flotteur par l'intermédiaire d'un réducteur à vis et à roue; le rapport étant tel que pour un demi-tour de la poulie correspond une variation de 1 cran, soit le changement d'une piste de la tête.

La hauteur d'eau à mesurer est donc constamment traduite par une valeur angulaire de la position du disque de commande, même en l'absence d'appel, et la position de la rampe de raccordement des deux secteurs du disque — dont je parlais précédemment — définit la position du cliquet, et, de ce fait, celle de la tête.

En résumé, au moment de l'appel téléphonique, le moteur de déroulement se met en marche; il entraîne la bande et commande la came qui effectue un tour et s'arrête. Cette came, par l'intermédiaire d'un levier et d'un câble, amène le cylindre de commande de la tête et, par conséquent, le doigt à cliquet à leur position maximum et, ensuite, les relâche lentement. Pendant le temps de retour, le doigt à cliquet glisse sur le secteur de dégagement jusqu'au moment où il atteint la rampe de raccordement avec le secteur d'engagement possible. A ce moment, le cliquet s'engage dans le cran de position placé immédiatement après, et la rotation du cylindre de commande de position de la tête s'arrête.

Cette position de la tête de lecture est donc définie en rapport avec la hauteur d'eau à mesurer.

L'erreur de lecture est réduite au minimum, puisque, d'une part, il n'y a aucune demande d'énergie au système indicateur et que, d'autre part, les erreurs provenant de la construction mécanique sont annulées du fait que la mesure

est toujours effectuée à partir d'une position de base et toujours dans le même sens.

Je parlais précédemment de la came de commande du levier de position. La puissance demandée pour amener le levier à sa position maximum servant de base est assez grande et nous avons été amenés à réaliser un véritable relais mécanique.

Cette came est montée sur un arbre qui tourne pendant toute la durée de la transmission; il faut donc l'embrayer au début de l'appel et l'arrêter quand elle a effectué un tour complet. Le système employé est un système à roue libre. Normalement, cette roue libre, qui est à coincement de galet, entraînerait constamment la came si le galet n'était pas retenu par un doigt qui l'empêche de se coincer, et qui, de plus, détermine la position de la came au repos.

Au moment de l'appel et quand le moteur est à sa vitesse normale, une commande mécanique dégage le doigt qui lâche le galet; celui-ci se coince et entraîne la came qui effectue sa manœuvre de chercheur de position de la tête. Le doigt revient à sa première position et débloque le galet de coincement quand celui-ci se présente, c'est-à-dire après un tour de la came.

Pour un effort sur la commande de quelques grammes on libère une puissance de l'ordre d'une fraction de cheval.

En dehors de la partie mécanique, l'appareil comporte un amplificateur de ligne et un système de relais de mise en marche sur appel téléphonique, de commutation et d'arrêt de l'ensemble.

Cet appareil a été installé également en liaison avec un émetteur radio. Cet ensemble fonctionne à heures fixes et a permis d'éviter l'installation d'une ligne coûteuse.

Ce téléindicateur parlant a également d'autres applications. En premier lieu il n'est pas exclusivement réservé à la mesure de hauteur d'eau et il peut s'appliquer à la transmission du niveau de n'importe quel liquide et pour des réservoir ou des bassins de formes quelconques; il suffit, en effet, que les enregistrements sur la bande correspondent à la hauteur que l'on veut transmettre et la loi de variation peut être quelconque.

Comme il peut être actionné par un système manométrique il n'y a pas d'inconvénient à l'installer dans un local placé assez loin du bassin ou du réservoir, puisqu'il suffit d'un tube contenant un liquide comme moyen de transmission. Ce fonctionnement est intéressant dans le cas de liquides inflammables.

D'autre part, la puissance demandée pour faire tourner le disque de commande est très faible et il peut être actionné par un système à pression de gaz.

En résumé, cet appareil a été réalisé pour la mesure et la transmission de hauteur de liquide; son emploi peut également être étendu à la transmission d'autres mesures.

Ses frais d'installation sont peu élevés et les frais d'entretien également.

COMPTES-RENDUS DES DISCUSSIONS

SECTION I

Nom du Conférencier : ANGLES D'AURIAC.

Titre de la Conférence : *Emploi et Tendances de l'enregistrement en Radiodiffusion et Télévision.*

Question posée par M. X.

Enoncé de la question posée : Quels progrès fait-on dans les méthodes de copies de bandes enregistrées ? En résulterait-il pour la B.B.C. un plus grand emploi d'enregistrements sur bande ?

Conférencier :

Je vais demander au Dr AXON de répondre à cette question.

Réponse du Dr P.E. AXON :

M. H. DAVIES a expliqué à la Conférence de Hambourg les raisons de l'emploi intensif par la B.B.C. de l'enregistrement sur disque. M. ANGLES D'AURIAC nous les a répétées ici. La proportion d'enregistrements sur bande par rapport à l'enregistrement sur disque a augmenté ces dernières années à la B.B.C. et augmentera encore davantage. Les arguments donnés quant à l'enregistrement sur disque restent cependant encore valables et, pour autant qu'il nous est permis de prédire, un grand nombre de tels enregistrements devront continuer. L'amélioration constante des techniques permettront des copies extrêmement fidèles d'enregistrement sur bandes mais, parmi les pays qui reçoivent des enregistrements Transcription de la B.B.C., beaucoup ont encore des appareils de reproduction sur disques qu'ils ne désirent pas changer, pour des raisons d'économie ou autres. Nous devons donc continuer à distribuer une grande quantité d'enregistrements sur disques.

Nom du Conférencier : P. V. BRUEL.

Titre de la Conférence : *Mesureur Automatique de Distorsion des Enregistrements Sonores.*

Question posée par M. L. DE. SCHAMPXELAERE.

Enoncé de la question posée : Comment obtient-on un grand facteur Q pour les filtres ? Est-ce qu'on a employé des amplificateurs à contre-réaction, des bobines de haute qualité ?

Réponse du Conférencier.

On a principalement utilisé des bobines de haute qualité, cependant, il y a des contre-réactions très étudiées dans les amplificateurs.

Nom du Conférencier : J. W. de GARRET.

Titre de la Conférence : *Evolution des méthodes de restitution de l'espace auditif.*

I Question posée par M. D.G. JAKES.

Enoncé de la question posée : Avez-vous en général une préférence, en ce qui concerne les microphones, pour l'une ou l'autre des dispositions suivantes :

Espacement des microphones sur toute la longueur de la scène ou, au contraire, groupement les uns près des autres et orientation des microphones dans des directions convenables (à condition bien entendu d'utiliser des microphones directifs).

Réponse du Conférencier.

Je n'ai pas de préférence, cela dépend plutôt d'ailleurs des dispositions relatives à l'audition.

II Question posée par M. L. de SCHAMPXELAERE.

Enoncé de la question posée : Qu'est-ce qu'il faut penser des systèmes dits pseudo-stéréophoniques qui consistent à diviser le spectre des fréquences en deux parties (basses et aiguës), après amplification, et à envoyer les deux parties à deux systèmes de haut-parleurs qui sont montés à une certaine distance. Cela donne quand même l'effet que les aiguës (par ex. les violons) viennent d'un côté et les basses de l'autre côté. Comme cela, on a un certain effet d'espace.

Réponse du Conférencier :

Ceci correspond moins à la réalité que les systèmes stéréophoniques que je viens de mentionner, car il semble que, dans ce cas, on obtienne plutôt ce que j'appellerai une stéréophonie subjective.

Nom du Conférencier : A. LUBSZYNSKI.

Titre de la Conférence : *Les distorsions dans l'enregistrement et la reproduction des sons.*

Question posée par M. GRANDJOUAN (Sadir Carpentier).

Enoncé de la question posée : Remarque.

Il existe des procédés de transmission, dans lequel la distorsion non linéaire ne se manifeste que par la distorsion cubique. Ce sont les systèmes dont les bandes relatives de fréquence sont très étroites, par exemple les émetteurs radioélectriques, en particulier les émetteurs à bande latérale unique. D'autres méthodes de mesure de la distorsion non linéaire doivent alors être employées.

Nom du Conférencier : M. MEUNIER.

Titre de la Conférence : *Applications de l'enregistrement dans la marine.*

Question posée par M. A. LUBZINSKI.

Enoncé de la question posée : Quel microphone employez-vous pour ces basses fréquences ?

Réponse du Conférencier.

Un microphone spécial à sel de seignette qui descend jusqu'à 0,5 périodes.

M. GRUTZMACHER, Président de séance, signale qu'il a personnellement utilisé pendant la guerre pour l'étude des infra-sons un microphone à diaphragme équilibré par une contrepression. Les déformations du diaphragme faisant varier la self d'un circuit alimenté en courant alternatif entraînaient des variations d'amplitude de ce courant que l'on démodulait ensuite.

SECTION II

Nom du Conférencier : MAYER C. G.

Titre de la Conférence : *Un système d'enregistrement et de reproduction des signaux de télévision.*

I — Questions posées par M. DELVAUX.

1°) En noir et blanc, l'enregistrement sur la même piste du signal et de la synchronisation fait perdre quelques décibels sur le rapport signal-bruit. Pour quelle raison n'a-t-on pas, en noir et blanc, enregistré séparément la synchronisation comme on l'a fait pour la couleur ?

2°) Je croyais me rappeler que certains compte rendus des essais de décembre 1953 avaient mentionné l'emploi en noir et blanc de trois pistes dont une pour la synchronisation.

Réponse de M. MAYER.

1°) L'ensemble du problème est encore en cours d'étude et peut évoluer dans un sens ou dans l'autre.

2°) C'est inexact, il n'y avait que deux pistes.

II — Question posée par M. W. B. NIERENBERG.

Pour l'estimation du prix de revient des programmes enregistrés sur bande, le prix de la bande a été amorti en supposant qu'elle servira plusieurs fois. En pratique, on peut supposer que les programmes seront en général conservés, comme ils le sont souvent maintenant. Il serait intéressant de savoir ce que deviendra le prix de revient dans ce cas.

Réponse de M. MAYER.

M. Mayer ne possède pas les éléments nécessaires pour répondre exactement à la question posée. Il a été indiqué dans la conférence que le prix de revient de la bande brute était supérieur à celui du film, mais que la différence était compensée par l'absence de tout traitement au laboratoire. Il convient de remarquer que le plus

souvent, aux Etats-Unis, l'utilisateur du programme n'a pas le droit de le conserver en vue d'un emploi ultérieur.

III — Question posée par M. M.M. FREELAND.

Comment envisage-t-on d'augmenter la durée du programme enregistré au-delà des 4 minutes actuelles, sans porter les dimensions des bobines à des valeurs prohibitives ?

Réponse de M. MAYER.

La première démonstration publique de ce procédé n'a été faite qu'il y a quatre mois, il ne faut pas l'oublier. On a travaillé depuis, on a pu, en particulier, obtenir une réduction de la vitesse de défilement de 9 m/s à 6 m/s ainsi qu'une réduction de la largeur de la bande magnétique. D'autres améliorations sont possibles, le procédé est encore dans son enfance.

IV — Questions posées par M. O. CYTRIN.

1°) Les fréquences du signal « son » sont difficiles à enregistrer à cause de la grande vitesse du film. Pour tourner cette difficulté, M. MAYER a expliqué qu'on module une fréquence de 150 kc/s, par le signal de son. Comment surmonte-t-on la même difficulté pour les fréquences basses du signal vidéo ?

2°) Comment sont corrigées les distorsions de phase du signal vidéo ?

Réponse de M. MAYER.

1°) Ce problème n'a pas été résolu. Il est toujours à l'étude.

2°) Les distorsions de phase du signal d'image peuvent toujours être corrigées, c'est un problème concernant la construction des amplificateurs qui n'est pas difficile à résoudre, car la largeur de bande est relativement faible, si on la compare par exemple à celle de certains faisceaux hertziens à grand nombre de voies.

SECTION IV

Nom du Conférencier : M. GILOTEAUX.

Titre de la Conférence : *Les caractéristiques d'enregistrement des disques.*

Questions posée par M. RODRIGUES DE MIRANDA.

Enoncé de la question posée : a) Il faut avoir deux réglages des aiguës :

1°) pour couper les bruits de fond;

2°) Un réglage souple pour régler la caractéristique.

b) Le relèvement des aiguës est là parce que la caractéristique est obtenue dans l'axe du haut-parleur.

c) Les boîtes peuvent être assez bonnes — voir la caractéristique.

Réponse du Conférencier :

a) La coupure brutale des aiguës pour supprimer le bruit de fond devrait être, pour la haute fidélité, très élevée, au dessus de 12 khz par exemple. D'autre part, si le système P.U. — H.P. ampli, etc. — ne présente pas de résonance marquée, le bruit de fond reste faible. Un système avec une forte résonance suivie d'une coupure rapide même à fréquence relativement basse, 6 khz par exemple donne un bruit de fond supérieur à un système de 12 khz sans résonance.

b) La résonance des H.P. vers 5 khz est en effet dans l'axe, mais en dehors de l'axe le rendement du HP dans les aiguës varie de la même manière que le contrôle de tonalité et l'on n'a pas pour autant satisfaction. L'idéal est un H.P. dont les aiguës ne sont pas concentrées dans l'axe, un tel H.P. existe sous diverses réalisations.

c) Les ébénisteries de H.P. peuvent être bonnes en effet mais il faut prendre beaucoup de soins et la réalisation est onéreuse.

Question posée par M. BESSON.

Énoncé de la question posée : M. GILTEAUX nous a montré un faisceau de courbes de relèvement des aiguës et d'affaiblissement des graves pour les microsillons. Mais n'y a-t-il pas eu en vigueur d'autres courbes, au moins

au début des microsillons, assez différentes partant de 800 ou 500 c/s ou bien de 1 000 ?

Réponse du Conférencier.

Non, à ma connaissance le point 0 dB est bien à 1 000 hz mais le point de raccordement qu'on définit d'habitude est le point 3 dB qui correspond à 500 hz. Les différences de sonorités constatées ont probablement une cause subjective.

SECTION V

Nom du Conférencier : Georges DUPOUY.

Titre de la Conférence : Enregistrement Géophysique sur bande de magnétophone.

Question posée par M. DONNER (Cité Générale de Géophysique).

1°) Quelles étaient les fréquences et les amplitudes des variations magnétiques enregistrées ?

2°) Est-ce que ces variations ne se manifestent que le matin ?

Réponse de M. DUPOUY.

1°) Les fréquences et amplitudes des trains d'ondes récemment enregistrés au concentrateur-magnétophone doivent pouvoir être mesurées au moyen d'une caméra-oscillographique opérant sur le courant de lecture de la bande.

Faute de telles informations précises, l'écoute acoustique semble montrer qu'il s'agit de fréquences de quelques périodes par seconde (quelques milliers au coefficient de transposition 600).

Quant aux amplitudes, la comparaison qualitative avec l'effet de champs artificiels connus laisse penser qu'elles doivent être de l'ordre de grandeur du gamma au moins.

2°) Le phénomène n'a jusqu'ici été constaté qu'en fin de matinée, les observations n'ayant d'ailleurs porté que sur cinq journées consécutives. On se propose d'organiser des observations continues dès qu'on aura réalisé un étalonnage meilleur de la sensibilité à des champs artificiels connus.

Nom du Conférencier : M. GARREAU.

Titre de la Conférence : Télé-Indicateur parlant de niveau d'eau.

Questions posées par M. GALLET.

1) Quelle est la vitesse de déroulement de la bande ?

2) L'enregistrement est-il fait sur la même machine ?

Réponse de M. GARREAU.

1) 9,5 cm/s.

2) L'enregistrement est fait sur une machine du même type, mais on réalise également dans certain cas une petite machine spéciale pour l'enregistrement.

Nom du Conférencier : M. le Colonel J. LOCHARD.

Titre de la Conférence : Enregistrement et Corrélation Optique.

Question posée par M. PERETZ Richard (Belgique), Université libre de Bruxelles.

Énoncé de la question posée : M. LOCHARD a été peu indulgent envers les autres méthodes de mathématiques expérimentales accomplissant des opérations de corrélation.

La méthode optique qu'il suggère n'est ni plus précise, ni moins coûteuse que bien d'autres moyens employés depuis de nombreuses années. Puisque l'exemple choisi par le conférencier est justement celui proposé par un groupe de Sociétés Textiles au laboratoire d'Électronique Industrielle de l'Université Libre de Bruxelles, il me semble utile d'apporter quelques précisions en ce qui concerne son mode de réalisation. Il s'agit d'une mesure de volume de fil textile quantifié en deniers par les filateuses mesure effectuée depuis quelques dizaines d'années à l'aide de tubes capillaires remplis de mercure. L'introduction du fil dans ces tubes augmente la résistance électrique d'un tronçon de capillaire par la diminution de la section conductrice. On effectue ainsi une mesure assez peu précise du volume moyen du fil, indication acceptable étant donné que le problème est de détecter des troubles périodiques intervenant dans le processus de fabrication, les imprécisions de mesure pour autant qu'elles sont aléatoires ou que des précautions sont prises pour éviter des erreurs à caractères périodiques, contribuent uniquement à l'augmentation du bruit.

La solution que nous avons donnée à ce problème est en quelques mots la suivante :

Deux dispositifs de détection à tubes capillaires identiques mesurent le volume du fil textile avec un retard τ déterminé par la longueur du fil entre les deux détecteurs et sa vitesse. On obtient ainsi la variation du volume en fonction du temps $V(t)$ et la même fonction retardée $V(t-\tau)$.

Le produit de ces deux fonctions est effectué par un multiplicateur électro-mécanique du type potentiomètre asservi et l'intégration est accomplie à l'aide d'un amplificateur électronique associé à un réseau de réaction négative capacité-résistance. Le matériel ainsi employé est relativement peu coûteux et assez souple.

Nous avons envisagé également un enregistrement de la variation du volume du fil sur un tambour magnétique, enregistrement qui permet de réaliser le retard voulu, une tête mobile captant le signal après une rotation du tambour correspondant au temps de retard τ désiré.

Pour améliorer la précision d'enregistrement et de lecture, on transforme les amplitudes du signal en largeur par une modulation en durée d'ondes périodiques rectangulaires, ce qui nous permet d'obtenir le produit, le signal détecté par les tubes capillaires modulant en amplitude les ondes rectangulaires retardées. L'intégrateur électronique qui suit permet d'utiliser directement ces ondes rectangulaires modulées en amplitude dont la valeur moyenne est proportionnelle au produit : $V(t) \times V(t-\tau)$.

Cette solution est économique, puisqu'elle utilise des éléments standard du calculateur analogique construit et en cours de développement au Laboratoire.

Réponse du Conférencier :

Dans ma communication, je n'ai critiqué que les corrélateurs où les produits et l'intégration sont effectués par voie mécanique à l'aide de dispositifs coûteux, délicats et demandant souvent l'intervention constante de l'opérateur pour lire une courbe à la main. J'ai cité par contre, le corrélateur électrique de BENNETT (Bell Laboratories) comme paraissant d'un principe particulièrement satisfaisant. Les corrélateurs cités par M. PERETZ le sont aussi sans doute, quoique le dernier qui utilise partie d'une machine existante, soit assez compliqué. Ils pourraient peut-être être simplifiés par l'emploi de procédés optiques.

Le système que j'ai cité à la fin de mon exposé n'est sans doute pas le système belge : il servait, sauf erreur, à calculer la corrélation du diamètre du fil, il faut évidemment des dispositifs plus compliqués pour faire la même opération sur les volumes, citée par M. PERETZ.

Un système de corrélation optique est employé par le Centre National d'Etudes des Télécommunications (Division Tubes et hyperfréquences) pour certaines études de propagation. Ce système est d'ailleurs différent, et sensiblement plus compliqué que ceux que j'ai décrits.

J'ai appris au cours du présent congrès, qu'un corrélateur optique avait été construit par le Massachusetts Institute of Technology, j'ignore son principe exact.

Ces deux exemples montrent que les dispositifs optiques présentent quelque intérêt. Il faut insister aussi sur le fait qu'ils se prêtent à l'exécution d'autres calculs statistiques sur les résultats de mesure : par exemple les calculs de moments et les calculs de fonctions de répartition.

LISTE DES COMMUNICATIONS

(Onde Electrique d'Octobre 1954 - N° 321)

SECTION I. — Généralités.

BRUEL, <i>Directeur, Société Bruel et Kjaer.</i>	
« Analyse automatique des distorsions dans les appareils de reproduction sonore »	725
CHAVASSE et VALLANCIEN.	
« Sur l'application de l'enregistrement à l'étude de l'audition et à l'audiométrie »	732
GRUTZMACHER Martin, <i>Physikalisch — Technische Bundesanstalt.</i>	
KALLENBACH Werner, <i>Physikalisch — Technische Bundesanstalt.</i>	
« L'enregistrement des fluctuations de vitesse des enregistreurs à l'aide d'un analyseur de fréquences musicales »	738
MEUNIER, <i>Ingénieur en chef du Génie Maritime au Service Technique des Constructions et Armes Navales.</i>	
« Applications de l'enregistrement dans la Marine »	743
WARNIER A., <i>Ingénieur à la Cie Française Thomson-Houston.</i>	
« La qualité musicale des enregistrements et l'utilisation des systèmes compresseurs-décompresseurs »	744

SECTION II. — Enregistrement magnétique.

FONTAN PEREZ, <i>Ingénieur des Télécommunications espagnoles.</i>	
« Aspects de l'exploitation de l'enregistrement magnétique en radiodiffusion »	751
KLEIS D., <i>Société Philips d'Eindhoven.</i>	
« Dynamique de l'enregistrement magnétique »	753
MAYER C. G., <i>Représentant technique de la R. C. A. en Europe.</i>	
« Un système d'enregistrement et de reproduction des signaux de télévision »	760
J. T. MULLIN, <i>Ingénieur en chef des « Bing Grosby Enterprises ».</i>	
« Enregistrement magnétique des signaux video »	765
H. PIRAUX, <i>Ingénieur à la S.A. Philips.</i>	
« Un magnétophone à voies multiples pour dispatching »	770
SCUBBI M., <i>Société A. C. E. M. A.</i>	
« Magnétophone portatif autonome »	773
VERGELY R. et LEHMANN R., <i>Ingénieurs. Centre National d'Etudes des Télécommunications.</i>	
« Un enregistreur-lecteur magnétique pour l'enregistrement des radio-communications air-sol-air dans l'aviation civile »	774

COMPLÉMENTS :

BORNE J., <i>Laboratoire d'Electronique et de Physique appliquées.</i>	
« Etude du processus d'enregistrement magnétique avec courant alternatif superposé »	781
PERILHOU J., <i>Laboratoire d'Electronique et de Physique appliquées.</i>	
« L'enregistrement magnétique des fréquences supérieures à 100 kc/s »	782
SCHIESSER H., <i>Rundfunk Technisches Institut -- Nuremberg.</i>	
« Les nouveaux appareils d'enregistrement magnétique du son employés par les sociétés de radiodiffusion de la République Fédérale Allemande »	782

SECTION III. — Enregistrement pour le cinéma.

DIDIER A., <i>Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.</i> et MARTIN L., <i>ancien élève de l'Ecole Polytechnique.</i>	
« Application des procédés magnétiques à la sonorisation des films cinématographiques »	786

SECTION V. — Applications et extensions.

DUPOUY Georges, <i>Ingénieur des Ponts et Chaussées au Laboratoire National de Radioélectricité.</i>	
« Enregistrements géophysiques sur bande de magnétophone »	789
FORTY Albert, John, <i>B.A., A.M.I.E.E. British Post Office.</i>	
« Une méthode photographique d'enregistrement sonore sur disques de verre »	793
GABOR D., <i>Imperial College of Science and Technology (Londres).</i>	
« La meilleure utilisation des plaques photographiques pour l'enregistrement des quanta de lumière »	800
GARREAU M., <i>Directeur de la Société S.A.R.E.G.</i>	
« Transmission des niveaux d'eau »	803

LES RÉSEAUX CORRECTEURS POUR SERVOMÉCANISMES A FRÉQUENCE PORTEUSE

(suite et fin) (1)

PAR

P. BONNET

*Ingénieur Militaire de première classe
des Fabrications d'Armements*

TROISIÈME PARTIE

EXEMPLES DE RÉSEAUX CAPACITÉ-RÉSISTANCE

Dans la première et la deuxième parties de cette étude, nous avons passé en revue des méthodes permettant de faire la synthèse de réseaux capacité-résistance à partir de caractéristiques gain-fréquence et phase-fréquence données, répondant à certaines exigences.

Mais il arrive souvent dans la pratique, que les caractéristiques gain-fréquence et phase-fréquence ne soient pas spécifiées avec précision, l'allure des courbes et quelques points particuliers étant seuls imposés.

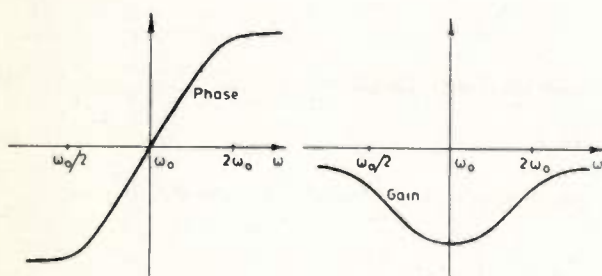


FIG. 22

Il est beaucoup plus rapide dans ce cas de choisir un réseau convenable dans un catalogue. Le but de cette troisième partie est de donner un tel catalogue ;

Les réseaux dont on a généralement besoin pour les servomécanismes à fréquence porteuse sont de deux types :

1) Filtres destinés à éliminer des harmoniques particuliers de la porteuse, qui peuvent avoir des amplitudes incompatibles avec le bon fonctionnement de l'amplificateur. Dans ce cas, on s'intéresse surtout à la caractéristique de gain du filtre. Cependant il est bon de connaître le déphasage qu'il introduit au voisinage de la porteuse, car ce déphasage diminue généralement la marge de phase du signal de modulation.

On a généralement intérêt à avoir un affaiblissement infini à la fréquence filtrée. C'est pourquoi nous choisirons comme type de filtre le *T* parallèle symétrique accordé;

2) Réseau d'avance de phase du signal de modulation. Ce réseau doit avoir une caractéristique de phase du type indiqué sur la figure 22. Cette carac-

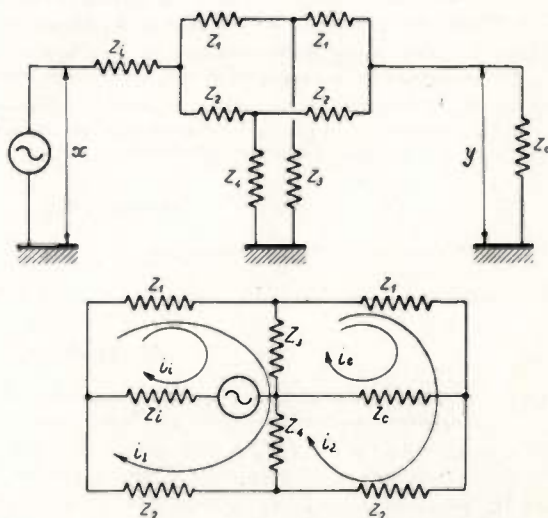


FIG. 23

(1) Voir *Onde Electrique*, n° d'Aout-Septembre 1954 (pages 688 à 699).

teristique de phase s'accompagne toujours malheureusement d'une caractéristique de gain analogue à celle indiquée sur la même figure, avec un affaiblissement notoire à la fréquence porteuse. Pour ce type de réseau, nous avons choisi le *T* ponté symétrique.

Les caractéristiques de ces deux types de réseau sont généralement données pour une impédance d'entrée nulle et une impédance de sortie infinie, ce qui constitue une gêne dans la pratique.

Aussi allons-nous déterminer ces caractéristiques pour des impédances d'entrée et de sortie non nulles et finies.

La figure 23 représente le schéma d'un *T* parallèle symétrique fonctionnant entre un générateur d'impédance interne Z_i et une impédance de charge Z_c , les bras ayant des impédances Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 comme indiqué sur la figure.

A partir des équations des mailles de ce réseau on trouve :

$$i_c = x \frac{Z_1 Z_4 (Z_1 + 2 Z_3) + Z_2 Z_3 (Z_2 + 2 Z_4)}{\Delta} \quad (1)$$

avec

$$\Delta = Z_i Z_c (Z_1 + Z_2) (Z_1 + 2 Z_4 + Z_2 + 2 Z_3) + (Z_i + Z_c) [Z_1 (Z_1 + 2 Z_3) (Z_2 + Z_4) + Z_2 (Z_2 + 2 Z_4) (Z_1 + Z_3)] + Z_1 Z_2 (Z_1 + 2 Z_3) (Z_2 + 2 Z_4)$$

1° Cas du filtre en *T* parallèle accordé.

Si Z_1 et Z_4 sont des résistances R_1 et R_2 , Z_2 et Z_3 des impédances capacitives $\frac{1}{C_1 p}$ et $\frac{1}{C_2 p}$, Z_i et Z_c des résistances R_i et R_c (fig. 24), le numérateur de l'expression de i_c se met sous la forme :

$$N = \frac{R_1^2 C_1^2 R_2 C_2 p^3 + R_1 R_2 C_1^2 p^2 + 2 R_2 C_1 p + 1}{C_1^2 C_2 p^3}$$

Si l'on veut que i_c soit nul à une certaine fréquence ω_0 , il faut faire $N = 0$ pour $p = j\omega_0$, ce qui entraîne, en annulant les parties réelle et imaginaire :

$$\begin{cases} 4 R_2 C_1 = R_1 C_2 \\ \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{2 R_1 R_2 C_1^2}} \end{cases}$$

Ces conditions sont remplies si l'on pose :

$$\begin{cases} R_1 = r \\ R_2 = \frac{\lambda^2}{2} r \\ C_1 = \frac{1}{\lambda r \omega_0} \\ C_2 = \frac{2 \lambda}{r \omega_0} \end{cases}$$

λ étant un paramètre quelconque.

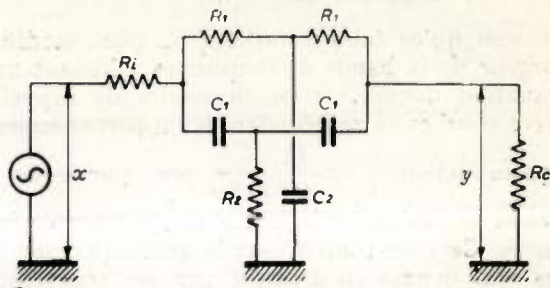


FIG. 24

Si, de plus, on pose $p = j\omega_0 u$, la tension aux bornes de la résistance de charge R_c , soit $y = \frac{y}{R_c i_c}$, est donnée par la relation :

$$\frac{y}{x} = R_c \times \frac{1 - u^2}{\left(\frac{2 R_i R_c \lambda^2 + 1}{r \lambda^2} + R_i + R_c \right) u^2 + 2 j \left[- \frac{R_i R_c \lambda^2 + 1}{r \lambda} + (R_i + R_c) \frac{\lambda^2 + 1}{\lambda} + \lambda r \right] u + R_i + R_c + 2 r} \quad (2)$$

Cette expression compliquée n'est pas d'un usage commode. Elle se simplifie si on donne à R_i et R_c des valeurs telles que le gain à fréquence infinie soit égal au gain à fréquence nulle.

L'égalité $\left(\frac{y}{x} \right)_{\infty} = \left(\frac{y}{x} \right)_0$ implique en effet la relation :

$$R_i R_c = r^2 \frac{\lambda^2}{\lambda^2 + 1}$$

Si cette relation est vérifiée, l'expression de $\frac{y}{x}$ se simplifie beaucoup et devient :

$$\begin{cases} \frac{y}{x} = \frac{R_c}{R_i + R_c + 2 r} \times \frac{1 - u^2}{1 - u^2 + 2 j \zeta u} \\ \text{avec : } \zeta = 1 + \frac{1}{\lambda} \frac{R_i + R_c}{R_i + R_c + 2 r} \end{cases} \quad (3)$$

On peut encore poser :

$$\frac{y}{x} = \frac{R_c}{R_i + R_c + 2 r} T(u),$$

la fonction $T(u)$ ne dépendant plus que du seul facteur ζ . Les courbes de gain et de phase de $T(u)$ en fonction de $u = \frac{\omega}{\omega_0}$ sont données en annexe (annexe I), pour diverses valeurs de ζ lorsque u

est supérieur à 1. Les courbes correspondant à $u < 1$ s'en déduisent par symétrie.

On voit qu'en faisant varier ζ on peut modifier la largeur de la bande de fréquences subissant une atténuation donnée. Il est nécessaire de rappeler que ces courbes ne représentent le rapport complexe $\frac{y}{x}$ qu'au facteur $\frac{R_i}{R_i + R_c + 2r}$ près, par lequel il convient de multiplier les gains aux différentes fréquences. Ceci se traduit, sur le graphique, où les gains sont donnés en décibels, par une translation verticale convenable des courbes de gain.

2° Cas du filtre en T ponté.

Le filtre est représenté figure 25. Il répond à l'équation générale 1) en faisant Z_3 infini.

Pour avoir le T ponté représenté sur la figure 25,

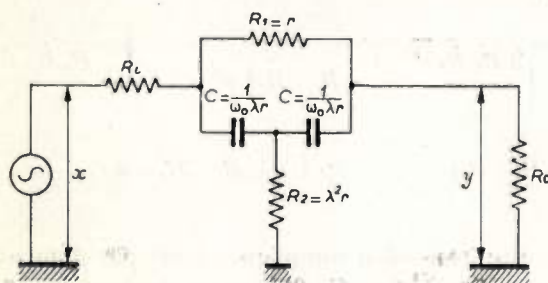


FIG. 25

Z_1 et Z_4 doivent être des résistances, Z_2 une impédance capacitive. On suppose que Z_i et Z_c sont des résistances R_i et R_c . On peut poser :

$$\begin{cases} 2Z_1 = R_1 = r \\ Z_2 = \frac{1}{Cp} = \frac{\omega_0 \lambda r}{p} \\ Z_4 = R_2 = \lambda^2 r \end{cases}$$

sans restreindre la généralité du cas traité. Si on pose de plus $p = j\omega_0 u$ et $y = i_c R_c$ on trouve, toutes réductions faites :

$$\frac{y}{x} = R_c \frac{u^2 - 1 - 2j\lambda u}{\left(\frac{R_i R_c}{\lambda^2 r} + R_i + R_c\right)u^2 - j\left[\frac{2R_i R_c}{\lambda r} + (R_i + R_c)\frac{1 + 2\lambda^2}{\lambda} + 2\lambda r\right]u - (R_i + R_c + r)} \quad (4)$$

Cette expression se simplifie si on impose la condition :

$$\left(\frac{y}{x}\right)_\infty = \left(\frac{y}{x}\right)_0, \text{ qui se traduit par : } R_i R_c = \lambda^3 r^2.$$

On trouve alors :

$$\begin{aligned} \frac{y}{x} &= \frac{R_c}{R_i + R_c + r} \times \frac{u^2 - 1 - 2j\lambda u}{u^2 - 1 - j(2\lambda + \zeta)u} \\ &= \frac{R_c}{R_i + R_c + r} T(u) \end{aligned}$$

avec :

$$\zeta = \frac{1}{\lambda} \times \frac{R_i + R_c + 2\lambda^2 r}{R_i + R_c + r}$$

Le rapport complexe $\frac{y}{x}$ dépend cette fois de deux paramètres λ et ζ . ζ peut d'ailleurs s'exprimer en fonction de λ et de $\mu^2 = \frac{R_i}{R_c}$.

On a tracé en annexe (annexe II) les courbes de gain et de phase de $T(u)$ pour $\mu = 1$ ($R_c = R_i$) ; $\mu = \lambda$ ($R_c = R_1$; $R_i = R_2$) et $\mu = 0$ ($R_i = 0$; $R_c = \infty$). Elles ne sont tracées que pour $u > 1$.

On complètera par symétrie pour $u < 1$.

3° Utilisation des deux types de réseaux dans le cas d'un servomécanisme à fréquence porteuse.

S'il n'est pas nécessaire de filtrer certaines fréquences, seuls les réseaux du type 2 en T ponté sont utiles, si le servomécanisme est insuffisamment stable, pour donner une avance de phase convenable. On rappelle que l'avance de phase de la modulation est à peu près proportionnelle, à une fréquence de modulation donnée, à la pente de la courbe de phase au voisinage de la porteuse. Il faut cependant noter qu'une pente importante de la phase, correspondant à une avance de phase notable de la modulation s'accompagne d'un affaiblissement important de la fréquence porteuse, et qu'en conséquence le niveau des harmoniques qui pouvait sembler suffisamment faible en l'absence de réseau, peut devenir gênant et nécessiter un filtrage.

Cas où il est nécessaire de filtrer.

Il semble que la forme de la courbe de gain du filtre la mieux adaptée soit celle donnée sur la figure

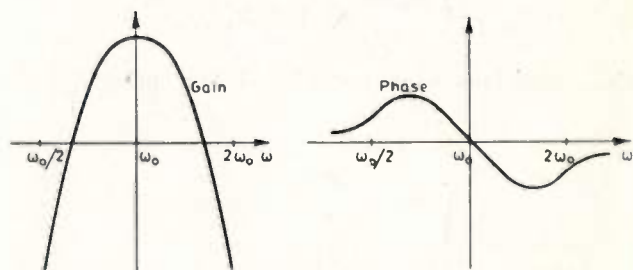


FIG. 26

26, qui ne laisse passer que deux bandes étroites autour de la porteuse. Une telle courbe ne peut

pas être obtenue directement par un réseau en T parallèle, mais elle peut être obtenue par une contre-réaction sur une lampe, le T parallèle étant placé dans la chaîne de réaction, entre la plaque et la grille. On sait que dans ce cas l'amplificateur a une caractéristique inverse de celle de l'élément en contre-réaction, le gain maximum ne pouvant toutefois être supérieur à celui de l'amplificateur sans contre-réaction.

Malheureusement, une caractéristique de gain de la forme indiquée sur la figure 26 s'accompagne automatiquement d'une caractéristique de phase descendante analogue à celle indiquée sur la même figure. La pente négative de la phase est d'autant plus accentuée que le gain maximum est plus élevé, et il en résulte, pour le signal de modulation, un retard de phase qui déstabilise le servomécanisme. Si l'on introduit un réseau d'avance de phase en T ponté, il introduira un affaiblissement à la fréquence porteuse qui se traduira par une diminution du filtrage global. On devra donc augmenter la sélectivité de l'amplificateur à contre réaction, ce qui se traduira par une augmentation de la pente négative de la caractéristique de phase et ainsi de suite, l'effet de l'amplificateur sélectif et celui du réseau d'avance de phase s'opposant toujours l'un à l'autre.

Le remède consiste :

1° Soit à donner à l'amplificateur sélectif un maximum très plat dépassant largement les bandes passantes à transmettre (fig. 27). La courbe de

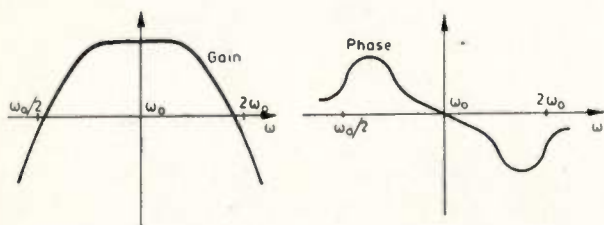


FIG. 27

phase a alors l'allure indiquée sur la même figure, se traduisant par une pente négative faible au voisinage de la fréquence porteuse. Une telle caractéristique peut s'obtenir en utilisant un T parallèle de ζ élevé en contre-réaction dans un amplificateur de gain pas trop élevé. Il existe alors une large bande de fréquences où l'ensemble se comporte comme si la contre-réaction n'existait pas (région où l'affaiblissement du T parallèle est supérieur au gain de l'amplificateur) et où le gain et la phase sont à peu près constants (fig. 28).

Un tel amplificateur n'est malheureusement pas très sélectif.

2° Soit à remarquer que les fréquences parasites sont connues et étroitement localisées (ce sont

les harmoniques de la porteuse) et qu'il n'est pas nécessaire de filtrer de larges bandes de fréquences, mais des fréquences déterminées. La caractéristique de gain du filtre peut donc parfaitement avoir l'allure indiquée sur la figure 29, chacun des harmoniques étant affaibli par un réseau en T parallèle

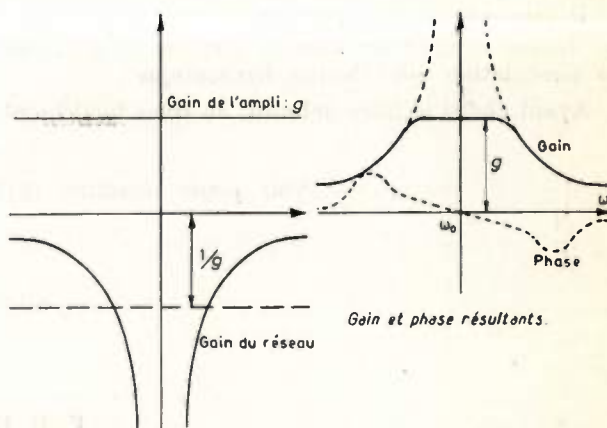


FIG. 28

accordé sur sa fréquence. Il n'est en général pas nécessaire d'en mettre un grand nombre et on peut affaiblir les fréquences très élevées (bruits ou impulsions parasites) par un simple réseau à résistance en série et capacité en parallèle.

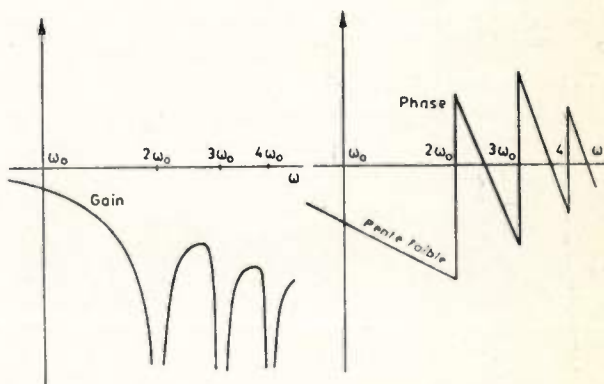


FIG. 29

L'effet de ces réseaux de filtrage au voisinage de la porteuse se traduit par un petit affaiblissement, et une faible pente de la courbe de phase. Le déphasage absolu de la porteuse est cependant notable, mais il n'influe pas sur la stabilité du système asservi. Il doit simplement être compensé par un déphaseur convenable pour retrouver la répartition des phases au niveau du démodulateur (le plus simple est souvent de déphaser la fréquence de référence).

Le groupement en cascade de plusieurs T parallèles perturbe en général le fonctionnement de chacun

d'eux. Aussi il est prudent de n'en mettre pas plus de deux directement en série, en s'arrangeant pour que l'impédance du premier soit faible vis-à-vis de celle du second. Si l'on veut en mettre plus de deux, il faut les séparer par des lampes. Il en existe en général dans l'amplificateur du servomécanisme suffisamment pour pouvoir mettre le nombre voulu de réseaux sans en ajouter.

Il faut choisir le paramètre ζ des T parallèles en tenant compte des bandes latérales qu'introduit la modulation sur chaque harmonique.

Ayant choisi le filtre définitif, on trace facilement

ses caractéristiques de gain et de phase au voisinage de la fréquence porteuse en utilisant les courbes données en annexe.

On en déduit les courbes de gain et de phase résultantes pour la modulation (cf. première partie) qui représentent la fonction de transfert du filtre. Connaissant les fonctions de transfert des autres éléments du servomécanisme, on a la fonction de transfert en boucle ouverte du système non corrigé. On en déduit, si besoin est, les caractéristiques du correcteur d'avance de phase en T ponté par les méthodes indiquées dans la première partie.

Voir pages suivantes (817 et 818) ; Documents annexes.

ERRATUM

relatif à la première partie de l'article (O.E. - Août-Septembre)

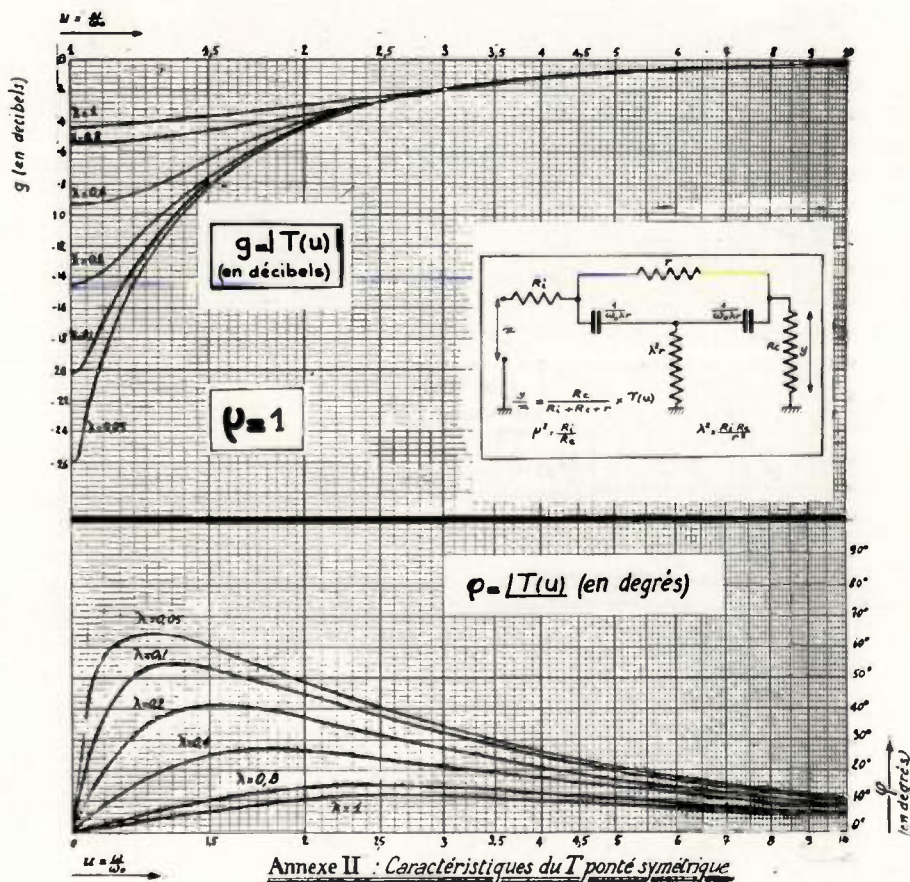
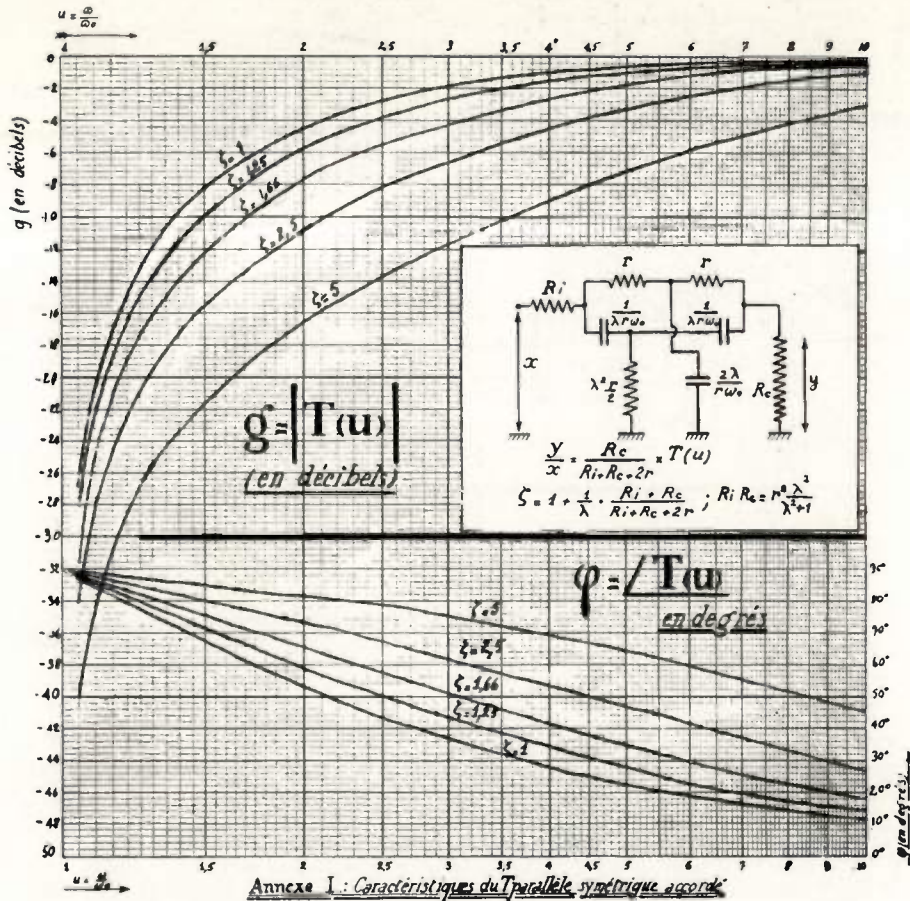
— Permuter fig. 1 et 3.

— Fig. 4 (partie supérieure), lire : $\alpha^{-1/2}$ au lieu de : $\alpha^{+1/2}$

— P. 693, ligne 15 (droite), lire : $\frac{\Omega}{\omega_1}$ au lieu de $\frac{\omega_1}{\Omega}$

— P. 694, lire : fig. 12 au lieu de : fig. 21.

DOCUMENTS ANNEXES



ANALYSE

ENREGISTREMENT DES SONS

PAR

J. LANDRAC

Ingénieur en Chef des Télécommunications

Rien n'est plus délicat pour un auteur que d'exposer de façon claire, à la fois le principe d'une technique et ses applications pratiques : car, ou bien sacrifiant à une théorie chère à son intelligence, il se satisfera de formules et d'équations, considérant leur matérialisation comme un domaine négligeable à la portée, pense-t-il, de tout un chacun; ou bien au contraire, renonçant à expliquer — souvent parce qu'il ne comprend pas lui-même — il se contentera de décrire des appareillages sans indiquer pourquoi telle ou telle solution a été adoptée.

M. LANDRAC a réussi cette gageure d'expliquer et de décrire. Sans doute y est-il parvenu, parce qu'il a compris et parce qu'il a vu.

Certes, la place qui lui était impartie ne lui permettait ni longs développements mathématiques, ni l'insertion des schémas complets de tous les appareils existants : plusieurs volumes eussent été nécessaires pour ce faire.

Car l'Enregistrement a pris depuis quelques années, dans notre monde, un tel développement qu'il s'intègre peu à peu à tous les domaines de la technique.

Le récent Congrès de Paris (avril 1954) a montré l'intérêt qu'y attachent les spécialistes de tous les pays du globe. Intérêt qui dépasse, et de beaucoup, le cadre de l'Enregistrement des Sons, lequel n'en reste pas moins l'élément de base et l'élément moteur essentiel. N'est-ce pas lui qui touche le plus directement le public ? Le développement du microsillon et du magnétophone n'a-t-il pas fait récemment rebondir son intérêt, en améliorant sa qualité d'une façon spectaculaire ? Sait-on qu'un énorme pourcentage des productions de radiodiffusion est enregistré : plus des deux tiers, en France — presque neuf dixièmes dans certains pays voisins ?

Nul mieux que M. LANDRAC, Ingénieur en Chef à la Radiodiffusion-Télévision Française, ne pouvait mettre en évidence les progrès de cette remarquable et universelle technique et faire le point de son état actuel.

Son ouvrage est dans ses grandes lignes la reproduction

du Cours d'enregistrement des sons qu'il professe depuis 1947 au Centre d'Enseignement de la Radiodiffusion-Télévision Française.

Il comprend trois parties nettement distinctes : l'enregistrement sur disque; l'enregistrement optique; l'enregistrement magnétique.

Dans chacune d'elles, il a suivi le même plan :

- Rappel des notions de base;
- Principe de fonctionnement du système considéré;
- Défauts divers et distorsions — Corrections;
- Réalisations pratiques.

L'extrait suivant de la table des matières donne une idée des questions traitées :

Enregistrement sur disque : Le mode d'écriture — Théorie du fonctionnement des graveurs — Gravures électrodynamiques, électromagnétiques — Courbe de réponse du graveur — Distorsions non linéaires à la gravure — Nouveaux standards — Théorie de la lecture — Lecteurs électrodynamiques, électromagnétiques, piézo-électriques — Fabrication des disques — Quelques réalisations.

Enregistrement optique : Eléments de sensitométrie — Procédés d'enregistrement — Enregistrement à densité variable, à densité fixe — Lecture optique — Distorsions diverses affectant l'enregistrement optique et solutions adoptées pour remédier à ces défauts.

Enregistrement magnétique : Principes généraux — Procédés d'enregistrement — Défauts affectant le magnétophone — Courbe de réponse — Distorsion harmonique — Bruit de fond — Défauts divers — Réalisations.

L'exposé clair et précis des phénomènes et l'excellente présentation de l'ouvrage rendent sa lecture à la fois facile et attachante. Nous ne saurions trop le recommander à tous ceux qui, à un titre quelconque, s'intéressent à cette technique aux rebondissements incessants.

J. M.

OFFRES D'EMPLOIS

031. — Recherchons jeune Ingénieur Radio ESE ou IEG, libéré Service Militaire, connaissant Anglais, pour Labo d'Applications, transistors, diodes Ge. Ecrire avec curriculum-vitæ à « LA RADIOTECHNIQUE », 130, av. Ledru-Rollin, PARIS-XP.

032. — Recherchons Ingénieur et Technicien connaissant l'anglais hautement qualifié pour réception, entretien, dépannage appareils mesures électroniques. Expérience appareils mesures indispensables. Ecrire tous détails, références, prétentions, à la Société qui transmettra.

OFFRES D'EMPLOIS (suite)

0.33 — Recherchons pour Laboratoire d'Etudes AGENT TECHNIQUE, 3^e Catégorie, bien qualifié, ayant une dizaine d'années d'expérience dans l'industrie des Télécommunications (Technique des impulsions en particulier). — Ecrire ou téléphoner pour rendez-vous à l'ELECTRONIQUE APPLIQUEE, 25, rue du Docteur-Finlay, PARIS (XV^e) SEC 14-75.

0.34 — Compagnie I.B.M. France offre situation bien rémunérée, stable et d'avenir, à :

INGENIEURS ELECTRONICIENS
ayant quelques années d'expérience
AGENTS TECHNIQUES ELECTRONICIENS
3^e catég. spécialis. impulsions.

Ecr. avec curr. vitée, 20, av. Michel-Bizot, PARIS-12^e.

0.35. — On recherche TECHNICIEN ou INGENIEUR, 5 ans de pratiq. ds l'industrie pte construct. électro-mécaniq. applicat. électronique pr contrôle en atelier. Sér. réf. — Ecr. ALVAR, 6 bis, r. du Progrès, à MONTREUIL (Seine).

0.36. — Recherchons INGENIEUR très spécialisé H.F. pr assumer rapid. des responsabil. — Ecrire réf. n° 49.520, CONTESSE et Cie, 8, sq. Dordogne, PARIS (17^e), q. tr.

0.37. — S.F.R. recherche : jeunes INGENIEURS, pr services essais et études (radars-multiplex). Env. curric. vit., 55, rue Greffulhe, LEVALLOIS.

NOTE RECTIFICATIVE

Le Formatron, Par Ed. LABIN

1^{re} et 2^e parties, juin 1954 (pages 518 à 524)
3^e partie, juillet 1954 (pages 614 à 621)

« M. GEORGES, Ingénieur au Laboratoire de Recherches Balistiques de Vernon, a eu l'amabilité de nous signaler une erreur qui s'est glissée dans l'un des derniers paragraphes de l'article sur le Formatron, concernant la démodulation d'une onde modulée en amplitude.

Le schéma que j'y donne d'un Formatron à faisceau annulaire et à interception ne résout pas en réalité le problème de la manière dont le diaphragme a été dessiné, c'est-à-dire formant un angle au centre à bords droits, car alors, les électrons restent dans l'ouverture pendant une fraction du temps qui est toujours la même, quelle que soit l'amplitude de l'onde modulée. Pour que le courant qui passe par le diaphragme dépende de cette amplitude, il faut, en réalité, que les bords du diaphragme, en partant du centre, dessinent deux courbes concaves, symétriques par rapport à la bissectrice de l'angle qu'elles forment au centre et telles que l'arc sous-tendu entre elles par un cercle concentrique représente une fraction croissante de ce cercle lorsque son rayon augmente.

Il n'est, d'autre part, pas vrai de dire que, dans un démodulateur de ce genre, la haute fréquence ne soit pas présente à la sortie, car le passage du faisceau par les bords du diaphragme crée des interruptions au rythme de cette haute fréquence. Cette propriété n'est obtenue que dans le second type de Formatron indiqué, celui à émission secondaire ».