

# L'ONDE ÉLECTRIQUE

34<sup>e</sup> ANNÉE. N° 324

MARS 1954

PRIX: 400 FRANCS

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS  
ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS - 6<sup>e</sup>

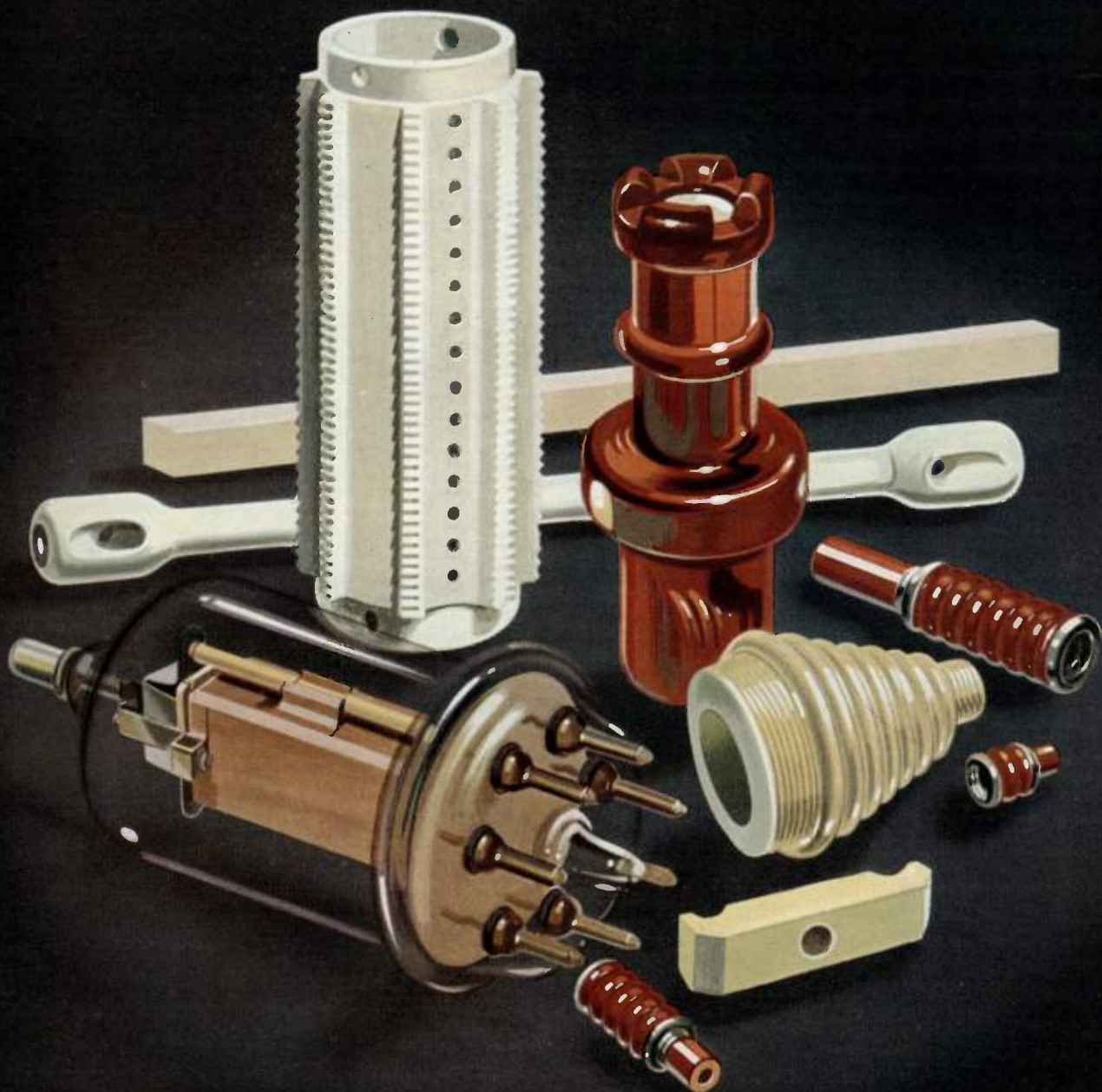


LE NOUVEL  
ENREGISTREUR-  
REPRODUCTEUR DERVEAUX  
répond à tous les besoins des grandes  
Administrations de l'État. Dimensions :  
22 - 15 - 10 cm — Durée 4 h. — Poids 4 kg

•  
CONGRÈS  
INTERNATIONAL  
DE  
L'ENREGISTREMENT  
PARIS  
1954

COMPAGNIE INDUSTRIELLE DES CÉRAMIQUES ÉLECTRONIQUES

**PIÈCES *détachées***  
POUR  
**L'INDUSTRIE RADIOÉLECTRIQUE**



DÉPARTEMENT

HAUTE FRÉQUENCE

**CICE**

USINE ET SERVICES COMMERCIAUX

128, R. DE PARIS - MONTREUIL/S/BOIS

AVRON 22-54 A 22-57

# 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  
à partir du 1-1-54  
FRANCE ..... 2500 F  
ÉTRANGER ..... 2800 »

ÉDITIONS CHIRON  
40, Rue de Seine — PARIS (6<sup>e</sup>)  
C. C. P. PARIS 53-35

Prix du  
Numéro :  
400 francs

Vol. XXXIV

MARS 1954

Numéro 324

## CONGRÈS SUR LES PROCÉDÉS D'ENREGISTREMENT SONORE ET LEUR EXTENSION A L'ENREGISTREMENT DES INFORMATIONS

### SOMMAIRE

|                                                                                                                               | Pages           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Comité d'honneur .....                                                                                                        | 193             |
| Liste des communications .....                                                                                                | 194             |
| SECTION I. — Généralités .....                                                                                                | 197             |
| SECTION II. — Enregistrement magnétique .....                                                                                 | 231             |
| SECTION III. — Enregistrement pour le cinéma .....                                                                            | 252             |
| SECTION IV. — Enregistrement mécanique .....                                                                                  | 256             |
| SECTION V. — Applications et extensions. ....                                                                                 | 265             |
| Les ondes métriques en radiodiffusion .....                                                                                   | C. MERCIER. 295 |
| Les parasites artificiels dans les systèmes de modulation par variation de l'amplitude et par variation de la fréquence ..... | D. MAURICE. 303 |
| Les polycylindres et la diffusion des ondes sonores .....                                                                     | M. LAMORAL. 308 |
| Vie de la Société .....                                                                                                       | 310             |

Sur la couverture :

Enregistreur - reproducteur DERVEAUX répond à tous les besoins des grandes administrations. Durée d'enregistrement 4 heures. Dimensions 22 x 15 x 10 cm. Poids : 4 klogs.

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)

Tel. ALESIA 04-16 — Compte de chèques postaux Paris 897-38  
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. MOUSSEIGT, 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. DOKES, 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. CARRENAV, 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. MARIQUE, 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. RIVÈRE, 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 »

# CONGRÈS INTERNATIONAL SUR LES PROCÉDÉS D'ENREGISTREMENT SONORE ET LEUR EXTENSION A L'ENREGISTREMENT DES INFORMATIONS

PARIS — 5-10 Avril 1954

Ce Congrès est organisé à la Maison de la Chimie, 28 bis, Rue St-Dominique, à PARIS, du 5 au 10 Avril 1954

par

## LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

avec le concours :

- du Groupement des Acousticiens de Langue Française,
- du Centre National de la Cinématographie Française,
- de la Commission Supérieure Technique du Cinéma,
- de la Radiodiffusion-Télévision Française,
- de la Fédération Nationale des Syndicats des Industries Radioélectriques et Electroniques,
- de la Fédération des Syndicats des Industries Techniques du Cinéma Français.

Le Congrès comporte également, au même lieu, du 4 au 11 Avril, une Exposition publique de matériel.

## COMITÉ D'HONNEUR DU CONGRÈS

**Président :** M. le Prince Louis de BROGLIE, Membre de l'Institut, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences.

M. ANGLÈS D'AURIAC H., Directeur du Centre Technique de l'Union Européenne de Radiodiffusion.  
M. BASTIEN P., Président de la Société des Ingénieurs Civils de France.  
M. BELLIER, Directeur des Industries Mécaniques et Electriques,  
M. le Général BERGERON, Président du Comité d'Action Scientifique de la Défense Nationale.  
M. BESSON, Directeur de l'Ecole Supérieure d'Electricité.  
M. CAHEN F., Président de la Société Française des Electriciens.  
M. CAQUOT A., Membre de l'Institut — Président de l'Association Française de Normalisation.  
M. DAMELET H., Président de la Fédération Nationale des Syndicats des Industries Radioélectriques et Electroniques.  
M. DAVEZAC H., Vice-Président, Délégué du Syndicat Général de la Construction Electrique.  
M. DE BOURBON-BUSSET, Directeur des Relations Culturelles,  
M. DUPOUY G., Membre de l'Institut — Directeur du Centre National de la Recherche Scientifique.  
M. EMON, Président du Syndicat des Constructeurs et Négociants en Matériel Cinématographique.  
M. FLAUD J., Directeur Général du Centre National de la Cinématographie.  
M. FRÉDÉRIC-DUPONT E., Président du Conseil Municipal de Paris.  
M. LABROUSSE P., Secrétaire Général des P.T.T.  
M. le Général LESCHI, Directeur des Services Techniques de la Radiodiffusion-Télévision Française.  
M. MARZIN, Directeur du Centre National d'Etudes des Télécommunications.  
M. MATHIEU F.C., Président de l'Association Française des Ingénieurs et Techniciens du Cinéma.  
M. MAUGE, Directeur de l'Ecole Technique de Photo et Cinéma.  
M. MÉTRAL A., Président du Syndicat Général des Industries Mécaniques et Transformation des Métaux.  
M. MEUNIER M., Président du Syndicat Général de la Construction Electrique.  
M. PAUTHENIER M., Président de la Société Française de Physique.  
M. PORCHÉ W., Directeur Général de la Radiodiffusion-Télévision Française.  
M. RAGEY L., Directeur du Conservatoire National des Arts et Métiers.  
M. REMAUGÉ A., Président de la Confédération Nationale du Cinéma Français.  
M. ROUVIÈRE, Directeur Général des Télécommunications.  
M. SUCHET, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications.  
M. TESSONNEAU, Administrateur Général de l'Institut des Hautes Etudes Cinématographiques.  
M. VALENSI, Directeur du Comité Consultatif International Téléphonique.  
M. VAN DER POL, Directeur du Comité Consultatif International des Radio-communications.

## COMITÉ D'ORGANISATION

**Président du Comité :** M. RABUTEAU G., Président de la Société des Radioélectriciens.

**Membres du Comité :**

Mme ANGEL  
MM. ADAM  
AUJAMES  
BRAILLARD  
CHARLES

MM. CHAVASSE  
CLAVIER  
DECEZ  
DERIAUD  
DIDIER

MM. DUFOUR  
GUIRAUDON  
LEHMANN  
LOVICH  
MATRAS

MM. MERCIER  
ORAIN  
PIRAUX  
PROTEAU  
TESTEMALE  
WEIL-LORAC

# CONGRÈS

## SUR LES PROCÉDÉS D'ENREGISTREMENT SONORE

### ET LEUR EXTENSION A L'ENREGISTREMENT DES INFORMATIONS

PARIS 5-10 AVRIL 1954

#### SECTION I. — Généralités (historique, problèmes communs, mesures)

| MM.                                                                                                                                           | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| AGINSKI, <i>Directeur du Laboratoire Industriel d'Electricité</i> et MM. O. CYTRIN et A. KAHN.                                                |       |
| « Les tendances actuelles dans la constitution d'une chaîne d'enregistrement. .... »                                                          | 197   |
| BRINER H., <i>Dr. rer. Nat, Assistant à l'Institut de Physique de l'Université de Fribourg.</i>                                               |       |
| « L'emploi de l'enregistrement sonore pour l'analyse des transitoires » .....                                                                 | 200   |
| BROUGHTON W.B., <i>Birkbeck College (Londres) et Laboratoire de Physiologie Acoustique de l'Institut National de recherche agronomique.</i>   |       |
| « Méthodes économiques pour l'examen oscillographique de signaux modulés » .....                                                              | 204   |
| BRUEL, <i>Directeur, Société Bruel et Kjaer.</i>                                                                                              |       |
| « Mesureur automatique de distorsion des enregistrements sonores » .....                                                                      | 212   |
| CACIOTTI Mario, <i>Ingénieur, chef du Service d'Enregistrement de la Radio Italienne avec le concours de Mlle BORDONE et de M. SACERDOTE.</i> |       |
| « Le pleurage dans les systèmes de reproduction sonore » .....                                                                                | 212   |
| CHAVASSE et VALLANCIEN.                                                                                                                       |       |
| « Sur l'application de l'enregistrement à l'étude de l'audition et de l'audiométrie » .....                                                   | 212   |
| DIDIER André, <i>Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.</i>                                                                |       |
| « Evolution de la technique d'enregistrement et de reproduction des sons » .....                                                              | 213   |
| GARRETT Jean-Wilfrid, <i>Conservatoire National des Arts et Métiers.</i>                                                                      |       |
| « Evolution des méthodes de restitution de l'espace auditif » .....                                                                           | 215   |
| 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 » .....                      | 226   |
| KORN Tadeusz, <i>Ingénieur E.P.V., chef de Travaux à l'Université de Bruxelles.</i>                                                           |       |
| « Compteur électronique pour la détermination de la probabilité du niveau du signal enregistré » .....                                        | 226   |
| LUBSZINSKI Alexandre, <i>Conservatoire National des Arts et Métiers.</i>                                                                      |       |
| « Les distorsions dans l'enregistrement et la reproduction des sons » .....                                                                   | 226   |
| MEUNIER, <i>Ingénieur en chef du Génie Maritime au Service Technique des Constructions et Armes Navales.</i>                                  |       |
| « Les problèmes d'enregistrement et l'acoustique sous-marine ». .... »                                                                        | 229   |
| ROUGET G., <i>attaché au Département d'Ethnologie musicale au Musée de l'Homme.</i>                                                           |       |
| « Enregistrement sonore et sciences humaines » .....                                                                                          | 229   |
| WARNIER A., <i>Ingénieur à la Cie Française Thomson-Houston.</i>                                                                              |       |
| « La qualité musicale des enregistrements et l'utilisation des compresseurs-décompresseurs » .....                                            | 230   |

#### SECTION II. — Enregistrement magnétique

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ARNAUD P.                                                                                  |     |
| « Magnétophones. Edition et Standardisation. .... »                                        | 231 |
| BORNE J., <i>Ingénieur. Laboratoires d'Electronique et de Physique appliquée.</i>          |     |
| « Etude du processus d'enregistrement magnétique avec courant alternatif superposé » ..... | 231 |

|                                                                                                                                               | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| MM.                                                                                                                                           |       |
| FONTAN PEREZ, <i>Ingénieur des Télécommunications espagnoles.</i>                                                                             |       |
| « Divers aspects de l'exploitation de l'enregistrement magnétique en radiodiffusion »                                                         | 234   |
| GALLET, <i>Ingénieur des Télécommunications.</i>                                                                                              |       |
| « Origine et particularités des bruits de fond dans l'enregistrement sur bande magnétique »                                                   | 234   |
| « Contrôle de la qualité des bandes magnétiques »                                                                                             | 240   |
| KLEIS D., <i>Société Philips d'Eindhoven.</i>                                                                                                 |       |
| « Dynamique de l'enregistrement magnétique »                                                                                                  | 240   |
| LOVICH I. A. et J.P. DERIAUD, <i>Ingénieurs aux Laboratoires Kodak-Pathé.</i>                                                                 |       |
| « Les oxydes de fer utilisés dans la fabrication des films magnétiques »                                                                      | 241   |
| PERILHOU Jean, <i>Laboratoire d'Electronique et de Physique Appliquée.</i>                                                                    |       |
| « L'Enregistrement magnétique des fréquences supérieures à 100 kc/s. Conditions physiques à observer — limites actuelles »                    | 242   |
| SCHIESSER Hans, <i>Docteur-Ingénieur, Rundfunk Technisches-Institut Nuremberg.</i>                                                            |       |
| « Les nouveaux appareils d'enregistrement magnétique du son employés par les Sociétés de Radiodiffusion de la République fédérale allemande » | 244   |
| SOUBRIER Maurice.                                                                                                                             |       |
| « Où en est actuellement le magnétophone du point de vue de l'utilisateur »                                                                   | 247   |
| 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 »                      | 247   |
| WESTMIJZE W.K., <i>Laboratoire de Recherches Philips N.V. Philips' Gloeilampen-fabrieken, Eindhoven.</i>                                      |       |
| « Reproduction des petites longueurs d'ondes enregistrées sur bande magnétique »                                                              | 248   |

## SECTION III. — Enregistrement pour le cinéma

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DELBORD Y.L., <i>Ingénieur en chef, chargé du Département Infrarouge et Télévision du C.N.E.T.</i>                                     |     |
| « L'enregistrement cinématographique des images de télévision et images similaires (Radar, etc...) »                                   | 252 |
| 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 »                                                | 252 |
| LOVICH I. A., <i>Ingénieur en chef, Laboratoires de recherches électro-acoustiques de la Société Kodak-Pathé.</i>                      |     |
| « Comparaison entre les propriétés électroacoustiques des enregistrements photographiques et des enregistrements magnétiques »         | 253 |
| OLIVERES Ch., <i>Directeur de la Société Oliver.</i>                                                                                   |     |
| « La synchronisation des projecteurs amateurs et des magnétophones »                                                                   | 253 |
| VIVIÉ Jean, <i>Secrétaire général de la Commission supérieure technique du Cinéma.</i>                                                 |     |
| « L'incidence des techniques nouvelles du son sur la normalisation du cinéma »                                                         | 255 |

## SECTION IV. — Enregistrement mécanique

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CAILLEZ Y., <i>Industries musicales et électriques Pathé-Marconi.</i>                                             |     |
| « Les bruits de fond du disque »                                                                                  | 256 |
| GILOTAUX Pierre, <i>Ingénieur E.S.E., Industries musicales et électriques Pathé-Marconi.</i>                      |     |
| « Les caractéristiques d'enregistrement des disques »                                                             | 257 |
| MEUNIER P., <i>Ingénieur à la Radiodiffusion-Télévision Française.</i>                                            |     |
| « Etude de la suspension des graveurs de disques et des conditions de coupe dans la gravure des disques souples » | 260 |
| SAINT-HILAIRE A.B., <i>Ingénieur E.C.P.</i> et RAVEL L., <i>Directeurs de la Sté Pyral.</i>                       |     |
| « Le disque pour enregistrement direct »                                                                          | 264 |

## SECTION V. — Applications et extensions

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| BALP André <i>Ingénieur en chef Laboratoire de Recherches Electro-Mécaniques.</i>                           |     |
| « Enregistrement automatique de la pluviométrie d'une haute vallée en vue de travaux hydroélectriques »     | 265 |
| CHALLIER Louis.                                                                                             |     |
| « Le typosonographe phonétique ou phonétographe de J. Dreyfuss-Graf, Ingénieur du Polytechnicum de Zurich » | 267 |

| MM.                                                                                                                                                                          | Pages |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Druet Yves, KUHNE Rudolf, <i>Ingénieurs de recherches à l'O.N.E.R.A.</i>                                                                                                     |       |
| « Sur un dispositif d'enregistrement des impulsions » .....                                                                                                                  | 268   |
| Dufour Charles, <i>chef de Service à la Cie Générale de T.S.F., Centre de Corbeville à Orsay.</i>                                                                            |       |
| « Quelques applications des tubes cathodiques à mémoire électrostatique » .....                                                                                              | 271   |
| DUMOUSSEAU C., <i>Chef de Service au Laboratoire Central de Télécommunications.</i>                                                                                          |       |
| « Mémoire de grande capacité à bande magnétique et quelques unes de ses applications » .....                                                                                 | 271   |
| DUPON-TERSEN Yves, <i>Oto-Rhino-Laryngologiste — Conseiller médical de la Cie Fsc d'Audiologie.</i>                                                                          |       |
| « L'enregistrement magnétique et son utilisation en audiologie clinique : le phénomène de l'auto-audition retardée » .....                                                   | 272   |
| DUPOUY GEORGES, <i>Ingénieur des Ponts et Chaussées au Laboratoire National de Radioélectricité.</i>                                                                         |       |
| « Enregistrement géophysique sur bande de magnétophone » .....                                                                                                               | 272   |
| FORTY Albert, John, B.A., A.M.I.E.E. <i>British Post Office.</i>                                                                                                             |       |
| « Une technique photographique de l'enregistrement sonore sur les disques en verre » .....                                                                                   | 273   |
| GARREAU, <i>Société Sareg.</i>                                                                                                                                               |       |
| « Mesure et transmission de grandeurs physiques par le moyen de l'enregistrement magnétique : Télé-indicateur parlant de niveau d'eau » .....                                | 273   |
| « Enregistrement magnétique de longue durée : un dispositif à têtes tournantes utilisant le film magnétique perforé 35 mm » .....                                            | 273   |
| Général GILSON, <i>Directeur des Etablissements Belin.</i>                                                                                                                   |       |
| OEMICHEN, <i>Ingénieur aux Etablissements Belin.</i>                                                                                                                         |       |
| « Applications de l'enregistrement aux mesures de temps et au contrôle de position d'un mobile » .....                                                                       | 274   |
| Lieutenant-Col. LOCHARD Jean, <i>ancien élève de l'Ecole Polytechnique. Ingénieur Radioélectricien E.S.E.</i>                                                                |       |
| « Enregistrement et corrélation optique » .....                                                                                                                              | 276   |
| PASQUINELLY F., <i>Laboratoire de physiologie acoustique de l'Institut National de la Recherche Agronomique.</i>                                                             |       |
| « Extension des procédés mécaniques d'enregistrement à la bande infra-sonore et son application à l'étude des mouvements physiologiques de très faible amplitude » .....     | 279   |
| POTIER G., <i>Ingénieur à la Sté « Le Matériel Téléphonique ».</i>                                                                                                           |       |
| « Sur la nécessité d'enregistrer les informations dans les transmissions par modulation d'espacement d'impulsions » .....                                                    | 282   |
| POULLIN Jacques, <i>Chef de travaux au Groupe de recherches de Musique Concrète de la Radio-Télévision Française.</i>                                                        |       |
| « L'apport des techniques d'enregistrement dans la fabrication de matières et de formes musicales nouvelles. Applications à la musique concrète » .....                      | 282   |
| RAYMOND François, <i>Directeur de la Société d'Electronique et d'Automatisme et J. ALBIN, Ingénieur de Recherches à la Société d'Electronisme et d'Automatisme.</i>          |       |
| « L'enregistrement magnétique dans le domaine des machines à calculer » .....                                                                                                | 291   |
| TOUTAN, <i>Ingénieur des Télécommunications, Centre National d'Etudes des Télécommunications.</i>                                                                            |       |
| « Une ligne à retard variable à ruban magnétique » .....                                                                                                                     | 291   |
| VASSEUR J.P., <i>Société Française Radioélectrique.</i>                                                                                                                      |       |
| « Possibilités d'améliorer le rendement d'une liaison par un enregistrement des informations — Application à la retransmission d'une image de radar ou de télévision » ..... | 294   |

# SECTION I. — GÉNÉRALITÉS

## (Historique, problèmes communs, mesures)

### LES TENDANCES ACTUELLES

#### DANS LA CONSTITUTION D'UNE CHAÎNE D'ENREGISTREMENT

PAR

P. AGINSKI, O. CYTRIN, A. KAHN  
*Laboratoire Industriel d'Électricité*

Entre une source sonore quelle qu'elle soit et le support sur lequel le son sera enregistré, la chaîne d'enregistrement est constituée par un certain nombre d'amplificateurs, d'atténuateurs fixes ou variables et de systèmes correcteurs.

Il y a un très grand nombre de manières d'associer ces divers éléments compte tenu de deux impératifs que l'on doit toujours chercher à satisfaire dans la plus grande mesure possible :

— obtenir le meilleur rapport signal/bruit de manière à pouvoir transmettre la plus grande dynamique possible;

— éviter les surcharges génératrices de distorsion.

Dans cette recherche vers la perfection, on est guidé d'une part par les qualités du support (par exemple bruit de fond propre au film photographique ou à la bande magnétique) d'autre part par les performances que l'on peut obtenir des circuits électriques ou des tubes radio.

#### AMPLIFICATEURS.

Les conditions imposées à la chaîne d'amplification dans le cas de l'enregistrement du son sont particulièrement sévères. Nous traiterons en particulier de la distorsion, du bruit de fond et de la linéarité du gain en fonction de la fréquence, aussi bien dans le cas de l'amplificateur de tension, que de l'amplificateur de puissance.

#### Distorsion.

La présence de différents filtres, mélangeurs, etc..., dans la chaîne d'enregistrement introduit des affaiblissements non négligeables. Les amplificateurs de tension doivent donc pouvoir délivrer des tensions assez considérables qui peuvent se chiffrer par des dizaines de volts.

Souvent certains appareils de ce type utilisés usuellement sur le continent et par les Anglo-Saxons présentent des coefficients d'intermodulation non négligeables : par exemple 10 % pour 20 v de sortie.

Une contre-réaction utilisée correctement réduit cette intermodulation à 2 %.

Dans l'enregistrement photographique et mécanique des puissances assez considérables sont mises en jeu. Quand il s'agit de l'amplification simultanée de courants de fréquences différentes, la puissance délivrée est réduite dans un rapport très important par rapport à la puissance délivrée pour un courant d'une seule fréquence. Par conséquent, une réserve assez confortable de puissance doit être prévue dans les installations d'enregistrement de qualité.

Presque toujours une contre-réaction assez importante est appliquée aux amplificateurs de puissance pour améliorer leurs caractéristiques.

La C. R. n'est pas un remède universel et infailible. Si la rotation de phase pour certaines fréquences en l'absence de C. R. est trop grande on ne peut appliquer une C. R. importante même si cela ne compromet pas la stabilité de l'appareil. On peut réduire cette rotation de phase en l'appliquant une C. R. partielle qui embrasse un seul étage, ou même dans certains cas une série de C. R. partielles. On établit ainsi des conditions correctes qui permettent l'application d'une C. R. totale qui embrasse alors tout l'amplificateur. Grâce à ce procédé, le conflit entre triodes et pentodes utilisées en étage final, peut être tranché au profit de pentodes, car à qualité égale elles permettent une économie sur la puissance exigée de la source d'alimentation.

#### Bruit propre de l'amplificateur.

Protection contre les inductions, choix des tubes et des éléments sont des moyens utilisés pour augmenter la dynamique.

Protection contre les inductions : câblage soigné, blindage approprié, chauffage des tubes en courant continu, injection dans un circuit de l'amplificateur d'une tension réglable en phase et en amplitude; quand cette tension est égale à la tension due à l'induction et en opposition de phase, l'effet de l'induction est annulé.

Dans le choix des tubes la préférence est donnée aux triodes au point de vue souffle.

Gain en fonction de la fréquence.

Dans la mise en œuvre des nouveaux procédés d'enregistrement (magnétique, microsillon, système stéréophonique), la tendance est à l'élargissement de la bande passante. On mentionne couramment une bande de 40 c/s à 15.000 c/s.

Les difficultés d'amplification uniforme de cette large bande sont surmontées par l'élimination dans la mesure du possible des selfs et des transformateurs, et par l'utilisation de la C. R.

Amplificateurs à gain automatique variable.

L'utilisation des compresseurs est d'un usage courant dans la technique de l'enregistrement, celle des expanseurs à la reproduction est beaucoup plus rare.

On dit souvent que l'expansion n'est pas justifiée car la dynamique de la bande magnétique est suffisamment grande. Si cela est vrai pour les fréquences du médium, on est assez éloigné de la dynamique désirée pour les fréquences graves et aiguës. La tendance actuelle étant de donner l'illusion complète de la réalité au son reproduit, il paraît donc difficile de ne pas se servir de l'opération complète compression-expansion. Quant à l'apparition du souffle, en corrélation avec la variation du gain à la reproduction, on peut diminuer cet inconvénient sinon le supprimer en soumettant uniquement les fréquences graves et aiguës au cycle compression-expansion.

Dans les amplificateurs à gain variable qui font appel aux tubes à pente variable, des soins particuliers sont apportés à la réalisation du montage « push-pull » qui est indispensable pour aplanir le conflit, constante de temps — distorsion.

Un autre appareil de ce genre ne nécessite pas l'utilisation du montage « push-pull ». Le gain variable est obtenu dans un diviseur de tension dont une branche est une résistance fixe et l'autre automatiquement variable en fonction du signal de commande. La résistance automatiquement variable se compose de 4 éléments, 2 diodes + 2 résistances, ou 4 diodes, disposés en pont de telle façon que la résiduelle alternative qui est contenue dans le signal de commande soit annulée.

Assez récemment a été étudié un appareil à gain variable dont tous les éléments sont linéaires.

Le signal à commander est intermodulé par des impulsions rectangulaires de fréquence fixe. Si  $K$  est le rapport de la durée d'une impulsion à la période, on démontre que le signal modulé contient le signal utile dont l'amplitude a été multipliée par  $K$ . Il suffit donc de faire varier  $K$  suivant la loi de la compression et de l'expansion que l'on désire.

A noter la présence dans certains systèmes d'un signal de commande préenregistré ou piste pilote. On l'utilise pour les canaux d'ambiance. Elle peut aussi commander l'expansion à la reproduction.

Une description complète des amplificateurs d'une chaîne d'enregistrement moderne sera donnée.

## SYSTÈMES DE MÉLANGE.

L'évolution de ces dernières années s'est faite à deux points de vue différents :

— d'une part dans la manière de faire le schéma de la chaîne,

— d'autre part dans la manière de réaliser les matériels destinés au mélange.

Nous nous placerons pour étudier ces deux aspects à un point de vue tout à fait général : les sources sonores seront supposées prises initialement à un niveau microphonique de — 65 dB environ et l'extrémité de la chaîne sera la modulation complète élaborée après mélange et correction nécessaires et amenée à un niveau de + 12 dB à partir duquel nous considérons que cette modulation est exploitable. Elle peut aussi bien attaquer un amplificateur d'enregistrement magnétique et après les amplification et prédistorsion nécessaires attaquer une tête d'enregistrement magnétique; elle peut de la même manière être transformée pour actionner un modulateur de lumière d'enregistrement sur film photographique. Le réenregistrement sera traité à titre de cas particulier.

Le mélange de stéréophonie sera également abordé.

Les différents systèmes de mélange peuvent être classés en trois catégories :

- le mélange à basse impédance;
- le mélange à haute impédance;
- le mélange par éléments séparés.

Le premier système est celui qui était le plus couramment employé jusqu'à ces dernières années.

Il a pour principaux inconvénients :

— l'utilisation de réseaux à impédance constante donc comportant beaucoup de résistances et partant encombrants et coûteux;

— un grand affaiblissement introduit dans la chaîne en un point donné car à l'affaiblissement introduit délibérément sur chaque voie s'ajoute la perte due aux résistances d'adaptation.

Une amélioration de ce système est celui préconisé par MILLER et KIMBALL qui par l'adjonction d'un transformateur réduit la perte de jonction.

Le mélange à haute impédance se fait en particulier d'une des deux manières suivantes :

— les plaques des lampes amplificatrices dans chaque voie sont en parallèle sur la même résistance de charge et le gain de chaque voie est réglé par un potentiomètre placé dans la grille de la lampe correspondante;

— les potentiomètres de réglage des voies sont couplés par capacité aux plaques des lampes des voies correspondantes et sont eux-mêmes branchés en parallèle.

Dans ces montages les inconvénients du montage basse impédance sont tous deux supprimés. Les montages à haute impédance étaient adoptés ces dernières années par de nombreux utilisateurs aussi bien en France qu'à l'étranger.

La tendance actuelle est encore bien différente; le mélange se fait de nouveau si l'on peut dire à basse impédance mais uniquement par un jeu de résistances fixes. Par contre, le réglage du gain de chaque voie se fait par potentiomètre sur la grille d'une lampe de l'amplificateur correspondant. Ce système a l'avantage de répartir d'une manière heureuse les affaiblissements et les gains dans la chaîne et présente l'avantage d'une grande souplesse : il permet en particulier de constituer très aisément une chaîne de mélange quel que soit le nombre de voies que l'on désire mélanger.

## ATTÉNUATEURS.

Les atténuateurs à plots utilisés dans l'enregistrement du son ont évolué dans le sens d'une plus

grande souplesse puisque la marge de réglage est passée successivement de 30 dB à 42 dB pour atteindre 56 dB.

Les lois de variation de l'affaiblissement ont été également modifiées, l'atténuation par plot étant devenue inférieure à 1 dB du côté des atténuations faibles.

Mais la modification la plus importante récemment apportée aux atténuateurs est de les réaliser à commande linéaire. Des réalisations allemandes existent déjà d'une manière courante. En France, ces atténuateurs sont encore à l'état de prototypes. Ce type d'atténuateur est d'un emploi particulièrement pratique en stéréophonie où un seul opérateur doit exécuter simultanément un grand nombre de réglages (mélange ou volume son).

#### FILTRES.

L'utilisation des filtres dans la chaîne d'enregistrement se répand de plus en plus. Leur but est double :

- a) La limitation de la bande transmise ce qui permet d'améliorer le rapport signal/bruit de fond;
- b) La réalisation de certains effets sonores.

L'emploi des circuits magnétiques en poudre de fer sous forme de tore et surtout des circuits magnétiques en ferrite, ainsi que des condensateurs au mica ou au styroflex a permis une réduction notable de volume, la suppression des effets nuisibles comme le ramassage des champs extérieurs ou l'instabilité de fonctionnement. Par suite l'emplacement des filtres est devenu moins critique.

Les filtres couramment employés dans les enregistrements sont :

- a) Les filtres passe-haut éliminant les fréquences basses, avec une fréquence de coupure située au voisinage de 40 Hz;
- b) Les filtres passe-bas supprimant le spectre des fréquences supérieures et dont la fréquence de coupure est variable et dépend du système d'enregistrement.

Cette fréquence de coupure se situe en général entre 6.000 Hz et 15.000 Hz;

- c) Les filtres combinés passe-haut et passe-bas à plusieurs fréquences de coupure surtout utilisés pour la réalisation des effets sonores.

#### CORRECTEURS.

Les systèmes de correction trouvent leur place dans les chaînes d'enregistrement en même temps que les filtres et même leur emploi est plus répandu.

Si antérieurement leur usage était limité à la correction des courbes de transmission, la tendance actuelle de leur emploi est beaucoup plus variée.

Au point de vue calcul on peut les classer en systèmes à impédance constante et ceux à variation d'impédance.

Les éléments constitutifs sont très réduits :

- les inductances sont soit en ferrite pour les fréquences élevées, soit en noyaux en tôles pour les fréquences basses;
- les condensateurs sont au papier — au styroflex ou au mica;
- les résistances sont bobinées, agglomérées ou à couches.

Les conditions de réalisation d'ensembles plus réduits, plus stables et créant un rayonnement plus faible sont plus facilement tenues qu'auparavant. Citons comme correcteurs couramment employés dans la technique de l'enregistrement :

- a) Le correcteur de parole réduisant le spectre des fréquences graves;
- b) Le correcteur de présence permettant de réaliser l'effet de présence;
- c) Le correcteur de gravure (pour l'enregistrement des disques);
- d) Le correcteur transformant l'enregistrement à tension constante en enregistrement à intensité constante (cas de l'enregistrement magnétique);
- e) les correcteurs universels permettant de relever ou d'atténuer le spectre aussi bien pour les fréquences graves que pour les fréquences aiguës;
- f) Les correcteurs de courbes de Fletcher.

Ces correcteurs reproduisant plusieurs courbes de Fletcher (pour plusieurs niveaux) sont jumelés avec des atténuateurs et permettent de réaliser plusieurs courbes de transmission afin de produire un effet d'éloignement ou de rapprochement de la source sonore.

#### ALIMENTATIONS.

Des soins sont spécialement apportés à la réalisation des alimentations que nous classerons en deux catégories :

- a) Les alimentations « secteur »;
- b) Les alimentations pour matériel portatif en partant d'accumulateurs.

Les alimentations secteur doivent correspondre aux exigences accrues que l'on demande au matériel d'amplification; on réalise donc un filtrage plus soigné pour réduire le coefficient de ronflement. D'autre part, les filtres sont calculés à une fréquence de coupure très basse pour réduire l'influence des impulsions de secteur ainsi que les réactions entre étages amplificateurs par l'alimentation.

Le rayonnement des alimentations est particulièrement réduit grâce aux soins apportés à la constitution des transformateurs d'alimentation et des inductances (noyaux en double C, faible saturation des inductances, utilisation de tôles pour obtenir un faible courant magnétisant).

L'emploi des redresseurs secs pour obtenir la H. T. permet de réduire le volume et d'accroître le coefficient de sécurité — très souvent l'alimentation du chauffage se fait en courant redressé et filtré pour réduire le bruit de fond.

Par contre la stabilisation de l'alimentation a perdu partiellement son intérêt, les amplificateurs étant à contre-réaction.

Les alimentations pour matériel portatif se sont modifiées. En général on utilise des accumulateurs soit au plomb, soit au ferro-nickel. Comme redresseur, on emploie soit une commutatrice à courant continu, soit un vibreur.

On doit signaler l'apparition d'alimentations qui permettent d'obtenir la haute tension par un système à contacts chargeant une batterie de condensateurs en parallèle et produisant le courant continu en mettant les condensateurs en série. Ce dispositif ne produisant pas d'usure des contacts paraît nettement supérieur au système à vibreur.

## L'EMPLOI DE L'ENREGISTREMENT SONORE POUR L'ANALYSE DES TRANSITOIRES

PAR

Hermann BRINER

*Dr. rer. nat., Assistant à l'Institut de Physique  
de l'Université de FRIBOURG (Suisse)*

La précision d'une analyse de fréquences acoustiques est en proportion inverse du temps disponible. L'enregistrement sonore permet de répéter un phénomène de courte durée, de façon à rendre possible une analyse suffisamment exacte. Pour étudier l'évolution du spectre de fréquence variable vers le régime stationnaire, durant le phénomène transitoire d'une information, il convient de répéter des fractions successives du transitoire aussi souvent que nécessaire. A cet effet, on peut employer un enregistrement sonore magnétique ou optique sur une bande sans fin. Par le moyen d'un dispositif électronique, il faut veiller à ce que l'enregistrement commence au début de l'information pour s'arrêter exactement après un tour complet de la bande. Un certain nombre de lecteurs disposés à distances égales le long de l'enregistrement permettent, au moyen d'un commutateur électronique, de répéter sans interruption une partie de l'enregistrement qui correspond à la distance entre deux lecteurs. Ainsi, en n'enregistrant qu'une seule fois le transitoire complet, on arrive à établir les spectres de segments successifs.

### Introduction.

La question de vouloir donner une explication physique au phénomène du timbre d'un son est très ancienne, et on a cru pouvoir y donner une réponse, en coordonnant à chaque timbre un certain spectre d'harmoniques. L'électroacoustique, permettant des recherches plus commodées et surtout plus précises, a détrôné ce point de vue, en reconnaissant le phénomène transitoire comme responsable du timbre sonore. En effet, en coupant le régime transitoire d'un son (ce qu'on peut faire très facilement au moyen d'un enregistrement sur bande magnétique) pour en retransmettre uniquement la partie stationnaire, on maintient la sensation d'une « qualité » du son, mais non plus celle d'un timbre dû à un instrument donné. L'expérience de jouer à l'envers un disque de gramophone est très connue : le contenu en harmoniques des sons stationnaires n'est pas altéré, mais l'échange et l'inversion des régimes transitoires de chaque son suffit à altérer complètement le timbre. Enfin, on peut comparer les spectres des sons stationnaires d'instruments de la même famille, par exemple d'une certaine quantité de violons. Les spectres diffèrent beaucoup, et il serait difficile de reconnaître une loi générale de formation qui serait caractéristique pour la même sensation « violon » que tous ces instruments provoquent, des meilleurs aux plus mauvais.

Bien que tout ceci soit connu depuis une trentaine d'années, les recherches dans ce domaine n'ont pas encore été assez complètes pour donner des indications concluantes sur la question du timbre, même sur le seul plan de la physique. Du point de vue physiologique et psychologique s'ajoutent de nombreuses complications, sur lesquelles nous ne pouvons nous étendre ici, mais qui doivent être considérées une fois la question éclaircie, au moins du côté de la physique.

Puisque la précision d'une analyse de fréquences acoustiques est en proportion inverse du temps à disposition, les moyens classiques d'analyse pour

les sons stationnaires ne sont pas applicables sans autre à une étude des phénomènes transitoires acoustiques, dont la durée atteint, au maximum, l'ordre de grandeur de 0,1 s. Nous avons donc envisagé l'application de l'enregistrement sonore pour répéter assez longtemps un phénomène de courte durée, afin de permettre une analyse suffisamment exacte.

### Méthodes de mesure.

Une grande partie des nombreux travaux sur l'analyse du son envisage l'examen du régime transitoire. On peut classer les méthodes de mesure employées en trois catégories :

1° Subdivision du domaine acoustique en bandes de fréquences au moyen de filtres (d'une octave ou d'un tiers d'octave) et enregistrement de la sortie de ces filtres (variable dans le temps), en renonçant à une détermination plus exacte des fréquences (Freystedt);

2° Fixation d'un analyseur quelconque successivement sur les sons partiels présents dans le régime stationnaire, et enregistrement de l'évolution de ces sons partiels depuis le début du son jusqu'à leur amplitude finale (Backhaus);

3° Subdivision très poussée du spectre (et donc bonne détermination des fréquences) afin d'obtenir une image de la variation des sons partiels (harmoniques et non) en renonçant à des indications très exactes des amplitudes, l'intensité des sons partiels étant donnée par le noircissement de l'image (Visible Speech et procédés analogues).

Notre but était d'obtenir une analyse précise en fréquence et en amplitude, pour des subdivisions successives d'un phénomène transitoire.

### Tâche.

Nous nous sommes proposés plus exactement les tâches suivantes :

a) Le régime transitoire doit être subdivisé en segments de l'ordre de 1/100 de seconde ;

b) De chacun de ces segments successifs, il faut établir, avec le maximum de précision possible, le spectre de fréquence (fréquences en abscisse et amplitudes en ordonnée);

c) Il ne suffit pas de connaître les amplitudes des harmoniques du son fondamental, mais l'analyse doit s'étendre sur tout le domaine acoustique;

d) Le spectre doit apparaître sur un oscillographe à rayons cathodiques pour pouvoir facilement être photographié;

e) Pour toute l'analyse il doit être suffisant de ne produire qu'une seule fois le phénomène transitoire;

f) L'analyse doit se faire le plus directement possible, c'est-à-dire avec un minimum d'opérations intermédiaires;

g) Il n'est pas nécessaire d'envisager des temps d'analyse extrêmement courts, mais d'autre part, le temps employé ne doit pas non plus dépasser considérablement celui déterminé par la définition spectrale requise.

#### Méthode d'analyse.

Entre les différentes méthodes possibles, on a choisi l'analyse à hétérodyne, à cause de ses nombreux avantages. C'est surtout cette méthode qui nous fournit une solution permettant d'obtenir directement, sur l'écran d'un oscillographe à rayons cathodiques, le spectre de fréquence. En effet, la fréquence du son de balayage peut être variée par une tension en dent de scie prélevée de la déflexion horizontale du spot. De cette façon, à chaque position du spot sur l'axe des abscisses correspond une fréquence acoustique déterminée.

En choisissant comme fréquence intermédiaire 50 kHz (filtre en quartz d'une largeur de bande réglable) on jouit des facilités suivantes :

a) Le son de balayage ne doit varier qu'entre 50 et 70 kHz pour saisir tout le domaine acoustique d'environ 10 octaves;

b) Le son de balayage ne doit pas être nécessairement sinusoïdal, puisque les harmoniques et leurs modulations avec les signaux acoustiques ont des fréquences supérieures à celle du filtre;

c) Les amplitudes, à la sortie du filtre, étant données par le produit de l'amplitude du son de balayage et de celles des composantes acoustiques, il est important que le balayage se fasse avec une amplitude constante. Puisque les déformations du balayage n'ont pas d'importance (voir b) on obtient des amplitudes constantes de son fondamental par limitation au moyen de diodes.

Grâce à ces constatations, la construction du générateur de balayage est considérablement simplifiée, et en principe, on peut utiliser une forme d'onde rectangulaire (donc un commutateur). En outre dans la relation de Salinger

$$\frac{\Delta \nu}{\gamma} \gg S$$

où  $\Delta \nu$  est la largeur de bande de l'analyseur et  $\gamma$  la vitesse du balayage en Hz/sec, la grandeur  $S$  qui pour une méthode à battements et à filtre passe-bas vaut 8, peut être substituée par la valeur bien plus avantageuse de 1,5, ce qui représente une réduction du temps d'analyse d'un facteur 30. Il est cependant recommandable de se limiter à  $S = 3,5$ , valeur qui donne un minimum de largeur de bande apparente (Barber).

Comme générateur du son de balayage on a choisi un montage à résistance-capacité, montage intéressant pour ses qualités de constance de fréquence. La fréquence de tels oscillateurs étant donnée par  $k/RC$ , où  $R$  et  $C$  sont les valeurs d'un certain nombre de résistances et de capacités (nombre variable suivant le genre de montage), il suffit de remplacer ces résistances par des tubes électroniques de façon à ce que la tension de grille, variable avec la tension de déflexion horizontale du spot, en

change la résistance, pour obtenir la commande automatique de la fréquence.

#### Enregistrement du régime transitoire.

Étant donnée la durée de 1/100 sec des fractions du transitoire à analyser, on ne peut pas, par principe, demander une détermination des fréquences plus exacte que de 100 Hz (voir plus bas). Ceci donne pour  $S = 3,5$  une vitesse de balayage de 820 Hz/sec, et donc pour l'analyse complète des 20'000 Hz audibles une durée de 25 sec, ce qui signifie que le tronçon du phénomène transitoire de 1/100 sec doit être répété 2.500 fois. Il est clair que le meilleur moyen d'obtenir une répétition si fréquente est celui de recourir à un enregistrement sonore :

1. Enregistrement sur film. Un enregistrement photographique ou mécanique (Philips-Miller) peut être découpé facilement par suite de la visibilité du tracé, et les bouts collés en boucles se prêtent bien à la répétition requise. On peut même renoncer à un générateur de fréquence de balayage, puisque le principe de l'hétérodyne serait obtenu en variant la vitesse de rotation des boucles. Si ces boucles ne doivent pas avoir des dimensions trop réduites, l'enregistrement sonore devrait être effectué à une vitesse exagérée, ce qui toutefois ne serait pas impossible. On pourrait même éviter le mouvement rotatoire des boucles, en employant des bouts du film comme réseau de diffraction (Schouten), procédé qui est très indiqué pour obtenir une première orientation, mais qui ne donne les valeurs des amplitudes que par photométrie.

II. Enregistrement sur bande magnétique. Le procédé peut être en principe le même que pour le film, mais avec le désavantage que le découpage est un peu plus délicat, puisque le tracé magnétique n'est pas visible sans autre, de façon qu'il serait difficile, en formant des boucles, d'éviter des sauts aux points de collage. L'objection de la grande vitesse d'enregistrement reste toujours valable.

#### Subdivision de l'enregistrement.

Le découpage de l'enregistrement sur film ou sur bande magnétique a encore le désavantage, qu'une fois effectué, il serait difficile de choisir une autre subdivision du même enregistrement, si cela se démontrait être nécessaire. En plus, ce procédé constitue une perte de temps assez considérable qu'on peut éviter. L'analyse devrait pouvoir se faire, si possible, peu de temps après l'enregistrement, ce dernier pouvant, le cas échéant, être répété. Toutes ces raisons, ainsi que la facilité d'effacer une prise de son, nous ont décidé à choisir la bande magnétique, mais le procédé que nous exposons ci-après est applicable en principe aussi avec le film sonore.

Supposons que l'enregistrement se fasse sur la circonférence d'un cylindre, procédé qui permet une grande vitesse du tracé. Pour n'analyser qu'une partie de l'enregistrement, il suffit de n'enclencher la tête de reproduction que durant le passage périodique d'un certain secteur de longueur  $\tau_s$ . De cette façon, on n'arrive pas à la répétition suivie de ce secteur, puisque entre un passage et le suivant la tension d'entrée de l'analyseur est nulle. Pour éviter ceci, donc pour obtenir le même effet que lorsqu'on laisse tourner une boucle sans fin,

nous avons disposé régulièrement autour du cylindre enregistreur, en plus des têtes de prise et d'effacement, 6 têtes de reproduction (le nombre pourrait en être augmenté sans autre par ex. à 10). De ces têtes, une seule à la fois se trouve être enclenchée et elle le reste pendant un sixième de tour du plateau, après quoi c'est la tête suivante qui reprend la reproduction du même secteur dès le début, pour céder, après un ultérieur sixième de tour, son rôle à la tête suivante, et ainsi de suite. Une telle commutation avec une fréquence de l'ordre de 1/100 de sec ne peut être réalisée assez exactement par des relais, c'est pourquoi on a eu recours à un commutateur électronique, synchronisé par un contact à l'axe du plateau. En déplaçant ce contact, ou en commençant la lecture par une autre tête que la première, on peut suivre et donc analyser un autre secteur de l'enregistrement. Il va de soi qu'un déplacement du contact favorable donne la possibilité de choisir des tronçons particulièrement intéressants, par opposition au procédé de découpage où l'on reste fixé à la subdivision premièrement choisie.

Dans le cas optique, on obtiendrait le même effet par plusieurs cellules photoélectriques, ou bien par une seule cellule et des miroirs tournants.

La méthode peut être généralisée en disposant d'un analyseur pour chaque tête (il suffit d'un seul générateur de fréquence de balayage) et en laissant travailler toutes les têtes à la fois, toujours en conservant la permutation cyclique après chaque sixième de tour. A la sortie des analyseurs, on observe les spectres des secteurs correspondants, qu'on peut reproduire simultanément sur un oscillographe, au moyen d'un commutateur électronique (Günther). En introduisant entre les spectres successifs un décalage vertical et horizontal (plus faible) on obtiendrait une image en perspective de l'évolution du régime transitoire (MacKay et Selâhattin).

#### Relais d'enregistrement.

Le désir d'enregistrer le phénomène transitoire sur un tour complet du plateau en fixe la vitesse de rotation : par exemple pour une flûte dont la durée du régime transitoire est de 300 msec il faudra  $60/0,3 = 200$  tours à la minute, tandis que pour des régimes transitoires plus courts, comme celui de la trompette avec ses 20 msec, le plateau devra tourner avec  $60/0,02 = 3.000$  tours.

Bien plus délicates sont les mesures à prendre pour que l'enregistrement soit interrompu juste un tour après le début de la prise de son. On a résolu cette difficulté par le dispositif suivant : une tête d'effacement précède immédiatement la tête enregistreuse. Les deux étant normalement en fonction, on a constamment une trace sonore sur la circonférence du plateau. En supposant le silence préalable quand un phénomène transitoire surgit et atteint une certaine amplitude, les deux têtes sont mises hors fonction après un décalage de temps réglable à volonté. Puisque l'enregistrement peut être contrôlé constamment sur un oscillographe, il suffit de quelques essais préliminaires pour une bonne mise à point des deux réglages (amplitude et décalage de temps) afin d'enregistrer le phénomène transitoire sans superposition et en utilisant au maximum la longueur disponible de la bande magnétique.

#### Discussion.

A) La grande vitesse d'enregistrement, ainsi que le nombre considérable de tours nécessaires à une analyse complète, nécessitent certaines précautions, telles que le choix d'une pression pas trop forte entre la bande et les têtes. Il serait même préférable d'arriver à maintenir une faible distance constante entre le périmètre du cylindre et les têtes. Cela permettrait l'emploi d'une bande à poudre magnétique, entourant un cylindre, d'un matériau indifférent, plutôt que d'un disque en acier : il en résulterait tous les avantages des bandes, surtout celui d'un bruit de fond plus réduit. La résistance mécanique de telles bandes n'est pas suffisante pour supporter la pression de têtes pressées contre le cylindre par des ressorts. Si les têtes se trouvent à une distance « a » du matériau magnétique, un enregistrement, dont le tracé a une longueur d'onde  $\lambda$ , sera reproduit avec un affaiblissement de  $55 a/\lambda$  dB, ce qui comporte une chute très accentuée vers les fréquences élevées. Il faudra donc maintenir une distance minime et constante, ce qui requiert une précision mécanique considérable du dispositif.

B) La subdivision correcte du phénomène transitoire en secteurs est assez délicate. Si l'on veut saisir la composante  $a_k \cos k\omega t$ , il faut que 1° le secteur analysé contienne un nombre entier de périodes de cette fréquence, 2° le passage de la fin à la reprise du même secteur se fasse sans saut de phase, 3° le régime transitoire commence au début d'un secteur, pour qu'une partie, restée éventuellement libre de toute trace sonore, n'altère pas l'indication des fréquences présentes.

La dernière source d'erreur est facile à éviter, puisqu'il suffit de suivre directement la trace sonore d'un secteur, lue par les têtes commutées cycliquement, au moyen d'un oscillographe à rayons cathodiques, pour trouver la bonne position du contact de synchronisation du commutateur.

L'importance d'éviter des sauts de phase se voit si l'on développe en série de Fourier une fonction sinusoïdale présentant le plus grand saut de phase possible : un saut de  $\pi$  après chaque demi-période. On a dans ce cas :

$$F(t) = \frac{4\omega}{\pi} (0,333 \sin \omega t + 0,133 \sin 2 \omega t + 0,0858 \sin 3 \omega t + 0,0635 \sin 4 \omega t + \dots)$$

Pourtant cette erreur est évitable. En effet, il n'est pas souhaitable d'avoir une limitation rectangulaire de l'intervalle d'analyse, puisque une telle délimitation porte à des composantes non existantes dans le signal (Meyer-Eppler) et données par le développement en série de Fourier de la fonction rectangulaire. Il convient de délimiter l'intervalle à analyser par une exponentielle :

$$G(t) = e^{-\frac{t}{\Delta t}}$$

ou mieux encore par la fonction  $G(t) = e^{-\frac{t^2}{\sigma^2}}$  qui donnera des lignes spectrales de la forme

$$f(\nu) = q \cdot e^{-\frac{(q \cdot \nu)^2}{4\pi}}$$

Par l'introduction de ces fonctions  $G(t)$  on n'a plus la reproduction des sauts de phase éventuels et, de plus, on évite les pointes de tension, difficiles à éliminer, engendrées par les commutations. Il faut donc au moins arrondir fortement les barrières de commutation, ce qui peut être obtenu par des selfs, ou dans le cas optique, bien plus facilement encore, par des masques.

Il reste à discuter le cas où l'intervalle analysé ne contient pas un nombre entier de périodes. L'observation de l'enregistrement d'un secteur sur l'oscillographe aide à diminuer cette faute, puisqu'elle permet de varier la vitesse de rotation du plateau jusqu'à avoir un nombre entier de périodes fondamentales dans l'intervalle. Ainsi, au moins pour les harmoniques du son fondamental, la condition favorable est remplie. — Il est aisé de construire analytiquement les spectres de la fonction  $F(t) = \sin(\alpha + \tau) \omega t$ , où  $\alpha$  est un nombre entier (p. ex. 8) et  $0 \leq \tau \leq 1$ , pour des valeurs différentes de  $\tau$ . Pour  $\tau = 0$  on n'a que la raie correspondante à  $\alpha = 8$ , mais sitôt que  $\tau$  augmente, apparaissent de nombreuses lignes latérales et la raie principale diminue de hauteur pour disparaître quand  $\tau$  revient à 1 et donc  $\alpha = 9$ , puisqu'il ne reste alors que la seule raie correspondant à la fréquence 9. Toute la question a été discutée plus soigneusement par Hastings. Il arrive aux conclusions suivantes :

I. L'intervalle  $T$  contient un nombre entier (p. ex. 10) de périodes de la fonction sinusoidale donnée  $f(t)$ . L'analyse donnera, comme il fallait s'y attendre, uniquement la fréquence  $10 \nu$  (où  $\nu = 1/T$ ) avec une amplitude égale à celle de  $f(t)$ . Ce cas correspond à  $\tau = 0$  du raisonnement précédent.

II. L'intervalle  $T$  contient un nombre assez grand, mais non entier de périodes de  $f(t)$ . On obtiendra des raies, dont l'amplitude atteint une valeur maximum à la fréquence égale à celle de  $f(t)$ . Cette raie principale est entourée par d'autres plus faibles aux distances de  $1/T$  et dont les amplitudes sont d'autant plus petites que le nombre de périodes contenues en  $T$  est plus grand. Afin d'obtenir que la raie principale, indiquant la fréquence de  $f(t)$ , soit donnée avec une amplitude assez exacte, il faut que  $T$  contienne au moins 5 périodes entières de  $f(t)$ . Ceci donne à  $f(t)$ , pour  $T = 1/100$  sec, une fréquence-limite inférieure de 500 Hz, fréquence qui représente aussi le pouvoir séparateur maximum. A mesure que le nombre de périodes de  $f(t)$  en  $T$  augmente, l'indication de l'amplitude devient plus précise (et les raies latérales diminuent en nombre et en hauteur). Ceci correspond à l'augmentation de précision, pour des fréquences croissantes, dans l'analyse à hétérodyne avec un filtre à largeur de bande constante. Pour mieux connaître les fréquences contenues en  $f(t)$  il faudrait donc effectuer plusieurs analyses, avec des périodes  $T$  différentes, pour s'approcher jusqu'aux cas favorables où l'on saisit des nombres entiers de périodes des composantes de la fonction donnée.

III. Le cas le plus défavorable est celui où  $T$  ne contient qu'un nombre très petit et non entier de périodes de  $f(t)$ . La valeur de l'amplitude indiquée dépend alors de la phase, pour atteindre la grandeur exacte, seulement si le cas I est presque totalement rempli.

Le cas le plus fréquent est donc le cas II, où l'on dispose en  $T$  d'un certain nombre, toutefois non entier, de périodes. Pour 100 périodes en  $T$  le pouvoir séparateur est de 1 %, pour 10 périodes il est de 10 %, toujours en supposant que la largeur de bande de l'analyseur ne soit pas plus large que  $1/T$ , donc, dans notre exemple, de 100 Hz. Mais on a vu plus haut qu'une indication correcte des amplitudes demande une largeur de 500 Hz. Il faut alors choisir un compromis entre 100 et 500, pour n'avoir ni trop d'erreurs d'amplitude, ni une séparation trop faible des composantes.

Tout ceci concorde avec le raisonnement plus simple, que par suite de la réciprocité entre la précision de détermination d'une fréquence et la longueur de l'intervalle d'analyse, à l'intervalle de  $1/100$  sec correspond une limite inférieure d'incertitude de 100 Hz. Cette limitation n'est pas une imperfection des méthodes de mesure, mais la traduction du fait qu'il est un non-sens, de demander à une analyse d'une fonction de durée  $T$  sec, d'être plus exacte que  $1/T$  Hz. Il est donc impossible d'exiger davantage de n'importe quelle méthode de mesure.

On pourrait espérer gagner en précision en employant un filtre plus étroit et en choisissant la vitesse du plateau de façon à avoir un nombre entier  $m$  de périodes fondamentales dans l'intervalle d'analyse  $T$ . Ceci reviendrait à favoriser arbitrairement les fréquences  $m/T \pm n/T$  (avec  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) parmi lesquelles se trouvent aussi les harmoniques de  $f(t)$ . On obtiendrait alors un spectre avec des lignes à distances réciproques de  $1/T$  Hz. En considérant que le phénomène transitoire n'est pas périodique, on n'a pas le droit de garder de cette analyse plus que l'enveloppe des raies spectrales apparemment isolées. On obtient directement un tel spectre continu en ne donnant pas à l'analyseur une largeur de bande plus étroite que  $1/T$ . Une bonne étude plus approfondie confirme qu'une telle analyse constitue une bonne réponse à la tâche proposée d'établir le spectre de fréquences en intervalles successifs d'un phénomène transitoire acoustique. Malgré les objections discutées, il nous semble donc que la méthode exposée permettrait d'étudier et d'approfondir la question du timbre.

N. B. — Cet exposé constitue un résumé très bref des conclusions d'un travail détaillé (224 p.), non publié, traitant, d'un point de vue plus général, expérimental et théorique, des phénomènes transitoires en acoustique.

# OSCILLOGRAPHIE ÉCONOMIQUE DU SCHÉMA DE MODULATION PAR UN APPAREIL DE COUT ET DE FONCTIONNEMENT BON MARCHÉ, UTILISABLE AVEC LES APPAREILS ENREGISTREURS A VITESSE VARIABLE

par

Mr. William Barff BROUGHTON

*Birkbeck College (Londres)*

*Boursier du Gouvernement français,*

*Laboratoire de Physiologie Acoustique, I. N. R. A., JOUY-EN-JOSAS*

L'auteur passe en revue diverses techniques oscillographiques, et discute leurs résultats, en les comparant avec ceux obtenus avec une technique nouvelle qu'il décrit en détail.

Celle-ci présente comme avantage d'être économique et de permettre une analyse sommaire et éventuellement une analyse plus fine des signaux modulés.

L'appareil comprend un relais sensible comme élément de pulsance et comme détecteur grossier de modulation. On a adjoint une base de temps indépendante des variations de vitesse, l'inscription se faisant avec des pinceaux (chinois) sur une bande de papier.

Les informations obtenues avec ce type d'analyseur sont partielles en ce qui concerne l'amplitude, et exigent que les signaux aient une grande dynamique comme d'ailleurs dans les autres techniques.

L'appareil est brièvement décrit et des indications sont données sur son emploi, notamment dans le cas d'analyse de signaux d'insectes.

## INTRODUCTION

L'analyse de fréquence par audiospectromètres de types Siemens, Pimonow (1) et autres a rendu inutile dans ce rapport l'oscillogramme détaillé à abscisse de temps, donnant le détail des ondes individuelles, et évite le travail de décomposition en série de Fourier. Tandis que de tels oscillogrammes restent toujours essentiels pour l'étude de l'allure des ondes et de phénomènes semblables, on ne peut les obtenir (en cas des sons de fréquence élevée et des ultrasons) qu'avec une dépense assez forte de film de grande sensibilité ainsi qu'en utilisant des caméras à grande vitesse de prix élevé; même les caméras à vitesse lente ou moyenne (30 cm à 1 m/sec.), qui extraient principalement la modulation des signaux pour ces mêmes fréquences, utilisent cependant trop de film s'il s'agit de

tracé produit par un appareil de notre construction dont la description est donnée plus loin. Afin de simplifier sa dénomination, nous allons nommer cet appareil : *papyrographe d'impulsions*.

L'oscillogramme détaillé, obtenu par rayon cathodique (fig. 1), avec un oscillographe ordinaire en se servant d'enregistrements sur disques avec une technique de lecture au ralenti (2), indique le groupement en trains (« pulses ») d'ondes de fréquence d'environ 6.000 c/s; les « pulses » peuvent être comptés et révèlent un débit de répétition un peu irrégulier de 1.100 pulses/sec environ (la portion G du tracé — 7 pulses); les changements de phase peuvent être notés (comme le montre la flèche dans la figure 1), et les transitoires et autres phénomènes à front raide peuvent être reconnus sans équivoque s'ils existent dans le tracé : mais le centième d'une seconde occupe 16 cm de film, donc la durée d'un signal d'une seule seconde nécessite 16 m de film.

Les oscillogrammes électroniques moins détaillés (fig. 2 et 3) ne permettent plus l'analyse de l'allure de l'onde, et les pulses ne peuvent plus se dénombrer avec certitude, parce que leurs débuts et leurs fins ne sont plus nets. Le complexe de la figure 1 est marqué 11, G-H dans la figure 2; cet oscillogramme permet un dénombrement plus économique de complexes de même ordre dans chacun de leurs ensembles (9, 10, 11 dans la figure 2) et aussi de ces ensembles eux-mêmes. La figure 3 montre dans

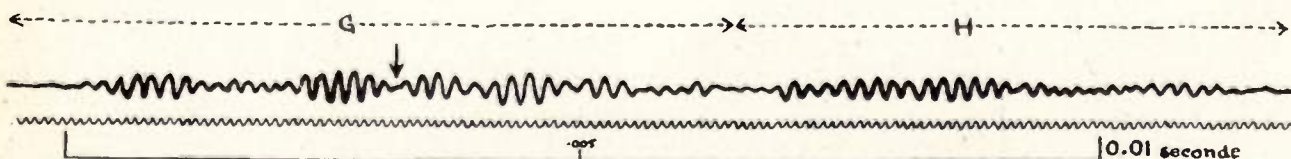


FIG. 1. — Oscillogramme étendu d'un chirp de la sauterelle *Chorthippus bicolor* (CHARPENTIER). Comportement de rivalité. Vitesse de plateau réduite 16:1, vitesse de camera 90 cm/sec, fréquence de référence 11 530 c/s.

l'analyse de données étendues, comme par exemple dans le cas où la modulation change toujours d'une façon irrégulière pendant des temps longs. C'est surtout le cas des chants des sauterelles, où de plus les variations acoustiques sont liées à des schémas de comportement qui varient d'une manière complexe. Les figures 1-7 indiquent les comparaisons entre l'oscillogramme détaillé d'une part, les oscillogrammes de modulation d'oscillographes à rayons cathodiques et à encre (électromagnétique oscillographe classique) d'autre part, et enfin le

une série provenant du chant d'une autre espèce de sauterelles, trois groupes d'ordre identique à 9, 10 et 11 de la figure 2; ici, on peut distinguer plus facilement les composantes.

Les oscillogrammes à encre (fig. 4, 5), obtenus par lecture ralentie avec un oscillographe électromagnétique classique, correspondent respectivement aux figures 2 et 3. A cette vitesse de déroulement du papier, les composantes ne peuvent plus se distinguer, mais on peut compter facilement les ensembles entiers et mesurer avec précision leurs

intervalles de répétition. (Cet appareil, à vitesses de déroulement plus grandes, donne une résolution plus forte, lorsqu'on l'emploie — comme ici — avec un tourne-disques ralenti.)

Les complexes des figures 3 et 5 proviennent d'une série de 89 complexes de même type émis par un seul insecte pendant une durée de 65 sec incluant un silence de 5 sec entre les n<sup>os</sup> 19 et 20 de la série; la série entière aurait nécessité 6 ½ m

70 séquences suivantes :

Intervalles moyens de chaque groupe de 5 :

|                 |                 |                |               |
|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| 8 9 9 ½ 8 8 ½   | 9 8 8 8 8       | 8 8 8 7 ½ 9    | 7 ½ 8 ½ 8 8 8 |
| 8,6             | 8,2             | 8,1            | 8,0           |
| 9 ½ 9 8 ½ 8 ½ 8 | 8 ½ 8 ½ 9 8 ½ 9 | 9 8 8 ½ 8 ½ 9  |               |
| 8,7             | 8,7             | 8,6            |               |
| 9 ½ 9 9 ½ 8 ½ 9 | 9 ½ 9 10 9 9    | 8 ½ 9 10 ½ 9 9 |               |
| 9,1             | 9,3             | 9,2            |               |

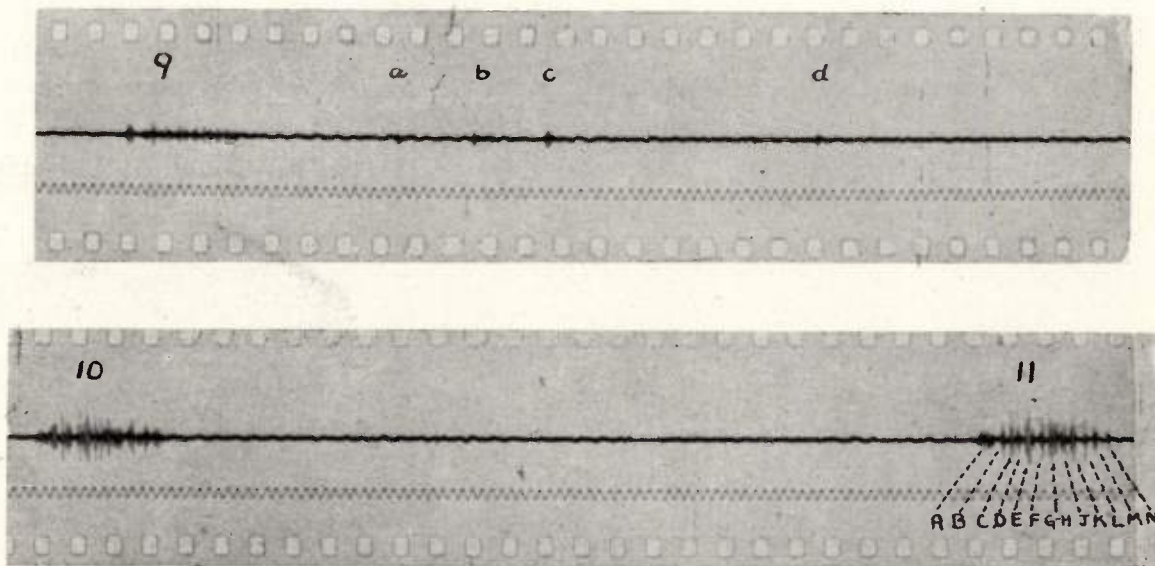


FIG. 2. — Trois séquences de rivalité (9, 10 et 11) et quatre cris d'attaque (a, b, c, d) de *Chorthippus bicolor*, 11 incluant, comme G-H, le chirp de la figure 1.  
Vitesse de plateau normale, camera 30 cm/sec, fréquence de référence 100 c/s.

de film dans l'oscillographe cathodique, ou 1 ½ m de papier dans l'oscillographe électromagnétique. Les complexes des figures 2 et 4 proviennent d'une succession de sons divers émis par deux sauterelles (comportement de rivalité), durant 108 sec et incluant 8 silences de durée dépassant 2 sec (jusque 8 ½ sec); il était important de noter cette série entière comme un protocole de comportement, et ceci aurait nécessité respectivement 11 m de film ou 2 ½ m de papier.

Les figures 6 et 7 sont des tracés correspondants du papyrographe d'impulsions; les longueurs totales de ruban sont de 3 ½ m et de 2 ½ m. L'enregistrement est économique, la densité convient, les divers cris restent toujours bien écartés, permettant le dénombrement et la mesure des intervalles de répétition. Le ruban entier duquel la figure 6 provient constitue un schéma complet de comportement, *ipso facto* justifié; celui de la figure 7 donne le moyen d'obtenir des valeurs comme celles qui sont exposées dans le tableau 1; ce qui, autrement, serait impossible.

TABEAU I

*Euchorthippus pulvinatus* (FISCHER-WALDHEIM)

« Chant de cour » : variation de longueur des intervalles de répétition des séquences successives (mesurées à partir du début de chaque séquence jusqu'au début de la suivante) (en treizièmes de seconde).

19 premières séquences (1-2, 2-3, ..., 18-19) :  
Intervalles moyens de chaque groupe de 5 :

|                 |              |
|-----------------|--------------|
| 8 ½ 8 ½ 9 8 8 ½ | 8 ½ 10 9 9 8 |
| 8,5             | 8,9          |
| 8 9 8 ½ 8 ½ 10  | 9 ½ 9 14 ½   |
| 8,8             | 11,0         |

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| 9 9 ½ 9 11 10 ½ | 9 8 ½ 10 10 11 ½ |
| 9,8             | 9,8              |
| 9 ½ 9 ½ 9 9 ½ 9 | 10 ½ 9 10 10     |
| 9,3             | 9,9              |

Donc, même si l'on peut utiliser un oscillographe cathodique, le papyrographe constitue un dispositif économique supplémentaire qui permet d'obtenir pour de longues séries de sons une première documentation générale; en ce qui nous concerne, cette analyse est effectuée automatiquement. Par une autre méthode ces analyses seraient prohibitives, et rendraient la documentation trop volumineuse. En dépouillant de tels rubans, des échantillons d'intérêt spécial peuvent être choisis pour des analyses fines; et leur contexte peut toujours être retrouvé sans difficulté.

D'autre part, s'il n'est pas possible d'utiliser un oscillographe cathodique, l'appareil suffira éventuellement pour obtenir, avec un degré appréciable, une analyse plus fine. La figure 8 représente une partie d'une autre série de sons de *Chorthippus bicolor*, obtenue avec ralentissement du tourne-disques de 16:1 et à petite vitesse du ruban; la figure 9 montre les cris B et F décomposés en « chirps » (1) au moyen d'un ralentissement ultérieur du tourne-disques (50:1) sans changement de vitesse du ruban. Ceci permet évidemment le dénombrement des composantes, mais la mesure de leurs intervalles de répétition individuelles est toujours assez inexakte; l'augmentation ultérieure de la vitesse du ruban

(1) « Chirp » : nous avons appelé *chirp* le son produit au cours d'un seul mouvement de l'appareil d'émission acoustique de l'insecte (soit aller et retour, soit l'un ou l'autre).

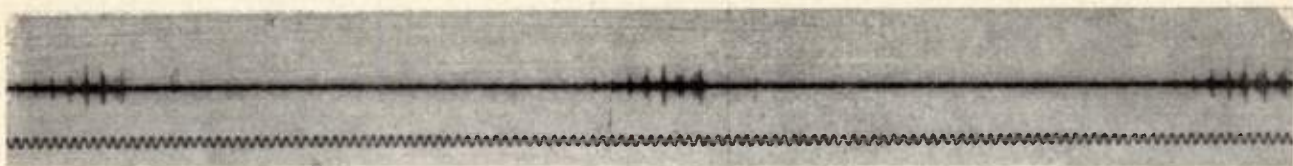


FIG. 3. — Trois séquences de « chant de court » de la sauterelle *Euphonia pulvinata* (FISCHER-WALDHEIM). Réglage analogue à celui de la figure 2.

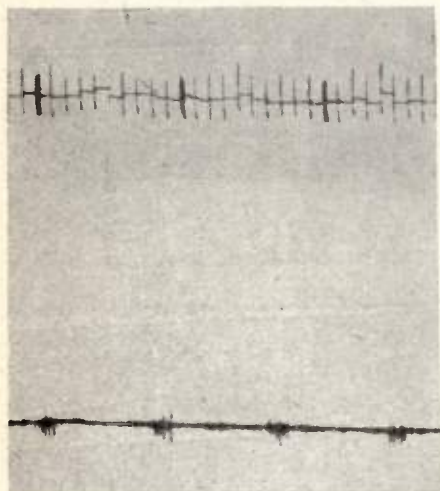


FIG. 4. — Cris de la figure 2 : examen à l'oscilloscope électromagnétique avec lecture ralentie. Plateau 16 : 1 ; intervalles de temps 1/13 de seconde.

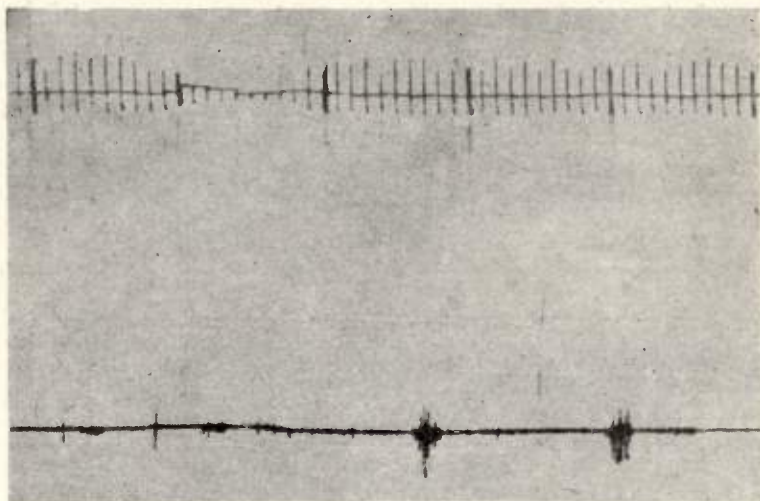


FIG. 5. — Cris de la même série que la figure 3 : examen à l'oscilloscope électromagnétique, avec lecture ralentie. Réglage analogue à celui de la figure 4.

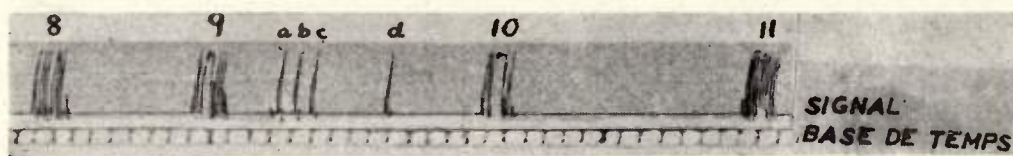


FIG. 6. — Papyrogramme d'impulsion de la même séquence que la figure 4 (même réglage).



FIG. 7. — Papyrogramme d'impulsion de cris de la même série que la figure 5 (même réglage).

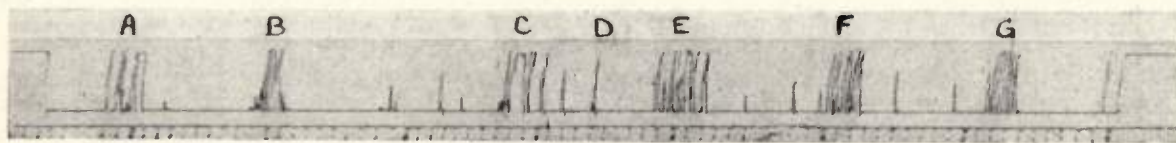


FIG. 8. — Papyrogramme de séquences de « conversation » de trois mâles de *Chorthippus bicolor*. Plateau 16:1, intervalles de temps 1/13 de seconde. (Les signaux non numérotés sont des parasites de l'enregistrement.)



FIG. 9. — Séquences B et F de la figure 8, résolues dans leurs composantes. Plateau ultérieurement ralenti (50:1), vitesse de ruban la même, intervalles de temps 1/13 de seconde.



FIG. 10. — Séquence A de la figure 8. Plateau 50:1, vitesse de ruban augmentée, intervalles de temps 1/13 de seconde.

(fig. 10, 11) n'améliore pas la résolution — et peut, par défaut de précautions, la réduire — mais permet cependant des mesures plus exactes dans chaque séquence individuelle. On remarquera ici la correspondance avec le système optique du microscope : le changement de vitesse du tourne-disques corres-

impossibilité d'observer la formation du tracé. La méthode d'inscription de tracés par électrolyse de l'iodure, employée dans l'instrument d'écho-sondage du Ministère de la Marine Britannique, système chimique sans inertie (5), fut étudiée mais fut trouvée impropre et trop fugace pour le but de nos recher-

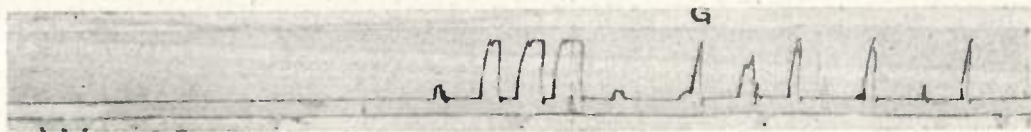


FIG. 11. — Séquence G de la figure 8.  
Plateau 50:1, vitesse de ruban encore plus grande que dans la figure 10, intervalles de temps 1/13 de seconde.



FIG. 12. — Plateau 16:1. Petite vitesse de ruban.  
*Chorthippus parallelus* (ZETTERSTEDT) : chant indifférent; pour description voir texte. Intervalles de temps 1/13 de seconde.



FIG. 13. — Plateau 50:1. Même vitesse de ruban.  
*Chorthippus parallelus* (ZETTERSTEDT) : chant indifférent; pour description voir texte. Intervalles de temps 1/13 de seconde.

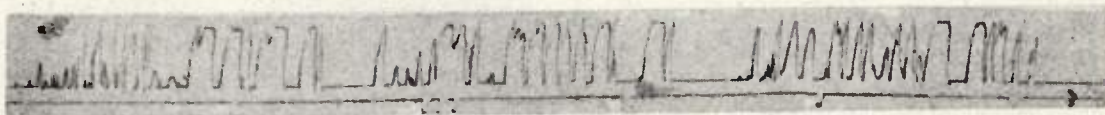


FIG. 14. — Plateau 50:1. Grande vitesse de ruban.  
*Chorthippus parallelus* (ZETTERSTEDT) : chant indifférent; pour description voir texte. Intervalles de temps 1/13 de seconde.

pondant au changement d'objectif, et le changement de vitesse du ruban correspondant au changement d'oculaire; le parallèle de ces deux techniques est remarquable.

Les figures 12, 13 et 14 montrent pour *Chorthippus parallelus* (ZETTERSTEDT) — dont les chants sont beaucoup plus lents — des papyrogrammes : d'une seule séquence de chirps à 16:1 et à petite vitesse du ruban (fig. 12); des dix derniers chirps de la même séquence à 50:1 et la même vitesse du ruban (fig. 13); et des trois derniers chirps à 50:1 et à grande vitesse du ruban (fig. 14).

#### PRINCIPES GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION ET D'EMPLOI

Le papyrographe d'impulsions a été conçu pour de longs dépouillements d'ensemble lorsqu'il n'y avait aucun oscillographe cathodique à la disposition de l'auteur et qu'une laborieuse méthode optique d'analyse était utilisée pour obtenir des détails plus fins (3).

Le grand inconvénient des systèmes électromagnétiques est évidemment l'inertie des parties mobiles; Pierce (4), qui a étudié également le problème de l'acoustique des chants de sauterelles, le surmonta en utilisant un instrument classique (galvanomètre à miroir et un tambour déroulant) qui enregistrait sur papier photographique, mais nous avons voulu éviter les méthodes photographiques par raison économique et compte tenu de leur

ches (bien qu'elle soit parfaite pour l'application au procédé d'utilisation); et de plus elle exigeait un courant plus fort que les petits courants de sortie provenant de sons aussi faibles que ceux émis par les sauterelles. L'instrument qui a été utilisé pour faire les tracés 4 et 5 est un système électromagnétique à faible inertie et à densité de flux élevée qui permet avec des courants de faible intensité d'actionner un stylet : mais cet appareil est également coûteux et assez fragile — notamment en présence de bruits parasites soudains de grande intensité, tels que des sauts d'insectes entre les chants, qui peuvent amener des ruptures. Nous ne connaissions d'ailleurs pas cet appareil quand nous avons construit le nôtre.

La lecture au ralenti des disques a été naturellement essayée avec tous les dispositifs précités; nous l'avons également utilisée comme principe auditif valable en soi avec la combinaison du chronométrage. Mais bien que la lecture au ralenti permette le mouvement synchrone de systèmes à inertie relativement élevée, malheureusement elle réduit encore plus les courants de sortie; on n'a réussi à développer cette méthode qu'en concevant d'alimenter à la sortie de l'amplificateur du tourne-disques un relais sensible qui déclenche un circuit de basse tension et d'un courant de forte intensité par les aimants du stylet. Ce relais, outre cet effet d'amplification, introduit de plus un principe de détection en vertu de sa propre inertie : il déclenche au début d'un complexe acoustique, reste déclenché

pendant toute sa durée, et retourne à zéro à la fin du complexe (d'où le nom « papyrographe d'impulsions »). Le type de complexe — train d'ondes (c'est-à-dire pulse), complexe de pulses, ou complexe d'ordre plus élevé — est déterminé par le réglage du relais de la vitesse du tourne-disques. La méthode donne donc en principe et à volonté la possibilité de dépouillement des composantes diverses de la modulation. La figure 8, par exemple, montre le dépouillement en séquences (de chirps) qui sont valables en soi, mais dont les composants (les chirps) sont analytiquement douteux; la figure 9 donne le détail fidèle de deux séquences décomposées et met en évidence chaque chirp; il est probable que la figure 14 donne valablement les pulses composants des trois chirps, ce qui devra être confirmé. D'autre part, la figure 11 ne montre pas les pulses composants des 11 chirps, car le débit de répétition des pulses est trop élevé pour que l'inertie du relai soit surmontée (fig. 1 — débit de répétition des pulses = 1.100 pulses par seconde environ).

Une deuxième idée qui s'est révélée très utile pour la conception de notre appareil était l'essai comme stylet inscripteur d'un pinceau à écrire chinois de bonne qualité; les résultats obtenus avec ce type de pinceau en éliminant la friction et en produisant un tracé très fin permettent de recommander leur utilisation dans presque tout instrument enregistreur à encre.

Le troisième facteur qui caractérise l'utilité et le faible prix de revient de l'appareil est le déclenchement du signal de référence de la base de temps par le plateau du tournedisque; il en est résulté :

(1) Le nombre de marques de temps sur le ruban par seconde de l'enregistrement d'origine (qui seul importe) est indépendant de la vitesse de lecture et ne dépend que de la vitesse (connue) de l'enregistrement d'origine;

(2) Il est également indépendant de la vitesse du ruban.

Donc il n'est pas nécessaire de prévoir ni un ralentissement de précision du plateau ni un moteur de précision à vitesse constante pour le ruban.

Par contre, il y a deux inconvénients majeurs : le ralentissement lui-même peut introduire des erreurs dues à la variation de la vitesse du tourne-disques, et bien que ces erreurs soient en général annulées par la méthode de déclenchement de la base de temps qui vient d'être décrite, il exige un grand soin lors de l'enregistrement primaire, et une certaine réserve à l'égard d'erreurs possibles; deuxièmement, la tendance à détecter du relai exerce un effet « tout-ou-rien » sur les signaux tant que l'amplitude du tracé n'a que peu ou pas de rapports avec celle du signal. Dans ce but et dans une certaine limite, les commutateurs SC et MO sont utiles, ainsi que nous le développerons plus loin.

Mais la condition d'importance majeure, avec cet appareil comme avec tout autre, pour l'obtention d'un bon tracé est, *sine qua non*, trop souvent négligé : la *haute dynamique*. Sans cette qualité, aucun appareil, quel qu'il soit, ne peut extraire un tracé vraiment bon; par contre, avec elle, de très bons résultats peuvent être atteints avec des appareils de conception modeste.

#### DESCRIPTION DE L'APPAREIL

##### 1. Ralentissement du plateau.

La figure 16 montre la boîte de vitesses employée (GB), bien que la méthode spécifique d'utilisation

doive dépendre du plateau considéré; celle-ci est faite d'un démultiplicateur à bas prix (1) et exigea peu d'adaptation autre que l'addition de poulies mécano (P, P') et d'un disque de friction en caoutchouc (D). L'appareil, tel qu'il a été illustré, avec

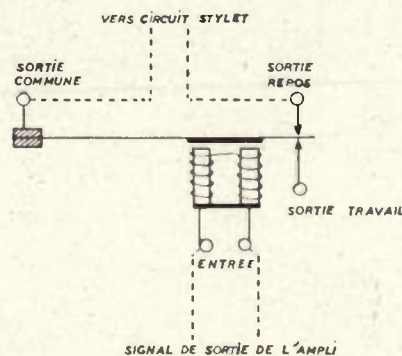


FIG. 15

un élastique ordinaire reliant le moteur du tourne-disques à la boîte de vitesses, donne des ralentissements de 8:1, 16:1, 24:1 et 50:1 approximativement.

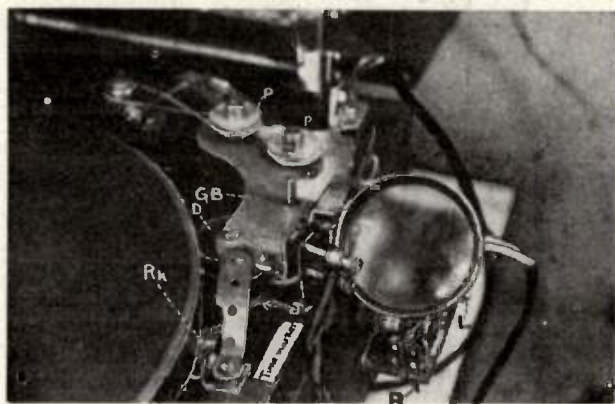


FIG. 16. — Démultiplicateur du plateau, mécanisme du marqueur de temps, et relais.

Pour assurer un fonctionnement silencieux les pignons sont bien graissés avec une graisse épaisse, et l'ensemble est isolé avec des bourrelets amortisseurs en caoutchouc.

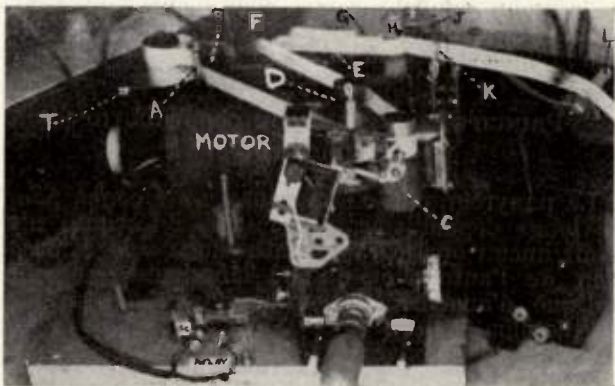


FIG. 17. — Vue générale du papyrographe, montrant le parcours du ruban de papier.

(1) Ce démultiplicateur a coûté 2 shillings aux « government surplus stores » de LONDRES, où d'ailleurs nous nous sommes procuré presque toutes les pièces nécessaires à la construction de l'appareil, dont la dépense globale ne montait pas à 5 Livres.

Relais sensible (fig. 15 et 16).

Celui-ci est de 2 mA et 1.000 ohms, avec deux circuits alternatifs (rupture et fermeture) actionnés par l'armature. Il vaut mieux le monter indépendamment de l'appareil sur un support solide pour éviter les vibrations; ici il est monté sur le tourne-disques lui-même comme l'unité la plus stable d'un équipement « portable ». Une loupe (L.) permet l'inspection de l'écartement du rupteur.

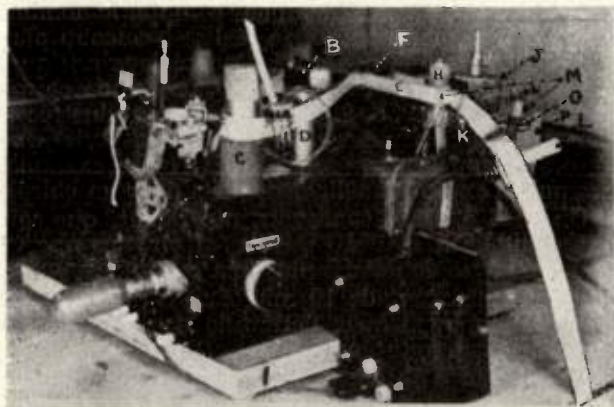


Fig. 18. — Fin du parcours du papier.

### 3. Le papyrographe. — Réglage du papier (fig. 17 à 21).

Le ruban de papier part de la table d'alimentation (T) entre deux rouleaux tendeurs (A et B, dont le dernier est maintenu contre l'autre par un ressort disposé sous la table d'alimentation), passe autour de la colonne des stylets (C) et de la colonne de tension (D), rencontre la boucle de séchage par buvard (E), tourne avec celle-ci autour de la bobine

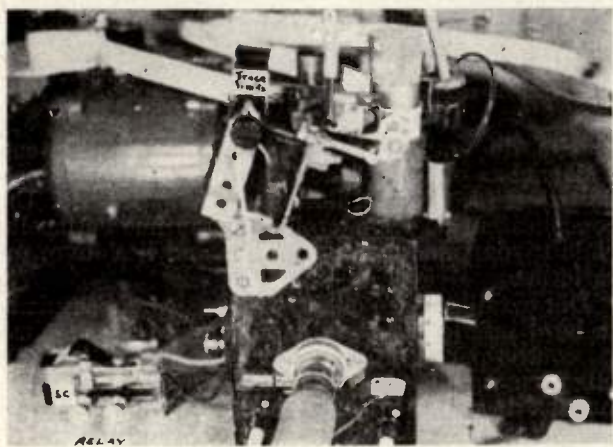


Fig. 19. — Ensemble de la face avant : contrôles des aimants et du moteur et fils amortisseurs d'arrêt.

(F), passe à travers le guide (G) et entre les rouleaux tracteurs (H, J). L'éloignement de F par rapport à C donne un temps maximum pour le séchage de l'encre et la bande E empêche la contre-impression. Le ruban quitte ensuite E, traverse le guide (K) et le rouleau écarteur (L) pour tomber à terre. J est serré contre H par un système de charge à ressort (M, fig. 18) qu'on peut dégager en N pour débrayer le moteur sans changer la vitesse; le levier O est éloigné sur son support (P), en entraînant J.

Pour recharger en buvard, on soulève légèrement la bobine F afin de tourner son montage vers H.

ce qui permet d'enlever et de remplacer la boucle (E).

Le moteur (fig. 17 et 20) qui actionne le rouleau tracteur est un transformateur rotatif modifié (Govt. surplus : 20 W Type 47, Ref No 10 XB/412) en retirant les charbons BT et en branchant les deux circuits en série; le circuit HT est de 450 volts, mais la machine marche parfaitement sur 220 V; ce transformateur comprend également une boîte de démultiplication que l'on a utilisée; nous avons ajouté deux roues dentées pour une plus grande démultiplication : ces roues sont en provenance

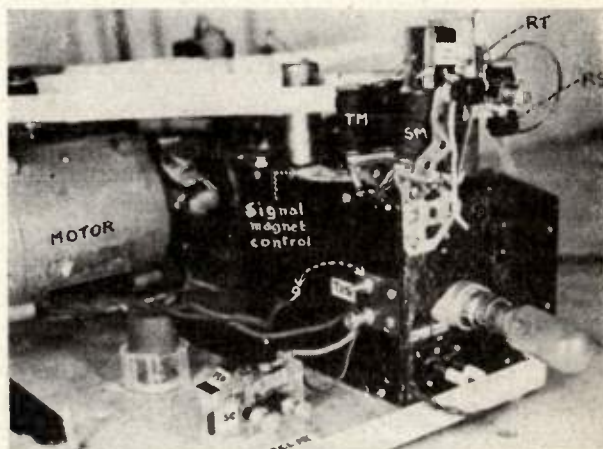


Fig. 20. — Moteur et ensemble de la face avant (aimants et réservoirs à encre); commutateurs SC et MO.

d'une boîte de démultiplication analogue à GB (fig. 16).

Le circuit du moteur se trouve dans la figure 22, et les contrôles dans les figures 19 à 21, marquées « Motor », « High Speed » and « Tape Speed », dont le dernier permet une commande en direction à variation continue dans les deux gammes alternatives données par les deux premières.

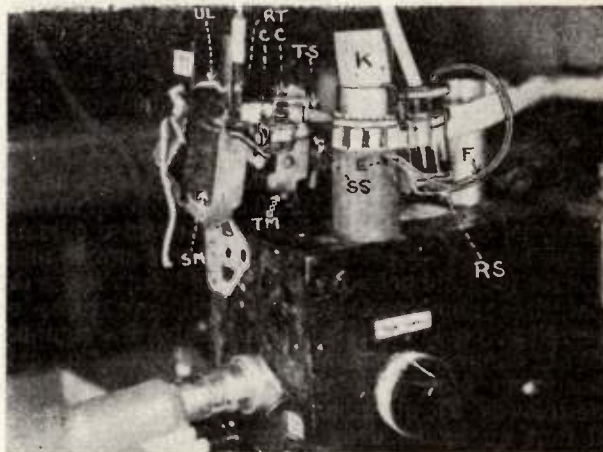


Fig. 21. — Montages des stylets.

### 4. Le papyrographe. — Circuits du signal (fig. 17 à 21 et 24).

Les circuits du signal (et de la base de temps) sont pour la plupart renfermés dans le châssis qui forme le devant de l'ensemble. Ici ils sont alimentés par un transformateur indépendant de 6 volts, qu'on peut voir au-dessous du rouleau écarteur L. Le commutateur « Magnets » ferme ce circuit et la

résistance « Signal magnet » règle la magnétisation via l'alimentation de la rectificatrice, tandis qu'une résistance supplémentaire semi-variable de 50 ohms permet l'adaptation aux autres transformateurs.

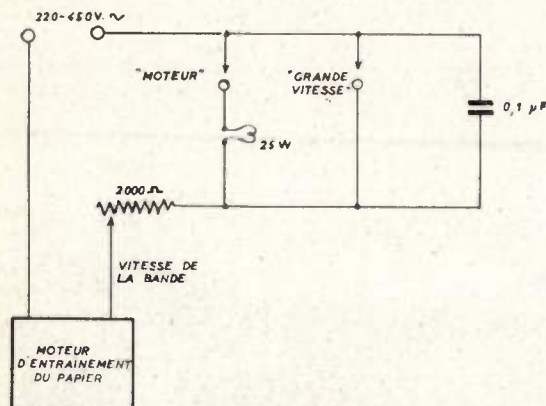


FIG. 22

Les deux brins de cordonnet mou, tenus sous la borne « Trace limits » (fig. 19) délimitent l'amplitude maximum du tracé du signal en fonctionnant comme tampons d'arrêt avec amortissement pour l'armature; la boucle supérieure se trouve dans la figure 21, UL.

En principe, la sortie de la rectificatrice alimente simplement l'aimant signal (SM) via les contacts secondaires du relais, de manière à couper ce circuit quand le relais se déclenche, et afin que le stylet inscripteur du signal (SS, fig. 21) tombe par son

tueux. En même temps, elle trouve une fonction également importante pour les enregistrements corrects, dans la sélection subjective d'éléments de rythme qui sont autrement masqués par l'ensemble des détails — la plupart des acousticiens ont dû déjà rencontrer des sons de rythme auditif marqué, mais assez difficile à caractériser dans un oscillogramme; cette technique permet de l'extraire. La figure 23 montre un tracé dans la même série que la figure 7, mais fait au moyen du commutateur MO; le tracé convient aussi bien pour compter le nombre de séquences par minute, se réalise beaucoup plus vite (en évitant la nécessité d'un réglage critique, et de plus donne précisément le nombre de chirps par séquence (8, 9, 8, 9, 8, 8, 9, par ceux illustrés), sans confusion par des mouvements du stylet dus à des composantes secondaires (par exemple, des pulses exceptionnellement forts dans un chirp).

On peut à peine concevoir, cependant, que soit la technique SC soit MO pussent servir sans réserve pour l'analyse de détails plus fins.

Le condensateur de 10 microfarads (fig. 24) fonctionne pour supprimer l'étincelle dans le relai et dans les commutateurs.

Il peut être intéressant de remarquer que les premières expériences où on utilisait le circuit de *fermeture* du relai (d'utilisation évidente) furent négatives, et ce fut un accident heureux qui nous a amené à l'utilisation efficace du circuit de rupture.

5. Le papyrographe. — Circuit de la base de temps (fig. 24 et 16 à 21).

L'aimant de la base de temps (TM, fig. 16 et 21) est alimenté directement par le circuit alternatif

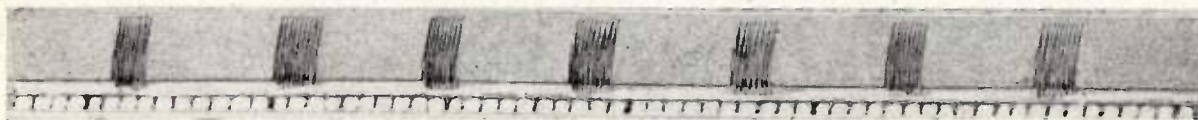


FIG. 23. — *Euchorthippus pulvinatus*: plusieurs séquences provenant de la série déjà citée, ici enregistrées par MO technique. Plateau 16:1, intervalles de temps 1/13 de seconde.

propre poids à l'extrémité de sa course, en revenant à la ligne de zéro lors de la remise du courant. Mais ce schéma peut se modifier au moyen des deux commutateurs « feathertouch » SC et MO — réalisés avec deux emballages en matière plastique de lames de rasoir: figures 19, 20 et 21. Pour la marche normale, SC — lequel fermé court-circuite évidemment le relai — est verrouillé ouvert sur le mentonnet (« catchback » fig. 24); mais lorsqu'il y a des parasites nombreux entre des signaux rares ou réguliers, on le laisse se fermer entre les signaux, ce qui élimine les parasites; ainsi, il permet un gain beaucoup plus élevé pour percevoir les signaux désirés (fig. 7); quand on se sert de cette technique, il faut au moins deux papyrogrammes successifs, dont le premier sert comme guide pour éliminer les imprécisions dans le second.

D'ailleurs, quand SC est fermé (et le relai donc hors d'action) MO peut servir à remplacer le relai, et le doigt de l'opérateur à l'écoute, remplacer le signal déclencheur. Ce fonctionnement purement manuel ne peut servir que pour des signaux assez lents pour être contrôlés en détail par le système nerveux humain, et exige également un papyrogramme préalable avant le définitif; malgré cet inconvénient, la technique est utile pour dépouiller des données essentielles d'enregistrements défectueux.

6-volts du transformateur, via le commutateur « Magnets » et le jack de l'entraîneur d'impulsions de temps (J, fig. 16), actionné par le plateau. Un condensateur de 0,1 microfarad supprime l'étincelle et le rayonnement de ce jack quand il s'ouvre ou se ferme.

Dix entailles fines équidistantes sont râpées dans le bord inférieur du plateau; comme chacune est parcourue par la crosse de la bascule (Rk, fig. 16), elle permet au jack de se fermer, envoyant une impulsion de courant par l'aimant de la base de temps de sorte que le stylet se déplace instantanément. Une d'entre les dix entailles est flanquée de près par deux entailles supplémentaires, qui produisent un triple déplacement du stylet une fois par révolution du plateau. A la vitesse classique d'enregistrement de 78 t/min., chaque intervalle de temps correspond à  $\frac{1}{10}$  de  $\frac{60}{78}$  seconde =  $\frac{1}{13}$  seconde; donc 13 marques sur le ruban correspondent à une seconde, quelles que soient la vitesse de lecture et la vitesse du ruban.

6. Le papyrographe. — Encre et stylets (fig. 21).

Les tiges des pinceaux à écrire chinois (SS, TS) sont coupées à 1 ou 2 cm de long, et montées sur

les armatures au moyen de porteurs légers en aluminium (C, C). Si une encre glycéinée bien choisie est employée, il n'y aura pas de difficulté, par suite de séchage ou d'obstruction pendant l'utilisation normale, et on peut construire des réservoirs à

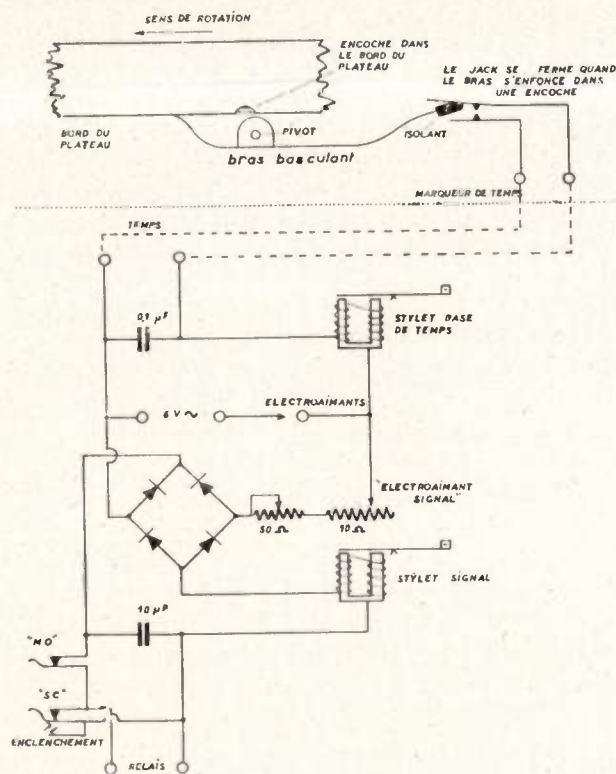


Fig. 24

encre pour alimenter les pinceaux. Dans notre appareil, la base de temps utilise très peu d'encre et porte son propre petit réservoir (RT). Celui-ci est un tube de plexiglas courbé à angle droit, enfoncé dans la tige creuse du pinceau de bambou; deux trous d'aiguille percés dans la tige et jusqu'aux poils laissent lentement couler l'encre sous l'influence de la gravité et des mouvements du mécanisme. Un réservoir plus grand, (RS) pour le stylet

des signaux, fonctionne au moyen d'un siphon simple, et en tenant compte de la tension superficielle; le tube d'alimentation (F) est réglé de manière à ce que son bout libre (E) soit juste au-dessus du niveau de l'encre dans le réservoir, et dans la position de marche (obtenue par un tour du bouchon K) le stylet tombe sur ce bout libre à chaque descente, ramassant une quantité infime d'encre en remontant; on arrive rapidement au meilleur réglage.

Les deux stylets demandent un peu d'amorçage au début d'une période de marche; on leur applique alors de l'encre avec un compte-gouttes.

#### RÉFÉRENCES

- (1) PIMONOW (L.), Nouvel analyseur de fréquence. *Annales des Télécommunications*, 1949, 4, n° 7.
- (2)
- (3) BROUGHTON (W. B.), Gramophone studies of the Stridulation of British Grasshoppers. *Journal S. W. Essex Technical College*, 1952, 3 : 170-180.
- (4) PIERCE (G.-W.), Songs of Insects. *Cambridge, Mass.*, 1948. 329 pp.
- (5) MORTIMER (C.-H.) and WORTHINGTON (E.-B.), A new application of echo-sounding. *Nature*, 1940, 145 : 212.

#### REMERCIEMENTS

Bien que la machine et les techniques associées furent d'abord étudiées avant que je vienne en France, je n'aurais pas eu l'occasion de poursuivre l'étude comparative actuelle et de modifier si favorablement cet appareil sans les facilités excellentes, les contacts essentiels et les discussions amicales au Laboratoire de Physiologie Acoustique de l'I. N. R. A. J'exprime ma profonde reconnaissance au Directeur et à ses collaborateurs ainsi qu'au Président du Comité d'Accueil aux Étudiants étrangers du ministère des Affaires étrangères français pour ma bourse de séjour en France. J'offre également mes sincères remerciements à Mr. T. E. Hughes, Professeur R. J. Pumphrey, Dr. B. P. Uvarov et Professeur V. B. Wigglesworth; et pour avoir généreusement arrangé de me décharger de mes devoirs académiques, à Mr. R. W. Jukes, au Directeur et aux Gouverneurs du S. W. Essex Technical College.

## MESUREUR AUTOMATIQUE DE DISTORSION DES ENREGISTREMENTS SONORES

PAR

M. BRUEL

*Directeur de la Société Bruel et Kjaer*

Il s'agit d'une nouvelle méthode pour l'enregistrement automatique de la réponse en fréquence et de la réponse des 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> harmoniques.

L'appareil se compose d'un générateur donnant des tons sinusoïdaux très purs, qui sont envoyés à un appareil enregistreur sonore. La sortie de cet appareil est connectée à un spectromètre à filtres tiers d'octave, qui est d'abord réglé sur le fondamental, puis sur le 2<sup>e</sup> harmonique, et ensuite sur le 3<sup>e</sup>, le 4<sup>e</sup> et le 5<sup>e</sup> harmonique.

Les tensions de sortie des filtres sont enregistrées à l'aide d'un enregistreur de niveau dont le papier se déplace de façon synchrone avec le défilement de la gamme de fréquence.

La commutation des filtres se fait automatiquement pendant l'excursion en fréquence.

A l'aide de cet appareil, il est possible d'enregistrer un ton fondamental de 35 c/s jusqu'à 18.000 c/s.

Le second harmonique de 20 c/s jusqu'à 9.000 c/s.

Le troisième harmonique de 20 c/s jusqu'à 6.000 c/s.

Le quatrième harmonique de 20 c/s jusqu'à 4.500 c/s.

Le cinquième harmonique de 20 c/s jusqu'à 3.600 c/s.

## LE PLEURAGE DANS LES SYSTÈMES DE REPRODUCTION SONORE

PAR

M. CACIOTTI Mario

*Ingénieur, Chef du Service d'Enregistrement de la radio italienne.*

avec le concours de Mlle BORDONE  
et de M. SACERDOTE

Après avoir défini le pleurage et les fluctuations d'amplitude, on décrit les appareils de mesure correspondants, en particulier dans le cas de l'enregistrement sur ruban magnétique, pour plusieurs types de rubans et de magnétophones et pour différentes conditions de marche.

Le pleurage est examiné ensuite du point de vue physiologique, pour définir le seuil d'audibilité

des fluctuations d'amplitude, du pleurage et des deux phénomènes simultanés.

On expose les résultats de la recherche sur la corrélation entre les deux types de fluctuations et leurs effets spécialement dans le cas des réenregistrements et des enregistrements spéciaux (par exemple de bruit blanc) du point de vue répartition statistique.

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

PAR

MM. CHAVASSE et VALLANCIEN

### 1<sup>o</sup> Généralités sur les méthodes audiométriques.

Primitivement, la constatation et la mesure des déficits auditifs étaient basées sur la perception, puis sur la reconnaissance de la voix (voix haute, voix basse, voix chuchotée) dans diverses conditions de distance et de force (les émissions étant faites par

le médecin lui-même), ou sur l'audition de certains bruits typiques. Dans la suite, les otologistes ont principalement concentré leur attention sur la mesure objective de l'intensité liminaire des sons de fréquence pure, à l'aide d'un audiomètre. Cette technique difficile s'est révélée insuffisante; elle nécessitait, en outre, un appareillage coûteux et ne ren-

seignait pas immédiatement sur la gêne réelle du sujet et sur son incapacité fonctionnelle. L'audiométrie s'est alors de nouveau orientée vers une technique basée sur l'intelligibilité (audiométrie vocale). Mais cette dernière est incertaine et peu pratique si on ne dispose pas de moyens matériels très importants.

2° Utilité de l'audiométrie avec enregistrement préalable, qualités nécessaires.

Les deux formes d'audiométrie reçoivent un secours puissant de l'enregistrement sonore qui, sous une forme condensée, alliée à un très haut degré de qualité, permet de rendre précis, systématiques et aisés les divers tests, aussi bien sous la forme tonale, que vocale. Étude de ces possibilités

(production de sons purs ou de bruits; intelligibilité de mots ou de phrases dans des conditions de force, de distorsion, de durée et d'ambiance variables, bruit, réverbération, etc...). En particulier, l'aptitude à l'écoute téléphonique peut facilement être mise en évidence.

Par contre, cet appareillage doit satisfaire à certaines conditions de qualité que les auteurs tentent de définir. Mais ils estiment, en conclusion, que les récents développements de l'enregistrement sonore permettent de réaliser avec l'« audiométrie enregistrée », des conditions simples d'examen objectif et subjectif qui sont pratiquement identiques à celles de la vie courante. Cette forme d'audiométrie devient, en particulier, indispensable pour le choix d'un appareil de prothèse auditive.

## ÉVOLUTION DE LA TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT ET DE REPRODUCTION DES SONS

PAR

M. André DIDIER

*Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers*

### Enregistrement mécanique.

Phonautographe de Léon Scott, 1857.  
Paléophone de Charles Cros, 1877.  
Phonographe de Thomas Edison, 1878.  
Disque et diffuseur Pathé, 1900.  
Lecteur électromagnétique Gaumont, 1908.  
Disque à enregistrement direct, 1934.

### Enregistrement magnétique.

Télégraphone Poulsen, 1898.  
Machine à ruban d'acier - Marconi-Stille, 1930.  
Bande magnétique Pfeumer, 1927.  
Magnétophone - A. E. G., 1931.

### Le cinématographe sonore.

Léon Gaumont, 1910. — Amplificateur des sons à air comprimé. — Synchronisme.

### Enregistrement photographique, 1929.

Autres procédés. Film gravé. — Enregistrement électro-statique.

### Les techniques actuelles.

Le disque — Microsillons.

L'enregistrement magnétique, ses domaines d'application :  
Radiodiffusion. — Industrie cinématographique. — Industrie  
du disque à usages commerciaux et industriels; dictée du cour-  
rier.

Machines à calculer : mémoire magnétique. — Enregistrement  
magnétique de signaux, image magnétique.

### Conclusions.

L'enregistrement et la reproduction de la voix et des sons est un problème très ancien.

Il s'apparente aux grands mythes de l'humanité dont notre époque voit peu à peu la résolution dans le progrès technique.

Une très vieille légende chinoise raconte qu'il y a plus de 3.000 ans, un mandarin aurait fait parvenir à son empereur un message verbal dans un coffret.

On rapporte aussi que certaines tribus indiennes se transmettaient leurs messages en les parlant sur une éponge; les destinataires, en la pressant, libéraient les paroles qui y étaient encloses.

Légendes certes, mais il est bon que le technicien sache parfois garder l'émerveillement naïf de la légende s'il veut pénétrer l'état d'esprit des premiers chercheurs, dont le génie inventif a su créer des méthodes que l'on aurait intérêt à ne pas trop oublier malgré les fantaisies de modes changeantes.

Mais laissons les Icares des légendes et nous découvrirons bien que dans l'objectivité scientifique, toute poésie n'est pas pour autant disparue.

### ENREGISTREMENT MÉCANIQUE

Les premières recherches scientifiques attachées à fixer le son datent de 1807. YOUNG inscrit sur le noir de fumée le tracé des vibrations sonores.

Cinquante années plus tard, Léon Scott imagine et réalise un appareil destiné à l'étude graphique des vibrations sonores : le phonautographe (cliché).

SCOTT n'a jamais réalisé la reproduction sonore de ses enregistrements.

A Charles Cros, un poète authentique, revient l'idée de reporter et de graver photographiquement, sur une surface métallique, le sillon sonore transparent obtenu par SCOTT.

Cette idée est parfaitement exprimée dans le pli cacheté que Charles Cros déposa à l'Académie des Sciences en 1877.

A sa demande, le pli fut ouvert et lu à la séance du 3 décembre 1877.

Les biographes s'accordent à dire que le manque de fonds ne permit pas à Charles Cros de réaliser son « paléophone ».

En 1878, Thomas ÉDISON réalise effectivement le premier phonographe.

Il se compose d'un cylindre monté sur un axe fileté.

La surface du cylindre est creusée d'un sillon en hélice de même pas que la vis de l'axe. Une feuille d'étain recouvre le cylindre. Une membrane métallique mince forme le fond d'une embouchure et porte au centre une pointe mousse qui, sous l'influence des ondes sonores, marque son empreinte variable sur la feuille d'étain.

Le style, repassant sur les gaufrages précédents, fait vibrer la membrane et reproduit les sons (clichés et démonstration — enregistrement et reproduction de la voix au moyen du phono-

graphe Edison appartenant aux collections du Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers).

Le phonographe Edison fut présenté à l'Académie des Sciences en mars 1878. Ici, je ne puis manquer de vous rappeler l'anecdote désormais célèbre : l'un des membres de l'Académie, à la suite de l'expérience, s'éleva contre ce qu'il appelait « la grossière supercherie d'un ventriloque ».

Onze années plus tard, à l'Exposition universelle de 1889, Edison présente son phonographe perfectionné. La feuille d'étain est remplacée par un cylindre de cire, un moteur électrique et un régulateur à boules assurent un mouvement uniforme. L'enregistrement se fait en profondeur. Un rabot permet d'effacer un enregistrement (clichés et démonstration).

La présentation de ce phonographe fut le clou de l'exposition, elle fut le point de départ du lancement industriel et commercial de la machine parlante.

La fragilité de la cire ne permettait pas une reproduction suffisamment intense des sons, l'audition se faisait au moyen de tubes acoustiques que l'on s'enfonçait dans les oreilles.

Chaque enregistrement ne procurait qu'un cylindre de prix relativement élevé.

La duplication par moulage, rendue possible grâce au retrait de la cire pendant son refroidissement, permit d'obtenir des copies d'originaux et d'abaisser considérablement le prix des « rouleaux ».

C'est l'époque des frères PATHÉ et d'Henri LIORET qui créèrent l'industrie phonographique française.

Dix années plus tard, le disque supplante presque complètement le cylindre.

Le disque PATHÉ, enregistré en profondeur et pressé sur une matière dure, permettait une reproduction sonore intense, grâce au saphir et au diffuseur (démonstration).

L'enregistrement latéral — la spirale ondulée de Charles CROS — réalisé dès 1890 par Emil BERLINER aux U. S. A. (gramophone BERLINER), remplace peu à peu l'enregistrement en profondeur.

L'enregistrement électrique, la reproduction par lecteur électro-magnétique, amplificateur et haut-parleur, le perfectionnement des procédés de pressage, l'amélioration de la matière plastique des disques furent les principaux progrès réalisés.

C'est par une accumulation de perfectionnements de détails, plus que d'inventions créatrices, que le disque a atteint la qualité que nous lui devons aujourd'hui (démonstrations).

Si nous insistons sur cette idée, c'est pour mettre bien en évidence le rôle de la technique qui consiste moins à créer dans un laboratoire qu'à perfectionner et à assembler patiemment des méthodes industrielles déjà connues dans leurs principes; c'est pourquoi la connaissance de l'Histoire de la technique évite bien souvent d'avoir à réinventer des procédés tombés dans l'oubli.

Dès 1908, le principe du lecteur électromagnétique était breveté par LÉON GAUMONT.

Pendant la guerre de 1914, DUFOUR et HUGUENARD, parmi bien d'autres travaux, mettaient au point un écouteur de repérage par le son : c'est exactement le principe des microphones et des haut-parleurs électrodynamiques modernes. Le principe actuel de la reproduction des disques était posé : il suffisait de coordonner ces divers appareils (démonstration).

Autre perfectionnement, qui semble n'intéres-

ser qu'un point de détail et qui cependant a apporté une réelle révolution dans le domaine de l'enregistrement : le disque à enregistrement direct lancé en 1934.

Il apporte aux stations de radiodiffusion la solution de l'enregistrement des programmes différés, et aux éditeurs un support commode pour l'établissement des matrices de pressage (démonstrations).

#### ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

L'enregistrement magnétique date de cinquante ans.

En 1898, POULSEN imagine le télégraphe, appareil d'enregistrement sur film magnétique. Un fil d'acier se déroule à vitesse constante devant une bobine alimentée en courant modulé, le fil est aimanté par les courants induits.

En repassant le fil aimanté devant la bobine, le flux variable produit une *f. e. m.* capable d'actionner un écouteur téléphonique.

En reliant la bobine à une pile, l'enregistrement s'efface sous l'influence de l'aimantation constante qui l'emporte sur l'aimantation variable (démonstration).

En 1903, POULSEN imagine la polarisation par courant continu, la sensibilité et la fidélité sont augmentées.

En 1907, POULSEN dépose un brevet additif qui contient déjà toutes les possibilités de l'enregistrement magnétique, entre autres : « la possibilité d'utiliser le matériau magnétique sous forme d'une feuille, cylindrique, avec ou sans joint, plate comme une carte postale ou sous la forme d'un disque ».

Un autre objet de l'invention est de pouvoir transmettre le message par la poste.

Il a fallu attendre 50 années pour voir réaliser ces idées souvent présentées comme neuves.

En 1930, la compagnie anglaise MARCONI construit la première machine industrielle, d'après les brevets de l'Allemand STILLE.

Le procédé MARCONI-STILLE utilise un ruban d'acier spécial à haute rémanence. Largeur du ruban : 3 mm. épaisseur : 0,08 mm. Il est entraîné à la vitesse de 1,50 m/s au moyen d'une poulie actionnée par un moteur synchrone.

Le ruban d'acier ainsi entraîné à vitesse linéaire constante, passe sous les pôles d'un certain nombre d'électro-aimants ou têtes.

Une première tête, dite d'effacement, est parcourue, par un courant continu d'intensité suffisante pour que le flux de saturation de l'acier soit atteint.

Une seconde tête, dite d'enregistrement, est parcourue par un courant continu de sens inverse tel que l'induction soit représentée par un point situé au milieu de la partie rectiligne du cycle d'hysteresis, on superpose à ce courant continu le courant alternatif de modulation de façon à rester dans la partie droite de la caractéristique.

La reproduction se fait au moyen d'une troisième tête, elle produit une *f. e. m.* proportionnelle aux variations de l'induction rémanente du ruban.

Malgré leur encombrement et l'impossibilité de pratiquer des montages, ces machines ont été exploitées par diverses radiodiffusions; l'apparition du disque à enregistrement direct les firent abandonner (clichés et démonstrations au moyen d'une machine STILLE de la Radiodiffusion française).

En 1927, l'Allemand PFLEUMER avait breveté l'emploi comme support d'enregistrement, de bandes de papier ou de matière plastique recouvertes

d'une substance ferro-magnétique pulvérulente, dès lors le montage devenait possible.

En 1931, l'A. E. G. et l'I. G. FARBEN achètent les brevets PELEUMER et mettent au point un appareil d'enregistrement et de reproduction nommé « magnétophone », et la bande magnétique sur support plastique.

Pendant la dernière guerre, les Allemands utilisaient largement le magnétophone, permettant la transmission à grande vitesse des radio messages qui, après réception et enregistrement, étaient lus à vitesse réduite pour rétablir la cadence normale.

Les brevets CARLSON et CARPENTIER (1927), VON BRAUNMULH et WEBER, CAMRAS et WOOLRIDGE (1941), utilisent un courant alternatif de fréquence supersonique (50 kHz par exemple) pour effacer et pour polariser à la place de la polarisation continue imaginée par POULSEN.

Ce procédé permet d'augmenter considérablement le rapport signal/bruit de fond, il est le seul pratiquement utilisé aujourd'hui. Les applications de l'enregistrement magnétique sont nombreuses :

- Programmes différés de radiodiffusion.
- Enregistrements de haute qualité en vue du report sur cires ou sur disques cellulose (en vue du pressage et de l'édition des disques).
- Industrie cinématographique : enregistrements sur bandes perforées synchrones en vue des mélanges et du report final photographique.
- Dépôt de « pistes magnétiques » sur les films de tous formats permettant la sonorisation immédiate — sans traitement intermédiaire.

L'emploi de plusieurs pistes permet entre autres :

- 1° la sonorisation en plusieurs versions d'un même film.
  - 2° les effets stéréophoniques ou pseudostéréophoniques.
- Contrôle : aviation.
  - Usages commerciaux et industriels : dictée du courrier.
  - Machines à calculer : mémoire magnétique.
  - Enregistrement magnétique des signaux : image magnétique.

#### LE CINÉMATOGRAPHE SONORE

Le cinéma LUMIÈRE date de 1895.

Le cinéma parlant date de 1910.

Le 27 décembre 1910, Léon GAUMONT présentait

à l'Académie des Sciences la solution complète du cinéma parlant : synchronisme, prise de sons à distance, amplification des sons.

Le « chronophone » comporte un amplificateur de son à air comprimé (clichés et démonstration).

L'utilisation d'amplificateurs à tubes électroniques, l'emploi du lecteur électromagnétique et du haut-parleur électrodynamique apportèrent une solution simple à la reproduction sonore des films.

L'enregistrement photographique des sons, d'abord sur une bande séparée défilant en synchronisme avec la bande images, puis l'inscription photographique sous forme d'une piste disposée à côté des images, simplifie les problèmes de tirage des copies et du synchronisme (clichés).

#### AUTRES PROCÉDÉS ET CONCLUSION

Le film gravé. — Enregistrement par gravure mécanique ou électromécanique d'un support plastique. — Reproduction par lecture mécanique, électrique ou photoélectrique. — Procédés HUGENARD et PHILIPS-MILLER (clichés).

Toutes ces techniques ont chacune leur champ d'application propre et l'on ne saurait parler de concurrence entre elles.

Si leurs principes et leur utilisation diffèrent quelque peu, elles ont néanmoins une propriété commune : l'enregistrement et la diffusion sonore sont en train de créer une forme d'expression purement auditive réagissant d'ailleurs sur les arts sonores et que, dans les siècles à venir, on jugera d'une portée sociale peut-être aussi grande que l'imprimerie.

En voici un exemple, si banal que l'on ne songe guère à en prendre conscience : le disque a stabilisé une forme musicale : la chanson populaire moderne, la nouveauté dans la fixation de sa durée, celle d'une face de disque, trois minutes au lieu des 15 à 20 couplets qui étaient d'usage au temps passé.

Radio, cinéma, télévision sont les régulateurs de notre vie sociale; nous connaissons les débuts d'une nouvelle civilisation audio-visuelle. A ce titre le praticien se doit de réfléchir aux conséquences lointaines de sa technique, sous peine de ne créer que des machines inertes et sans esprit que les philosophes ne manqueront pas de lui reprocher un jour.

## ÉVOLUTION DES MÉTHODES DE RESTITUTION DE L'ESPACE AUDITIF

PAR

Jean-Wilfrid GARRETT

*Conservatoire National des Arts et Métiers*

L'espace auditif et ses six dimensions.

Théorie de l'espace de présence.

Paramètres physiques de repérage des sons.

Appréciation de la distance et de la direction.

Traduction électroacoustique de l'espace sonore.

Audition binaurale et stéréophonie.

Applications du système binaural et de ses dérivés.

Stéréophonie artificielle.

Problèmes généraux des spectacles « son et lumière » au point de

vue stéréophonie.

#### L'ESPACE AUDITIF ET SES SIX DIMENSIONS

Nos perceptions visuelles s'analysent physiologiquement suivant trois dimensions : profondeur (ou « proche-lointain »), correspondant à l'accommodation, dimension transversale (ou « gauche-droite ») et d'élévation (ou « haut-bas ») correspon-

dant aux mouvements de rotation des yeux ou de la tête. On reconnaît là les éléments d'un repérage en coordonnées polaires.

Notre perception visuelle correspond à une *visée* directe dans les limites du champ oculaire et de ce fait notre espace visuel immédiat peut s'assimiler — *grosso modo* — à une demi-sphère frontale. La représentation de la totalité de l'espace par l'exploration d'un rayon-vecteur suivant une sphère entière n'est que le résultat d'une construction récurrente abstraite de la part de notre esprit, car, en fait, « l'arrière » ne correspond physiologiquement à aucune perception visuelle. De ces faits physiologiques et des habitudes acquises qui en découlent, résulte notre représentation de l'espace suivant les trois dimensions traditionnelles.

Si la perception visuelle est bien le résultat d'une « visée », c'est exactement l'inverse qui a lieu auditivement. Le son est d'abord *perçu*, puis accessoirement *repéré*, ce repérage n'étant qu'une information réflexe secondaire; cela tient à ce que la perception auditive s'exerce suivant la totalité de la sphère spatiale, ce qui peut encore s'analyser suivant *six dimensions* : les trois envisagées plus haut, plus les trois dimensions symétriques vers l'arrière de l'observateur. La reproduction totale de l'espace auditif dans une pièce fermée supposerait la disposition de six sources sonores suivant les six faces d'un cube (1).

Le fait que le repérage sonore soit une information réflexe secondaire mérite d'être souligné. Il est secondaire à double titre. Le repérage peut, en fait, ne pas avoir lieu : c'est le cas dans l'audition monoauriculaire (surdité d'une oreille) ou dans les états voisins du sommeil, où seule la notion de proximité subsiste. En outre, le repérage n'affecte pas nécessairement notre conscience, car, par habitude d'association avec la vue, le réflexe a précisément pour effet de diriger notre attention vers le son « utile ». En fait, dans notre comportement courant, notre univers sonore « utile » est toujours face à nous. Cette simple remarque suffirait, pour un peu, à justifier cette boutade suivant laquelle si les systèmes stéréophoniques s'étaient imposés dès l'avènement de l'électro-acoustique, on aurait salué l'invention des procédés « monophoniques » que nous connaissons comme une découverte capitale introduisant une considérable simplification et des ressources esthétiques prodigieuses et jusque là insoupçonnées... Que l'on ignore, que l'on découvre ou que l'on enfrenne les lois de la perspective, une bonne partie de l'histoire de la peinture tourne bien autour de la projection d'un espace à trois dimensions sur une surface qui n'en a que deux...

Ce repérage sonore réflexe peut toutefois devenir conscient. Chacun peut malheureusement en faire parfois l'expérience lorsque, participant — par politesse — à la conversation d'un groupe de personnes, on cherche, sans tourner la tête, à saisir — par indiscrétion — celle d'un autre groupe. Il y a là une véritable exploration de l'attention auditive analogue à celle d'un faisceau d'électrons dans un tube cathodique.

Ce précédent exemple met en lumière la propriété capitale de l'audition binaurale : c'est la

faculté d'écoute dirigée, c'est-à-dire, la possibilité d'isoler dans la totalité de l'espace sonore une zone d'un certain angle solide en dehors de laquelle tout phénomène sonore — bien que perçu — ne trouble pas l'attention. De ces deux zones, la plus petite correspondant à l'écoute attentive, donc au son « utile » a été nommée par Békésy *espace de présence*, et, bien que la perception subsiste physiologiquement, notre conscience peut faire abstraction de l'autre zone (2). La notion « droite-gauche » ne subsiste plus alors que comme un renseignement superflu puisqu'il s'agit là d'une notion pour ainsi dire « réflexe » et dont, la plupart du temps, nous ne nous donnons même pas la peine de prendre conscience.

L'écoute naturelle avec deux oreilles présente donc par rapport à l'écoute avec une seule oreille cet avantage capital qu'est une considérable augmentation de l'intelligibilité par diminution de l'effet de « masque » dû aux sons issus d'une zone extérieure à « l'espace de présence ». Parmi ces sons masquants on peut citer en particulier la réverbération, si bien qu'avec deux oreilles elle paraît à ce point réduite subjectivement qu'un auditeur non spécialisé n'y prête habituellement pas attention; ce n'est plus le cas dans l'audition microphonique usuelle. Notre espace de présence devient alors essentiellement le haut-parleur. La totalité des sons d'ambiance captés par le système microphonique dans l'intégralité de l'espace sonore au lieu d'émission, se trouve alors condensée dans le faible angle solide de l'espace de présence, rendant ainsi impossible la dissociation entre sons utiles et ambiance.

Cette théorie de Békésy, remarquable explication des faits d'expérience, découle elle-même du phénomène bien connu en psychologie expérimentale sous le nom de « durée de présence ». L'analyse de l'attention sous toutes ses formes — en particulier visuelle et auditive — révèle une curieuse structure « granulaire » : elle se manifeste par véritables « quanta » de durée tous multiples d'une unité de durée déterminée et immuable pour chaque individu — sauf maladies nerveuses graves — aux alentours de 0,8 à 1,1 seconde. Il semble certain que cette durée de présence, stable, ne soit pas sans relations étroites avec les chronaxies nerveuses découvertes et étudiées en France par Louis Lapicque et son école. (Pareillement, la chronaxie d'une fibre nerveuse déterminée est caractéristique de cette fibre et fixe, sauf cas de maladie ou action de certaines drogues.) Pendant une unité ou un multiple de la durée de présence, notre « espace de présence » correspond ainsi à un cône d'angle solide déterminé. Au bout de ce temps, l'axe du cône change brusquement d'orientation, ou bien, en état de repos ou d'attente de la part de notre attention, l'angle solide augmente d'une valeur déterminée qui peut même atteindre la totalité de l'espace sonore. Un seul phénomène sonore même très bref suffit alors à éveiller l'attention qui pendant une unité de présence (au minimum) redéterminera une nouvelle orientation de l'axe du premier cône de présence. Il est d'ailleurs remarquable de noter que dans les périodes de repos du système nerveux, dans les états

(1) Ainsi est-il commode en électroacoustique d'assimiler le nombre de canaux, ou directions de provenance du son, au nombre de « dimensions ».

(2) Signalons une analyse très claire de l'hypothèse de Békésy dans l'ouvrage important de J. Bernhart : « Traité de Prise de son » (p. 23 à 26) Eyrolles, Édit.

proches du sommeil où la conscience, sans être déjà disparue ne contrôle cependant plus nos perceptions. toute faculté de repérage auditif disparaît; il n'y a plus coordination ni discrimination des informations reçues par les deux oreilles qui sont — si l'on peut risquer cette image empruntée à l'électricité — mises « en parallèle ». Seule la notion de proximité subsiste dans une sorte de halo qu'évoque assez bien un microphone mal placé dans un studio.

#### PARAMÈTRES PHYSIQUES DU REPÉRAGE DES SONS.

Dans ses grandes lignes, ce problème est généralement connu. (Cf. *Traité de prise de son*). Il n'en est pas moins vrai que bien des points ont fait couler beaucoup d'encre et la littérature spécialisée trahit de fortes divergences d'opinions à ce sujet. (Voir en particulier l'ouvrage capital en cette matière : « *Hearing, its Psychology and Physiology* » par STEVENS et DAVIS, John Wiley et Sons, Édit., New-York ou Chapman et Hall, Édit., Londres.)

Tout parallèle avec le repérage visuel semble assez peu indiqué car il donne lieu à des analogies dangereuses. Répétons, d'une part, qu'un objet n'est perceptible que grâce à une visée le situant dans le champ visuel et soulignons que l'accommodation et la convergence des axes optiques fournissant les informations de proximité n'ont pas d'analogue dans l'audition. (Il y a lieu de remarquer en passant que la plupart des mammifères possèdent des oreilles mobiles permettant certainement une meilleure appréciation dans le repérage.) En se bornant pour l'instant au repérage dans un plan horizontal, il est commode de se référer à des coordonnées polaires : module pour la distance, argument pour la direction.

#### Appréciation de la distance.

Elle reste assez floue et trois paramètres semblent être dominants.

**Le spectre du son :** La richesse en transitoires (consonnes très riches dans la parole entendue de près) et l'atténuation plus ou moins grande des extrêmes basses et aiguës. Par l'habitude acquise, nous faisons correspondre à ces informations un certain étalonnage en distance.

**Le rapport « son direct/son réverbéré » :** Avec l'éloignement ce rapport tend vers zéro. Cet effet vient en renforcement du précédent car la réverbération tend à brouiller les régimes transitoires.

**L'intensité du son :** Ce paramètre n'a d'ailleurs de valeur que dans la mesure où l'on peut avoir le souvenir d'une intensité de référence. En fait l'indication devient surtout utile pour les sources sonores mobiles.

En acoustique microphonique, ces trois paramètres sont très utilisés : diminution du niveau pour simuler un éloignement (procédé surtout efficace dans les effets de plein air sans réverbération), éloignement du micro qui a pour double effet de favoriser le son réverbéré et de diminuer la netteté des transitoires. Il y a d'ailleurs une erreur courante qui consiste à confondre « présence » et absence de réverbération. Deux exemples le

mettront en lumière : pour truquer des effets de voix lointaines, il est commode de placer l'interprète aussi près que possible d'un micro peu sensible au souffle, de le faire crier en allongeant les voyelles et en marquant très peu les consonnes; de ce fait, il y a prédominance du médium et disparition des extrêmes graves et aiguës d'autant plus qu'on diminue davantage le niveau, et, d'autre part, à la fois du fait de l'interprète et de la distorsion due à la saturation acoustique du microphone, on provoque une déformation des régimes transitoires (consonnes). En outre le son direct masque totalement le son réverbéré, ce qui prouve bien que l'absence de réverbération ne suffit pas à donner l'impression de « présence »...

Le cas d'un sermon enregistré dans une cathédrale, nous montrerait de même, pour peu que le prédicateur soit près du micro, que la réverbération ne suffit pas à déduire la « présence ».

En fait, si le spectre sonore ne varie pas, la réverbération croissante donne l'illusion d'une source sonore immobile dans un cadre acoustique élargi. Un spectre qui s'appauvrit donne en revanche l'impression d'un éloignement de la source dans un espace acoustique déterminé par la seule réverbération (en quantité et qualité, ce que l'on nomme alors « ambiance »).

#### Appréciation de la direction.

Elle est due *dans l'audition naturelle directe* à l'effet de diffraction des ondes acoustiques, diffraction due au contour de la tête. Pour les sons aigus — de longueur d'onde petite vis-à-vis des dimensions de la tête — la présence de la tête introduit une différence dans l'intensité de chaque oreille.

Pour les sons graves — de longueur d'onde grande vis-à-vis des dimensions de la tête — on

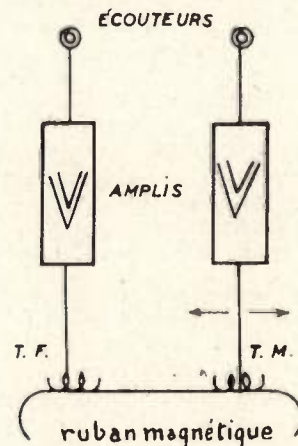


FIG. 1

observe une différence de phase (ou un écart de temps) entre les deux oreilles.

Pour des longueurs d'onde comparables aux dimensions de la tête, les deux effets existent simultanément.

Mais en fait, il est maintenant assez bien établi que quelle que soit la hauteur du son, on peut toujours donner l'illusion d'un déplacement de la source sonore en ne faisant varier qu'un de ces

(1) Cf. *Traité de la Prise de son*, p. 85 à 109, (travaux de J. Bernhart, P. Schaeffer et Maxfield).

deux paramètres, laissant l'autre fixe. Ici encore, il est à remarquer qu'un son est d'autant mieux localisé en direction que son spectre est plus riche.

Un montage expérimental simple, suivant le schéma de la figure 1, permet de mettre en évidence le rôle de la phase. Si on lit un même son à l'aide de deux têtes magnétiques, dont l'une des deux est mobile par rapport à l'autre, on peut introduire, par déplacement de la tête mobile, un écart de phase variable entre les deux signaux obtenus. Si les niveaux des deux écouteurs sont soigneusement fixes, on constate une variation en direction de la source « fictive » correspondant à chaque variation dans la position de la tête mobile. (Il est commode de procéder avec une bande magnétique divisée en deux dans le sens de la largeur, chaque demi-piste portant le même enregistrement décalé dans le sens du défilement d'une longueur égale à la distance moyenne entre les deux têtes de reproduction).

Le procédé de truquage le plus simple consiste, bien entendu, à garder constante la phase et à agir sur l'intensité. Dans l'écoute au casque, on trouve une valeur sensiblement uniforme d'environ 1 décibel d'écart pour 6° de rotation, en explorant une zone d'environ 45° de part et d'autre de la direction médiane. Le minimum de sensibilité directionnelle est d'environ 3°, ce qui représenterait donc 1/2 dB pour 3° dans les fréquences moyennes. Au cours d'études sur ce sujet, faites sous l'égide du Centre d'Études radiophoniques de la Radiodiffusion-Télévision Française, par l'auteur de ces lignes en collaboration avec José Bernhart, il y a quelques années, la difficulté du repérage des sons continus s'est constamment manifestée. Des sons purs interrompus ont l'inconvénient de présenter des régimes transitoires qui, s'ils permettent un repérage précis, rendent la mesure illusoire en ce qui concerne un résultat quantitatif en fonction de la fréquence. Cependant, si tout repérage angulaire précis était impossible avec un son pur, l'évidence d'un déplacement en fonction du niveau a pu être constatée quelle que soit la fréquence. Il a été pratique, pour obtenir des valeurs précises, d'opérer sur la reproduction de la parole, après avoir préalablement étalonné avec précision les potentiomètres de niveau. (Les expériences qualitatives portant sur la phase aboutissaient aux mêmes constatations.)

Les mêmes expériences étaient poursuivies avec un système de deux haut-parleurs disposés de telle sorte que leurs axes soient perpendiculaires, l'observateur se plaçant en leur point de concours. Les résultats sont sensiblement analogues.

Enfin, dans la théorie du repérage, il est classique de rendre compte de l'effet « avant-arrière » à la fois par la directivité des pavillons des oreilles (orientés vers l'avant), la position des oreilles légèrement en arrière et, donc, la différence de contour entre l'avant et l'arrière du crâne.

Une explication identique rend compte de la sensation d'élévation. Il faut cependant remarquer que les sons perçus comme venant d'en bas sont le plus souvent liés à d'autres sensations physiques telles que la transmission des sons graves par le sol et par conduction osseuse à travers le squelette.

Un point toutefois doit être souligné : si seu

l'un des deux paramètres suffisait à rendre compte de l'effet de localisation, on trouverait, pour une différence déterminée de la valeur de ce paramètre pour les deux oreilles, un lieu géométrique des positions possibles de la source sonore. (Par exemple, pour la phase, les deux nappes d'un hyperboloïde ayant les oreilles pour foyers.) Il n'y a donc que la combinaison des deux paramètres, étant donnée la forme non régulière du crâne, qui permette de lever le doute.

#### REMARQUE SUR UN EFFET D'ÉLEVATION PARTICULIER.

Si, dans le montage de la figure 2, on alimente simultanément les deux haut-parleurs *G* et *D*, en phase et à la même intensité, avec le même son, un observateur placé en *O* situera une source fictive « image » en un point *M* équidistant des deux haut-parleurs. En principe, cette image *M* se trouve au milieu du segment de droite « d'horizon » qui joint les haut-parleurs. En fait ceci ne reste vrai que si le son ne comporte pas de réverbération (son non continu bien entendu). Dès qu'on introduit artificiellement la réverbération (chambre d'écho), le point *M* semble monter progressivement au-dessus de cette ligne d'horizon, tout en restant dans le plan médian. Si, en variant les niveaux électriques, on déplace *M* de *G* en *D*, il

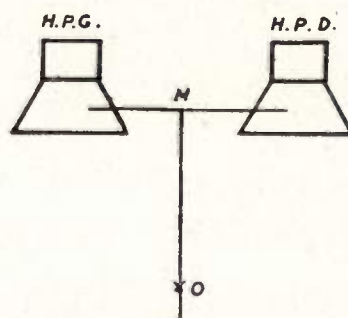


FIG. 2

décrit, non plus une droite (d'ailleurs légèrement incurvée vers l'observateur) mais un arc de cercle au-dessus du plan déterminé par les oreilles de l'observateur et les deux haut-parleurs et coupant ce plan en *G* et *D*.

Nous pensons qu'il faut en trouver l'explication dans le « cône de présence » de Békésy. En effet : la réverbération, dès qu'elle dépasse une unité de durée de présence, s'impose à notre attention et, évoque un cadre acoustique de grandes dimensions. L'angle solide du « cône de présence » s'augmente d'autant et par association à l'horizon visuel, ce cadre acoustique ne s'agrandit pas vers le bas, mais subjectivement vers le haut. C'est donc l'axe du cône de présence qui, s'inclinant vers le haut, pourrait rendre compte de cette illusion curieuse qui n'existe plus si la source fictive « image » *M* est remplacée par un seul haut parleur ; la source étant devenue réelle, l'axe du cône de présence reste dirigé vers elle. (Nous avons fait une application de ce curieux effet dans notre mise en scène du premier programme « son et lumière » en 1952 au château de Chambord : épisode de la voix de Dieu.)

# TRADUCTION ÉLECTROACOUSTIQUE DE L'ESPACE SONORE.

## Audition binaurale et stéréophonie.

Deux méthodes s'offrent à nous pour restituer l'espace sonore :

1° Fournir à chaque oreille, en respectant phase et intensité, le signal exact qu'elle recevrait si l'observateur était placé au lieu de l'émission. Le prototype de ce procédé consiste à capter le champ sonore à l'aide de deux microphones occupant la place des oreilles dans une tête de plâtre, et écouter à l'aide d'un casque. En toute rigueur et sans parler de la chasse aux diverses distorsions électriques (sans omettre les distorsions de phase...), cela suppose un contour de la tête de plâtre identique à la forme de la tête de l'observateur puisque seul ce contour, la forme et la position du pavillon de chaque oreille déterminent les relations exactes entre les divers paramètres et que l'habitude de l'expérience quotidienne, *dans ces seules conditions*, a conditionné notre réflexe du repérage. Disons tout de suite que cette rigueur toute théorique est fortement tempérée par l'excellence des résultats obtenus, même sans tête de plâtre, même avec un taux de distorsions supérieur à celui que l'on pourrait tolérer dans un système « monophonique » usuel...

2° Disposer autant de sources reproductrices qu'il y a de sources à l'émission (et la réverbération compte pour autant de sources d'émission qu'il y a de réflexions et de lieux de réflexion du son...). Poussée à l'absurde cette méthode exige des parois tapissées de haut-parleurs qui correspondraient à autant de micros dans le local d'émission de forme identique.

On a pris l'habitude — surtout dans la littérature anglo-saxonne — de qualifier la première méthode de « Binaurale » et la seconde (réduite le plus souvent à trois canaux...) de « Stéréophonique ». En fait on passe à peu près sans transition de l'une à l'autre. Remplaçons le casque de la première méthode par deux haut-parleurs, l'expérience marche encore. Elle est amoindrie du fait que chacune

des oreilles reçoit une partie du signal destinée à l'autre; d'autre part, l'espace sonore qui existait, théoriquement du moins, en totalité dans la reproduction par casque, se borne alors à l'espace limité par les deux haut-parleurs (compte tenu de l'effet d'élévation noté plus haut) : la réverbération apparente semble légèrement plus grande et croît au fur et à mesure que l'on rapproche les haut-parleurs. A la limite on retrouve l'audition monophonique, donc à une seule dimension, celle de la perspective fuyante suivant une ligne qui relie l'observateur au haut-parleur.

En résumé :

Système monophonique : un haut-parleur : une seule direction fictive : rapprochement-éloignement : une dimension.

Système binaural : un casque : toutes les directions théoriques dans 6 dimensions.

Systèmes stéréophoniques par tout ou rien : autant de directions invariables que de canaux dans le cadre des 6 dimensions (Il faut entendre par là  $n$  haut-parleurs commandés en tout ou rien par exemple par un commutateur à  $n$  positions. Autant dire qu'un tel système mérite à peine la dénomination de « stéréophonique »... Il ne figure ici qu'à titre de référence car il en existe quelques applications publiques).

Systèmes stéréophoniques de 2 à 6 canaux fonctionnant deux à deux en binaural : théoriquement,

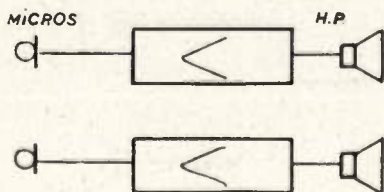


FIG. 3 a

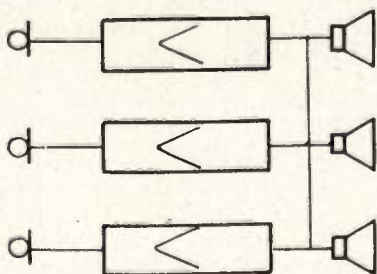


FIG. 3 b

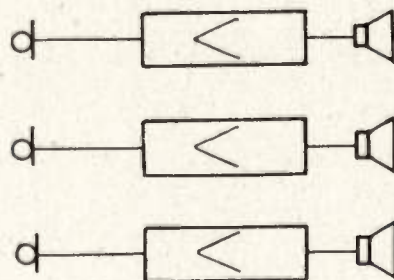


FIG. 3 c

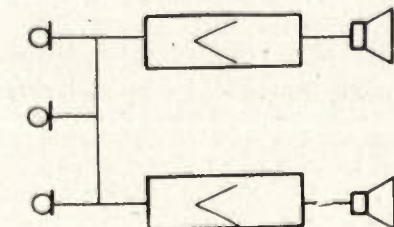


FIG. 3 d

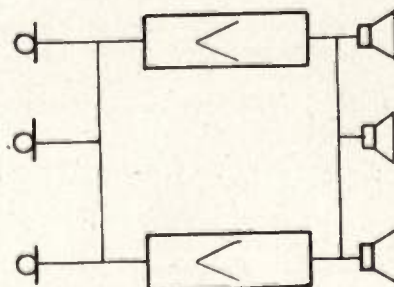


FIG. 3 e

toutes les directions dans le cadre des 6 dimensions. Ce système de sonorisation par haut-parleurs se rapproche le plus des conditions idéales de l'écoute binaurale au casque.

On peut affirmer que depuis les débuts de l'électroacoustique, les divers laboratoires, tant en France qu'à l'étranger, se sont préoccupés de la reproduction stéréophonique. Ne cite-t-on pas Clément Ader, pionnier de l'aviation, comme le fondateur de la première exploitation commerciale de système binaural? Il créa la Société « Théâtrophone » qui permettait aux premiers abonnés parisiens du téléphone, à condition qu'ils eussent deux lignes à leur disposition, d'écouter chez eux moyennant redevance téléphonique, la retransmission des principaux théâtres parisiens. Mais les temps n'étaient pas accomplis... la société, dans l'indifférence générale, fit faillite.

De nos jours, qu'il s'agisse des travaux de Steinberg et Snow à la Bell Telephone, de ceux des laboratoires Philips à Eindhoven, de Joseph Cordonnier en France, les méthodes se ramènent à l'un des systèmes symbolisés sur la figure 3. Soit un système à deux canaux microphoniques (avec ou sans tête artificielle) tel qu'en *a*; soit un système à trois canaux tel qu'en *b*. Les systèmes représentés en *c*, *d* et *e* correspondent à deux canaux auxquels on ajoute par pontage, soit un troisième microphone, soit un troisième haut-parleur, soit simultanément les deux.

En fait l'écoute stéréophonique dans un local fermé suppose la réalisation pas toujours aisée d'un certain nombre de conditions. Les haut-parleurs doivent fournir un champ homogène, la base d'écoute ou distance des haut-parleurs doit être suffisamment large et la réverbération du local suffisamment faible pour éviter toute confusion entre un signal issu de la droite et le signal issu de la gauche. Les meilleures places pour l'audition correspondent bien entendu au centre de la salle, les positions de côté donnant lieu à une véritable distorsion spatiale où la notion de centre peut aller jusqu'à disparaître. Chacune des deux oreilles reçoit une fraction très importante du signal destiné à l'autre oreille. Pour peu que les réflexions parasites dans la salle d'audition soient importantes, les relations de phase et d'intensité deviennent incohérentes et la notion de centre disparaît.

En outre, pour toutes les places, la différence de marche des ondes sonores, doit être inférieure à une vingtaine de mètres, extrême limite où l'impression stéréophonique a, non seulement, déjà disparu, mais où, de plus, le décalage commence à se manifester sous forme d'échos pour les sons brefs.

En résumé, toutes les salles sont loin d'être aptes à une reproduction stéréophonique de qualité et seule une épure précise permet de traiter le problème avec quelques chances de succès. Mais ceci posé, le problème d'une reproduction correcte à l'aide de deux canaux seulement n'est pas du tout insoluble comme on l'a parfois prétendu un peu hâtivement.

C'est devant ces difficultés, peut-être pas toujours très clairement analysées, que les divers chercheurs ont été amenés à utiliser le troisième canal, destiné à préciser le centre. Il existe alors au moins trois points dont on est sûr. En outre, la nouvelle demi-base constituée par le haut-parleur central et chacun des extrêmes, répond plus facile-

ment aux conditions imposées par le cône de présence.

De même, une base trop large à la prise de son, oblige, soit à un recul plus grand ce qui accroît la réverbération et diminue la netteté des plans, soit à l'utilisation d'un troisième micro pour combler le trou existant au centre. Il suffit d'ailleurs, et c'est là la simplification représentée figure 3 par les cas *c*, *d* et *e*, que le micro débite un niveau égal dans chaque canal — la phase restant nécessairement inchangée — ou que le troisième haut-parleur reçoive le même niveau de chaque canal, pour recréer le centre. On constate toutefois, avec les systèmes pontés, une impression subjective de diminution de la base en largeur. La même remarque s'impose dans le cas d'un système à deux canaux ordinaire si l'on réalise une certaine dose

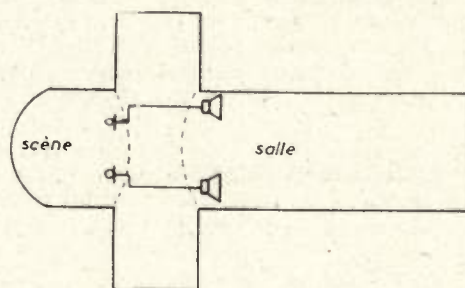


FIG. 4

de réinjection réciproque d'une voie sur l'autre (système Philips de réglage subjectif de la base).

Nous verrons qu'en champ libre, en plein air, les conditions se simplifient et rendent aisé l'usage d'un système à deux canaux.

Toutefois, on sait de nos jours construire des traducteurs sonores rayonnant un champ homogène dans un angle déterminé à l'avance (en particulier le remarquable système de baffles en forme de conques de la société « Elipson ») ce qui permet dans des salles délicates de diminuer dans une

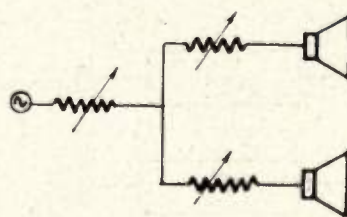


FIG. 5

très large mesure les réflexions parasites et donc d'améliorer au point de permettre une solution là où il n'y en aurait pas eu.

#### STÉRÉOPHONIE ARTIFICIELLE.

Les procédés binauraux et dérivés constituent une étape importante dans la recherche de la « fidélité », c'est-à-dire dans la restitution la plus objectivement exacte du réel. Comme tels ils sont asservis aux phénomènes naturels et n'ont qu'un rôle passif d'intermédiaires entre la source sonore et l'auditeur. Cette recherche de la fidélité objec-

tive a d'ailleurs été un souci constant dans la technique électro-acoustique.

Il y a lieu de se demander si cette « fidélité objective » n'est pas un pseudo-problème. En mettant les choses au mieux, imaginons que nous disposions d'une installation monophonique parfaite en ce sens que la chaîne serait parfaitement droite, sans distorsions, linéaires ou non, sans souffle, etc... Il existerait cependant quelques conditions limitatives dans la restitution intégrale du réel : absence de sélection spatiale, conditions acoustiques du local d'écoute. On peut dire que l'écoute dans les meilleures conditions, d'un enregistrement symphonique, est équivalente à l'audition de l'orchestre par le trou de serrure de la salle de concert. Quand l'ingénieur du son dose les divers plans sonores, c'est lui qui fait à notre place la sélection spatiale. Il ne restitue donc pas le réel, mais en donne une traduction subjectivement plus ou moins vraie selon sa sensibilité, la nôtre, et son habileté.

Admettons même une reproduction stéréophonique ; si le dosage artificiel disparaît, il n'en reste pas moins vrai que le local d'écoute impose des conditions vis-à-vis de la dynamique. L'expérience prouve que des écarts de dynamique normaux dans une grande salle, deviennent intolérables dans un volume restreint. En termes plus imagés, il est impossible de faire tenir acoustiquement 120 musiciens dans une chambre à coucher. De ce fait, si la compression n'était pas déjà imposée par des raisons électriques, chaque auditeur devrait la réaliser pour son propre compte. Là aussi, il y a donc traduction du réel.

Cette transformation de la réalité objective en vérité subjective, cette nécessité inéluctable d'une interprétation de la réalité sonore, ont précisément conditionné le développement d'une esthétique nouvelle du son, d'un moyen d'expression nouveau. Or, en Art, la fidélité n'est que subjective... C'est bien cette ingérence inévitable d'une notion esthétique dans la technique qui fait de cette recherche de la fidélité objective, un pseudo-problème.

L'une des bases de l'expression électro-sonore est cette espèce d'immatérialité des sons, cet espace abstrait dans lequel se meuvent les voix, depuis la sensation de « voix intérieure » que donne le gros plan du récitant, cette pensée chuchotée jaillie du récepteur pour nous habiter, jusqu'à l'apothéose de la sonorité « cathédrale ».

L'introduction dans ce domaine magique, d'un procédé passif restituant la banalité du réel, rompt le charme et, paradoxalement, « aplatit » l'illusion. Le gros plan devient difficile étant donné l'éloignement physique des deux micros ; la chambre d'écho nécessite un pontage du couple microphonique et en trouble le fonctionnement, si bien que la réverbération est toujours centrée, quelle que soit la direction du « son direct ». Bref, on est amené à abandonner toute « l'orchestration » microphonique qui constituait la base essentielle de ce moyen d'expression. Et tout cela, au seul profit d'une simple « information » physiologique supplémentaire qui lie servilement l'imagination à la banale réalité, à des mouvements et des situations existant réellement devant le couple microphonique. C'est bien là que nous rejoignons le paradoxe cité au début de cette étude : si la stéréophonie avait existé avant la monophonie, on

aurait salué l'avènement de celle-ci comme une libération...

Il était donc naturel et important de chercher s'il n'y avait pas dans les procédés stéréophoniques autre chose que des expériences de physique amusante bonnes tout au plus pour les attractions de foires, et, notamment, s'il n'était pas possible de trouver une méthode permettant d'une part de conserver les possibilités expressives traditionnelles et d'autre part de s'affranchir de toute servitude à l'égard du mouvement en le créant soi-

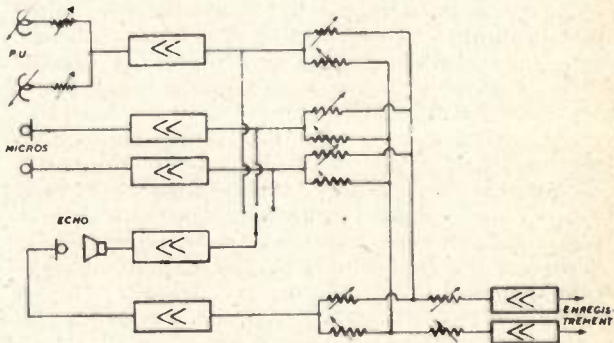


FIG. 6

même à sa fantaisie. Faute de quoi, la stéréophonie ne serait à l'art des sons que ce que sont les mannequins de cire, aux yeux vides de vie, par rapport à la sculpture : la négation de l'Art.

Le Centre d'Études Radiophoniques, que dirige Jean Tardieu, Directeur du Club d'Essai de la Radiodiffusion-Télévision française, a chargé, en 1949-1950, José Bernhart et l'auteur de ces lignes d'étudier dans cet esprit les ressources des méthodes stéréophoniques.

Après quelques tentatives personnelles très empiriques et totalement infructueuses, vers 1943, nous

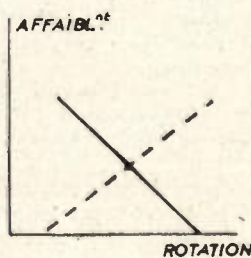


FIG. 7

avons eu la chance de pouvoir reprendre avec J. Bernhart, l'étude du paramètre intensité, sur des bases expérimentales solides. Cela nous a conduit à réaliser un système de prise de son pouvant être à volonté, soit binaural, soit basé sur la méthode de variation d'intensité symbolisée figure 5, et permettant donc à partir d'un collecteur sonore monophonique (micro ou lecteur d'enregistrements) un déplacement artificiel de l'image sonore, soit enfin une combinaison simultanée des deux méthodes.

Le schéma de principe de cette console de prise de son correspond au dessin de la figure 6.

C'est cette méthode — baptisée par nous « *Séréophonie dirigée* » pour en exprimer à la fois le côté artificiel et la possibilité de créer à volonté les effets de déplacement — que nous avons eu la possibilité d'appliquer en diverses circonstances sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement.

Chaque voie monophonique étant électriquement divisée en deux directions correspondant aux canaux droit et gauche, est donc susceptible de mouvements autonomes. Par exemple, il est aisé à l'aide de deux disques de bruitage de passages de trains, de donner l'illusion de deux trains qui se croisent. Il est évident que le cas du train — physique amusante !... — est le plus délicat car c'est une source sonore étalée dans l'espace alors que nous la restituons sous forme d'une source ponctuelle. Mais l'illusion du mouvement suffit à masquer cette « non-fidélité ». Quant aux sources naturellement ponctuelles, elles n'offrent aucune difficulté. C'est ainsi qu'un comédien restant immobile devant un micro, peut donner l'illusion, à l'écoute, de se déplacer dans le sens transversal, vite ou lentement suivant une loi déterminée par la seule manœuvre du potentiomètre de différence de niveaux. Par la combinaison simultanée de mouvements différents de plusieurs sources, ou par le choix de positions différentes dans l'espace, l'illusion du réel est obtenue. Il est évident, de plus, que si l'on dispose deux microphones, électriquement calés dans deux directions différentes, on réalise de ce fait un couple stéréophonique à base électriquement variable, traduisant alors les mouvements naturels avec une amplitude de déplacements qui ne dépend que du réglage électrique de la largeur de base.

On retrouve donc bien les propriétés traditionnelles des prises de son monophoniques avec en plus l'adjonction d'une dimension transversale, soit par traduction de la réalité, soit par pur artifice. Par exemple, dans un orchestre, statique par essence, on peut à son gré, à l'aide d'un micro d'appoint dit « baladeur », déplacer un instrument soliste ou un groupe d'instruments : glissade de harpe en déplacement rapide, appels de trompettes se répondant en divers points de l'espace. La seule précaution à prendre est de placer le soliste et son micro baladeur assez loin du couple binaural statique et, si possible de face.

Un effet assez curieux peut être constaté dans les déplacements rapides. On a souvent l'illusion que la source « image » à l'écoute, dépasse les deux points extrêmes de la base comme par une sorte d'effet d'inertie. Cette curieuse impression, d'ailleurs fugitive, est à rapprocher de l'effet d'élévation signalé plus haut. En effet, c'est certainement au phénomène de Békésy qu'il convient de l'attribuer : l'axe du cône de présence se trouve entraîné par le mouvement de la source sur laquelle l'attention est concentrée; pendant une unité de durée de présence, le mouvement de cet axe se continue par « inertie » et explique l'illusion.

Un autre effet curieux mérite d'être signalé. Prenons une base d'écoute constituée par deux haut-parleurs distants d'un mètre à un mètre cinquante et réglons électriquement les circuits pour obtenir une « source-image » parfaitement centrée. Approchons-nous progressivement de la base tout en restant bien dans le plan médian. L'image reste bien en face de nous, puis très rapidement semble fuir vers le haut, pour donner, avec une présence hallucinante, l'impression d'être située

juste au-dessus du crâne au moment précis où l'on se trouve exactement entre les deux haut-parleurs; il suffit alors d'un très léger mouvement en avant pour sentir l'image redescendre très vite et se situer juste derrière la nuque. A l'instant précis où l'image est au-dessus de nous, si nous remplaçons les haut-parleurs par un casque binaural, l'effet d'élévation disparaît : l'image apparaît normalement devant. Mais, si peu que l'on écarte le casque des oreilles, l'effet reparaît; autrement dit, il coïncide avec le fait que chaque oreille ne reçoit pas seulement le signal qui lui est destiné mais aussi une fraction importante du son destiné à l'autre oreille. Ce simple fait de mélanger les signaux aboutit à nous faire confondre la distance qui nous sépare de l'image avec celle qui nous sépare de la base d'écoute. Nous savions déjà que le sens de la direction angulaire — parfaitement rendu par le procédé — est singulièrement plus précis que l'appréciation de la distance qui n'a à sa disposition que les diverses appréciations subjectives déjà notées. Mais, outre cela, à une distance si faible des deux sources émissives — (l'effet disparaît en effet si l'on éloigne les haut-parleurs) — nous percevons parfaitement que notre distance par rapport à la base d'écoute, donc vis-à-vis de l'image, est nulle. Tout se passe comme si notre présence physique perturbait le champ sonore maximum régnant en ce lieu au point de repousser l'image. Elle semble être une sorte de sphère pulsante capable d'une grande vélocité et presque au contact de notre propre contour physique; sans doute y aurait-il quelque scandale pour notre perception immédiate, à la localiser à l'intérieur de nous-même.

Pour être tout à fait impartial, il faut reconnaître que les théories de l'espace de présence et du repérage physique sont assez impuissantes à rendre compte de ce phénomène. Il faut bien dire que l'explication traditionnelle, telle que nous l'avons reproduite au début de cette étude, attribuant les effets de localisation arrière ou en hauteur aux différences de contour du crâne, n'a pas un caractère très convaincant. Si l'explication est plausible pour des positions quelconques de la source sonore, elle tombe dès qu'on envisage le plan médian pour lequel les deux oreilles reçoivent des signaux identiques en phase et intensité.

En tout état de cause, on observe dans ces conditions d'écoute, assez exceptionnelles et malheureusement non réalisables en salle publique, une présence étonnante. D'une façon générale, disons aussi que l'écoute de dos est souvent plus saisissante que de face car on n'a pas la tendance instinctive à y associer un élément visuel.

#### RÉALISATION PRATIQUE ET EXPLOITATION DE LA CONSOLE DE PRISE DE SON.

Au début de nos travaux, nous avons utilisé le matériel standard des studios de la Radiodiffusion Française pour l'un des canaux, et un matériel de reportage pour l'autre. Le mélangeur de reportage avec son modulomètre était posé sur la console fixe de studio. Plusieurs opérateurs étaient nécessaires pour le mélange car pour chaque source de modulation, l'opérateur avait les deux mains prises par le réglage autonome d'un potentiomètre sur la consolette de reportage et du potentiomètre correspondant à la même modulation sur la console de studio. C'est cependant dans ces conditions que,

dans les délais identiques à ceux impartis à une émission ordinaire, nous avons pu enregistrer la première production dramatique en stéréophonie, sous la direction artistique de René Clair, à qui nous ne voulons pas manquer, une fois encore, de rendre hommage pour la confiance qu'il nous a témoignée à l'époque. Cette réalisation de « Une larme du diable » d'après Théophile Gautier, devait même permettre à Gérard Philipe, interprète du rôle principal, de songer à ce procédé lorsqu'il mit en scène « Nucléa », d'Henri Pichette, pour le Théâtre National Populaire de Jean Vilar, au Palais de Chaillot.

Depuis cette époque, le centre technique d'Asnières de la Société Pathé-Marconi, centre placé sous la direction jeune et dynamique d'André Milon, a réalisé un pupitre de prise de son stéréophonique, utilisé en particulier pour les enregistrements des programmes « son et lumière » de Chambord en 1953 et de Versailles.

Ce pupitre à préamplificateurs incorporés possède huit entrées à diverses sensibilités permettant indifféremment le branchement de micros pick-up ou lecteurs magnétiques. Sur chacune de ces entrées, un commutateur permet éventuellement de dériver une fraction de la modulation vers un ampli séparateur destiné à alimenter une chambre d'écho. Après chaque potentiomètre de niveau, la modulation est divisée en deux par un potentiomètre double à partir duquel la séparation en deux voies gauche et droite se trouve donc réalisée. Un potentiomètre général, un réglage du niveau d'écoute et un V.U.-mètre complètent chacune des voies. Le pupitre est parfaitement symétrique comme présentation, si bien que visuellement on est parfaitement renseigné sur la répartition spatiale des modulations. De plus, sauf cas particulièrement difficiles, l'expérience nous a montré qu'un seul opérateur suffit pour réaliser toutes les opérations de la prise de son puisque grâce aux potentiomètres doubles de bascule gauche-droite, une seule manœuvre suffit par déplacement. Seuls les délais très courts de construction et de mise au point de ce prototype n'ont pas permis de disposer les « manches-à-balais » prévus à l'origine

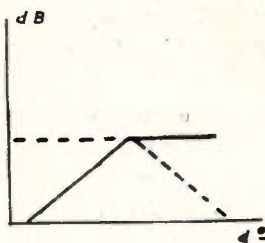


FIG. 8

pour combiner dans un seul organe de commande, le réglage du niveau et celui du déplacement spatial. Pratiquement, tel qu'il est réalisé, cet appareil s'est révélé d'une remarquable souplesse d'utilisation. C'est ainsi que pour les enregistrements ou sonorisations monophoniques, un canal est affecté à la modulation de travail, l'autre servant au repérage et au préréglage des circuits en préparation. Il suffit ensuite de tourner la balance correspondante pour la mise en service.

Avant une prise de son stéréophonique, on équilibre électriquement les deux canaux (identiques

au point de vue réponse), toutes les balances étant au centre mécaniquement repéré, en injectant un signal d'hétérodyne et comme d'habitude en se référant aux deux V.U.-mètres. Sans rien modifier dans le réglage, on remplace alors l'hétérodyne par une modulation de parole pour équilibrer alors les deux niveaux d'écoute. Par la suite, les deux V.U.-mètres n'ont plus qu'un rôle de contrôle visuel de la modulation, suivant le processus classique, car, à moins d'effets brutalement marqués entre la gauche et la droite, les différences d'indications sont trop minimes et pas représentatives

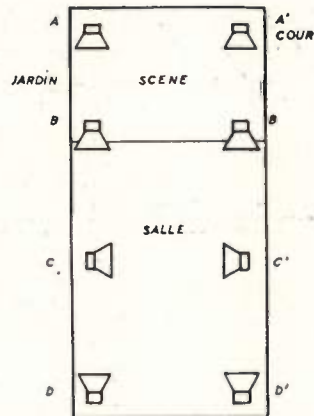


FIG. 9

Installation stéréophonique du Palais de Chaillot à Paris avec baffles Elipson.

de la localisation. Le contrôle à l'oreille est en définitive le seul juge. On n'a donc pas trouvé utile d'adjoindre un galvanomètre à zéro central monté en opposition sur les deux canaux, pour une indication visuelle du centrage.

Un point important est à souligner : celui de la loi de variation adoptée pour les potentiomètres doubles de balance. Il semblerait que le type « fader » donnant des variations de niveau conformes au schéma de la figure 7, soit la loi à réaliser. En fait, il est préférable d'utiliser la courbe de la figure 8, dite de « balance double ». La figure 7, bien que réalisant un niveau électrique constant dans une installation monophonique, donne l'impression d'un mobile proche sur les côtés mais éloigné au centre. Il y a en fait un trou subjectif d'intensité pour la position centrale. D'ailleurs cela reviendrait à additionner arithmétiquement des niveaux et il est évident que deux sources d'un niveau, chacune de 40 phones, ne font pas réunies, 80 phones... (Dans un casque binaural, il y aurait lieu de tenir compte du fait qu'il existe un écart de 6 décibels — affectant notamment le seuil d'audibilité — entre l'audition monaurale d'un son et l'audition du même son par les deux oreilles; cette question ne se pose pas dans l'écoute stéréophonique par haut-parleurs). La courbe de la figure 8 donne entière satisfaction et en tout état de cause, on a toujours la ressource de retoucher simultanément le niveau général pendant le déplacement pour simuler une trajectoire plus ou moins incurvée.

#### PROBLÈMES GÉNÉRAUX DES SPECTACLES SON ET LUMIÈRE AU POINT DE VUE STÉRÉOPHONIQUE.

Le premier spectacle de ce genre a eu lieu au château de Chambord. Par la suite, cette méthode

a pris une très rapide extension avec des spectacles analogues à Versailles, Chambord, Chenonceaux, Villandry et les projets actuels concernant la région parisienne.

Le cas de Chambord a été exposé plus haut séparément car il représente un cas simple où les conditions techniquement favorables se trouvent naturellement réalisées.

Il importe d'ailleurs de voir exactement en quoi consiste ce genre de spectacle qui ne s'apparente vraiment à aucun type traditionnel.

Depuis pas mal d'années déjà on éclairait les monuments pour ajouter un attrait nocturne aux régions touristiques. Mais autant la lumière du jour est un élément vivant et changeant, autant

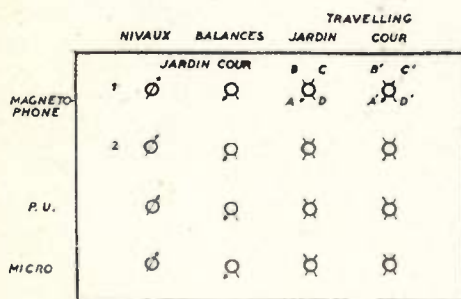


FIG. 10

Pupitre distributeur pour l'installation du Palais de Chaillot

l'éclairage des projecteurs crée un spectacle statique. C'est ainsi que naquit l'idée d'animer ce spectacle en adjoignant un élément sonore, soit musical soit verbal, au spectacle de la façade illuminée. Une équipe de spécialistes fut alors constituée ralliant les spécialistes de tous ordres, de l'éclairage aux domaines de l'expression sonore. Il devait résulter de ce travail, sinon d'emblée ce que le spectacle serait, mais au moins, ce qu'il ne fallait pas qu'il soit. Il s'agit d'animer le château : l'évocation de son histoire est une idée toute naturelle, mais ce ne doit pas être un « documentaire ». Dans une pièce de théâtre, le texte préexiste, décor et mise en scène ne venant qu'après coup; ici, c'est le

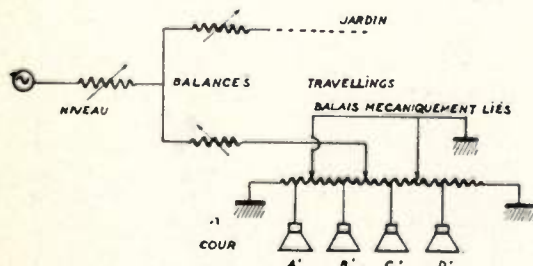


FIG. 11

Schéma de principe se rapportant à la figure 10

décor — le personnage principal devrait-on dire — qui préexiste ainsi d'ailleurs que les éclairages de base, les effets essentiels. Ce n'est pas non plus de la radio, cet art intimiste, car il s'adresse à un auditeur collectif : ici c'est la foule qui deviendra unité, si le spectacle réussit à remporter l'adhésion

de sa sensibilité collective. Donc, pas d'anecdotes : elles rétrécissent les perspectives; pas de dialogue à « mots historiques » pourtant bien tentants : les personnages historiques n'apparaîtront que comme de pâles fantômes devant la plénitude de la pierre embrasée de lumière. C'est le poème qu'il nous faut, mais un poème épique parce que collectif. Bref, une sorte de voyage à l'aventure qui nous guettait; précisément à cause de cette forme d'oratorio épique et populaire avec ce que cela comporte de « grands thèmes » où l'on côtoie constamment la grandiloquence ou le primaire, il fallait tenter de retrouver l'esprit de ces civilisations antiques, basées sur le message verbal ou même audio-visuel et non sur les formes écrites, que notre ère risque sans doute de remettre en question, avec le développement de la radio, du cinéma, de la télévision, en un mot de toutes ces formes audio-visuelles que permet la technique moderne. Heureusement, le temps pressant, nous n'avions guère le loisir de méditer sur l'hypothétique portée sociale d'une forme de spectacle qui alors, ne nous apparaissait peut-être pas encore comme nouvelle.

Le monstre informe qui constituait nos premières ébauches avait en tout cas un caractère de masse grouillante de sons. L'idée d'utiliser la stéréophonie s'imposa d'autant mieux à l'esprit que l'un des responsables de la mise en scène avait déjà eu la chance de commettre quelques applications du procédé... Mais ceci restait insuffisant si l'espace visuel devait demeurer statique, s'opposant ainsi à l'espace sonore; de là vint l'idée de la lumière-personnage, tantôt support, tantôt contrepoint du son.

Maintenant, posez-vous la même question pour Versailles. La fantasmagorie des toits de Chambord appelant une fougue épique, un certain romantisme de forme, fait place à l'équilibre parfait; voilà aussitôt la fougue devenue mesure et sobriété — ce qui n'exclut pas la grandeur — le romantisme échevelé devenu classicisme pondéré.

Il n'en faut certes pas plus pour comprendre à quel point tous les problèmes se trouvent liés dans la réalisation d'un tel spectacle. Il est impossible de les dissocier et chaque cas de spectacle devra être résolu pour son propre compte, comme un cas d'espèce.

La conception technique n'échappe pas à cette règle, pas plus d'ailleurs pour la lumière que pour le son.

Reprenons par exemple le cas de Versailles : le public, par comparaison à la disposition de Chambord, se trouve beaucoup plus près de la façade et donc naturellement plus étalé en largeur; nous avons vu à propos des salles d'audition stéréophonique, les désavantages d'une telle disposition. Mais ici la salle existait... Le tracé des hyperboles de différence de marche était à cet égard peu engageant. Une deuxième base de grande largeur (haut-parleurs presque aux extrémités des ailes), autre condition défavorable, est cependant utilisée avec une suprême habileté uniquement pour des travellings latéraux pendant des sons tenus (orgue) ou des bruits confus (foule) où les décalages d'une à deux secondes ne sont pas à craindre. L'effet reste cependant assez saisissant (la Révolution). De même, la deuxième partie du spectacle (côté parc),

utilise deux bases d'écoute : une grande et une petite. Là encore, pendant le passage de l'une à l'autre, lorsque les haut-parleurs intérieurs et extérieurs sont simultanément alimentés, le tracé des hyperboles de différence de marche indique qu'à l'emplacement du public, on doit observer des décalages, bien que sensiblement plus faibles que dans la première partie. Cependant, à condition que les déplacements soient suffisamment rapides, (ce qui, en fait, a lieu dans le spectacle), ces décalages ne sont pas gênants et, en outre, le metteur en scène dispose ainsi, avec la base extérieure plus proche du public, d'un effet de proximité qui peut être très expressif (Il va de soi qu'il ne saurait être question d'utiliser simultanément tous les haut-parleurs de l'installation, côté château et côté parc, sous peine de créer cinq ou six échos caractérisés, étalés sur deux ou trois secondes...).

Ceci montre à quel point technique et expression sont liées. Ce genre de spectacle ne peut être, plus encore qu'au cinéma, qu'un travail d'équipe, dès la conception même du projet. Faute de quoi on ne saurait éviter, à la dernière minute, d'avoir à modifier tout le découpage « géographique », sinon la structure même du spectacle, dans le climat classiquement fébrile des dernières répétitions...

#### APERÇU SUR QUELQUES ASPECTS ESTHÉTIQUES CONNEXES.

##### Localisation des centres d'intérêt auditifs.

Ainsi que nous l'avons exposé au cours de cette étude, une durée d'attention minima est nécessaire pour qu'un phénomène sonore passe sur le plan de la conscience. Lorsque deux sons atteignent nos oreilles dans une succession rapide, inférieure à une unité de durée de présence, c'est toujours, vis-à-vis de notre attention, au détriment du moins « marquant » des deux. Dans une succession de sons, le plus « marquant » est celui qui, par quelques caractères que ce soit, rompra l'uniformité de la succession : intensité, timbre et mode d'attaque, hauteur, et, bien entendu, localisation spatiale. Musicalement, ceci se traduit par : accentuation rythmique, instrumentale, saut mélodique ou note étrangère à l'harmonie du passage. On sait par exemple à quel point une fausse note « saute » à l'attention... Le fait remarquable est que cette loi est implicitement contenue dans les règles traditionnelles que nous ont légué les vieux Maîtres de la Polyphonie : toute dissonance à « préparer » et à « résoudre » n'a d'autre sens que de l'empêcher d'accaparer exagérément l'attention ; la pratique des « notes de passage », menant par mouvement conjoint et régulier d'une note à une autre, toutes deux dans la même harmonie ; l'interdiction en « contrepunt fleuri », de présenter simultanément dans plusieurs voix des notes de même valeur : croche contre croche, noire contre noire, etc... De même, dans les règles régissant l'entrée des voix dans une exposition de fugue, peut-on trouver la traduction de ce souci de fixer l'attention auditive sur chaque nouvelle entrée. On peut certes, concevoir d'autres systèmes musicaux — on l'a d'ailleurs fait — mais il reste remarquable que les anciens polyphonistes dont le souci essentiel était la « clarté » de style, c'est-à-dire la possibilité d'une analyse immédiate du discours musical (par une véritable

exploration de l'attention auditive), aient si parfaitement atteint leur but.

Il découle de ceci, qu'en dépit du caractère discontinu de l'attention auditive, on garde l'illusion d'une perception homogène et continue. Mais pour atteindre plus parfaitement à ce résultat, dans la mesure où l'on cherche à ce que la « totalité » du phénomène sonore soit sensible, il convient de se plier à certaines règles, très proches des règles traditionnelles de la musique.

Par l'effet spatial, même artificiel, on accroît encore l'efficacité d'une telle organisation de sons. Et c'est ainsi que nous nous sommes demandé si, sur le plan de l'expression verbale, il n'était pas possible de construire de véritables polyphonies. Cette étude a été menée en collaboration avec un auteur spécialiste des textes radiophoniques : M. Yves Jamiaque, au Club d'Essai de la Radio-diffusion française, au cours de plusieurs émissions dramatiques expérimentales, et, dans le domaine stéréophonique, avec l'aide du Centre Technique d'Asnières de la Société Pathé-Marconi qui avait aimablement mis à notre disposition le matériel expérimental de son laboratoire.

Certaines règles ont pu être dégagées ; c'est alors que nous avons pu constater leur équivalence avec les règles musicales. Toutefois, leur application doit être plus stricte qu'en musique où un défaut passager d'intelligibilité n'a pas de conséquences aussi graves que dans la parole. L'ensemble des règles applicables à l'audition monoaurale d'une telle polyphonie verbale et touchant surtout à des questions de valeurs de durée ou débit, se trouve atténué assez sensiblement par l'utilisation de localisations spatiales diverses et de mouvement dans l'espace. L'exploration par l'attention devient réflexe et tout l'arbitraire des mouvements disparaît. On n'assiste plus enfin à de la stéréophonie physique amusante. A ce moment, du reste, l'art du metteur en scène sonore s'apparente singulièrement à celui du compositeur.

Il semble bien que l'on sente se dégager peu à peu l'ébauche d'une forme nouvelle d'expression sonore, notamment à l'expérience des spectacles collectifs son et lumière, où la technique s'est humanisée jusqu'à devenir un facteur d'expression. Dans la mesure où l'on s'affranchit d'un culte fétichiste de la nature poussant à la copie servile des processus naturels, on transforme les procédés techniques en moyens de création, décuplant les possibilités de l'esprit. L'échec des avions à ailes battantes ou des véhicules à jambes articulées, le prouve avec surabondance. Mais ce culte de la copie exacte de la nature est si bien enraciné en nous, que même les romanciers d'anticipation, dont la qualité majeure devrait pourtant être l'imagination créatrice, ne sauraient concevoir un robot, autrement que sous l'aspect anthropomorphe d'une mécanique mystérieuse habillée d'une armure médiévale nantie de paires de jambes, de bras, de mains, d'yeux et d'oreilles.

La technique doit s'affranchir de la restitution servile du réel, mais oser créer à travers nous sa propre vérité, et c'est bien là sa très belle poésie. Car, n'en déplaise à quelques métaphysiciens aigris, une civilisation technique, n'est pas nécessairement une civilisation de brutes. Seule peut en décider, la valeur morale de l'Homme...

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

PAR

MM. Martin GRUTZMACHER

et Werner KALLENBACH

*Physikalisch — Technische Bundesanstalt (P. T. B.)*

Les fluctuations de vitesse des supports d'enregistrements sonores fournissent un critère essentiel de la qualité des appareils d'enregistrement. Pour rester imperceptibles, les fluctuations ne doivent pas excéder 0,2 % en reproduisant la musique, par exemple la musique de piano. Dans le cas des appareils dictaphones, des valeurs plus hautes sont admissibles. Pour mesurer des fluctuations très petites, un appareil faisant usage de la modulation de phase a fait ses preuves. Souvent, la

mesure des fluctuations n'est plus possible dans le cas des appareils dictaphones parce que la méthode exige l'enregistrement d'un son de fréquence de 5.000 p/s et, en outre, le domaine de mesure est limité à 1,5 %. Dans ces cas, l'enregistreur de fréquences sonores, conçu d'abord pour des recherches phonétiques, s'est révélé efficace. Il permet l'enregistrement de la longueur des périodes d'une oscillation à l'autre sans inertie. L'utilité de la méthode est démontrée par quelques exemples.

## COMPTEUR ÉLECTRONIQUE POUR LA DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ DU NIVEAU DU SIGNAL ENREGISTRÉ

PAR

Tadeusz KORN

*Ingénieur E. P. V.**Chef de Travaux à l'Université de Bruxelles*

Du fait de la dynamique limitée des procédés d'enregistrement, il est intéressant de connaître exactement le niveau du signal enregistré. Ce dernier étant une fonction aléatoire du temps et ne se laissant donc pas déterminer par une seule valeur aisément calculable, peut être le mieux représenté au mieux par la *courbe de probabilité du niveau*.

L'auteur décrit un compteur électronique permettant les mesures directes de la fréquence d'apparition d'un signal enregistré. La vérification d'un certain nombre de disques commerciaux à l'aide du compteur précité a prouvé le mauvais réglage de certains enregistrements donnant un rapport signal/bruit défavorable.

## LES DISTORSIONS DANS L'ENREGISTREMENT ET LA REPRODUCTION DES SONS

PAR

M. Alexandre LUBSZINSKI

*Conservatoire National des Arts et Métiers.*

Exposé des différentes distorsions.  
Fréquence, phase, non linéaire.  
Distorsion harmonique; sa mesure.  
Distorsion non linéaire par intermodulation.  
Caractéristiques d'une source de tension universelle pour les mesures d'intermodulation.  
Résultats de mesure sur différents procédés d'enregistrement : disque, son photographique, enregistrement magnétique.

Dans cet article nous passerons rapidement en

revue les différentes sortes de distorsions qui interviennent dans l'enregistrement et la reproduction des sons pour nous attarder plus longuement sur l'important problème de la distorsion par intermodulation. Nous verrons en détail toute l'importance des intermodulations parasites, comment on les décèle et comment on les mesure.

## 1° LES DIFFÉRENTES SORTES DE DISTORSION.

## a) La distorsion de fréquence :

Le gain donné par un système d'enregistrement ou de reproduction des sons doit être indépendant de la fréquence dans tout le spectre à transmettre; s'il n'en est pas ainsi on dit qu'il y a distorsion de fréquence. En général tous les systèmes électro-acoustiques coupent en dessous et au-dessus d'une certaine fréquence; cela a pour effet que les sons graves ne sont perçus que par leurs harmoniques et que par ailleurs les harmoniques des sons de fréquences moyennes ne sont pas perçus, d'où modification du timbre de ces sons. De plus, certains systèmes ont des résonances pour une ou deux fréquences privilégiées d'où il résulte également une distorsion de fréquence.

## b) La distorsion de phase :

On dit qu'il y a distorsion de phase quand dans un système électro-acoustique la vitesse de propagation des sons n'est pas égale à celle de leurs harmoniques. Un appareil dans lequel il y a distorsion de phase ne maintient pas entre fondamentaux et harmoniques les relations de phase que ceux-ci avaient à l'entrée de l'appareil. La distorsion de phase inaudible pour les sons continus devient plus gênante quand on a affaire aux transitoires; on la mesure à l'aide d'un phasemètre,

## c) La distorsion non linéaire :

La distorsion non linéaire ou distorsion d'amplitude se produit chaque fois qu'un système ne reproduit pas fidèlement la forme des signaux que l'on injecte à son entrée, c'est-à-dire que le gain ou l'affaiblissement des signaux varie avec l'amplitude de ceux-ci. La distorsion non linéaire dans les appareils électro-acoustiques est due soit à la saturation de certains éléments (transformateurs, inductances, etc...) soit à la courbure de la caractéristique des lampes ou la non symétrie d'éléments tels que les redresseurs.

Les distorsions non linéaires les plus fréquentes sont les distorsions quadratiques et cubiques. Imaginons que dans un élément on injecte une tension d'amplitude  $X$ ; à la sortie de cet appareil on recueillera une tension dont l'amplitude sera égale à  $A X + B X^2 + C X^3 \dots + N X^n$  ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  et  $N$  étant des constantes); en général les termes en  $X^2$  et  $X^3$  bien que plus petits que  $X$  sont prédominants et il arrive souvent que l'on puisse négliger les termes en  $X^4$  et  $X^5$  sans commettre une grande erreur dans l'évaluation de la distorsion.

La distorsion non linéaire, crée non seulement des harmoniques mais est également la cause d'un phénomène encore bien plus gênant qui est l'intermodulation. Voyons ce qui se passe dans un système non linéaire quand on injecte deux signaux sinusoïdaux de fréquences  $F_1$  et  $F_2$ , de pulsations  $\Omega$  et  $\omega$  et d'amplitudes  $M$  et  $m$ . (Nous limitons volontairement le nombre de signaux à deux pour la simplicité du raisonnement bien que le spectre d'un orchestre, par exemple, soit composé d'une multitude de signaux.)

À la sortie de ce système non linéaire nous trouverons :

1° Une composante continue inaudible, négligeons-la.

2° Un terme de la forme :  $A (M \sin \Omega t + m$

$\sin \omega t)$ , c'est ce terme qui apparaîtrait seul dans le cas d'un système sans distorsion d'amplitude.

3° Un terme de la forme :  $B (M \sin \Omega t + m \sin \omega t)^2$ .

Si nous développons cette expression nous obtenons :

$$B (M^2 \sin^2 \Omega t + m^2 \sin^2 \omega t + 2 M m \sin \Omega t \sin \omega t)$$

ou encore :

$$B \left[ M m (\cos [\Omega - \omega] t - \cos [\Omega + \omega] t) + \frac{M^2}{2} (1 - \cos 2 \Omega t) + \frac{m^2}{2} (1 - \cos 2 \omega t) \right]$$

Dans cette expression nous trouvons les harmoniques de rang 2 et les fréquences somme et différence des deux fréquences fondamentales.

4° Un terme cubique de la forme :  $C (M \sin \Omega t + m \sin \omega t)^3$  qui, par développement donne :

$$C (M^3 \sin^3 \Omega t + m^3 \sin^3 \omega t + 3 M^2 m \sin^2 \Omega t \sin \omega t + 3 M m^2 \sin \Omega t \sin^2 \omega t)$$

et en effectuant :

$$C \left[ M^3 \left( \frac{3}{4} \sin \Omega t - \frac{1}{4} \sin 3 \Omega t \right) + m^3 \left( \frac{3}{4} \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin 3 \omega t \right) - \right.$$

$$\left. \frac{3}{4} M^2 m (\cos [2 \Omega + \omega] t + \cos [2 \Omega - \omega] t) - \frac{3}{4} m^2 M (\cos [2 \omega + \Omega] t + \cos [2 \omega - \Omega] t) \right]$$

Ce développement montre comment prennent naissance les harmoniques de rang 3 et les composantes d'intermodulation.

5° De même le terme de puissance 4 sera de la forme :

$$D (M \sin \Omega t + m \sin \omega t)^4$$

Le développement de cette expression donne un certain nombre de fréquences, dont les plus remarquables sont les harmoniques de rang 4 des deux fréquences fondamentales et un terme de la forme :

$$\cos (2 \Omega - 2 \omega) t.$$

6° Les termes de rang supérieur seront tous de la forme :

$$N (M \sin \Omega t + m \sin \omega t)^n$$

*Remarque*

Le calcul que nous venons de faire n'est rigoureusement vrai que pour un système sans distorsion de fréquence, mais dans la plupart des cas son approximation est suffisante.

## 2° LA DISTORSION HARMONIQUE ET SA MESURE.

La distorsion harmonique est une des conséquences de la distorsion non linéaire et se caractérise dans la reproduction d'un son pur par l'apparition des harmoniques de ce son d'où impression désagréable sur l'oreille et altération du timbre.

La distorsion harmonique est définie par le rapport de la racine de la somme des carrés des amplitudes de tous les harmoniques à l'amplitude de la fondamentale.

La valeur de la distorsion harmonique se déduit facilement du calcul que nous avons fait précédemment en supposant qu'à la place des deux fréquences nous n'en ayons qu'une seule.

$$\text{Dist. harm.} = \frac{\sqrt{\frac{B}{2} + \frac{CM}{4} + \frac{DM^2}{8} + \dots}}{A}$$

La mesure de la distorsion harmonique qui est bien connue exige une source de fréquence stable et un appareil appelé Distorsiomètre. Le grand avantage de la mesure de la distorsion harmonique est la possibilité d'avoir des résultats concernant la qualité de l'appareil examiné à toutes les fréquences du spectre acoustique. Cependant cette méthode est longue car elle nécessite un ajustage du distorsiomètre (élimination de la fréquence fondamentale) pour chaque fréquence. Par ailleurs la courbe de réponse des appareils tend souvent à affaiblir les harmoniques qui se trouvent par surcroît pour les sons fondamentaux de fréquence moyenne dans une région de moindre sensibilité de l'oreille.

La mesure de la distorsion harmonique est peu commode dans l'enregistrement sonore (Disques, bande magnétique, film sonore), car elle exige des fréquences fondamentales très stables pour pouvoir ajuster correctement le distorsiomètre; or la stabilité de la fréquence fondamentale est tributaire dans ces systèmes d'enregistrement de la régularité des moteurs qui sont dépendants de la charge, de la tension du secteur, etc...

### 3<sup>o</sup> LA DISTORSION NON LINÉAIRE PAR INTERMODULATION.

#### a) Généralités.

La distorsion par intermodulation, elle aussi, est une conséquence de la distorsion d'amplitude, elle se produit chaque fois que deux ou plusieurs signaux sont en présence dans un système non linéaire. La conséquence de cette intermodulation est l'apparition de fréquences nouvelles qui sont la somme, la différence, etc..., des fréquences en présence. Ces produits d'intermodulation auxquels l'oreille n'est pas habituée viennent dans certains cas se placer dans la partie du spectre où l'acuité auditive est maximum et créent un véritable effet de masque alors que les harmoniques des sons fondamentaux sont souvent inaudibles, vu leur fréquence élevée.

On voit que la mesure de la distorsion par intermodulation est plus suggestive que la mesure de la distorsion harmonique, nous verrons également qu'elle est plus simple et n'a pas les défauts de cette dernière; c'est la méthode qui convient par excellence à l'enregistrement sonore.

Il existe deux méthodes normalisées de mesure de l'intermodulation ce sont celle du S. M. P. T. E. et celle du C. C. I. F., elles ont toutes deux leurs avantages et leurs inconvénients.

#### b) La méthode S. M. P. T. E.

Dans cette méthode le signal d'entrée fourni par un bi-générateur se compose d'une fréquence basse (40 à 150 Hz) et d'une fréquence haute (2.000, 7.000 ou 12.000 Hz); le rapport des amplitudes de ces deux fréquences est en général pris égal à 4/1 bien que d'autres rapports puissent également être utilisés. Le signal de sortie de l'appareil à vérifier contiendra des composantes d'intermodulation dans

la mesure où il y aura de la distorsion d'amplitude. Le résultat de cette intermodulation sera que le signal de fréquence haute sera modulé au rythme de la fréquence basse et la mesure d'intermodulation S. M. P. T. E. consistera à mesurer le pourcentage de modulation du signal à fréquence haute. Ce pourcentage exprimera la distorsion par intermodulation telle qu'elle a été définie par le S. M. P. T. E.

L'avantage de la méthode S. M. P. T. E. réside dans le fait que les mesures sont simples si l'on dispose de l'analyseur approprié (lectures directes en pourcentages) et qu'elles n'exigent pas une grande stabilité de fréquence (des variations des fréquences fondamentales de  $\pm 5\%$  sont parfaitement admissibles). Cette méthode a cependant l'inconvénient que les fréquences choisies sont arbitraires (on ne peut pas dire qu'on fait une mesure dans telle ou telle partie du spectre), et que l'on ne peut avoir aucune idée des fréquences les plus défavorisées au point de vue distorsion. En outre en plus du bi-générateur universel il faut disposer d'un analyseur spécial, dont l'achat représente une immobilisation de fonds.

#### c) La méthode C. C. I. F.

Si l'on dispose de deux signaux  $F_1$  et  $F_2$  que l'on introduit dans un système électro-acoustique on retrouvera à la sortie, dans le cas où il y aurait intermodulation, un signal de fréquence  $F_2 - F_1$  que l'on séparera des autres signaux par un filtre passe-bande de fréquence  $\Delta F = F_2 - F_1$ . Dans la pratique on maintient  $F_2 - F_1$  constant de façon à n'avoir besoin que d'un seul filtre.

Pour simplifier les mesures, nous avons conçu un bi-générateur qui maintienne  $F_2 - F_1 = \Delta F$  constant quand on fait varier la fréquence  $F_1$ .

Le taux d'intermodulation sera donné par le rapport de l'amplitude de  $\Delta F$  sur l'amplitude d'un des deux signaux  $F_1$  ou  $F_2$  (Dans les mesures du type C. C. I. F. on prend des amplitudes égales pour  $F_1$  et  $F_2$ ).

Les mesures d'intermodulation du type C. C. I. F. se font très simplement avec un filtre laissant passer la fréquence  $\Delta F$ , et, un simple millivoltmètre. Comme les mesures S. M. P. T. E., les mesures C. C. I. F. n'exigent pas une grande stabilité de fréquence, elles sont également très rapides. Le grand avantage des mesures C. C. I. F. réside dans le fait que l'on peut explorer tout le spectre des fréquences sans aucune interruption, la seule manœuvre à faire étant la rotation du cadran de fréquence du bi-générateur (qui, ne l'oublions pas, maintient constante la différence  $\Delta F$  des fréquences  $F_2$  et  $F_1$ ).

La méthode C. C. I. F. a un seul inconvénient, c'est de ne tenir compte que de la distorsion quadratique (Voir le développement mathématique).

### 4<sup>o</sup> UNE SOURCE DE TENSION UNIVERSELLE POUR TOUS LES ESSAIS DE DISTORSION.

Pour faire tous les essais dont nous avons parlé au cours de cet exposé il fallait un bi-générateur universel qui permette non seulement de faire toutes ces mesures, mais encore de les faire rapidement. Ce bi-générateur a été mis au point au Laboratoire de Téléphonovision du Conservatoire National des Arts et Métiers à Paris avec la collaboration du Laboratoire Electro-Acoustique à Rueil (S.-et-O.). Voici les caractéristiques que doit avoir un bi-générateur universel :

a) Il doit pouvoir fonctionner en générateur à signal unique et donner une gamme continue des fréquences de 30 à 15.000 Hz. La courbe de réponse doit être droite (Essais de distorsion linéaire), le taux de distorsion harmonique faible (Mesure de la distorsion harmonique d'installations).

b) Il doit pouvoir fonctionner en bi-générateur, c'est-à-dire en générateur à fréquence double et donner en plus du signal de 30 à 15.000 Hz un second signal réglable de façon continue de 30 à 25.000 Hz.

Le rapport des amplitudes des deux signaux doit pouvoir prendre une valeur quelconque, les rapports usuels seront repérés (1/4 pour les essais S. M. P. T. E., 1/1 pour les essais C. C. I. F.). L'inter-modulation propre du bi-générateur devra être faible pour pouvoir être négligée au cours des mesures.

De plus, pour les essais du genre C. C. I. F., il faudra pouvoir maintenir constante la différence des deux fréquences quand l'on modifie l'une d'elles, de façon à pouvoir parcourir rapidement, et sans retoucher aucun réglage, toute la gamme des fréquences.

#### 5° LES RAPPORTS EXISTANT ENTRE LES DIFFÉRENTS POURCENTAGES DE DISTORSION NON LINÉAIRE

Le calcul permet de définir facilement le rapport qu'il y a entre les différents pourcentages de distorsion dans le cas où la courbe de réponse de l'appareil est droite. En pratique les chiffres trouvés par l'intermodulation sont toujours plus élevés que pour la distorsion harmonique, car les harmoniques sont souvent affaiblis vu la largeur limitée de la bande passante des appareils électro-acoustiques.

Voici les résultats donnés par le calcul, ils donnent une base de départ pour des comparaisons entre mesures effectuées par les 3 méthodes normalisées :

a) Distorsion quadratique :

$$\frac{\% \text{ Intermodulation S. M. P. T. E.}}{\% \text{ Harmonique 2}} = \frac{4 M}{M + m}$$

Si  $M = 4 m$  ce rapport est égal à 3,2.

$$\frac{\% \text{ Intermodulation C. C. I. F.}}{\% \text{ Harmonique 2}} = 2$$

(Il est donc plus facile pour les faibles distorsions de déceler l'intermodulation que la distorsion harmonique, d'autant plus que dans la méthode d'intermodulation on n'est pas gêné par le bruit de fond).

b) Distorsion cubique :

$$\frac{\% \text{ Intermodulation S. M. P. T. E.}}{\% \text{ Harmonique 3}} = \frac{6 M^2}{(M + m)^2}$$

Si  $M = 4 m$  ce rapport est égal à 3,84.

#### 6° CONCLUSION.

Cette étude qui paraîtra peut être trop brève aux yeux d'un grand nombre de spécialistes, avait surtout pour but d'examiner tous les facteurs chiffrables de la qualité d'une installation électro-acoustique. Si nous nous sommes étendus plus longuement sur les essais d'intermodulation c'est que ceux-ci quoique très simples à faire, sont encore méconnus ou très peu employés; ils représentent pourtant l'avenir dans tout le domaine de l'enregistrement et de la reproduction des sons. Seuls les essais d'intermodulation permettent de lire sur un instrument la gêne que ressent l'oreille lorsque l'intermodulation parasite de plusieurs fréquences crée un masque bien plus gênant que la présence d'harmoniques élevés qui sont le plus souvent très peu audibles, faussant plus ou moins le timbre des sons, mais ne représentant pas de sensation désagréable.

## LES PROBLÈMES D'ENREGISTREMENT ET L'ACOUSTIQUE SOUS-MARINE

PAR

M. MEUNIER

*Ingénieur en chef du Génie maritime  
au Service Technique des Constructions et Armes Navales*

1° Enregistrement des phénomènes de fréquence très basse, vibrations, infrasons. Emploi de l'enregistreur magnétique à modulation de fréquence AMPEX.

2° Analyse d'un son. Emploi d'un enregistre-

ment magnétique avec lecture à vitesse variable.

3° Dispositif permettant d'introduire un retard dans la transmission d'un son.

4° Écoute de quelques enregistrements caractéristiques de bruits sous-marins.

## ENREGISTREMENT SONORE ET SCIENCES HUMAINES

PAR

G. ROUGET

*Attaché au département d'Ethnologie musicale au Musée de l'Homme*

L'enregistrement sonore comme unique moyen de constituer des archives musicales ou linguistiques concernant les peuples sans écriture. En ethnologie musicale : étude des musiques dites « primitives » ou des musiques dites « exotiques »;

en linguistique : étude phonétique ou phonologique des langues.

Les principales archives de musique enregistrée dans le monde.

Les techniques utilisées :  
la période du cylindre,  
la période du disque d'enregistrement direct,  
la période du magnétophone.

Quelques dates concernant les principales étapes.  
Quelques exemples empruntés aux principales  
expéditions françaises ou étrangères. Audition de  
ces enregistrements.

Les problèmes techniques posés par l'enregistre-  
ment « sur le terrain ». L'état actuel du matériel.

Les différents types de magnétophone intéressant  
ce genre d'utilisation et disponibles sur le marché  
(Europe et Amérique).

La relation poids-encombrement-qualité. La résis-  
tance aux chocs, à l'humidité, à la poussière.

L'énergie utilisée (mécanique, électrique) et  
l'alimentation (accumulateurs, piles; alternatif ou  
continu; générateurs et commutatrices).

L'étude des documents : les spectrogrammes,  
les analyses harmoniques, les appareils de mesure.

La conservation des documents.

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

PAR

Albert WARNIER

*Ingénieur*

*à la Compagnie Française Thomson-Houston*

Cette étude commence par un exposé sommaire  
de l'évolution de la qualité musicale des enregis-  
trements, en insistant particulièrement sur la  
définition de cette qualité musicale et sa liaison  
avec la qualité technique.

Un des problèmes fondamentaux est l'aug-  
mentation de la dynamique: les matériaux nouveaux

et différents artifices de prédistorsion linéaire ont  
fait faire un grand pas à cette question.

Dans une deuxième partie de l'étude, l'auteur  
exposera le parti qu'on peut tirer, au besoin concu-  
rrentement avec les méthodes ci-dessus, de l'emploi des  
couples compresseurs-décompresseurs. Il évoquera  
les difficultés d'établissement de ces appareils et  
des réalisations, dont certaines inédites, qui per-  
mettent dans une large mesure d'y échapper.

## SECTION II. — ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

### MAGNÉTOPHONES : ÉDITION ET STANDARDISATION

PAR

P. ARNAUD

En même temps que l'enregistrement sur bande magnétique devenait presque l'unique procédé employé dans les studios pour le disque, le cinéma et la radiodiffusion, une société française (qui depuis a essaimé aux États-Unis et en Angleterre), la première au monde, proposait aux propriétaires de magnétophones amateurs et semi-professionnels des enregistrements musicaux sur bande. Son réseau de distribution a maintenant équipé une centaine de magasins, à qui sont distribuées chaque semaine plusieurs heures de musique d'ambiance sur bande, chaque bande retournant au studio après passage pour réenregistrement de nouveaux programmes.

Des usines reçoivent chaque mois plusieurs heures de programmes « Travailler en Musique » en location, des bars, des restaurants sont aussi approvisionnés de musique douce.

Cette exploitation qui a maintenant largement dépassé le stade de l'expérience soulève de nombreux problèmes de standardisation dans les magnétophones utilisés comme « pick-up » magnétiques : sens des pistes, vitesse de défilement, courbe de reproduction. Ce sont ces problèmes dont la solution apportera un essor nouveau à toute la profession (bandes, magnétophones, sonorisation) qui seront évoqués dans cette conférence.

### ÉTUDE DU PROCESSUS D'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE AVEC COURANT ALTERNATIF SUPERPOSÉ

PAR

Jean BORNE

*Laboratoires d'Électronique et de Physique appliquée.*

Partant d'une théorie magnétique, expliquant l'action du courant alternatif de polarisation, on examinera l'incidence sur la courbe de réponse, particulièrement aux fréquences très élevées, des grandeurs physiques et magnétiques de la tête d'enregistrement telles que sa distance à la piste et le choix de la fréquence de polarisation.

Ces déductions seront confirmées par la comparaison de résultats expérimentaux avec la courbe de réponse propre à la tête de reproduction.

Tandis que des études précises sur le processus de reproduction de l'enregistrement magnétique permettent de prévoir l'influence sur la courbe de réponse, tant des caractéristiques propres à l'élément de reproduction, que des conditions de son utilisation, le mécanisme même de l'enregistrement est encore mal connu.

Les théories classiques, faisant intervenir des cycles d'hystérésis mineurs dus au courant de polarisation et contenus à l'intérieur d'un cycle d'hystérésis majeur, dû au courant du signal, ne permettent pas de prévoir les influences ni de la grandeur de l'entrefer ni de la valeur du champ de polarisation suivant la longueur d'onde de l'enregistrement. Une étude de M. Axon, tenant compte de la dissymétrie des cycles d'hystérésis, est plus conforme aux résultats observés, mais l'auteur semble avoir utilisé des têtes d'enregistrement ayant des entrefers importants, dans lesquels il considère que le champ prend la même valeur instantanée, en tous points, tandis qu'il décroît brusquement de part et d'autre.

Ceci ne permet pas d'expliquer l'affaiblissement des très courtes longueurs d'onde, ni la variation de cet affaiblissement, suivant la valeur du champ alternatif de polarisation, particulièrement avec des têtes d'enregistrement possédant un entrefer de faible longueur. Ceci est généralement le cas de l'enregistrement sonore. L'explication de ces mêmes effets devient encore plus difficile lorsque la tête d'enregistrement est maintenue à une certaine distance de la piste, ainsi qu'il est nécessaire de le faire dans les répéteurs magnétiques d'informations de fréquences très élevées.

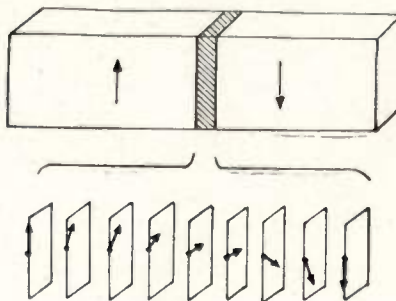


Fig. 1

Nous donnerons ici une explication de ces phénomènes, déjà contenues dans une étude de M.

WESTMIJZE, d'après une théorie fondée sur l'existence des domaines magnétiques.

Rappelons d'abord la théorie des domaines telle qu'elle ressort des travaux de nombreux auteurs tels que MM. NEEL, KITTEL et BOZORTH.

Une substance ferro-magnétique (fig. 1) est formée par la juxtaposition de domaines de polarisation constante, dont la distribution est commandée par la condition que l'énergie totale soit minimum. L'énergie totale contenue dans un élément est la somme de 4 énergies élémentaires :

- énergie d'échange,
- énergie d'anisotropie,
- énergie magnéto-élastique,
- énergie magnétique.

La transition entre deux domaines suffisamment rapprochés pour avoir des forces d'interaction, s'effectue par rotation progressive des atomes voisins, à l'intérieur d'un volume appelé paroi de Bloch, mettant particulièrement en jeu les deux premières énergies citées. Si l'on déplace la paroi de Bloch, l'énergie contenue dans l'élément varie suivant une courbe semblable à la figure 2, comportant des maxima que nous appellerons barrières d'énergie, et des minima qui sont nécessairement les positions stables de la paroi de Bloch.

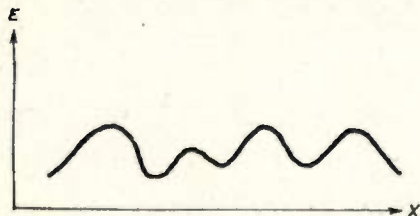


FIG. 2

Pour déplacer la paroi de Bloch le long d'un élément, il faut donc apporter une énergie au moins égale à la hauteur des barrières. Cette énergie peut être apportée par un champ extérieur, et la coercivité de l'élément est alors mesurée par le champ capable de déplacer la paroi de Bloch jusqu'à ce que la polarisation soit inversée dans la moitié de l'élément.

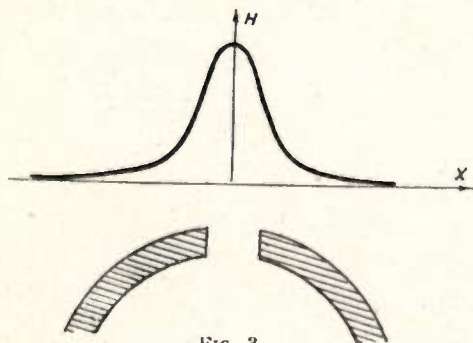


FIG. 3

La constitution des couches magnétiques, couramment employées pour l'enregistrement, et particulièrement des couches formées par des particules d'oxyde de fer, incorporées dans une laque isolante, permet une application simple de la théorie des domaines.

Si l'on examine ces couches au microscope, on voit que les grains d'oxyde de fer ont une dimension de l'ordre de 0,1 micron, et se trouvent agglomérés en petits amas. La dimension des grains étant de

l'ordre de grandeur d'une paroi de Bloch, chaque grain doit faire entièrement partie d'un domaine, et il est possible de simplifier l'exposé en assimilant chaque petit amas à un petit aimant élémentaire, constitué par deux domaines de polarisation opposée séparés par une seule paroi pouvant occuper successivement, entre les grains, les positions correspondant au minimum d'énergie totale.

La valeur de l'aimantation d'un de ces petits aimants élémentaires est évidemment fonction de la différence des domaines qui le composent, et de la position de la paroi de Bloch.

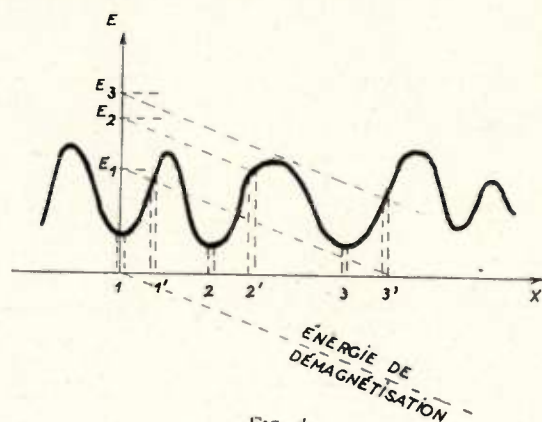


FIG. 4

Considérons un petit élément de la piste : lorsqu'il passe devant une tête d'enregistrement parcourue par un courant constant, il est soumis à un champ croissant puis décroissant (fig. 3). La paroi de Bloch tend alors à se déplacer de façon à créer un champ de démagnétisation tel que son énergie annule l'énergie apportée par le champ extérieur (fig. 4). L'accroissement d'énergie va donc en diminuant dans le sens du déplacement de la paroi de Bloch.

Si cet accroissement est insuffisant pour franchir une barrière, la paroi de Bloch atteindra la position 1' et reviendra dans son état initial lorsque le champ extérieur sera supprimé. Si cette énergie est suffisante, la paroi se déplacera de la position 1 à la position 2' ou 3' et reviendra à la position 2 ou 3, lorsque l'élément quittera l'entrefer.

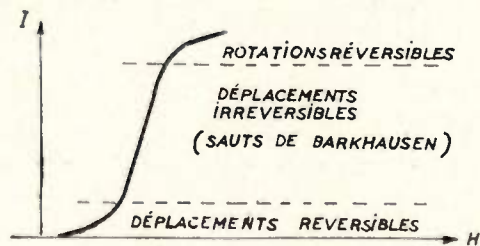


FIG. 5

On obtient ainsi la courbe de 1<sup>re</sup> aimantation classique (fig. 5), dans laquelle la première partie correspond au déplacement réversible des parois. La partie ascendante, sensiblement rectiligne, correspond au déplacement irréversible de ces parois, et la troisième partie, proche de la saturation, correspond à des rotations réversibles de l'aimantation des domaines.

Nous remarquerons que dans la partie ascendante, le franchissement des niveaux d'énergie se traduit par des sauts successifs déjà connus sous le nom d'effet BARKHAUSEN.

Si le champ créé par la tête d'enregistrement varie de façon sinusoïdale (fig. 6), les petits aimants élémentaires de la piste seront placés dans l'une de ces trois régions et l'aimantation rémanente traduira le signal enregistré avec une distorsion importante.

Reprenons maintenant (figure 7) le petit élément soumis à un champ constant qui apporte une éner-

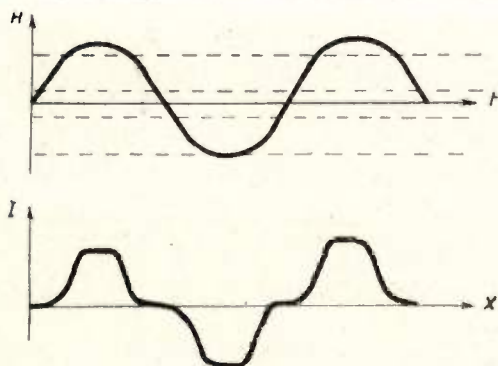


FIG. 6

gie  $E_0$  insuffisante pour permettre le franchissement de la première barrière, tel que dans le premier cas de la figure 4.

Si nous superposons à ce champ constant un champ alternatif auxiliaire qui apporte des grandes impulsions d'énergie  $E_1$  suffisantes pour déplacer la paroi de Bloch, celle-ci oscillera autour de la position 2, pour laquelle l'énergie du champ constant extérieur est compensée par l'énergie de démagnétisation, suivant le sens des impulsions du cou-

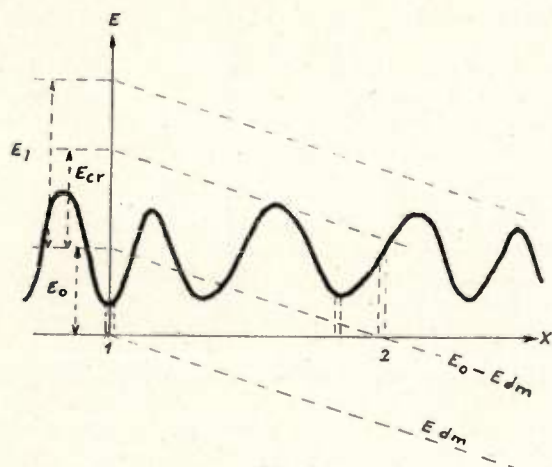


FIG. 7

rant alternatif, en franchissant toutes ces barrières qui nécessitent une énergie inférieure à l'énergie totale du champ alternatif, du champ constant et du champ de démagnétisation instantané.

En réduisant progressivement la valeur du champ alternatif superposé, le nombre de barrières, franchies de part et d'autre de la position 2, diminuera et il arrivera un moment où l'énergie  $E_{cr}$  d'une alternance, ajoutée à l'énergie de même sens due à la petite différence entre le champ extérieur et le champ de démagnétisation instantané, sera juste suffisante pour que la paroi de Bloch franchisse la dernière barrière vers la position 2, tandis que les alternances suivantes apporteront une énergie trop faible et ne pourront que faire osciller la paroi entre les deux barrières entourant cette posi-

tion, pour la laisser finalement dans la position stable correspondant au minimum d'énergie.

On voit ainsi que la valeur de l'aimantation finale est déterminée par la valeur du champ de signal au moment où le champ de polarisation alternatif a une valeur critique correspondant à la hauteur des barrières d'énergie et donc liée à la coercivité des éléments. La valeur du champ de signal enregistré étant une valeur instantanée, ceci reste vrai lorsque le champ de signal diminue en même temps que le champ de polarisation, ce qui est le cas de l'enregistrement magnétique. Si l'on se rapporte à la figure 8 donnant les courbes de niveau du champ devant l'entrefer, on voit que les divers éléments constituant la piste sont amenés dans leur état final au moment où ils traversent la surface équichamp correspondant à leur coercivité. Généralement la coercivité de la piste magnétique n'est que la moyenne de la coercivité de ses divers éléments et l'enregistrement du signal est inscrit dans le petit volume, dont la section est représentée par l'aire hachurée de la figure.

Il est clair que la longueur de la piste intéressée par cette zone limite la résolution en fréquence de l'enregistrement magnétique et il est possible de prévoir l'évolution de cette limite par l'examen des figures 3 et 8.

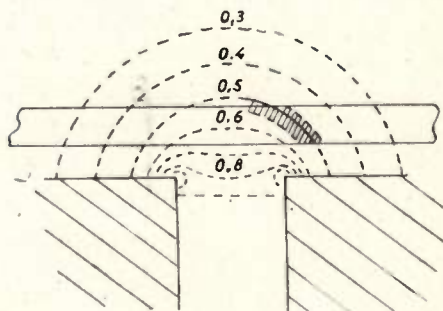


FIG. 8

Les résultats expérimentaux confirment ces déductions et nous concluons cet exposé en résumant les conditions qu'il est souhaitable de remplir pour abaisser cette limite vers les très courtes longueurs d'ondes en rappelant les compromis nécessaires.

— Utiliser une piste magnétique possédant une coercivité constante autour de la valeur moyenne de façon à réduire l'épaisseur même du volume d'enregistrement.

— Diminuer l'épaisseur de la piste en réalisant un compromis avec le niveau d'enregistrement possible des grandes longueurs d'ondes.

— Rapprocher la piste de la tête d'enregistrement autant que la précision mécanique permet de garder cette distance suffisamment constante.

— Diminuer la longueur de l'entrefer de façon à resserrer les surfaces équichamp jusqu'à la limite permise par la distance minimum entre la tête et la piste.

— Régler la valeur du courant de polarisation pour que le champ atteigne la valeur critique dans la région de pente maximum indiquée figure 3.

\* \*

Pour terminer, nous remercions M. PERILHOU qui nous a aidé par ses critiques et ses conseils et particulièrement MM. KLEIS et WESTMIJZE qui sont à l'origine de ces considérations.

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

PAR

M. FONTAN PEREZ

*Ingénieur des Télécommunications espagnoles*

Technique de montage des programmes de Radiodiffusion. Procédés suivis jusqu'ici en Espagne. Raccords et façon de les réaliser. Re-enregistrements.

Systèmes pour faire plusieurs copies d'un ruban

matrice. Besoin d'appareils copieurs qui doivent répondre à des conditions précises.

Vitesses des rubans : commentaires sur les normes fixées par le C. C. I. R.

Emmagasinage des rubans. Règles à suivre.

## ORIGINE ET PARTICULARITÉS DES BRUITS DE FOND DANS L'ENREGISTREMENT SUR BANDE MAGNÉTIQUE

PAR

Fr. GALLET

*Ingénieur des Télécommunications*

La reproduction d'un signal enregistré sur bande magnétique est toujours accompagnée d'un certain nombre de signaux parasites dont la nature et l'origine sont très diverses.

Après avoir esquissé une classification sommaire de ces divers bruits, on s'attache particulièrement à l'étude de ceux dont l'amplitude est liée à celle du signal utile. Il n'est pas possible de rendre compte de la présence de ces bruits dans la théorie des systèmes linéaires. Ils ne semblent pas différents des bandes latérales produites autour du signal utile par les modulations dues aux imperfections du dispositif d'enregistrement et de lecture.

Il n'existe pas de méthode absolument satisfaisante pour la mesure de ce genre d'effet; on indique les principes pouvant être utilisés pour cette mesure.

### Introduction.

L'enregistrement sur bande magnétique est aujourd'hui un des outils de base de la radiodiffusion; il tend d'autre part à devenir un auxiliaire de plus en plus indispensable dans beaucoup d'autres techniques, en premier lieu desquelles il faut citer le cinéma et l'édition des disques; plus généralement, il constitue souvent une solution idéale toutes les fois que l'on recherche un organe de mémoire à la fois souple et fidèle.

Pour en rester à la radiodiffusion, on peut schématiser de la façon suivante les résultats techniques qu'il permet d'obtenir :

- 1° Distorsion linéaire de 30 à 12.000 c/s . . .  $\mp 1$  dB
- 2° Distorsion harmonique au niveau maximum . . . . . 2 %
- 3° Rapport : Signal maximum/Bruit . . . 50 dB
- 4° Rapport : Signal maximum/Bruit (mesure pondérée) . . . . . 65 dB
- 5° Fluctuations de vitesse (valeur totale crête à crête) . . . . . 0,25 %

Les chiffres ci-dessus ne représentent nullement une limite extrême, mais seulement les résultats obtenus très couramment par les appareils dont dispose la radiodiffusion, tant en France qu'à l'étranger.

Avec la technique actuelle, de tels résultats peuvent être obtenus avec une vitesse de défilement de la bande de 38,1 cm/s (1); toutefois il y a trois ou quatre ans on utilisait uniquement pour cet

usage la vitesse de 76,2 cm/s, ce qui explique que les appareils de ce type soient encore assez nombreux dans les studios, en particulier dans ceux de la Radiodiffusion-Télévision française; mais on peut estimer que d'ici un à deux ans la vitesse de 38,1 cm/s sera utilisée en France pour la quasi totalité des enregistrements.

Si les résultats énoncés ci-dessus paraissent au premier abord très satisfaisants, c'est à coup sûr parce qu'on les compare à ceux que fournissaient les anciens procédés d'enregistrement. Mais si les mêmes chiffres (à l'exception du dernier) s'appliquaient à un amplificateur tel que ceux qui équipent les studios de radiodiffusion, ils seraient sans aucun doute qualifiés de très médiocres.

C'est qu'en effet on tend de plus en plus, depuis quelques années, à considérer un amplificateur basse fréquence comme un organe de transmission pratiquement parfait, c'est-à-dire comme un organe tel qu'un signal peut en traverser successivement un très grand nombre (par exemple 50 ou 100) sans subir de détérioration grave. De ce point de vue, un atténuateur à résistances, un câble téléphonique de 50 mètres, constituent des organes de transmission pratiquement parfaits. Par contre, lorsqu'un programme de haute qualité a subi huit ou dix réenregistrements successifs, sur un appareil à bande magnétique, même excellent, le résultat, sans être inaudible, est cependant très largement discernable de l'original.

C'est pourquoi, alors que le nombre des amplificateurs présents dans une chaîne complète de radiodiffusion se chiffre par plusieurs dizaines, on hésite toujours à faire supporter à un même enregistrement plusieurs copies successives. Le jour où les chiffres cités plus haut auront été encore améliorés, cette hésitation disparaîtra d'elle-même, et l'exploitant d'un réseau de radiodiffusion jouira d'un degré de liberté supplémentaire. Un dispositif d'enregistrement pourra alors être considéré comme un organe de transmission pratiquement parfait.

Ces considérations générales font apparaître pourquoi l'étude systématique des défauts actuels de l'enregistrement, en dehors même des rensei-

(1) Considérée comme vitesse primaire dans les dernières normes du C.C.I.R.

gnements qu'elle peut nous fournir indirectement sur la structure des phénomènes mis en jeu, peut conduire à des progrès pratiques importants.

On peut remarquer que les chiffres caractérisant le bruit de fond et la distorsion harmonique forment en quelque sorte un doublet indissociable. Ils ne constituent en effet que les deux bornes opposées d'un même domaine (qu'on appelle parfois dynamique d'enregistrement). Tout accroissement du taux de distorsion toléré peut être utilisé pour améliorer le rapport signal/bruit, et inversement tout progrès fait sur le bruit de fond peut servir à réduire le taux de distorsion. Il n'est donc pas nécessaire de choisir à laquelle de ces deux bornes on reconnaît les plus graves inconvénients, il suffit de savoir que le fait de pouvoir reculer l'une quelconque d'entre elles accroît la dynamique disponible.

#### Étude générale du bruit de fond. — Classification des bruits de fond.

Une étude même sommaire de signaux parasites qui accompagnent la reproduction d'un signal utile enregistré sur bande, fait apparaître la complexité et la multiplicité des sources de ces signaux que l'on englobe sous le terme général de bruit de fond.

Une tentative de classification des bruits de fond peut reposer sur les trois discriminations suivantes :

- 1<sup>o</sup> 1. — Certains signaux parasites prennent naissance dans le dispositif de reproduction;
2. — D'autres prennent naissance dans le dispositif d'enregistrement et sont transmis au dispositif de reproduction par l'intermédiaire du milieu magnétique par le même processus que le signal utile;
3. — D'autres enfin sont liés directement aux caractéristiques propres du milieu magnétique.
- 2<sup>o</sup> 1. — Certains des bruits rencontrés ont un spectre pratiquement continu, on les appelle souvent bruit de souffle, bien que ce terme s'applique assez mal à certains d'entre eux;
2. — D'autres sont à spectre discontinu et sont généralement constitués par des harmoniques de la fréquence du secteur, on les désigne par le terme général de ronflements.
- 3<sup>o</sup> 1. — Certains des bruits rencontrés existent même en l'absence de tout signal utile, ils sont indépendants des caractéristiques de ce signal;
2. — D'autres au contraire n'existent qu'en présence du signal utile et certaines de leurs caractéristiques essentielles sont liées à celles du signal.

L'application logique rigoureuse de cette triple discrimination conduit à définir 12 types de bruit parmi lesquels 6 présentent une importance pratique. Ces bruits principaux sont indiqués ci-dessous par leur appellation habituelle, dans l'ordre décroissant de la gêne qu'ils représentent sur un appareil moderne, et munis de la référence chiffrée qui permet de reconstituer leur définition à partir des paragraphes précédents.

1<sup>o</sup> Bruit de modulation (3, 1, 2).

2<sup>o</sup> Bruit de fond de la bande effacée (3, 1, 1).

3<sup>o</sup> Ronflement du dispositif de lecture (1, 2, 1).

4<sup>o</sup> Ronflement du dispositif d'enregistrement (2, 2, 1).

5<sup>o</sup> Souffle de l'amplificateur de lecture (1, 1, 1).

6<sup>o</sup> Souffle de l'amplificateur d'enregistrement (2, 1, 1).

Bien entendu, la classification ci-dessus présente une part importante d'arbitraire; elle n'a pas d'autre but que de permettre d'étudier isolément chacun des effets perturbateurs, et l'importance relative de ces différents effets peut être discutée dans chaque cas particulier.

La triple discrimination faite ci-dessus appelle quelques commentaires qui ont, comme on va le voir, des répercussions immédiates sur les méthodes de mesure.

1<sup>o</sup> Il est facile de mesurer le bruit introduit par le dispositif de lecture en faisant fonctionner celui-ci seul, en l'absence de support magnétique enregistré. Par contre, la mesure directe du bruit créé par le dispositif d'enregistrement n'est pas toujours possible. On est le plus souvent obligé de se contenter de mesurer d'une part le bruit du système complet en fonctionnement normal, et d'autre part le bruit du dispositif de lecture seul; la comparaison des résultats permettant d'apprécier l'importance du dispositif d'enregistrement. Enfin, la mesure, et même la définition, du bruit apporté par le milieu magnétique soulève de nombreuses difficultés car ce bruit résulte nécessairement d'une interaction entre le support d'enregistrement lui-même et les organes servant à l'enregistrement ou à la lecture.

2<sup>o</sup> Les bruits à spectre continu sont caractérisés en premier lieu par leur distribution spectrale; mais la mesure de ces bruits présente des difficultés particulières dues au fait que celle-ci est loin d'être constante dans le temps. En effet, les bruits dus aux supports magnétiques sont riches d'impulsions non périodiques dont le rythme correspond à des fréquences non transmises par l'appareil. Il en résulte que les caractéristiques balistiques de l'appareil indicateur ont une influence considérable sur le résultat de la mesure, et qu'en particulier, la gêne apportée à l'auditeur par certains de ces bruits peut être supérieure à ce que laisse apparaître la simple considération des puissances ou des tensions efficaces.

3<sup>o</sup> Les bruits à spectre discontinu, c'est-à-dire les ronflements, peuvent être facilement isolés au moyen d'un filtre passe bas, leur niveau est d'ailleurs le plus souvent supérieur à celui des bruits de souffle, de sorte que la mesure globale sans filtre n'est presque pas affectée par la présence de ces derniers. Lorsque sont présents simultanément des ronflements provenant du dispositif de lecture, et des ronflements provenant du dispositif d'enregistrement (ces derniers enregistrés sur la bande) il existe souvent au moment de la mesure une très légère différence entre les fréquences fondamentales des deux sources de ronflement. Cette différence étant due généralement à la variation de la fréquence du secteur d'alimentation entre le moment de l'enregistrement et celui de la lecture, et éventuellement à une petite variation dans l'efficacité du mécanisme d'entraînement de la bande. Il en résulte que l'on peut souvent observer un battement lent, qui fait osciller le niveau du bruit résultant entre deux limites parfois assez éloignées. En principe, seule la limite supérieure est à prendre en considération. Lorsqu'un tel battement n'est pas observé, la cause peut en être soit dans une trop grande différence entre les niveaux

des deux bruits (battement d'amplitude nulle), soit dans une trop faible différence entre leur fréquence (battement de fréquence nulle). Mais, dans ce dernier cas, le résultat est influencé par la différence de phase entre les deux ronflements, différence due uniquement au hasard. On mesure alors des chiffres qui peuvent différer notablement d'un essai au suivant. La seule méthode pour lever le doute dans ce cas, consiste à provoquer artificiellement un léger glissement de la bande lue, ce qui fait aussitôt apparaître le battement et permet de contrôler son amplitude.

Il y a lieu de noter que dans le cas où l'enregistrement et la lecture sont faits simultanément, la relation de phase entre les deux ronflements est strictement déterminée par la construction mécanique de l'appareil, et que par conséquent, aucun battement ne peut apparaître. Ces conditions de mesure peuvent donner des résultats plus favorables que les conditions de travail normal (lecture et enregistrement non simultanés), elles doivent donc être prohibées, à moins que l'on ne soit assuré d'avance de ce qu'un des deux bruits est très nettement inférieur à l'autre (de 8 à 10 dB au moins).

3° La question des bruits liés au signal présente des particularités très intéressantes qui sont analysées plus loin.

**Définition générale du bruit de fond dans les systèmes linéaires ou non linéaires.**

L'étude du bruit de fond dans les appareils d'enregistrement est dominée par le fait que la partie essentielle du bruit rencontré est fonction de l'amplitude du signal utile. Remarquons en passant qu'un tel phénomène n'a rien de particulièrement extraordinaire, et qu'on peut s'attendre à le rencontrer dans tous les systèmes de transmission.

On sait en effet, que pour tenir compte de l'existence du bruit de fond dans les systèmes linéaires, on est obligé d'admettre la présence constante à l'entrée du système, d'un générateur fictif, qui produit à la sortie le bruit de fond superposé au signal utile. Dans la théorie des systèmes linéaires, le niveau de ce bruit est indépendant de celui du signal. En effet, le postulat de base de cette théorie consiste à poser que la réponse à une somme de deux actions simultanées est identique à la somme des réponses à ces deux actions lorsqu'elles se présentent séparément. En d'autres termes, le bruit de fond, considéré comme la réponse à une action parasite déterminée une fois pour toutes, est indépendant de la réponse à l'action utile appliquée simultanément.

Dès que le système n'est plus linéaire, les phénomènes changent. On sait que la réponse d'un système non linéaire à une action sinusoïdale unique, est caractérisée par la présence, en plus de la réponse « linéaire », d'une réponse parasite (1) constituée par la série des harmoniques du signal utile. Dans le cas de deux actions simultanées, le système non linéaire introduit en plus du signal utile, deux sortes de réponses parasites :

1° Les séries des harmoniques des deux signaux.

2° Les produits d'intermodulation.

Dans le cas où l'un des deux signaux présents à l'entrée est celui qui produit le générateur fictif

de bruit considéré ci-dessus, on peut donc s'attendre à trouver à la sortie cinq types de signaux :

1° Le signal utile;

2° Ses harmoniques;

3° Le bruit résultant de la transmission « linéaire » du bruit à l'entrée;

4° Les harmoniques de ce bruit;

5° Les produits d'intermodulation du signal et du bruit.

Ce dernier terme peut donc être considéré comme un bruit parasite dont l'amplitude est liée à celle du signal.

En fait, dans les systèmes de transmission classiques, ce type de bruit n'est pas rencontré pratiquement. La raison en est que la plupart des systèmes de transmission en fonctionnement normal peuvent être qualifiés de « quasi-linéaires » et de « quasi-silencieux » ce qui signifie que la non linéarité et le bruit peuvent être considérés comme des infiniments petits du premier ordre. Dans ces conditions, les bruits numérotés ci-dessus 4 et 5 doivent être considérés comme des infiniments petits du second ordre, ce qui explique que, dans la pratique, ils soient totalement masqués par les signaux parasites des types 2 et 3 qui sont eux du premier ordre.

**Cas des appareils d'enregistrement.**

Le cas des appareils d'enregistrement et particulièrement d'enregistrement magnétique, est très différent. Les bruits fonction du signal y ont une importance qui dépasse très largement le cadre des seules spéculations théoriques. Il faut en chercher la raison dans le fait que si, en première approximation, ces systèmes peuvent être considérés comme linéaires et stables, au même titre qu'un amplificateur ou une ligne de transmission, une étude plus poussée suppose un recours à la théorie des systèmes de transmission dont les caractéristiques sont fonction du temps.

Alors que dans un système linéaire classique la réponse à un signal de pulsation  $\omega$  est entièrement définie par le gain complexe  $G(\omega)$  dont les deux composantes : gain et temps de transit ne sont fonction que de  $\omega$ , dans le cas des systèmes d'enregistrement, ces deux nombres sont également fonction du temps. Ceci revient à dire que le signal utile obtenu à la sortie est affecté d'une double modulation parasite en amplitude et en fréquence. Cette modulation est due à la fois aux irrégularités du milieu continu servant de support à l'enregistrement, et à celles du mécanisme servant à assurer le défilement de ce milieu. Heureusement l'étude de ce phénomène se trouve simplifiée par le fait que les défauts du support produisent presque uniquement une modulation d'amplitude, alors que les défauts du mécanisme donnent surtout naissance à une modulation de fréquence.

Ces deux effets de modulation se traduisent par l'apparition dans le spectre du signal de sortie de bandes latérales qui peuvent être considérées comme des bruits liés au signal. En considérant les défauts du support et ceux du mécanisme comme des infiniments petits du premier ordre, les bandes latérales de modulation sont cette fois des effets parasites du premier ordre, car ils affectent le signal directement et non par l'intermédiaire du bruit de fond normal.

**Modulation d'amplitude.**

La modulation de l'amplitude d'un signal de fréquence  $F$ , par un signal de fréquence  $f$ , aux taux

(1) Les systèmes non linéaires étant ici considérés comme des systèmes « imparfaitement linéaires ».

de modulation  $k$ , fait apparaître dans le spectre du signal des bandes latérales de fréquence  $F + f$ , et d'amplitude  $k/2$ , (l'amplitude du signal non modulé étant prise comme unité). Lorsque le signal modulant est un bruit complexe possédant une répartition spectrale stationnaire, le spectre du signal modulé comporte des bandes latérales complexes qui reproduisent pratiquement le spectre du bruit modulant. Lorsqu'on fait varier la fréquence « porteuse »  $F$ , ce type de modulation est caractérisé par les faits suivants :

1° Le spectre des bandes latérales est identique à celui du signal modulant, à une translation près dans l'échelle des fréquences; il est donc indépendant de  $F$ .

2° Le niveau relatif des bandes latérales ne dépend que du taux de modulation  $k$ ; il est indépendant aussi bien de  $F$  que de  $f$ .

Dans la pratique, la modulation d'amplitude est due principalement aux irrégularités de la couche magnétique de la bande. En effet, l'efficacité instantanée du système d'enregistrement, définie comme le rapport entre les amplitudes du signal après reproduction et avant enregistrement, est liée à un certain nombre de caractéristiques locales de la couche magnétique servant de support d'enregistrement :

- Épaisseur de la couche;
- État de surface;
- Concentration de l'oxyde magnétique;
- Dimension, forme et orientation des cristaux d'oxyde;
- Rémanence et coercivité.

Toutes ces caractéristiques ne sont constantes qu'en première approximation, et leurs variations d'un point de la bande au suivant provoque une modulation parasite de l'amplitude du signal. Le spectre des bandes latérales résultant de cette modulation peut être considéré comme grossièrement constant pour un type de bande donné. Il dépend essentiellement des procédés de fabrication et peut varier assez sensiblement d'une fabrication à une autre. Dans certains cas même, l'étude de ce spectre a permis de déceler des accidents marqués, tels que des fréquences dominantes, dont la cause a pu quelquefois être repérée sur l'une des machines servant à la fabrication de la bande.

La constitution exacte du spectre complexe dû à la modulation parasite peut être étudiée au moyen d'un appareil analyseur du type hétérodyne à bande étroite. La largeur optimum de la bande d'analyse semble être pour ce travail de 10 à 20 c/s. Toutefois, pour obtenir une mesure valable des composantes les plus rapprochées du signal porteur, il est indispensable de disposer d'un appareil dont la sélectivité soit suffisante pour éliminer totalement le signal pour un désaccord très faible. Pratiquement, il est nécessaire d'obtenir un affaiblissement de 40dB pour un désaccord ne dépassant pas 100 c/s.

Dans la mesure où la modulation parasite n'affecte que l'amplitude du signal utile, le spectre obtenu doit être indépendant de la fréquence porteuse. Toutefois il faut faire à ce sujet quelques remarques :

1° Certains des défauts de la bande, tels qu'un état de surface irrégulier, affectent inégalement les différentes fréquences enregistrées. Plus précisément, tous les défauts d'ordre mécanique ou géométrique affectent davantage les courtes longueurs d'onde, c'est-à-dire les fréquences élevées. Un même taux de modulation produit bien une amplitude

des bandes latérales indépendante de la fréquence, mais un même défaut peut parfaitement produire un taux de modulation croissant avec la fréquence.

2° On peut en dire autant de certains défauts qui concernent le mécanisme de défilement plutôt que la bande; en particulier toute vibration de la bande dans le sens perpendiculaire au défilement, produit une modulation d'amplitude dont le taux augmente très rapidement avec la fréquence.

3° La théorie et l'expérience montrent que ces bandes latérales apparaissent même pour une fréquence porteuse nulle, c'est-à-dire que l'aimantation de la bande est produite par un courant continu; toutefois dans ce cas les fréquences les plus basses du spectre perturbateur ne sont en général pas transmises par le dispositif de lecture.

#### Modulation de fréquence.

Quant à la modulation de fréquence du signal reproduit, sa cause est également très simple, elle est due essentiellement aux fluctuations de la vitesse des mécanismes de défilement, tant à l'enregistrement qu'à la lecture. Pour caractériser ces fluctuations on utilise généralement le rapport

$$p = \Delta V/V$$

qui exprime la variation relative de la vitesse de défilement.

La fréquence  $F$  est alors affectée d'une fluctuation  $\Delta F$ , telle que :

$$\Delta F/F = p$$

La grandeur  $p$  est une caractéristique du mécanisme de défilement considéré. Elle est de nature comparable à un bruit de fond, c'est-à-dire qu'elle peut comporter à la fois des fréquences dominantes et un bruit à spectre réparti. Les composantes dominantes de  $p$  sont généralement celles qui correspondent aux vitesses de rotation des principaux organes tournants du mécanisme. Certaines peuvent donc être de quelques c/s seulement, d'autres sont de fréquences plus élevées, en particulier celles qui correspondent au moteur principal d'entraînement (par exemple 25 c/s pour les moteurs synchronisés à 1.500 t/m, et 16 2/3 c/s pour les moteurs synchronisés à 1.000 t/m). La composante à 100 c/s est souvent prédominante. Elle est due à l'ondulation du couple des moteurs synchrones monophasés. Enfin on observe des fréquences allant jusqu'à plusieurs kc/s liées aux vibrations longitudinales de la bande provoquées par le glissement sur les têtes.

Si  $\Delta F$  est la déviation instantanée maxima de la fréquence, l'indice de modulation est par définition égal à  $\Delta F/f$ , donc au produit  $p.F/f$ . On sait que le spectre produit par une telle modulation de fréquence peut se représenter simplement au moyen des fonctions de Bessel de l'indice de modulation  $m$ .

$$\text{Porteuse : } J_0(m) = 1 - \frac{m^2}{4} + \frac{m^4}{16} + \dots$$

$$1^{\text{re}} \text{ bande latérale : } J_1(m) = \frac{m}{2} - \frac{m^3}{16} + \dots$$

$$2^{\text{e}} \text{ bande latérale : } J_2(m) = \frac{m^2}{4} - \frac{m^4}{96} + \dots$$

$$3^{\text{e}} \text{ bande latérale : } J_3(m) = \frac{m^3}{8} + \dots$$

$$4^{\text{e}} \text{ bande latérale : } J_4(m) = \frac{m^4}{16} + \dots$$

On voit que plus  $m$  est grand, plus est grand le nombre des bandes latérales ayant une amplitude

appréciable. Pour les valeurs de  $m$  sensiblement inférieures à 1, on a pratiquement

$$J_n(m) = (m/2)^n$$

ce qui signifie qu'un même nombre de décibels sépare les niveaux de deux bandes latérales successives. Le tableau ci-dessous indique pour différentes valeurs de  $m$  le niveau relatif des trois premières bandes latérales.

| $m =$          | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 1    |
|----------------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| $J_0/J_1$ (dB) | 32   | 26  | 20  | 16,5 | 13,8 | 11,8 | 5,2  |
| $J_0/J_2$ (dB) | 64   | 52  | 40  | 33   | 27,6 | 23,6 | 10,4 |
| $J_0/J_3$ (dB) | 96   | 78  | 60  | 49,5 | 41,4 | 35,6 | 16,2 |

Si l'on pense que lorsque  $F = 10.000$  c/s et  $f = 25$  c/s, une fluctuation de  $\pm 0,1\%$  de la vitesse donne déjà  $m = 0,4$ , on voit que l'amplitude des bandes latérales dues à la modulation de fréquence du signal peut largement dépasser celle des signaux parasites dus à la distorsion harmonique ou au souffle des amplificateurs. L'importance globale de ce phénomène augmente très vite avec la fréquence  $F$ , non seulement à cause de l'accroissement du niveau des bandes latérales, mais aussi du fait de l'apparition de bandes latérales d'ordre élevé, qui donnent au spectre du signal reproduit une forme de moins en moins pure et de plus en plus étalée.

Des données physiologiques précises font malheureusement défaut sur la sensibilité de l'oreille à ce phénomène, mais un fait est certain, c'est que

bande en forme de boucle sans fin, un nombre quelconque de réenregistrements du même signal. On constate que les fréquences basses et moyennes conservent leur caractère subjectif après un très grand nombre d'opérations. Par contre, pour les fréquences élevées, le bruit de modulation augmente de façon très sensible après chaque copie, et au bout de 10 à 20 réenregistrements successifs le spectre du signal est à tel point étalé que la fréquence du signal initial n'y est même plus discernable pour l'oreille.

L'étude expérimentale du spectre montre très nettement l'apparition, autour des fréquences élevées, de bandes latérales nombreuses et intenses. On peut vérifier par exemple que leur amplitude varie proportionnellement à la fréquence porteuse (fig. 2), et que les bandes latérales  $F \pm 100$  c/s ont une amplitude qui est directement liée aux conditions d'alimentation du moteur synchrone d'entraînement (fig. 1). On peut également déterminer par cette méthode la fréquence propre des vibrations longitudinales de la bande pendant son défilement sur les têtes, et vérifier que cette fréquence est liée à la fois à la masse de la bande, à son élasticité, et surtout à la distance qui sépare ses points d'appui au moment du défilement. Sur les appareils classiques, ces fréquences sont généralement comprises entre 2 et 4 kc/s, mais l'amplitude des bandes latérales produites est inférieure d'au moins 40 dB à celle du signal (fig. 3).

Dans des études plus ou moins anciennes, le bruit de modulation était présenté comme une généralisation du bruit créé par une aimantation permanente de la couche magnétique. Une telle aimantation fait apparaître dans une tête de lecture un flux magnétique dont la variation n'est due pratique-

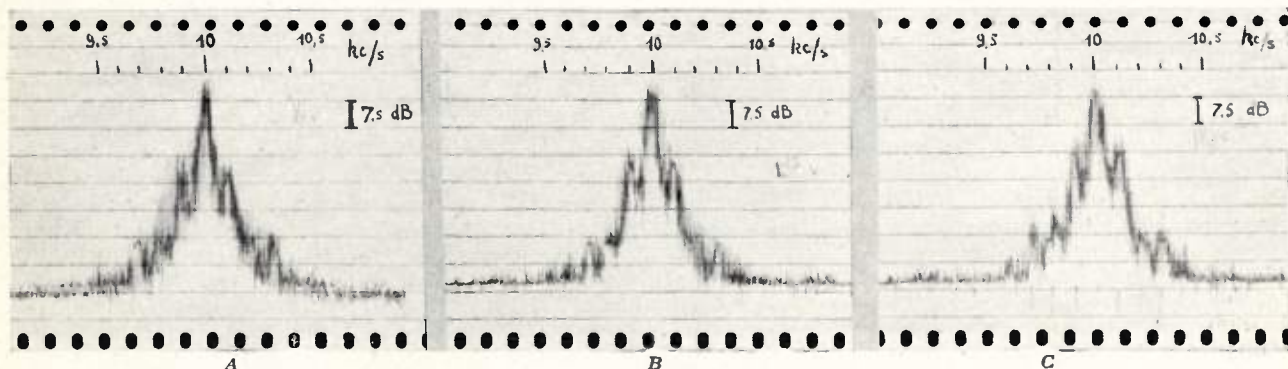


FIG. 1. — Bandes latérales de modulation ( $F = 10$  kc/s). Influence de l'alimentation du moteur synchrone : en a la tension d'alimentation est de 114 volts, en b elle est de 127 volts, en c de 140 volts.

Remarquer la présence des bandes latérales  $F \pm 100$ ,  $F \pm 200$ ,  $F \pm 300$ ,  $F \pm 400$  et leur accentuation nette pour les fortes tensions d'alimentation.

l'audition des notes très aiguës sur un appareil d'enregistrement à haute fidélité s'en trouve sensiblement perturbée. On peut citer à ce sujet une expérience curieuse. Si l'on enregistre sur une bande magnétique un signal sinusoïdal de 5 kc/s par exemple; dès la première lecture, le bruit de modulation qui accompagne ce signal est parfaitement audible, alors qu'il serait à peu près imperceptible pour les fréquences inférieures à 1 kc/s. On peut recopier le signal ainsi obtenu sur une autre bande ou même sur une autre partie de la même bande, en utilisant une machine sur laquelle l'ordre classique des trois têtes a subi une perturbation circulaire. (Lecture - Effacement - Enregistrement, au lieu de : Effacement - Enregistrement - Lecture). On peut ainsi effectuer très rapidement sur une

ment qu'aux irrégularités de toute nature de la bande aimantée. Un signal étant enregistré sous la forme d'une aimantation variable, il est normal que le même phénomène accompagne tout signal enregistré, et varie en même temps que lui, le bruit se trouvant modulé par le signal.

Cette façon de présenter la théorie du bruit de modulation est parfaitement légitime, elle présente cependant deux inconvénients.

1° Son caractère intuitif disparaît dès que l'on considère le bruit accompagnant les fréquences élevées; il s'agit beaucoup plus d'une modulation du signal par le bruit (ou plus exactement par la cause du bruit) que d'une modulation du bruit par le signal. En réalité, on peut parler d'intermodulation, la valeur instantanée du signal reproduit

étant égale au produit de la valeur instantanée du signal utile, par celle d'une fluctuation.

2° Elle ne rend pas compte de l'effet de modulation de fréquence, effet qui semble bien être prédominant dans les fréquences élevées, même pour l'oreille.

#### Mesure du bruit de modulation.

De ce qui précède il résulte que la seule mesure satisfaisante du bruit de modulation est celle qui est faite au moyen d'un analyseur permettant de tracer le spectre du signal reproduit, et de détec-

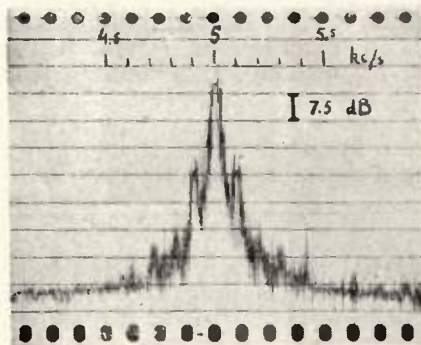


FIG. 2. — Bandes latérales de modulation. Influence de la fréquence porteuse ( $F = 5$  kc/s,  $V = 127$  v). Comparer avec la figure 1 b. Remarquer l'amplitude plus faible (de 6 dB) des bandes latérales  $F \pm 100$  c/s. Les bandes latérales  $F \pm 200$  et  $F \pm 300$  ont presque totalement disparu.

miner la fréquence et l'amplitude des diverses composantes parasites. Cette méthode présente cependant deux graves inconvénients.

1° Elle nécessite la mise en œuvre d'un matériel assez complexe : analyseur à bande étroite muni d'un dispositif d'exploration automatique, amplificateur du signal fourni, et enregistreur rapide

industriel. Il est en effet souvent nécessaire de disposer d'un procédé fournissant rapidement un chiffre global permettant la comparaison immédiate de deux appareils ou de deux bandes.

La difficulté d'obtenir une mesure globale et non sélective du bruit de modulation réside dans le fait que ce bruit est toujours par définition accompagné d'un signal qui est fort heureusement d'un niveau très supérieur. Il en résulte que la mesure demanderait une élimination totale du signal utile, et même de ses harmoniques dont le niveau global est du même ordre de grandeur que celui du bruit à mesurer. Il faut donc recourir à un filtrage. Mais, pour conserver un sens à la mesure, le filtrage ne doit éliminer qu'une bande de fréquence assez étroite autour du signal pour ne pas affecter sensiblement le bruit à mesurer. Plus précisément, la largeur souhaitable pour la bande non passante du filtre, est égale à la largeur de la partie du spectre du bruit qui peut se trouver masquée par le signal. Des essais ont été parfois effectués pour déterminer quelle largeur il faut donner au spectre d'un bruit avoisinant un signal sinusoïdal, pour que ce bruit devienne audible. Les résultats manquent évidemment de précision, et ils ne sont peut-être pas strictement applicables au cas présent; toutefois ils indiquent pour les fréquences supérieures à 1 kc/s une largeur de la bande masquante de l'ordre de 50 c/s. Il en résulte que le filtre nécessaire pour la mesure du bruit de modulation devrait apporter un affaiblissement de l'ordre de 60dB dans une bande de 50 c/s seulement, il faudrait le compléter de circuits destinés à éliminer les deux premiers harmoniques, pour lesquels un affaiblissement de l'ordre de 20 dB serait suffisant. Sans être irréalisable, un tel filtre n'est cependant pas courant de sorte que cette méthode est rarement utilisée.

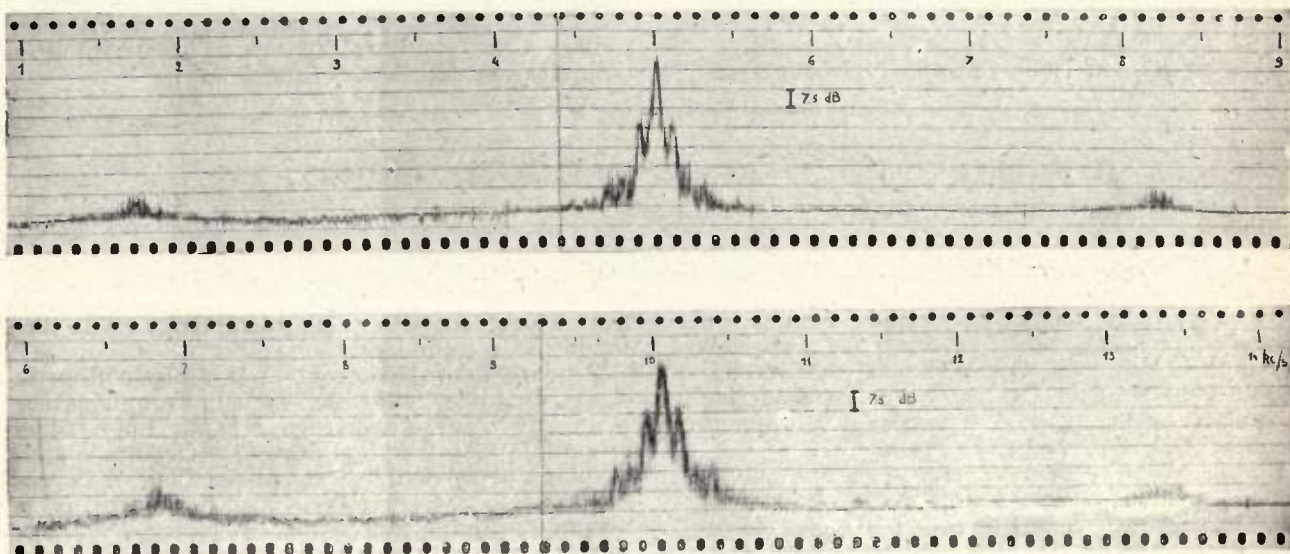


FIG. 3. — Bandes latérales de modulation : en haut  $F = 5$  kc/s, en bas  $F = 10$  kc/s. Remarquer dans les deux cas les bandes latérales  $F \pm 3.250$  dues aux vibrations longitudinales de la bande. Leur niveau relatif varie comme  $F$ .

traçant automatiquement la courbe du spectre. Une fois ce matériel disponible, la mesure n'est guère plus longue ni plus difficile qu'une classique mesure de bruit de fond.

2° Elle fournit un résultat complexe tel que ceux qui illustrent cet article, parfaitement adapté sans doute aux travaux d'étude et de mise au point, mais peu pratique pour un travail de contrôle

Lorsqu'on envisage seulement la partie du bruit de modulation qui est due aux irrégularités du support, donc à une modulation d'amplitude, on peut tourner la difficulté en s'appuyant sur l'hypothèse que le spectre du bruit parasite est indépendant de la fréquence porteuse, il peut donc être obtenu en effectuant une analyse ou une mesure globale sur le bruit produit par un signal de fréquence

nulle c'est-à-dire par un courant continu. Le filtrage ne pose plus alors de problème, la difficulté résulte plutôt de la présence des composantes du ronflement dans la bande des fréquences considérées. Cependant comme ces composantes existent même en l'absence de toute aimantation de la bande, il est toujours possible de les mesurer séparément et de calculer leur influence sur le résultat global.

Une telle méthode est relativement facile à mettre en œuvre, toutefois elle ne tient compte ni de la modulation de fréquence, ni même de l'accroissement du taux de la modulation d'amplitude aux fréquences élevées, accroissement qui a été mentionné plus haut. De plus il est pratiquement impossible de relier numériquement les résultats obtenus à la grandeur du bruit qui prend naissance en présence d'une modulation alternative, surtout si sa fréquence est élevée. Cette méthode n'a donc d'intérêt pratique que pour la comparaison d'une série de

bandes magnétiques de propriétés voisines, et c'est bien dans ce but qu'elle est le plus souvent pratiquée.

#### Conclusion.

Il n'est pas possible, dans le cadre de cet article, de faire une revue complète de tous les problèmes relatifs au bruit de fond des enregistrements magnétiques. En particulier, l'importante question de la nature des bruits qui sont liés au support magnétique, mais sont indépendants du signal lui-même, n'a pratiquement pas été évoquée ici faute de place. Si le sujet a été volontairement restreint aux bruits de modulation, c'est d'une part qu'ils demeurent aujourd'hui le défaut majeur de la plupart des appareils à haute fidélité, et d'autre part parce que, sans doute à cause de la relative difficulté des mesures, on ne trouve qu'assez peu de travaux d'ensemble sur cette question.

## CONTROLE DE LA QUALITÉ DES BANDES MAGNÉTIQUES

PAR

Fr. GALLET

*Ingénieur des Télécommunications*

L'obtention de performances satisfaisantes pour l'enregistrement à haute fidélité exige des tolérances de fabrication très serrées sur la plupart des grandeurs qui caractérisent la bande magnétique terminée.

Pour une exploitation qui se propose à la fois un rendement industriel acceptable et des performances poussées, un contrôle minutieux des bandes utilisées est à peu près indispensable. Ces problèmes se posent particulièrement aux organismes de Radiodiffusion, dont la consommation en bandes est considérable et qui exigent une qualité sans cesse accrue des enregistrements.

Dans ce but, la Radiodiffusion-Télévision fran-

çaise a étudié, réalisé et mis en service depuis quelques mois deux types entièrement nouveaux d'équipements de contrôle :

— d'une part, des machines à très grand débit ne contrôlant qu'un petit nombre de caractéristiques, mais sur la totalité des bandes utilisées;

— d'autre part, des tables de mesure à fonctionnement automatique qui fournissent en quelques minutes toutes les caractéristiques importantes de la bande.

Ces appareils seront sommairement décrits; on indiquera les résultats obtenus et les possibilités d'application à d'autres domaines.

## DYNAMIQUE DE L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE

par

D. KLEIS

*Laboratoires Philips - N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken - Eindhoven-Pays-Bas*

Considérant la bande magnétique comme un élément donné, nous allons examiner les propriétés que doit présenter la voie d'enregistrement pour fournir à partir de cette bande une reproduction de qualité optimum, dont notamment le rapport signal-perturbation soit maximum.

Il apparaît qu'en de nombreux cas la dynamique que la bande magnétique peut fournir n'est pas atteinte, en pratique, dans les processus d'enregistrement et de reproduction. Une petite magnétisation permanente de la tête d'enregistrement ou de lecture, un petit champ magnétique continu dans l'entrefer des têtes pendant l'enregistrement ou la lecture, aussi bien qu'une faible dissymétrie du champ d'effacement et du champ de polarisation provoquent un accroissement du bruit de fond, de même qu'une distorsion du signal, réduisant ainsi la dynamique de la reproduction. Le niveau de perturbation est augmenté en particulier par le bruit de fond de l'amplificateur de lecture, ainsi que par l'effet d'écho. En outre l'amplificateur de

lecture peut contribuer considérablement à la distorsion à la reproduction.

Pendant l'enregistrement et la reproduction du signal, on a une chaîne dans laquelle l'amplificateur et la tête d'enregistrement, la bande magnétique et enfin la tête et l'amplificateur de lecture constituent les trois maillons essentiels. Chacun de ces maillons peut se caractériser par deux niveaux, le niveau maximum admissible eu égard à la distorsion et le niveau propre de perturbation du maillon, tous deux fonction de la fréquence. En outre, l'imperfection du contact entre les têtes et le support, d'une part, la démagnétisation dans la couche magnétique, d'autre part, provoquent une diminution du niveau de sortie d'autant plus grande que la longueur d'onde enregistrée est plus courte. Par l'emploi de filtres électriques dans les amplificateurs il faut obtenir le rapport signal-perturbation optimum dans chacun des trois maillons et en même temps dans le spectre du signal rétablir la distribution d'énergie initiale.

L'amplificateur d'enregistrement possède une courbe de fréquence plate en principe, mais il est cependant muni de filtres électriques, afin que la dynamique de la bande magnétique soit utilisée au mieux (pré-accentuation). Comme le niveau du signal dans cet amplificateur est relativement élevé, la dynamique de l'amplificateur d'enregistrement est en général supérieure à la dynamique de la bande magnétique sans qu'on prenne de mesures spéciales.

L'amplificateur de lecture, au contraire, reçoit un signal faible de la tête de lecture, de sorte qu'en ce cas un accroissement du niveau de bruit de fond pourrait se présenter. Une adaptation satisfaisante de la tête de lecture à l'amplificateur est fondamentale.

La tête de lecture normale est construite de telle manière que le flux magnétique de la bande traverse une bobine; le flux induit dans celle-ci des tensions électriques proportionnelles à la vitesse de la variation du flux magnétique. Comme la tension aux bornes de la tête augmente proportionnellement aux fréquences du signal, la courbe de fréquence de l'amplificateur qui suit la tête doit diminuer de 6 dB par octave.

On peut construire des têtes de lecture spéciales dont la tension aux bornes est proportionnelle au flux lui-même, donc en principe indépendante de la fréquence. L'amplificateur de lecture en ce cas possède une courbe de fréquence plate en principe.

Dans les deux cas des filtres électriques supplémentaires doivent assurer l'égalisation, nécessaire, du spectre des fréquences dans l'amplificateur de lecture, compensant ainsi la courbe de fréquence de la bande magnétique et celle de l'amplificateur d'enregistrement.

Il est très important de monter les filtres de correction à leur place appropriée dans la chaîne de lecture; en particulier, le filtre pour la correction de 6 dB par octave. En effectuant la correction avant l'amplificateur on augmente le niveau de bruit de fond d'une façon inadmissible. Un filtre placé après un ou plusieurs étages amplificateurs peut provoquer une distorsion considérable. L'avantage d'égaliser la courbe de fréquence dans l'amplificateur de lecture par la voie d'une contre-réaction

variant avec la fréquence, ainsi que les avantages et inconvénients que présente l'incorporation de la tête lectrice dans le circuit de contre-réaction seront discutés pendant la conférence.

L'égalisation totale de la courbe de fréquence de la bande magnétique, ainsi que de l'effet inductif dû à la tête lectrice sera répartie entre les amplificateurs d'enregistrement et de lecture. Il faut rechercher, ce faisant, une dynamique auditive optimum du signal reproduit.

Supposant qu'on connaisse les propriétés statistiques du signal, on pourrait incorporer dans l'amplificateur d'enregistrement un filtre, de façon que la probabilité de surcharger la bande magnétique soit la même pour toutes les fréquences. En musique, ceci veut dire que le filtre relèvera les notes hautes et éventuellement les notes basses, parce que l'intensité des composantes au-dessous de 300 P/s et au-dessus de 3.000 P/s diminue. De cette façon, la dynamique de la bande magnétique, augmentée car les composantes du bruit de fond de haute et basse fréquence sont atténuées par l'égalisation compensatrice dans la partie lecture. Il est important de comprendre que la courbe bien connue de la distribution d'énergie dans le spectre de la musique d'après Fletcher ne fournit pas l'information nécessaire à cette correction.

L'augmentation présentée jusqu'ici concerne seulement les perturbations dues au bruit de fond. De cette façon on arrive à une correction optimum pour l'amplificateur d'enregistrement. Cependant l'enregistrement magnétique est en outre sujet au bruit de fond de modulation. On peut considérer le bruit de fond de modulation soit comme une perturbation inhérente au signal, soit comme une modulation de l'amplitude du signal. Comme le bruit de fond normal, le bruit de fond de modulation varie dans la reproduction finale avec la répartition de l'égalisation entre les parties enregistrement et lecture; il en résulte donc de nouvelles conditions pour obtenir la dynamique optimum.

Un cas particulier de perturbation inhérente au signal est l'effet d'écho. Heureusement cette perturbation peut être supprimée dans une proportion considérable par des mesures judicieuses.

## LES OXYDES DE FER UTILISÉS DANS LA FABRICATION DES FILMS MAGNÉTIQUES

PAR

A. LOVICHIO et J.-P. DERIAUD

*Ingénieurs aux Laboratoires KODAK-PATHÉ*

Parmi les différentes variétés chimiques d'oxyde de fer, seules les deux variétés  $Fe_3O_4$  et  $Fe_2O_3\gamma$  sont magnétiques.

Ces deux types d'oxydes peuvent donc être utilisés pour la fabrication de films magnétiques, mais pour des raisons qu'on exposera, on utilise plus couramment l'oxyde  $Fe_2O_3\gamma$ .

Deux méthodes différentes de préparation permettent de fabriquer  $Fe_2O_3\gamma$ .

Dans la première, on précipite directement en solution aqueuse  $Fe_3O_4$ , magnétique, qui par oxydation ménagée fournit ensuite  $Fe_2O_3\gamma$ .

Dans la seconde, on précipite en solution aqueuse une variété d'oxyde de fer non magnétique  $Fe_2O_3$ ,  $H_2O$ , qui permet d'obtenir successivement : d'abord par déshydratation  $Fe_2O_3\gamma$ , puis ensuite par réduction

en phase sèche  $Fe_3O_4$ , et enfin par oxydation ménagée  $Fe_2O_3\gamma$ .

Les deux variétés de  $Fe_2O_3\gamma$  ainsi obtenues par les deux méthodes, bien qu'identiques du point de vue chimique et de leur structure cristalline, diffèrent par la forme macroscopique de leurs cristaux élémentaires.

Cette différence dans la forme des cristaux introduit de nombreuses différences dans les propriétés physiques des poudres d'oxyde et en particulier dans les propriétés magnétiques statiques de celles-ci.

Ces deux types d'oxyde qui sont utilisés concurrentement par les différents fabricants de film magnétique permettent de fabriquer deux types de films magnétiques dont les propriétés électro-acoustiques très différentes sont étudiées par les auteurs.

# L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE DES FRÉQUENCES SUPÉRIEURES A 100 KC/S — CONDITIONS PHYSIQUES A OBSERVER — LIMITES ACTUELLES

PAR

Jean PERILHOU

*Laboratoire d'Électronique et de Physique appliquée*

Rappel des conditions générales déterminant la bande passante enregistrable magnétiquement. Problèmes mécaniques soulevés par les grandes vitesses de défilement. Nécessité de faibles distances entre les différents éléments et d'une très grande précision mécanique statique et dynamique.

Problèmes magnétiques. Choix des matériaux magnétiques pour la couche et les différents éléments. Problème de circuits. Nécessité de la correction de la bande passante.

L'ensemble de ces conditions sera résumé, afin de fixer les limites actuelles imposées à l'enregistrement magnétique.

## I. — GÉNÉRALITÉS :

Le système d'enregistrement magnétique ayant donné jusqu'ici les excellents résultats que l'on sait pour l'inscription et la lecture de fréquences s'étendant jusqu'à quelques dizaines de kc/s, des spécialistes ont tenté de repousser cette limite au-delà de 100 kc/s de bande passante.

Le processus connu d'enregistrement n'étant pas modifié dans son principe, on ne peut espérer améliorer cette bande passante qu'en perfectionnant les différents éléments du processus d'enregistrement grâce à des techniques appropriées.

L'examen du processus précité montre que les techniques à envisager sont au nombre de 3 :

- 1° Magnétiques,
- 2° Mécaniques,
- 3° Électriques.

Ces techniques vont d'abord être considérées tour à tour, puis on étudiera comment il est possible d'en tirer parti.

\* \*

### 1° Caractéristiques magnétiques.

Il est connu que l'inscription magnétique nécessite l'addition au champ magnétique alternatif du signal à inscrire d'un champ magnétique auxiliaire, soit continu, soit alternatif.

Dans le cas du champ auxiliaire alternatif, la fréquence de celui-ci doit être 3 à 4 fois supérieure à la fréquence maximum du signal à inscrire. En effet, on sait, grâce à la théorie des Domaines, que l'inscription rémanente se produit entre 2 périodes du champ alternatif auxiliaire. Le bruit de fond magnétique propre à la piste, dû à sa structure, constituant le niveau minimum des signaux, l'expérience montre que le meilleur rapport signal/bruit que l'on peut obtenir avec un champ auxiliaire continu est de l'ordre de 30 dB, alors qu'il peut atteindre 50 ou même 60 dB dans le cas du champ auxiliaire alternatif. Il est donc intéressant d'adopter, si possible, la méthode du champ auxiliaire alternatif.

### a) Circuits magnétiques des têtes :

La courbe théorique de réponse des têtes lectrices (qui devrait être une droite de pente 6 dB par octave) est, à ces hautes fréquences, modifiée par les pertes par hystérésis du matériau magnétique employé. En particulier, la réponse de la tête peut être très affaiblie à ces hautes fréquences. De plus, l'effet est encore accentué dans les têtes d'enregistrement et d'effacement où circulent des courants importants à fréquences très élevées.

On minimise cependant cette difficulté en utilisant comme matériau des circuits magnétiques le ferroxcube IV B. On améliore encore la courbe de réponse en choisissant la valeur de la self de la bobine, de façon à obtenir une résonance au-delà de la fréquence limite qu'on veut enregistrer. Enfin, les pertes résiduelles, ajoutées à des pertes d'autres origines, seront corrigées comme il sera vu plus loin par des amplificateurs convenables.

### b) Couches magnétiques :

Le caractère magnétique de la couche mérite quelque attention :

Une couche à haute coercivité est favorable car elle permet l'inscription avec une grande profondeur (de l'ordre de 50 dB) et la démagnétisation est très longue à se produire. Par contre, l'effacement devient difficile et risque de mettre en jeu, dans la tête effaceuse, des puissances qui ne pourraient être facilement dissipées.

L'expérience montre qu'une coercivité moyenne de 200 oersteds est favorable.

### 2° Caractéristiques mécaniques.

Pour l'inscription d'une haute fréquence sur une piste magnétique, il est nécessaire de faire défiler cette piste très rapidement (vitesse de l'ordre de plusieurs mètres/seconde).

Si cette piste doit être utilisée plusieurs fois de suite, il est préférable d'éviter le frottement des têtes sur celle-ci, en les maintenant à une distance fixe. Mais, de ce fait, apparaît une difficulté importante pour l'obtention d'une grande résolution ; en effet, cette résolution dépend de la largeur de la fente, de la distance de la fente à la piste, de l'épaisseur de la piste et de la longueur d'onde inscrite.

En ce qui concerne l'enregistrement, il a été montré [2] qu'un affaiblissement des hautes fréquences était introduit dès l'inscription, mais qu'il était possible d'inscrire des longueurs d'ondes plus petites que la largeur de la tête.

En ce qui concerne la reproduction, les différents paramètres cités plus haut sont reliés par 3 formules [1] :

$$\frac{V_2}{V_1} = 55 \frac{d}{\lambda} \text{ dB}$$

$$\text{affaiblissement} = 20 \log \frac{2 \pi \frac{\delta}{\lambda}}{1 - e^{-2 \pi \frac{\delta}{\lambda}}} \text{ dB}$$

$$\text{affaiblissement} = 20 \log \frac{\pi \frac{g}{\lambda}}{\sin \pi \frac{g}{\lambda}} \text{ dB}$$

où :

$V_1$  est la tension de sortie du lecteur en contact avec la piste,

$V_2$  est la tension de sortie du lecteur,  
 $d$  la distance de la tête lectrice à la piste,  
 $\delta$  l'épaisseur de la couche magnétique,  
 $g$  la largeur effective de la fente.

La formule qui est relative à cette largeur effective n'a pratiquement guère d'utilité car il est difficile de connaître cette largeur effective. On sait pratiquement qu'il n'est pas possible de lire des longueurs d'ondes plus petites que la largeur de la fente de la tête lectrice.

L'examen de la première formule montre qu'il y a intérêt, si l'on veut pouvoir lire les hautes fréquences, à utiliser une distance  $d$  aussi faible que possible. En effet, à titre d'exemple, lorsque  $d$  est égal à  $\lambda$ , la chute de la réponse est de 55 dB. Par contre, au cas où la distance  $d$  est amenée à fluctuer, il y a intérêt à prendre, pour que  $\frac{\Delta d}{d}$  soit petit, une distance  $d$  relativement grande. Le choix de  $d$  sera donc un compromis.

L'examen de la 2<sup>e</sup> formule et l'expérience amènent à prendre pour l'épaisseur de la couche une valeur qui soit de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde la plus courte à inscrire.

On remarquera ainsi que si les longueurs d'ondes à inscrire sont de l'ordre de quelques microns, toutes les autres dimensions, c'est-à-dire : largeur de fente, distance de la tête à la piste, épaisseur de la piste, seront également de l'ordre du micron.

### 3° Caractéristiques électriques.

Les circuits électriques propres à l'enregistrement et à la reproduction comprennent l'amplificateur d'entrée de la tête enregistreuse, l'amplificateur de sortie de la tête lectrice et l'oscillateur destiné à fournir la tension de polarisation de la tête enregistreuse et de la tête effaceuse.

Ces amplificateurs doivent être convenablement corrigés pour tenir compte des différentes pertes, soit dans les circuits magnétiques, soit lors de l'inscription sur la piste magnétique. Pratiquement, l'amplificateur d'enregistrement devra être tel qu'à une tension d'entrée constante avec la fréquence corresponde un courant constant dans la bobine de la tête.

On remarquera que l'adaptation de l'impédance de la tête à l'amplificateur est particulièrement délicate. En effet, celle-ci étant égale à  $L \omega$ , il faut qu'elle ne soit pas trop grande pour  $\omega$  maximum, si l'on veut obtenir un courant suffisant. Il est rappelé d'autre part que cette impédance sera très faible pour les basses fréquences.

L'amplificateur de lecture devra donc être tel qu'il donne une tension de sortie constante avec la fréquence, pour une tension d'entrée constante avec la fréquence de l'ampli d'enregistrement.

De plus, il convient de noter que la réponse des têtes lectrices décroît extrêmement vite dès que la longueur d'onde lue devient plus grande que la dimension de la tête. Il faudra donc relever les basses fréquences.

## II. — APPLICATION PRATIQUE. CONCEPTION D'UN SYSTÈME D'ENREGISTREMENT ET DE REPRODUCTION PAR VOIE MAGNÉTIQUE DE FRÉQUENCES DE L'ORDRE DU MC/S.

Nous allons essayer d'appliquer les considérations générales précédentes au calcul d'un enregistreur dont la piste est disposée sur un tambour. Cet appareil pourra servir par exemple de relais.

Le premier élément du problème posé sera le retard désiré. Supposons qu'il soit de 1/50 de sec.

Pour éviter les réactions directes entre la tête enregistreuse et la tête lectrice, on placera ces têtes aux deux extrémités d'un diamètre. Le tambour tournera donc à une vitesse de 25 t/s. La tête effaceuse sera placée entre la tête lectrice et la tête enregistreuse.

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, 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 de 10 microns à la lecture, la formule :

$$\frac{V_2}{V_1} = 55 \frac{d}{\lambda} \text{ dB}$$

montre que cet écartement produit une chute de 27 dB. Si on retranche ces 27 dB des 50 dB admis pour la profondeur d'enregistrement, il restera 23 dB disponibles pour la reproduction.

Étudions maintenant la fluctuation du niveau du signal de lecture provoquée par la fluctuation de la distance  $d$  (fluctuation due au faux-rond du tambour et aux irrégularités d'épaisseur de la piste).

Supposons qu'elle soit égale à  $\pm 1$  micron : le  $\frac{\Delta d}{d}$  introduira, d'après la formule précédente, une chute supplémentaire maximum de 10 dB du signal de lecture. Il ne restera donc qu'un niveau de 13 dB pour le signal de lecture dans le cas le plus défavorable.

Bien entendu, un certain nombre de précautions devront être prises dans la réalisation d'ensemble de l'appareil. En particulier, les fentes devront être bien parallèles aux génératrices du tambour.

Après avoir passé en revue les conditions fixant la géométrie de l'ensemble, examinons la qualité des matériaux à employer.

Les circuits magnétiques seront constitués en ferroxcube IV B. Le tambour et les pièces accessoires, telles que supports réglables des têtes, seront réalisés en matériau non magnétique, par exemple en laiton. Quant à la couche magnétique elle-même, elle pourra être constituée par un dépôt de cobalt, de nickel (ou d'un alliage) ou d'une laque contenant

de l'oxyde de fer en poudre. Cette dernière couche semble devoir donner les résultats les plus réguliers, tant au point de vue de la facilité d'étendage, que de la régularité et de l'homogénéité du produit magnétique. La coercivité sera prise voisine de 200 oersteds.

Par ailleurs, les coefficients de dilatation devront être prévus afin que les distances relatives ne dépendent pas des températures locales ou ambiantes.

En ce qui concerne les circuits, les résonances des bobinages des têtes enregistreuse et lectrice seront prises supérieures à la fréquence maxima que l'on désire inscrire. Si cette fréquence est 1 Mc/s, on adoptera par exemple comme fréquence de résonance 1,5 Mc/s pour la tête lectrice et les têtes d'enregistrement et d'effacement auront une fréquence de résonance supérieure à la fréquence de polarisation. Quant à l'oscillateur de polarisation, on lui choisira une fréquence de 4 Mc/s.

### III. — CONCLUSION :

Suivant le plan exposé ci-dessus, a été construit aux Laboratoires d'Électronique et de Physique Appliquée un dispositif permettant l'inscription

et la lecture de signaux compris dans une bande passante s'étendant de 1.000 c/s à 1 Mc/s. Il a été constaté que cet appareil peut notamment permettre la reproduction magnétique d'images de télévision.

D'après ce qui précède, ce dispositif ne réalise d'ailleurs pas les performances maxima possibles. En effet, on peut espérer réduire entre les différentes cotes citées et améliorer les courbes de réponses des têtes, tant en ce qui concerne les bobinages, que le ferroxcube. Mais, d'ores et déjà, on peut considérer que l'ordre de grandeur de la limite de la fréquence la plus élevée, enregistrable par le processus envisagé, restera de quelques mégacycles.

Cependant, cette fréquence est largement suffisante pour de nombreux domaines d'application dont, notamment, la télévision et les machines à calculer.

### RÉFÉRENCES

[1] R. L. WALLACE, *The Bell System Technical Journal*, Vol. XXX, octobre 1951, n° 4, Part. II, pages 1145-1173.

[2] J. BORNE, *Étude du processus d'enregistrement magnétique avec courant alternatif superposé*.

( Voir page 231 ).

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

PAR

Hans SCHIESSER

Docteur-Ingénieur

Rundfunk-Technisches-Institut Nuremberg

Description du principe et de la construction des appareils d'enregistrement magnétique développés et employés par les sociétés de radiodiffusion de la République Fédérale Allemande :

1° Appareil d'enregistrement magnétique pour studio de très haute qualité à vitesse de défilement de 76,2 cm/s et de 38 cm/s.

2° Appareil pour voiture d'enregistrement R 65 de haute qualité à vitesse de défilement de 76 cm/s et 38 cm/s à alimentation par batterie.

3° Appareil d'enregistrement magnétique portatif R 65 à moteur électrique sur batterie à vitesse de défilement de 19 cm/s.

4° Appareil pour signaux de pause R 79 à lecture par distance.

5° Appareil de réverbération artificielle destinée aux émissions dramatiques et à la télévision, au moyen duquel on peut faire varier :

- a) le temps de réverbération.
- b) le volume apparent du local.
- c) la distance apparente entre la source et l'auditeur.

Le développement des appareils d'enregistrement magnétique du son répondant aux besoins des sociétés de radiodiffusion de la République Fédérale Allemande, n'a pas apporté de progrès révolutionnaire depuis un an. Pour les appareils de studio, l'évolution n'est pas spécialement orientée vers l'amélioration de la qualité, car celle-ci est déjà très satisfaisante pour les émissions à modulation de fréquence. On a surtout recherché une amélioration de la sécurité d'exploitation, et une diminution des frais. Pour les magnétophones portatifs, on s'est proposé une réduction du poids sans perte

de qualité; quant aux appareils auxiliaires on a recherché l'emploi systématique de l'enregistrement magnétique dans tous les domaines.

### Le mécanisme d'entraînement R 69.

Le mécanisme d'entraînement R 69 est prévu pour les deux vitesses de la bande de 76,2 et 38,1 cm/s. Son moteur principal est un moteur d'induction monophasé asynchrone synchronisé. Pour obtenir les deux vitesses de 1.500 et 750 t/m, on a remplacé dans l'induit à cage d'écureuil, les aimants permanents utilisés jusqu'ici par un dispositif électromagnétique. Le bobinage est alimenté par trois bagues collectrices pour obtenir un champ magnétique soit à quatre, soit à huit pôles. Simultanément, on commute les enroulements du stator pour obtenir quatre ou huit pôles. Grâce à la grande masse du moteur, et moyennant l'emploi d'un frein à courants de Foucault supplémentaire sur le parcours de la bande, et d'une poulie spéciale dans le bloc support des têtes pour atténuer les oscillations à 3 kc/s de la bande, on ne constate aucune augmentation du pleurage.

En même temps que sur le moteur principal, on effectue une commutation sur les moteurs

latéraux pour assurer la même tension de bande aux deux vitesses, ainsi que sur les amplificateurs d'enregistrement et de lecture. Dans l'amplificateur de lecture, la commutation a pour but de corriger la différence entre les pertes dues à l'entrefer pour les deux vitesses, car ces pertes dépendent de la longueur d'onde. La courbe de réponse possède d'autre part une accentuation correspondant à une constante de temps de 35 microsec. conformément aux avis du C. C. I. R. En outre, la commutation agit sur le gain de l'amplificateur pour tenir compte de la différence du flux de la bande enregistrée qui est au maximum de 0,1 Maxwell pour 76,2 cm/s, et 0,2 Maxwell pour 38,1 cm/s.

Une signalisation indique sur la machine de défilement la position de l'amplificateur en ce qui concerne le gain et les corrections. On n'utilisera qu'exceptionnellement des amplificateurs d'enregistrement comportant pour les petites vitesses de bande des réglages du gain et de l'accentuation adaptées aux différentes caractéristiques des bandes à haute coercivité qui sont utilisées en Allemagne. On prévoit d'équiper dans le courant de l'année prochaine la plupart des studios en matériel utilisant la petite vitesse. Puisqu'on exige la même courbe de réponse avec une vitesse de bande réduite, il faudra prévoir des tolérances plus serrées pour le réglage de parallélisme des entrefers d'enregistrement et de lecture ainsi que pour la forme de ces entrefers. Nous avons prévu l'emploi de têtes en ferrite pour lesquelles on n'aura pratiquement pas d'usure. Un autre avantage de ces têtes est que le champ de polarisation plus élevé qui est nécessaire pour les bandes à haute coercivité, peut être atteint avec des pertes par courants de Foucault plus faibles. C'est pourquoi il est possible d'utiliser les mêmes oscillateurs dans les appareils d'enregistrement.

#### LE MAGNÉTOPHONE R 65.

Le magnétophone R 65 a été étudié pour l'équipement des voitures de reportage. Il est réalisé soit avec un moteur 1.500 t/m, soit avec un moteur 750 t/m. Ce moteur est alimenté à partir de la batterie 12 volts de la voiture, il est muni d'un régulateur centrifuge de haute qualité à action électrique. Ces appareils n'étant destinés qu'à effectuer la lecture de leurs propres enregistrements, la commutation de la vitesse n'a pas été prévue. L'emploi d'une tête d'effacement en ferrite permet de réduire la puissance demandée à l'oscillateur; c'est particulièrement avantageux sur cet appareil car la tension de plaque est fournie directement par un enroulement du convertisseur.

Cet appareil pouvant être utilisé en liaison avec une camera de 16 mm, on a créé un équipement destiné à assurer le synchronisme entre les films d'image et de son pendant la reproduction. Une fréquence pilote d'environ 50 c/s est produite par le moteur ou par un générateur spécial et on a mis au point deux méthodes pour l'enregistrer. Dans le premier cas la fréquence pilote est enregistrée simultanément par un entrefer dirigé dans le sens du mouvement de la bande et sur la même piste que la modulation. La quatrième tête nécessaire pour cet enregistrement est située sur le bloc support des têtes où elle remplace un des guides de la bande. Cet enregistrement ne nécessite pas d'amplification supplémentaire. Pourvu que la forme et la direction de la quatrième tête soient correctes, l'affaiblissement de diaphonie entre les

deux canaux peut dépasser 60 dB. On ne constate aucun mélange entre le son et la fréquence pilote. Dans le deuxième système, la fréquence du courant de polarisation est modulée par la fréquence pilote. Pendant la lecture cette haute fréquence est amplifiée, limitée et démodulée. La basse fréquence obtenue reconstitue la fréquence pilote, elle peut être amenée soit directement à l'entrée d'un amplificateur de puissance, soit à un montage en pont pour comparaison avec la fréquence fondamentale du système de télévision.

Cette deuxième méthode exige une vitesse de bande telle que la fréquence de polarisation puisse être reproduite avec certitude. C'est certainement le cas, selon nos expériences, pour la vitesse de 76,2 cm/s. A 38,1 cm/s il faut utiliser des entrefers étroits et des bandes souples pour garantir un bon contact avec la tête de lecture.

#### MAGNÉTOPHONE PORTATIF R 85.

La mise au point du magnétophone portatif R 85 est terminée. Cet appareil se compose d'une valise dont les dimensions sont  $375 \times 250 \times 125$  mm, pesant 10 kg et contenant un mécanisme d'entraînement à moteur électrique pour la vitesse de 19,05 cm/s, des amplificateurs séparés pour l'enre-



Fig. 1

gistement et la lecture, le dispositif de contrôle, un micro à condensateur et les batteries (fig. 1). La mise en service, le démarrage et l'arrêt ainsi que le contrôle du niveau de crête sont possibles, le couvercle étant fermé. Le rembobinage est également possible au moyen d'un moteur. La durée d'une bande de 350 m à une seule piste est de 30 minutes. La batterie du moteur à une capacité de 4 heures, d'ailleurs, il est possible de la relier à la batterie de la voiture et a un dispositif de recharge. Un régulateur centrifuge stabilise la vitesse de rotation, une lampe permet de contrôler son fonctionnement. Le microphone à condensateur qui a été étudié spécialement pour cet appareil a une longueur de 100 mm et un diamètre de 18 mm, y compris la lampe amplificatrice. Le reporter peut le dissimuler dans son veston. Les amplificateurs comportent 8 lampes miniatures et sont alimentés sur piles sèches. Le niveau de travail qui correspond à un flux de 0,16 Maxwell produit à la sortie une tension de 1,55 V sous 200 ohms. On peut contrôler pendant l'enregistrement la modulation enregis-

trée, soit au moyen d'un casque miniature, soit au moyen d'un casque dynamique. La caractéristique de fréquence est linéaire jusqu'à 10 kc/s. Le rapport signal/bruit est environ de 50 dB et 55 dB quand la mesure est faite au moyen d'un filtre psophométrique et sur les niveaux de crête. Le niveau de travail correspond à une distorsion non linéaire de 3 % à 1 kc/s. Le pleurage ne dépasse pas 0,5 % crête à crête.

Cet appareil est accompagné d'une valise d'accessoires comprenant une boîte d'alimentation, un redresseur de charge, un microphone électrodynamique, des piles de rechange, des bobines et des câbles. De plus, une valise d'amplification

chariot à glissières soulevé par une came le long d'une génératrice en même temps que la bande s'élève. La lecture se fait sans contact entre la bande et la tête, la distance étant d'environ de 15 microns. L'usure de la bande est ainsi évitée et le pleurage réduit à une valeur insignifiante. Sous une forme très simplifiée ne comportant qu'une seule spire de bande et une tête de lecture fixe, cet appareil est utilisé pour l'émission de signaux d'identification sur les lignes de transmission.

Un autre appareil dont l'étude est presque terminée sert à produire la réverbération artificielle. La réverbération est utilisée pour le radiothéâtre et particulièrement pour la télévision. Pour obtenir

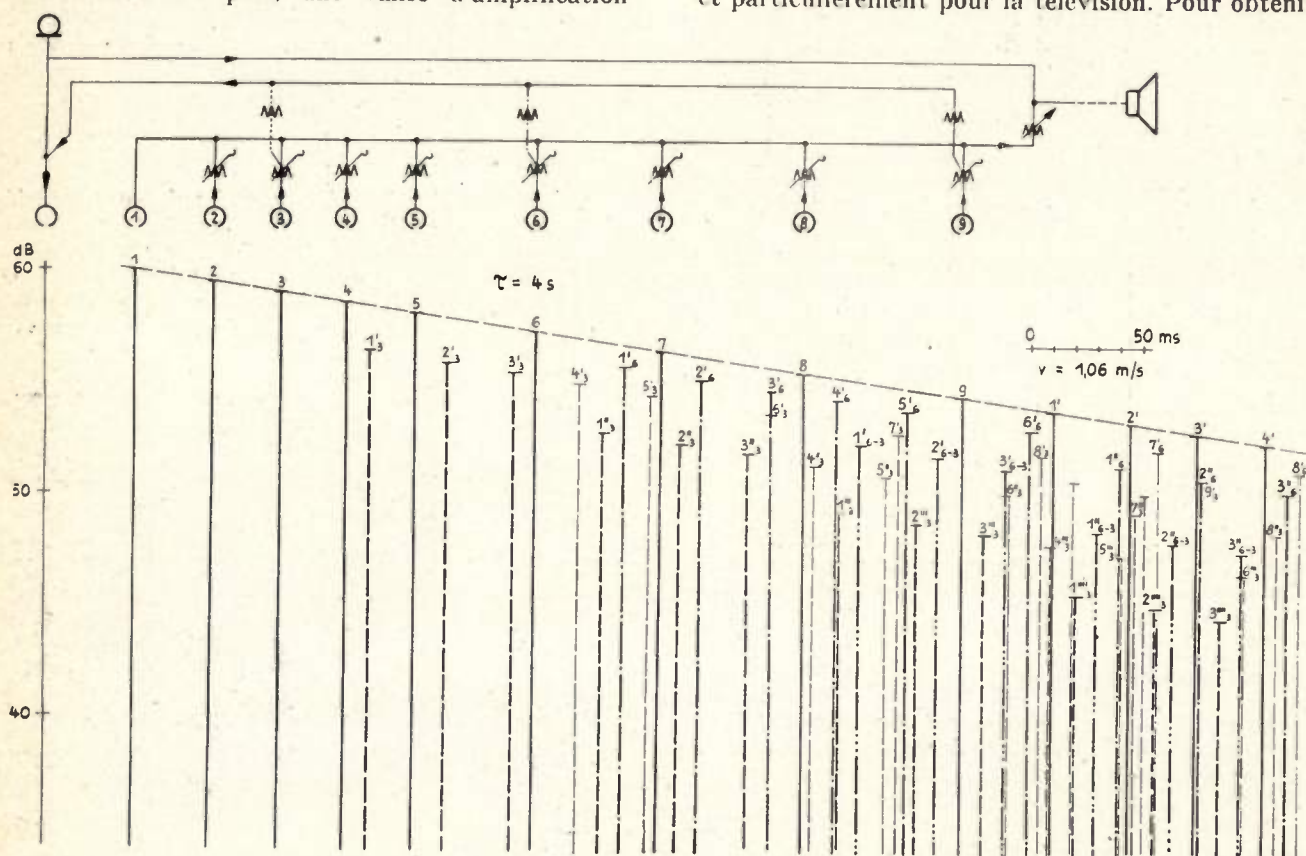


FIG. 2

comporte les amplificateurs pour deux microphones, les indicateurs de crête et l'installation permettant les communications avec le reporter.

#### Appareils auxiliaires.

Des générateurs de signaux de pause utilisent le principe de la bande sans fin. La durée d'un passage de la bande est d'environ 15 secondes, on peut arrêter la bande après un seul passage si c'est nécessaire. Lorsque le fonctionnement est continu, on peut ménager, après chaque signal, un intervalle d'une durée égale à celle d'un ou deux passages en coupant l'amplificateur. Ces appareils sont commandés à distance.

Pour le modèle R 40, la vitesse de défilement est de 38,1 cm/s et la bande a une longueur de 3 m, elle est montée en zig-zag sur une série de galets guides et sur la tête de lecture.

Pour le modèle R 79, la vitesse est de 76,2 cm/s, la bande est enroulée en hélice de 7 spires autour d'un cylindre. La tête de lecture est montée sur un

les temps de propagation nécessaires, on peut utiliser des tubes à propagation dans l'air ou des réservoirs de liquide après transformation du signal en fréquence ultrasonore, ou encore un procédé électrique nécessitant une série d'éléments de retard; l'enregistrement magnétique fournit des solutions plus avantageuses du point de vue du prix de revient et de la qualité.

Pour que la réverbération artificielle semble provenir d'un local réel, il est nécessaire d'avoir une multitude d'échos se suivant à des intervalles irréguliers et suffisamment inférieurs à l'intervalle déterminant la limite de perception de l'écho, soit environ 100 ms. Lorsque les sons réfléchis se succèdent à intervalles réguliers, leur périodicité se traduit par une modulation d'amplitude, c'est pourquoi les systèmes utilisant une seule tête de lecture et une contre-réaction sur la tête d'enregistrement produisent un timbre dénaturé. Les dispositifs utilisant une série de têtes de lecture sans contre-réaction ne permettent pas d'obtenir un

temps de réverbération satisfaisant. Pour ces raisons on a adopté un dispositif comportant 9 têtes de lecture montées à des distances variées les unes des autres, avec contre-réaction de la troisième, de la sixième et de la neuvième sur la tête d'enregistrement. L'affaiblissement individuel de chaque canal de lecture peut être ajusté graduellement pour fournir des temps de réverbération allant de 0,5 à 4 s. La figure 2 représente la succession dans le temps des diverses réflexions avec leur intensité pour un temps de réverbération de 4 s. Les chiffres 1 à 9 caractérisent les tensions lues par les neuf têtes de lecture, cette série est prolongée par les chiffres 1', 2', 3', 4', etc., correspondant aux lectures des signaux résultant de la contre-réaction de la tête 9 sur la tête d'enregistrement. Au milieu de la première série apparaissent les signaux renvoyés par la tête de lecture 3 sur la tête d'enregistrement et relus par les têtes 1 à 9, ils sont notés 1<sub>3</sub>, 2<sub>3</sub>, 3<sub>3</sub>, 4<sub>3</sub>, etc. Les signaux 1<sub>6</sub>, 2<sub>6</sub>, etc., résultent de la contre-réaction à partir de la tête 6, de même les signaux 1<sub>3</sub>, 2<sub>3</sub>, 3<sub>3</sub>, ..., 1<sub>3</sub>', 2<sub>3</sub>', etc., résultent de parcours multiples dans les canaux de contre-réaction, il est impossible de les représenter en totalité dans les diagrammes.

La réalisation de l'appareil basé sur ce principe comportait un disque d'environ 330 mm en alliage léger stabilisé, portant sur sa périphérie une couche magnétisable. Le moteur à pôles commutables

produit des vitesses linéaires d'environ 1, 2, ou 4 m/s. Les têtes sont placées à une distance d'environ 20 microns sur un demi-cercle, chacune est reliée à un amplificateur à une lampe comportant un atténuateur réglable. Dans les circuits d'enregistrement, de contre-réaction et de sortie, on trouve à côté des atténuateurs des circuits correcteurs destinés à égaliser la courbe de réponse entre 40 c/s et 8 kc/s pour les trois vitesses. Comme le niveau de contre réaction ne diffère que de 3 dB du niveau dans le premier canal, la correction de la courbe doit être très poussée. En plus du changement du temps de réverbération, la modification de la vitesse donne l'impression d'un changement du volume de la salle dont les qualités particulières sont imitées. Les temps de 36, 18 ou 9 ms qui s'écoulent jusqu'à la première réflexion correspondent à des différences de marche de 12, 6 et 3 m entre le son direct et le son réfléchi. Les atténuateurs des canaux de réverbération et le volume de la salle fictive sont télécommandés; enfin le réglage de la proportion entre le son direct et le son réverbéré, permet de faire varier la distance apparente entre l'auditeur et la source sonore dans la salle fictive.

Indépendamment de cette étude et simultanément, P. E. Axon, du Service de recherches de la B. B. C. a indiqué une solution analogue basée sur le même principe.

## OU EN EST ACTUELLEMENT LE MAGNÉTOPHONE DU POINT DE VUE DE L'UTILISATEUR ?

PAR

Maurice SOUBRIER

1° Les possibilités de modèles actuels de magnétophones du point de vue de l'utilisateur.

2° Recherches faites en vue de modifier un enregistrement primitif d'après les brevets d'invention

pris jusqu'à ce jour sur la question.

3° Nouvelle solution du problème, basée sur l'emploi combiné de transferts et d'effacements sur deux supports magnétiques.

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

PAR

R. VERGELY

R. LEHMANN

*Centre National d'Études des Télécommunications*

L'O. A. C. I. (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) recommande, dans son annexe II, que soient enregistrées toutes les radios-communications air-sol-air des centres de contrôle régionaux, des centres de contrôle d'approche, des centres de contrôle d'aérodromes, etc...

Dans ce but, un cahier des charges relatif à la réalisation d'un tel enregistreur a été rédigé, conjointement par le Service d'Études Ministériel des Travaux Publics et des Transports et le Département Acoustique du C. N. E. T. qui spécifiait entre autres :

- les caractéristiques électro-acoustiques,
- la durée de l'enregistrement,
- l'inviolabilité et la continuité de l'enregistrement,
- des systèmes de contrôle et d'alarme appropriés.

Le présent travail a pour but de décrire, tant du point de vue réalisation que du point de vue performance, le prototype qui a été réalisé par la Société Française TOLANA, d'après le cahier des charges établi par l'Administration.

## REPRODUCTION DES PETITES LONGUEURS D'ONDES ENREGISTRÉES SUR BANDE MAGNÉTIQUE

PAR

W. K. WESTMIJZE

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

La reproduction des ondes courtes enregistrées sur bande magnétique souffre d'une diminution principalement pour trois causes :

- 1° l'écartement entre le ruban et la tête reproductrice,
- 2° la longueur finie de l'entrefer,
- 3° la démagnétisation.

Les deux premières causes sont discutées brièvement, la troisième donne lieu à une discussion plus poussée par suite du manque de clarté sur ce point. Dans ce but quelques résultats sont donnés sur le calcul du champ démagnétisant et de la magnétisation en fonction de la fréquence. Ces résultats sont indépendants de la coercivité du ruban employé, mais dépendants de la perméabilité de celui-ci. Pour montrer le rôle joué par la coercivité une analyse schématique est donnée du processus magnétique après la magnétisation à l'aide d'un diagramme de magnétisation en fonction du champ magnétique. L'absence de distorsion exorbitante des ondes courtes et l'indépendance approximative de la courbe de fréquence du niveau de magnétisation appuient la théorie selon laquelle c'est la perméabilité qui détermine la courbe de fréquence et la coercivité qui détermine le niveau maximum d'enregistrement.

Les pertes qui existent dans un système enregistreur dans la région des hautes fréquences peuvent être divisées très généralement en deux catégories : les pertes qui dépendent seulement de la fréquence  $f$ , indépendantes de la vitesse  $v$  du médium enregistreur, et celles qui sont fonction de  $v/f$ , c'est-à-dire de la longueur d'onde enregistrée sur le médium.

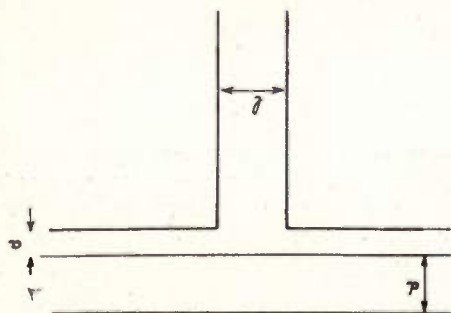


FIG. 1

Dans cette conférence, nous nous occuperons seulement des pertes de la seconde catégorie, et de plus nous nous limiterons à la reproduction. Nous imaginerons alors une bande magnétique sur laquelle est enregistrée une magnétisation quelconque. Pour les causes que nous venons de décrire, on ne peut reproduire qu'une partie du flux magnétique appartenant à cet état de magnétisation du ruban magnétique. L'état de magnétisation dépend de plus de la proximité d'une tête ou d'autres matériaux magnétiques, et alors, avant de discuter de la relation entre le flux reproduit par la tête et la magnétisation du ruban, il faut définir plus exactement cette dernière.

Voici ce qui se produit pendant le processus de l'enregistrement : les domaines magnétiques qui constituent la couche magnétique du ruban acquièrent un état de préférence de leur magnétisation qu'ils peuvent conserver pendant longtemps. Dans un champ magnétique faible, ces états magnétiques sont modifiés légèrement d'une façon réversible,

c'est-à-dire qu'après disparition du champ les domaines sont revenus dans leurs états originaux. L'augmentation de la magnétisation dans la direction du champ est une mesure de la perméabilité réversible du ruban.

Comme magnétisation d'un ruban enregistré nous voulons par la suite définir la magnétisation qui existerait en l'absence d'un champ magnétique. En réalité, c'est un état qui généralement ne peut pas exister dans un ruban magnétisé, à cause du champ démagnétisant provoqué par la magnétisation.

Pour les ondes courtes on peut considérer la tête reproductrice comme plane et infiniment grande. Supposons que cette tête soit située à une distance  $a$  d'un ruban d'épaisseur  $d$ , et que la tête ait une fente de longueur  $l$  (fig. 1). En reproduisant les ondes courtes on a principalement trois effets qui causent

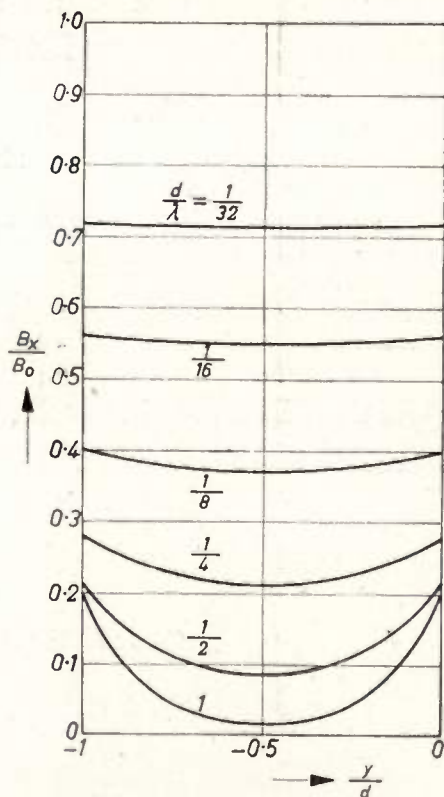


FIG. 2 a

une diminution du flux traversant la bobine de la tête :

1. Pour une longueur d'onde  $\lambda$  comparable à la distance  $d$  entre ruban et tête les lignes de force quittant le ruban se ferment partiellement de l'autre côté du ruban et aussi pour une petite partie entre

le ruban et la tête. Si l'on néglige l'influence de la fente la partie atteignant la tête peut être calculée pour le cas d'un ruban de perméabilité égal à l'unité, ce qui est fait par Wallace (1). Pour un ruban mince on trouve

$$\frac{\phi \text{ tête}}{\phi \text{ ruban}} = e^{-2\pi a/\lambda}$$

Exprimé en échelle logarithmique cela signifie une perte de  $55 a/\lambda$  dB. L'expression pour une bande d'épaisseur  $d$  peut être trouvée en intégrant l'expression ci-dessus sur l'épaisseur.

2. Pour des longueurs d'onde comparables à la longueur de la fente, une partie des lignes de force quittant le ruban se ferme dans la fente sans traverser la tête. Cela donne une fonction pour les pertes de fente qui peut être calculée (2) pour le cas où le ruban possède une perméabilité égale

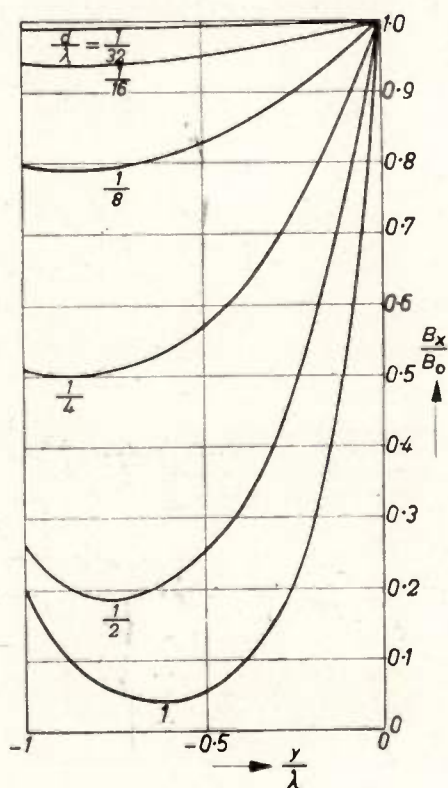


FIG. 2 b

à l'unité. Le résultat est une fonction oscillante de  $1/\lambda$  qui, pour  $1/\lambda > 1/2$  peut être approchée par

$$S(\pi 1/\lambda) = 0,326 \frac{\sin \pi (l/\lambda + 1/6)}{(l/\lambda)^{2/3}} + 0,782 \frac{\sin \pi (l/\lambda - 1/6)}{(l/\lambda)^{4/3}}$$

Pour  $1/\lambda$  plus grand l'approximation par le premier terme suffit. Le premier zéro de cette fonction se trouve pour  $1/\lambda = 0,88$ , ce qui est conforme aux mesures de Daniel et Axon (3). L'effet combiné des effets 1 et 2 peut être exprimé en multipliant les expressions pour les effets séparés.

3. Le champ démagnétisant cause réversiblement une diminution de la magnétisation du ruban dans

le cas où la perméabilité de celui-ci surpasse l'unité. Cet effet produit une situation bien compliquée, de sorte qu'il n'est plus possible d'exprimer le résultat dans une formule simple, car le champ démagnétisant dépend aussi bien de la distance  $a$  que de la longueur de la fente  $l$ . Outre cela le résultat du champ démagnétisant augmente avec la perméabilité du ruban et est différent pour une magnétisation longitudinale et une magnétisation transversale, ce qui n'était pas le cas pour les effets 1 et 2.

Encore est-il possible de calculer (4) le champ démagnétisant et la magnétisation résultante pour les cas où un ruban magnétisé de façon homogène serait libre dans l'espace, ou à une certaine distance d'une tête non coupée par une fente. Dans la figure 2 le résultat est donné pour l'induction magnétique  $B$  en fonction de la profondeur dans le ruban, pour un ruban qui possède une perméabilité relative  $\mu = 4$ . Dans la figure *a* le ruban est libre, dans la figure *b* il est en contact avec la tête par son côté droit. On observe spécialement pour les ondes courtes un minimum de l'induction à l'intérieur du ruban, ce qui résulte du fait que le champ démagnétisant est plus fort dans le centre du ruban que sur les côtés. En comparant les figures *a* et *b* on peut observer aussi que le champ démagnétisant est bien diminué par la présence de la tête.

Dans le cas décrit ci-dessus on peut aussi calculer le flux magnétique traversant la tête et par suite la courbe de fréquence, étant donné la magnétisation enregistrée dans le ruban. Le résultat pour un cas spécial est donné dans la figure 3, pour quelques valeurs de la perméabilité du ruban, dans la figure 3 *a* pour une magnétisation longitudinale et dans la figure 3 *b* pour une magnétisation transversale. On observe la différence entre les courbes des figures *a* et *b* pour les valeurs de  $\mu \neq 1$ .

Nous ne voulons pas discuter les résultats tels qu'ils sont donnés dans la figure 3. Nous voulons seulement en tirer la conclusion qu'il est possible de calculer la courbe de fréquence en fonction de la perméabilité.

On observe, fait remarquable, que le résultat ne dépend pas de la coercivité du ruban employé. Ceci va à l'encontre de l'opinion bien répandue qu'une grande coercivité est nécessaire pour la reproduction des ondes courtes.

C'est ce point que nous voulons discuter pour conclure, et qui est en même temps la quintessence de cette conférence.

Posons alors la question comme suit : qu'est-ce qui est responsable de l'affaiblissement des ondes courtes par le champ démagnétisant, est-ce la perméabilité du ruban trop élevée, ou bien la coercivité trop faible? Remarquons d'abord que la différence n'est pas aussi grande qu'elle le semble à première vue, parce que très généralement pour les matériaux magnétiques une coercivité faible va avec une grande perméabilité et vice versa. Par exemple on peut déduire pour le cas spécial d'une poudre de grains uniaxiaux orientés arbitrairement, la relation :

$$(\mu - 1) \mu_0 H_c = 0,32 \times \beta I.$$

Comme  $I$ , la magnétisation de saturation, est du même ordre de grandeur pour des matériaux divers on observe qu'on a approximativement une proportionnalité inverse entre  $\mu - 1$  et  $H_c$  pour le cas où le coefficient de remplissage  $\beta$  est le même.

Pour répondre à la question que nous avons posée plus haut il faut entrer plus avant dans les détails

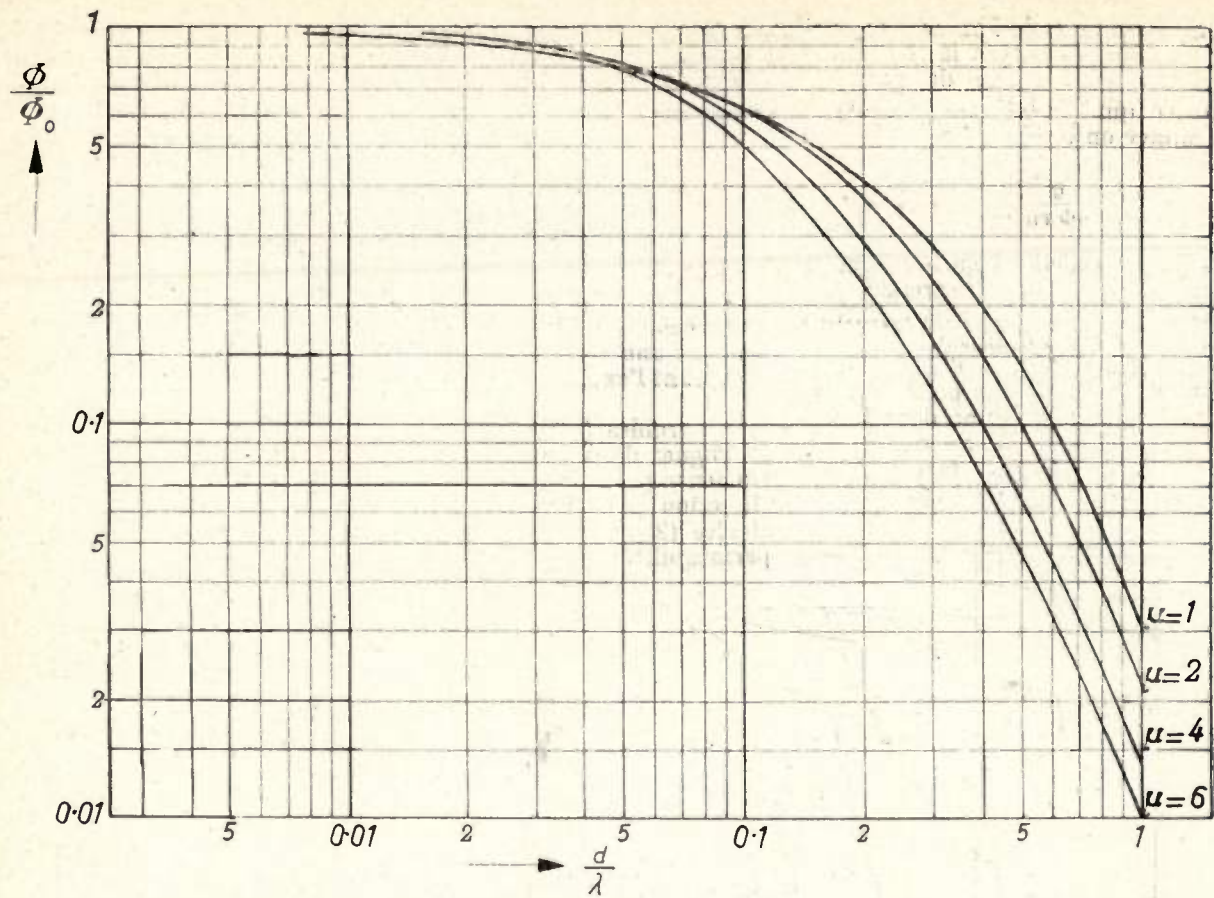


FIG. 3 a

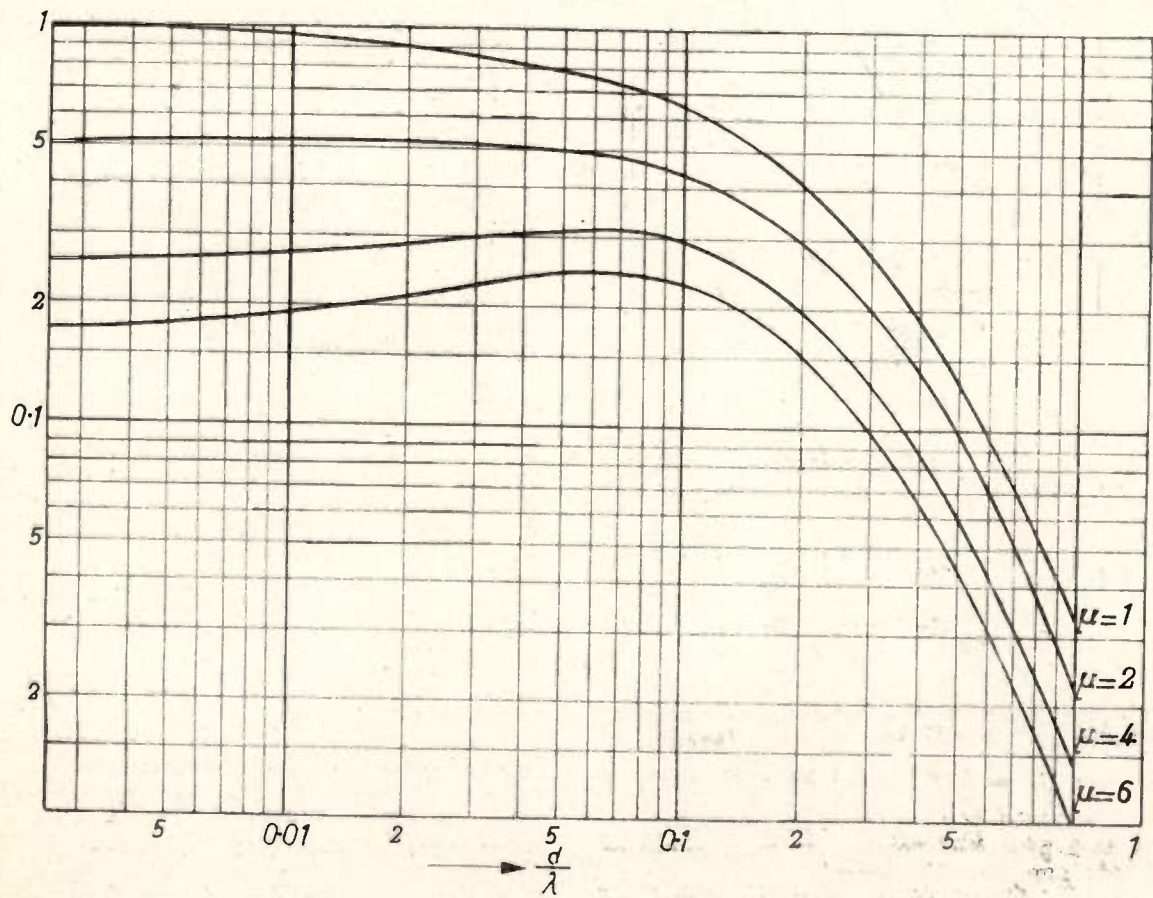


FIG. 3 b

du processus de magnétisation. Soit, dans la figure 4, A B C une partie de la courbe d'hystérésis dans un graphique  $M H$  pour le matériau magnétique d'un ruban. Soit  $D$  : la magnétisation obtenue par une partie arbitraire d'un ruban magnétisé sinusoidalement. Sous l'influence d'un champ négatif la magnétisation de cette partie commence à suivre la ligne  $D F$ , dont l'inclinaison est proportionnelle à  $(\mu - 1)$ , puis la courbe d'hystérésis ayant

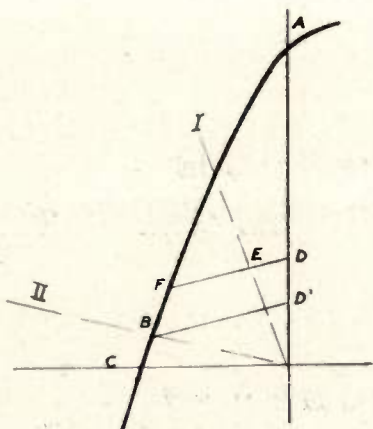


FIG. 4

atteint celui-ci. Le champ démagnétisant provoqué par la magnétisation de l'ensemble des parties est proportionnel à la magnétisation et peut donc être représenté par une ligne droite passant par l'origine, dont l'angle avec l'axe  $M$  dépend de la longueur d'onde et de la localisation de la partie considérée du ruban. Si, par exemple, la ligne I représente la démagnétisation pour une certaine longueur d'onde, la magnétisation de la partie considérée est arrivée à E. Pour des longueurs d'ondes plus courtes E se déplace à gauche et pour un champ démagnétisant très fort, représenté par exemple par la ligne II, arrive à B sur la courbe d'hystérésis. Si maintenant le champ démagnétisant diminue, par exemple par la présence d'une tête, la magnétisation ne retourne pas par la courbe B F E D, mais par une ligne B D', à peu près parallèle à F D.

Dans le cas où la magnétisation initiale est plus petite que celle correspondant à D, la courbe

d'hystérésis n'est pas atteinte pour des longueurs d'onde dont la démagnétisation est plus petite que celle correspondant à la ligne II.

La question se réduit maintenant au point suivant : ou bien les magnétisations enregistrées sont si fortes que pour les ondes courtes le résultat est déterminé par la courbe d'hystérésis A C, ou bien elles sont plus faibles, et par conséquent déterminées par les lignes de magnétisation réversibles, par exemple F D ou B D'. Dans le premier cas c'est la coercivité qui est déterminante, dans le second c'est la perméabilité.

Nous allons donner les arguments qui étayent le second point de vue, à savoir que la courbe de fréquence est déterminée par la perméabilité et non par la coercivité.

1. Dans le premier cas, où la courbe d'hystérésis est atteinte, ceci est seulement le cas pour une forte magnétisation; et par conséquent une magnétisation sinusoidale serait affaiblie seulement pour les crêtes, ce qui provoquerait une distorsion du signal enregistré.

2. Pour les magnétisations faibles la courbe d'hystérésis n'est certainement pas atteinte, de cause que la courbe de réponse serait bien différente pour des signaux faibles et pour des signaux forts. Ce dernier effet ne s'observe qu'à un faible degré.

Alors, si l'on accepte notre point de vue, c'est la perméabilité, c'est-à-dire dans la figure 4 l'inclinaison des lignes B D', qui détermine la magnétisation dans un champ démagnétisant. Cette manière de voir est la base des calculs sur lesquels reposent les figures 2 et 3. Ces calculs tiennent compte en même temps de la variation du champ démagnétisant sur l'épaisseur du ruban.

Le second argument pour notre point de vue nous donne en même temps une réponse à la question : quel est le rôle joué par la coercivité? Cette réponse est formulée dans la conclusion par laquelle nous voulons terminer cette conférence :

En mesurant la courbe de fréquence avec faibles magnétisations, c'est la perméabilité qui détermine la reproduction des ondes courtes. Au contraire c'est la coercivité qui détermine le niveau de magnétisation auquel les ondes courtes commencent à subir la distorsion.

## SECTION III. — ENREGISTREMENT POUR LE CINÉMA

### L'ENREGISTREMENT CINÉMATOGRAPHIQUE DES IMAGES DE TÉLÉVISION ET IMAGES SIMILAIRES (RADAR, ETC...)

PAR

Y.-L. DELBORD

*Ingénieur en chef,*

*chargé du Département INFRAROUGE ET TÉLÉVISION au C. N. E. T.*

1° Qualité résultant de la combinaison de deux enregistrements successifs.

2° Rappel des principaux procédés d'enregistrement cinématographique permettant d'établir un tableau comparatif des qualités résultantes et des prix de revient :

- Enregistrement sur film de 16 mm - de 35 mm.
- A 25 images/s à 16 images/s.
- Anamorphose au moyen de l'Hypergonar du professeur CHRÉTIEN.

3° L'enregistrement magnétique. Comparaison de la qualité obtenue et du prix de revient avec ceux résultant de l'enregistrement cinématographique.

4° Cas des programmes différés à transmettre sur spectre étroit.

5° Conclusion provisoire. A dépenses égales l'enregistrement photographique permettrait une qualité bien supérieure à celle de l'enregistrement magnétique.

### APPLICATION DES PROCÉDÉS MAGNÉTIQUES A LA SONORISATION DES FILMS CINÉMATOGRAPHIQUES

PAR

M. André DIDIER

*Professeur au Conservatoire National  
des Arts et Métiers*

et

PAR

M. Louis MARTIN

*Ancien élève de l'École Polytechnique.*

Le cinéma parlant. — Association du disque et du film. — Léon Gaumont 1902-1929. — Enregistrement sonore par voie photographique sur la pellicule cinématographique. — Problème du 16 mm.

Le son magnétique.

Enregistrement sur bande magnétique perforée 35 mm. — Montage. — Mélanges. — Transfert final par voie photographique. — Cas du 16 mm. — Cas des films en couleurs. — Extension du procédé magnétique à toute la chaîne électroacoustique. — Enregistrement, mélanges, copies d'exploitation.

Pistes magnétiques.

Dépôt des pistes sur émulsion vierge. — Sur films développés. — Caractéristiques du matériel.

Applications.

Sonorisation des films 16 mm. — Conservation du son photographique original des copies sonores. — Multipistes pour stéréophonie sur film 35 mm. — Transfert magnétique.

## COMPARAISON ENTRE LES PROPRIÉTÉS ÉLECTROACOUSTIQUES DES ENREGISTREMENTS PHOTOGRAPHIQUES ET DES ENREGISTREMENTS MAGNÉTIQUES

PAR

M. A. LOVICH

*Ingénieur en chef  
aux Laboratoires de Recherches électro-acoustiques  
de la Société Kodak-Pathé*

L'industrie cinématographique utilise concurrentement l'enregistrement photographique ou magnétique.

Un système d'enregistrement, quel qu'il soit, est caractérisé par :

- a) courbe de réponse;
- b) distorsion non linéaire;
- c) dynamique;
- d) qualité des transitoires;
- e) phénomènes annexes.

L'auteur étudie successivement les différentes variables qui, dans chacun des deux procédés d'enregistrement, régissent les caractéristiques précédemment indiquées.

### a) Pour la courbe de réponse :

Dans l'enregistrement photographique, elle est influencée par le pouvoir résolvant du film, la géométrie de l'image optique et la fréquence de résonance du modulateur de lumière. Dans l'enregistrement magnétique elle est influencée par le pouvoir résolvant du film, par la géométrie des têtes magnétiques et par la répartition du champ extérieur à l'entrefer.

### b) Pour la distorsion non linéaire :

Dans l'enregistrement photographique à densité variable elle dépend de la forme de la courbe caractéristique  $D = f(\log E)$  de l'émulsion et de la brillance de la source lumineuse. Dans l'enregistrement photographique à densité fixe, elle dépend de la turbidité de l'émulsion et des différentes propriétés dynamiques de celle-ci.

Dans l'enregistrement magnétique, elle dépend de la courbe  $V_s = f(V_e)$  de l'émulsion et de la courbe  $[D\% = f(I_p)]$  permettant de choisir le courant de prémagnétisation.

### c) Pour la dynamique :

Dans l'enregistrement à densité variable elle dépend surtout de la forme de la courbe caractéristique de l'émulsion et un peu de ses propriétés dynamiques.

Dans l'enregistrement à densité fixe elle dépend du rapport des densités des deux régions opaque et transparente de la piste sonore, de la largeur de cette piste, du degré de tannage de l'émulsion et de ses propriétés dynamiques.

Dans l'enregistrement magnétique elle dépend de la pente de la courbe  $V_s = f(V_e)$  et des propriétés internes ou superficielles de l'émulsion.

### d) Pour l'enregistrement des transitoires :

Dans l'enregistrement photographique à densité fixe ou variable, la qualité des transitoires dépend à la fois de la fréquence de résonance et des masses et inerties du modulateur de lumière.

Dans l'enregistrement magnétique, la qualité des transitoires résulte des différences de phase introduites par le processus de lecture.

### e) Enfin certains phénomènes extérieurs

aux précédents existent :

Par exemple écho et dynamiques d'effacement dans l'enregistrement magnétique, ou évolution de l'image latente dans l'enregistrement photographique.

## LA SYNCHRONISATION DES PROJECTEURS AMATEURS ET DES MAGNÉTOPHONES

PAR

Charles OLIVER

*Directeur de la Société Oliver*

Les cinéastes amateurs ont depuis toujours cherché un moyen rationnel pour sonoriser leurs films de famille, leurs films de voyage ou leurs films de club. Les prétentions des cinéastes amateurs ne vont pas jusqu'au film parlant, sauf quelques cas particuliers, mais s'étendent du film commenté avec accompagnement musical au film avec bruitage, et même au dessin animé.

Le délassément que cherche le cinéaste amateur est de sortir de ses préoccupations habituelles, et la recherche musicale pour l'accompagnement de ses films lui apportera le dérivatif qu'il recherche.

Bien entendu, cette recherche musicale se fera dans les catalogues de disques. Le magnétophone à bande sera pour lui l'instrument idéal, puisque la bande magnétique permet tous les montages et que

la gamme des fréquences couvertes permet la copie des disques sans écrêtage des fréquences. Mais il faut que le magnétophone et le projecteur soient synchronisés, et nous examinerons ensemble les diverses méthodes de synchronisation possibles entre ces deux appareils.

L'amateur cinéaste dispose d'une autre formule magnétique pour la sonorisation de ses films; c'est la piste couchée sur le film lui-même. Mais cette formule exige la réforme du matériel de projection, car très peu de types de projecteurs peuvent être transformés et les projecteurs construits pour le passage de ces films sont très coûteux.

Le magnétophone, au contraire, est d'un prix à la portée d'un grand nombre d'amateurs et je vous dirai pour mémoire qu'en France le nombre des cinéastes amateurs atteint 350.000. Les perspectives du marché sont donc assez vastes.

Nous allons examiner maintenant quels sont les procédés de synchronisation utilisés, et ensuite, quelles sont les faiblesses de ces systèmes.

Il existe trois catégories de dispositifs :

- 1° Les dispositifs manuels.
- 2° Les dispositifs électromécaniques.
- 3° Les dispositifs purement électriques.

Nous écarterons les solutions mécaniques qui ont consisté à lier le projecteur au magnétophone au moyen de câbles flexibles. Ces liaisons affectant dans tous les cas les magnétophones de pleurage.

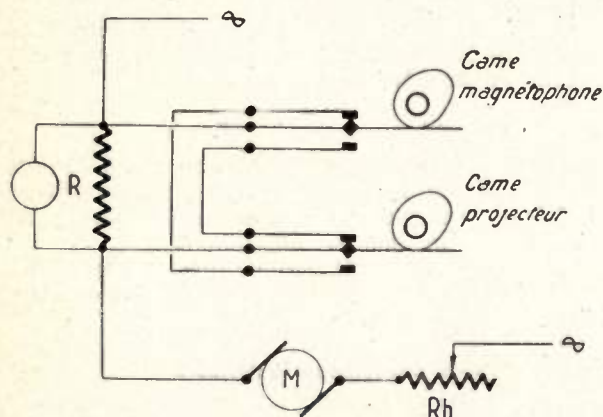


FIG. 1

#### LES PROCÉDÉS MANUELS.

La seule solution méritant d'être citée est celle de Revère. Dans le système Revère, des bandes alternativement noires et blanches sont comprimées au dos de la bande magnétique. Un miroir tournant est monté sur le projecteur et le magnétophone est disposé de telle sorte que le miroir tournant vienne éclairer le dos de la bande pendant son défilement.

L'opérateur doit régler et retoucher en cours de projection la vitesse de son projecteur de telle sorte que par effet stroboscopique la bande paraisse immobile.

Il est évident que ce procédé ne peut donner qu'une synchronisation approximative, qu'il exige beaucoup d'attention de l'opérateur et lui enlève tout plaisir pendant la projection.

#### LES PROCÉDÉS ÉLECTROMÉCANIQUES

Le principe de base des procédés électromécaniques est l'obtention de l'asservissement du moteur

du projecteur au moteur du magnétophone. Nous rencontrons en France trois firmes utilisant ce système : Ercsam, Oliver et Wattson.

Ercsam et Oliver utilisent des moyens presque identiques; Wattson, un procédé nettement différent.

Je rappellerai, tout d'abord, que la grande majorité des projecteurs amateurs sont équipés de moteurs universels et que seuls quelques types sont équipés de moteurs asynchrones. La vitesse des projecteurs à moteurs universels est très facilement contrôlable; celle des projecteurs à moteurs asynchrones l'est avec un peu plus de difficultés, mais le problème n'est pas insoluble.

Nous ne considérerons pour alléger cet exposé que le cas des projecteurs à moteur universel.

L'essentiel des procédés Oliver et Ercsam consiste à prendre une base de temps. Elle est d'une 1/2 sec

dans le procédé Oliver;  $\frac{1}{1,33}$  de sec dans le procédé

Ercsam. C'est la base de temps de synchronisation.

Dans cet intervalle de temps le projecteur marche à une vitesse tantôt inférieure, tantôt supérieure, à la vitesse de référence (16 images/sec), de telle sorte qu'une vitesse moyenne s'établisse. Cette vitesse moyenne est obtenue par l'interposition d'une résistance dans le circuit du moteur et par le court-circuitage de cette résistance.

Pour ce faire, dans le système Oliver, deux contacteurs, repos — travail, sont branchés aux bornes de la résistance. (Fig. ci-contre).

Ces contacteurs sont commandés chacun par une came, l'une entraînée par le magnétophone, l'autre par le projecteur.

Le branchement de deux inverseurs est fait de telle sorte que lorsque les comes sont en phase, la résistance est en circuit; lorsqu'elles sont déphasées, la résistance est court-circuitée.

La résistance étant calculée de telle sorte que le projecteur marche à une vitesse inférieure à la vitesse de référence, la came du projecteur prend du retard sur la came du magnétophone.

A ce moment, les comes étant diphasées, la résistance est court-circuitée, le moteur recevant la totalité de la tension du secteur s'accélère, la came du projecteur se remet en phase et le cycle recommence toutes les demi-secondes.

Comme on le voit, il s'établit donc une vitesse moyenne du projecteur, fonction de la vitesse du magnétophone.

Ercsam utilise pour contrôler sa résistance, non pas des contacteurs à palettes, mais des tambours isolants munis de secteurs conducteurs. Le résultat est identique.

Ercsam utilise ce procédé sur des magnétophones et des projecteurs de sa fabrication. Oliver emploie des magnétophones de sa fabrication et monte la came sur tous les types de projecteurs.

Le grand nombre de types de projecteurs a obligé ce constructeur à prévoir un organe extérieur au mécanisme s'adaptant sans difficulté. Cet organe est un petit boîtier contenant le contacteur et la came. La came est montée sur le même axe qu'un tambour denté. Ce tambour denté est entraîné par le film qui sert de chaîne de transmission.

Comme je vous l'ai dit, le procédé Wattson est entièrement différent. Sur le magnétophone et avec la démultiplication convenable, est monté un flexible. Ce flexible commande un tambour denté monté dans un boîtier ajouté au projecteur. Le film sortant de la bobine débitrice est entraîné par le tambour commandé par le magnétophone.

L'opérateur en chargeant son projecteur fait une boucle entre ce tambour et le tambour supérieur du projecteur. Cette boucle est contrôlée par un palpeur commandant un basculeur à mercure. Lorsque le projecteur tourne plus vite que la vitesse de référence, la boucle se raccourcit, le palpeur par l'intermédiaire du basculeur à mercure insère alors dans le circuit du moteur une résistance telle que le projecteur ralentisse en dessous de la vitesse de référence. Lorsque la boucle s'est suffisamment allongée, le palpeur court-circuite la résistance, et le cycle recommence.

Ces procédés donnent effectivement un synchronisme entre le magnétophone et le projecteur, et partant, avec le film, puisque celui-ci est perforé. Nous allons examiner maintenant si le synchronisme est obtenu entre l'image et le son.

1<sup>re</sup> question. — La bande glisse-t-elle?

La réponse est non. Dans les magnétophones amateurs où les freinages sont faibles et constants, la bande ne glisse pas.

2<sup>e</sup> question. — La bande s'allonge-t-elle?

Effectivement, la bande s'allonge, mais l'expérience a prouvé qu'après son 6<sup>e</sup> passage sur un magnétophone la bande ne s'allonge plus, ou pratiquement plus.

Donc, le synchronisme entre le son et l'image est conservé à condition toutefois que le même magnétophone enregistre et reproduise la bande. La longueur de bande défilée dépend en effet du diamètre du cabestan et malheureusement, les tolé-

rances dans les diamètres du cabestan ne dépassent pas le 1/100 de mm.

Cette servitude nous conduit naturellement au 3<sup>e</sup> système, le système purement électrique.

#### LES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES.

A ma connaissance, un seul système existe. Dans ce procédé, une fréquence à 50 périodes est enregistrée sur la deuxième 1/2 piste de la bande magnétique. Cet enregistrement est lu par une tête spéciale qui alimente un amplificateur suffisamment puissant pour alimenter un moteur synchrone monté sur le projecteur.

Il est évident que dans ce cas l'allongement de la bande n'a plus d'importance et que la bande peut passer sur n'importe quel magnétophone du même type.

#### CONCLUSION

Le premier système est trop imprécis pour être utilisé par des cinéastes amateurs.

Le troisième système est trop coûteux pour ces derniers, car l'amplificateur spécial grève lourdement le prix du magnétophone, et cette solution exige le remplacement du moteur du projecteur. Remplacement qui n'est pas toujours facilement réalisable.

Le deuxième système, malgré la servitude du magnétophone, a rencontré par contre un accueil des plus favorables dans la clientèle des cinéastes amateurs. Il ouvre des perspectives commerciales favorables pour le développement du magnétophone.

## L'INCIDENCE DES TECHNIQUES NOUVELLES DU SON SUR LA NORMALISATION DU CINÉMA

PAR

Jean VIVIÉ

*Secrétaire Général*

*de la Commission Supérieure Technique du Cinéma*

L'introduction du son au cinéma en 1928 avait provoqué la première modification importante dans la normalisation du film cinématographique, sans toutefois toucher à la norme fondamentale de la pellicule 35 mm. Seules les dimensions de l'image avaient été modifiées pour faire place à la trace acoustique.

Les nouvelles techniques d'enregistrement et de reproduction sonores, groupées sous le vocable de « stéréophonie » apparaissent comme devant introduire 25 ans plus tard une nouvelle modification de la normalisation du film, et qui risque cette fois-ci d'être plus importante : il s'agit en effet de trouver l'emplacement des diverses traces nécessaires à la stéréophonie, et l'on sait que parallèlement on sera amené à modifier les proportions de l'image ainsi que la grandeur des écrans de projection.

L'ensemble de ces considérations entraîne inévitablement vers un nouveau format du film dit « large », par rapport au format normal 35 mm; cependant, des investissements importants, effectués tant en matériel de prise de vues qu'en machines

de laboratoires et en équipements de projection, militent plutôt pour un nouvel agencement à l'intérieur de la pellicule normale 35 mm. Diverses solutions sont en présence, les uns ne modifiant ni la largeur ni la perforation de la pellicule actuelle, tandis que d'autres envisagent soit une modification de la largeur, soit un changement des dimensions de la perforation.

Aucune décision ne saurait encore être prise valablement à l'heure actuelle, sans avoir procédé à des essais poursuivis dans les conditions mêmes de l'exploitation : en particulier, les dispositions qui pourront être proposées doivent tenir compte des données concernant la qualité de reproduction d'après les pistes magnétiques en fonction de la largeur de ces pistes.

Enfin, les projets devront tenir compte de certains facteurs économiques, notamment en ce qui concerne l'éventualité du maintien d'une piste photographique et les possibilités d'adaptation des diverses classes d'équipement de reproduction sonore.

## SECTION IV. — ENREGISTREMENT MÉCANIQUE

### LES BRUITS DE FOND DU DISQUE : DIFFICULTÉS DE FABRICATION

PAR

Y. CAILLEZ

*Industries musicales et électriques Pathé-Marconi*

On peut scinder les bruits de fond d'un disque en deux catégories bien distinctes.

1<sup>o</sup> Les claquements, grésillements, bruits rythmiques, etc... dus :

a) s'ils existent sur le matériel, à des incidents survenus au cours du développement galvanoplastique ;

b) S'ils n'existent pas sur ces pièces, à un moulage imparfait.

2<sup>o</sup> Le souffle produit au passage de l'aiguille, dû en général à la composition de la matière à disques, à moins qu'il ne s'agisse d'un bruit de coupe.

Trois facteurs sont donc à considérer lors de l'étude du bruit de fond d'un disque.

a) Le développement galvanoplastique de l'enregistrement ;

b) Le moulage du disque ;

c) La composition de la matière.

#### A) DÉVELOPPEMENT GALVANOPLASTIQUE DE L'ENREGISTREMENT.

Le développement doit théoriquement restituer sur la matrice une image rigoureusement fidèle de l'enregistrement. Cependant il n'y a pas d'exemple d'une mère exactement comparable au pyrolac d'origine.

De nombreux défauts apparaissent au cours du développement et affectent l'état de surface. Les principales difficultés rencontrées sont :

Le dépoussiérage du pyrolac ;

La métallisation ;

Le fonctionnement des bains de nickelage ;

Le décapage des pièces.

Le dépoussiérage du pyrolac est chose très difficile. Celui-ci est électrostatique et quelles que soient les précautions prises le dépoussiérage intégral du pyrolac n'est jamais réalisé, les poussières métallisées vont donc se reproduire sur l'original, d'où une première modification de l'état de surface. La métallisation présente également des difficultés : le « mouillage » du pyrolac est variable avec la composition du vernis utilisé et l'on constate des variations correspondantes d'adhérence du dépôt métal-

lique. Cette adhérence est parfois telle qu'une partie du dépôt reste fixée à la surface du pyrolac au décollage de l'original.

Un mauvais « mouillage » est également responsable de la formation de ponts d'une paroi de sillon sur l'autre avec déformation correspondante du sillon.

Enfin, de nombreux phénomènes constatés au cours de la métallisation restent encore inexpliqués.

Quant aux bains de nickelage leurs défauts sont multiples.

Un tel bain, mal réglé, peut donner naissance à un dépôt poreux protégeant le cuivre sous-jacent, d'où oxydation ultérieure de celui-ci ;

— des piqûres, sortes de cratères pratiqués dans la paroi du sillon, provoquées par des bulles d'hydrogène dégagées normalement à la cathode et qui restent fixées sur les pièces ;

— des tensions internes énormes pouvant provoquer la séparation spontanée du dépôt de nickel d'avec le cuivre sous-jacent si le décapage après nickelage est insuffisant. Enfin le problème du « mouillage » des pièces lors de leur introduction dans les bains est également à considérer.

Indépendamment de l'influence des bains eux-mêmes, il convient d'insister sur l'importance du nettoyage des pièces entre chaque opération : l'élimination des oxydes est particulièrement importante.

L'influence du développement galvanoplastique sur le bruit de fond est donc indéniable, les défauts signalés pouvant se produire à n'importe quel stade et même se superposer.

C'est d'ailleurs pour le disque 78 tours la seule source de bruit de fond si l'on excepte le souffle provoqué par la matière.

#### B) MOULAGE.

En effet, le moulage du disque 78 tours ne présente pas de difficultés et l'on peut dire en général que le disque est (souffle de la matière mis à part) comparable à la mère. Il n'en est pas de même pour le disque microsillon dont le moulage est plus difficile.

Ces difficultés de moulage tiennent principalement à la présence d'air incorporé dans la matière, soit au malaxage, soit au moulage, la matière chaude ayant une consistance caoutchouteuse, cet

air ne peut s'échapper et, comprimé, empêche un moulage parfait du sillon.

Ce phénomène est d'ailleurs beaucoup plus marqué au départ du disque, l'air étant chassé vers l'extérieur au cours du moulage et la pression étant moins forte à cet endroit.

La perfection du moulage dépend de la pression appliquée. Malheureusement les procédés actuels de moulage par compression ne permettent pas une augmentation de cette pression.

Il serait nécessaire pour cela de réaliser des moules dits positifs ou de recourir au moulage par injection. Les quelques essais effectués dans ce sens ont montré une meilleure qualité du disque injecté.

C'est à ces difficultés de moulage qu'il faut, en général, attribuer les grésillements qui accompagnent l'audition du disque microsillon.

En revanche celui-ci est exempt du souffle présenté par le disque 78 tours, ce souffle étant attribuable à la composition de la matière à disque employée.

### C) MATIÈRE.

Cette matière est en effet un mélange de résines et de charges. Ce sont ces charges qui sont responsables de ce bruit de fond.

La présence de celles-ci est malheureusement indispensable à plusieurs points de vue.

1° Elles donnent à la matière une consistance déterminée permettant un pressage correct.

2° Elles améliorent considérablement la résistance du disque à l'usure en jouant le rôle d'abrasif vis-à-vis de l'aiguille.

Le bruit de fond provoqué par ces charges est d'autant plus important que celles-ci sont de dimensions plus grandes.

L'incorporation de noir de fumée, charge très fine, donne un disque dont le souffle est fortement atténué, mais ne présentant pas de résistance à l'usure. On est donc obligé de prendre des demi-mesures et de tolérer un certain souffle de fond afin de permettre au disque de conserver d'autres qualités.

Le bruit de fond d'un disque est donc fonction de nombreux facteurs.

Seule l'amélioration continue des conditions de travail a pu permettre une diminution de ces bruits parasites que l'on aimerait voir disparaître complètement.

## LES CARACTÉRISTIQUES D'ENREGISTREMENT DE DISQUES

PAR

M. Pierre GILOTAUX

*Ingénieur E. S. E.*

*Industries musicales et électriques Pathé-Marconi*

On croit généralement que les différences de sonorité qui existent d'un disque à l'autre sont dues à des différences entre les courbes de fréquences utilisées à la gravure. En réalité, les écarts sont beaucoup plus grands que les écarts entre les différentes courbes de gravure.

Les causes sont en partie subjectives et en partie techniques. Les causes subjectives proviennent des conditions de prise de son, les causes techniques proviennent des courbes des haut-parleurs, des lecteurs et de la provenance des enregistrements sur bande magnétique.

Le remède est l'emploi, à la reproduction, d'un ensemble aussi linéaire que possible en fréquence et disposant de réglages d'appoint séparés pour les basses et les niqués.

### INTRODUCTION

On demande souvent aux éditeurs de disques des renseignements sur leurs courbes d'enregistrement, ce qui montre que les usagers s'intéressent au disque, mais aussi qu'ils ne sont pas toujours satisfaits et qu'ils trouvent des différences entre les disques. Dans ce qui suit, nous parlerons seulement de fidélité en fréquence en laissant de côté la distorsion.

Il faut d'abord savoir comment un disque arrive jusqu'à l'usager.

Les éditeurs ont tous des liaisons internationales et font des échanges, de sorte qu'un disque peut :

a) Avoir été enregistré, gravé et fabriqué dans son pays d'origine ;

b) Avoir été enregistré et gravé à l'étranger, le pays de vente ne reçoit que le matériel de galvanoplastie, la courbe d'enregistrement en fréquence est donc celle du pays d'origine ;

c) Avoir été enregistré à l'étranger et une copie au 1<sup>er</sup> degré de la bande magnétique originale a été reçue, de sorte que la responsabilité de la gravure est le fait de la Compagnie distributrice.

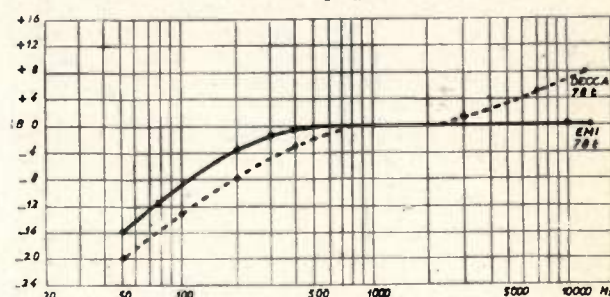


Fig. 1

On voit de suite qu'indépendamment de l'équilibre sonore de la prise de son elle-même dont nous parlerons plus loin, il faut que les courbes d'enregistrement des bandes et de gravure soient identiques pour tous les membres du groupe.

### LES COURBES D'ENREGISTREMENT

#### 1° Gravure.

Il existe deux familles : 78 tours et microsillon. Les figures 1 et 2 représentent les courbes les

plus usuelles. On constate que pour le microsillon ces courbes sont assez bien groupées et que les écarts sont relativement faibles, particulièrement dans la zone des fréquences élevées, zone qui fait pourtant le plus souvent l'objet d'enquête de la part de la clientèle.

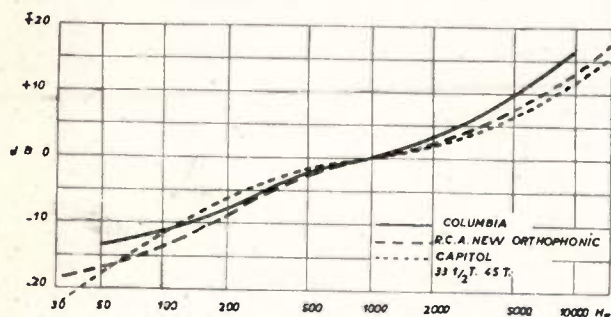


FIG. 2

Les écarts les plus grands sont constatés dans la zone des fréquences très basses où ils peuvent atteindre 5 ou 6 dB à 50 Hz, mais en pratique les installations d'amateurs ne reproduisent pas les fréquences aussi basses et les usagers ne s'aperçoivent pas de ces différences.

## 2° Bandes.

On s'efforce d'avoir des magnétophones réglés de telle manière que pour une entrée droite en fréquence, la sortie soit droite. De plus, on part d'une bande étalon qu'on lit pour avoir une lecture droite de sorte que, théoriquement, la partie enregistrement et la partie lecture sont réglées séparément et ont ainsi des courbes corrigées identiques d'une machine à l'autre. Tout repose donc sur la bande étalon et malheureusement les caractéristiques n'en sont pas absolument définies. Il faut espérer qu'une normalisation définitive comme celle du C. C. I. R. définisse la bande étalon permettant de reproduire d'une manière identique tous les types de bandes de toutes provenances. Les étalons qu'on peut rarement échanger ne sont que des étalons secondaires faits en faisant confiance à la partie enregistrement d'une machine bien réglée.

Une machine parfaitement fidèle, c'est-à-dire donnant 0 dB dans tout le spectre entre son entrée et sa sortie peut donner une bande dont la lecture sera distordue en fréquence sur une autre machine dont la courbe de lecture n'est pas la même ou dont l'entrefer de la tête de lecture n'est pas exactement parallèle à celui de la tête d'enregistrement de la première machine.

Pratiquement, les bandes reçues par les éditeurs proviennent de tous les horizons et présentent entre elles des écarts qui sont parfois si considérables que certaines pourraient être considérées comme inutilisables.

Pourtant ces écarts entre les courbes de gravure ou d'enregistrement des bandes ne constituent qu'une partie des causes des différences constatées par les usagers. Pour trouver ces causes il faut, d'une part, suivre tout le processus de l'enregistrement et, d'autre part, celui de la reproduction des disques.

## 3° Enregistrement.

La prise de son est faite conjointement par le preneur de son et un directeur artistique qui, compte tenu des caractéristiques du studio, du genre de musique, de l'artiste, des microphones, etc., se mettent d'accord pour obtenir auditivement

et en définitive par l'intermédiaire du haut-parleur de contrôle, la sonorité et la définition qui leur ont paru les meilleures. Ainsi, bien que ce haut-parleur de contrôle soit de la meilleure qualité possible, c'est donc lui, avec sa courbe de réponse et le goût artistique des responsables de l'enregistrement, qui va déterminer la sonorité du disque. Si l'auditeur n'a pas le même haut-parleur (en admettant que tout soit absolument fidèle depuis la bande jusqu'au haut-parleur de l'usager) ni le même goût, il se peut qu'il ne soit pas satisfait. En pratique, lorsqu'on visite les diverses compagnies, on constate une rassurante homogénéité de l'équilibre sonore à la prise de son, mais ceci avec des haut-parleurs de contrôle différents.

Il n'en est pas moins vrai que des différences beaucoup plus grandes que les quelques dB entre les courbes de gravure de la figure 1 existent entre les diverses prises de son et qu'elles sont dues à l'acoustique des studios et à l'évaluation purement subjective de la prise de son.

En ce qui concerne la dispersion de la qualité des bandes on peut arriver à la régulariser quelque peu en faisant une nouvelle copie tirée de la bande reçue mais en passant au travers d'un filtre universel capable de fournir toutes les courbes possibles. On arrive ainsi à sauver des bandes considérées inutilisables et à les rendre sinon excellentes du moins possibles. Mais là encore on est obligé de passer par le jugement subjectif d'un musicien et par le haut-parleur de contrôle et on est ramené au cas de la prise de son.

Nous sommes donc ainsi en possession de la bande originale qui est réellement à la base du disque et jusqu'ici on n'a fait intervenir aucune notion de courbe standard. Tout le travail a été subjectif.

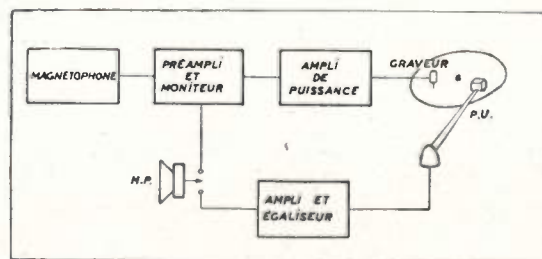


FIG. 3

Les opérations suivantes vont au contraire être soumises à un contrôle technique sévère. Elles sont schématisées figure 3. Il faut faire choix parmi les courbes permises par les égaliseurs. Le microsillon étant d'origine américaine, on choisit généralement la courbe standard américaine existant sous la forme d'un disque étalon. On règle facilement la lecture à  $\pm 1$  dB par rapport à une courbe idéale droite. On règle ensuite la courbe ampli/graveur pour qu'un disque gravé avec l'installation et lu avec l'appareil réglé comme ci-dessus à l'aide du disque étalon, ne s'écarte pas de celui-ci de plus de  $\pm 2$  dB. Pour le 78 tours la courbe bien connue est facile à vérifier avec la méthode optique de Meyer ou, comme pour le microsillon, par lecture du disque. La méthode optique de Meyer ne va pas très bien pour le microsillon car on a 30 dB d'écart entre les deux extrémités du spectre et les indications données par la méthode optique sont linéaires et non logarithmiques. Pratiquement quand on compare la bande originale et le disque, on n'entend pas de différence.

Bien entendu, dans une même Compagnie tous les haut-parleurs doivent être identiques, sans quoi il est impossible d'assurer l'homogénéité nécessaire. Par contre, il faut avoir d'autres haut-parleurs également de haute qualité mais de types différents pour pouvoir se livrer à des comparaisons auditives.

Théoriquement, avec une installation réglée comme il vient d'être dit, on devrait retirer la même impression auditive des disques qui ont été faits avec elle et de ceux gravés par la Compagnie Américaine dont on a choisi la courbe. Il n'en est rien et il y a des différences entre les disques américains eux-mêmes aussi bien qu'entre ceux qui ont été faits sur l'installation dont on vient de décrire le réglage. Ceci montre bien que les différences ont au départ des causes matérielles (salle, haut-parleur, repiquage d'un disque ancien) et subjectives qui ne sont pas dues à des écarts de courbes de gravure.

#### 4° Reproduction.

Les facteurs qui vont influencer la reproduction du disque enregistré dans les conditions précédentes sont le lecteur, l'amplificateur et le haut-parleur monté dans sa boîte. Le disque étant un objet diffusé dans le public, donc non professionnel,

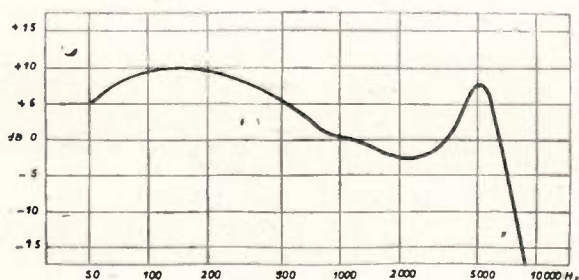


Fig. 4

est lu sur un appareil de la même classe dont le prix doit être aussi modéré que possible. Les pick-up les plus courants sont du type piézoélectrique à cause de leur sensibilité qui permet d'attaquer des amplificateurs à deux étages pour un poids du pick-up sur le disque de 10 g environ nécessaire par le microsillon. Les pick-up magnétiques et dynamiques existent sur du matériel plus cher et nécessitent un étage d'amplification en plus. Il arrive souvent, avec le matériel simple, que pour la courbe à vitesse constante du type 78 tours, le niveau baisse dans les fréquences élevées et qu'on ait une résonance vers 5 kHz suivie d'une coupure assez rapide, c'est la réponse du pick-up classique américain par exemple (fig. 4). Une telle réponse a été choisie, croyons-nous, pour avoir une reproduction exempte de bruit de surface. Mais la qualité du 78 tours actuel permet une meilleure fidélité et une audition obtenue avec un tel lecteur (en admettant que tout le reste de l'installation soit fidèle) sera toujours terne. Même si on tient compte de la courbe du microsillon on arrivera à avoir une reproduction correcte jusqu'à 5 kHz, mais la coupure rapide qui suit ne peut pas être facilement corrigée. Donc le meilleur moyen est d'avoir un lecteur qui, au-dessus de 1 kHz, est droit aussi loin que possible. Il pourra délivrer à l'amplificateur qui le suit une tension dont le rendement en fréquence est correct pour le 78 tours et facilement ajustable à la courbe microsillon avec une simple constante de temps. C'est d'ailleurs la caractéristique

de tous les pick-up qui sont vendus dans le monde entier pour les installations professionnelles ou de haute fidélité. Ainsi l'usager qui a un bon lecteur, c'est-à-dire sans résonance marquée, et une réponse atteignant au moins 8 ou 9 kHz, pourra retirer du disque ce qui est gravé.

L'amplificateur ne doit pas poser de problème, il est facile de faire un amplificateur droit entre 50 et 10.000 Hz. Les corrections qui sont utiles sont les contrôles de tonalité. Le plus simple est un seul

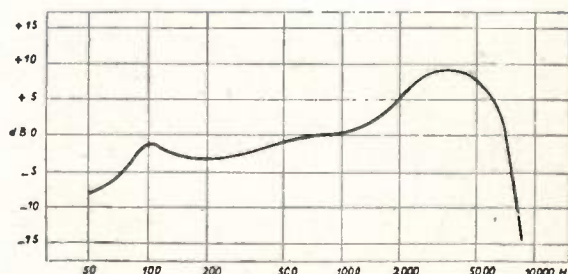


Fig. 5

contrôle qui permet de couper les aiguës avec un simple circuit à constante de temps, il permettra de passer du 78 tours au microsillon. Un contrôle souhaitable est  $\pm 10$  dB à 50 Hz et  $\pm 10$  dB à 10 kHz, tous deux par rapport à 1 kHz. Cela permet à l'usager de compenser les déficiences de son haut-parleur par rapport à celui qui a servi à l'enregistrement, et de modifier la sonorité qui ne lui plaît pas telle qu'elle a été voulue à l'enregistrement. Mais il n'y a pas de règle pour choisir une loi en dehors de celle du passage du 78 tours au microsillon dans les aiguës, et encore ne faut-il pas être trop rigoureux dans ce sens à cause du haut-parleur dont nous allons parler ci-après. On constate toutefois, heureusement, qu'avec une bonne installation non professionnelle, une personne donnée disposant des contrôles ci-dessus choisira auditivement une position fixe des contrôles, correspondant d'ailleurs à une courbe correcte, pour écouter la plus grande partie des disques. Les réglages ne seront modifiés que pour les disques anormaux.

Le haut-parleur et sa boîte constituent réellement le point délicat de l'installation. Peu de constructeurs donnent les courbes réelles de pression sonore de leurs appareils. Les courbes se révèlent

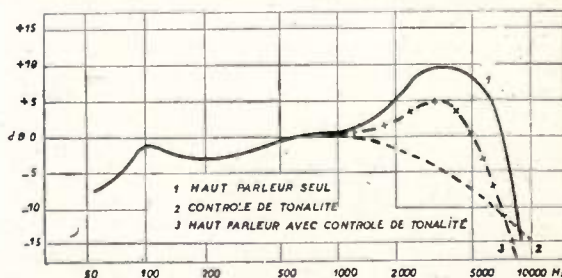


Fig. 6

d'ailleurs assez catastrophiques. En appliquant aux bornes du haut-parleur une tension constante on trouve en général une réponse acoustique ayant la forme de la courbe de la figure 5. Cette réponse n'est pratiquement pas compensable dans un appareil courant. Elle est assez bonne pour la radio à cause de la sélectivité des circuits à fréquence intermédiaire qui ont une bande passante très étroite et qui coupent déjà à 2 kHz d'environ 5 dB.

Cette courbe n'est pas bonne pour les disques car la résonance vers 4 kHz donne des sons stridents qui donnent l'illusion des aiguës alors qu'on manque des aiguës plus élevées qui, elles, collaborent à donner un meilleur rendu de l'ambiance et de la définition. La coupure à 4 ou 5 kHz donne un effet de platitude.

De plus, l'usager qui manipule ces contrôles de tonalité n'est pas satisfait car s'il coupe les aiguës pour éviter la stridence il manque de plus en plus d'aiguës élevées et l'audition perd tout relief (voir fig. 6, combinaison haut-parleur et contrôle de tonalité).

Il en est de même pour les basses, les résonances des ébénisteries vers 150-250 Hz donnent des fausses basses exagérées non compensables, de sorte qu'on n'entend pas les fondamentales mais les harmoniques seules. Il faut donc un haut-parleur aussi droit que possible et se méfier des boîtes.

## CONCLUSION

On voit que les quelques dB d'écart entre les différentes courbes de gravure sont insignifiants en comparaison des écarts dus, d'une part à l'enregistrement, d'autre part à la reproduction. Dans les deux cas, les haut-parleurs sont un des facteurs déterminants. Viennent ensuite les lecteurs et les disques défectueux provenant par exemple de réenregistrements de disques anciens, de mauvaises bandes, ou d'enregistrements du début du microsillon qui aussi bien en Amérique qu'en Europe n'ont pas toujours été très réguliers.

Il est souhaitable que les appareils de reproduction soient munis d'un lecteur et d'un haut-parleur aussi linéaires que possible et comportent en plus des réglages séparés sur les basses et les aiguës.

# ÉTUDE DE LA SUSPENSION DES GRAVEURS DE DISQUES ET DES CONDITIONS DE COUPE DANS LA GRAVURE DES DISQUES SOUPLES

PAR

P. MEUNIER

*Ingénieur à la Radiodiffusion-Télévision Française*

I. — L'augmentation croissante des critères de qualité requis d'un enregistrement d'une part, et la tendance à l'utilisation de pas de sillonnage de plus en plus fins (microsillon) d'autre part, font apparaître la nécessité d'abandonner les systèmes habituellement employés.

L'étude présentée précise d'abord l'état du problème de la suspension des graveurs de disques et analyse le fonctionnement de l'équipage de gravure.

Le problème de l'amortissement est ensuite examiné et une description est donnée du dispositif expérimental de suspension réalisé par la Radiodiffusion-Télévision Française.

II. — Divers procédés ont été proposés pour améliorer la coupe des disques souples, procédés ayant notamment pour but la diminution du bruit de surface. On fait un rappel des essais entrepris : chauffage du disque par infra-rouge, utilisation de burins chauffés par résistance ou par haute fréquence.

On examine enfin les difficultés rencontrées avec les outils de coupe et avec les disques souples.

## I. — INTRODUCTION.

La présente étude entreprise à l'instigation de M. CHATENAY, a été réalisée avec la collaboration de MM. BUCCHINI et PARREAUX. Elle concerne plus particulièrement la gravure de disques microsillons.

## II. — GÉNÉRALITÉS.

La gravure latérale des disques souples, à peu près seule pratiquée actuellement, pose comme principe qu'en l'absence de modulation les dimensions géométriques du sillon soient constantes. Cette condition est d'autant plus impérative que le pas de sillonnage est serré, ce qui est le cas de la gravure de disques dit à « microsillons ».

Si le disque était parfaitement plan, il suffirait que le chariot porte-graveur possède un dispositif fixant rigidement sa distance par rapport au disque de manière à engager le burin d'une certaine profondeur dans la matière à graver. En réalité il ne peut malheureusement en être ainsi et un certain degré de liberté doit être laissé au système de suspension du graveur pour tenir compte des variations relatives de la distance disque-

graveur. Dans la pratique, en effet, les disques souples présentent des irrégularités inévitables dues au flan d'aluminium et à son mode d'application sur la machine et les différences de la distance disque-graveur résultantes sont souvent supérieures la profondeur même du sillon.

Cependant le fait de laisser un certain degré de liberté au graveur pour qu'il puisse suivre les variations dues au disque et même à la machine ne va pas cependant sans inconvénients et l'obtention d'un sillon régulier nécessite la réalisation de systèmes spéciaux de suspension.

En effet, outre l'encombrement variable, donc une diminution des possibilités d'occupation de la surface du disque en résultant, les irrégularités de largeur du sillon ont pour corollaire des irrégularités de profondeur. Ces irrégularités provoquent des distorsions à la reproduction; la modulation en profondeur ne devrait pas agir sur des lecteurs d'enregistrement du type latéral. En fait ces lecteurs sont toujours plus ou moins sensibles à une modulation verticale et il en résulte du bruit de fond et même des distorsions.

Lorsque l'on grave un disque en l'absence de modulation on constate souvent la présence de ces variations par l'aspect dit de moirage se traduisant par l'apparition de plages plus sombres que d'autres lorsqu'on examine ce disque en lumière rasante.

Diverses solutions peuvent s'offrir pour résoudre le problème posé. Une de ces solutions, séduisante de prime abord, est celle du système dit « advancing ball » qui consiste en l'adjonction d'un dispositif permettant au graveur de prendre appui sur le disque au moyen d'un galet ou d'une bille. Ce procédé n'est cependant pas sans inconvénients et, notamment, le passage sous l'appui de poussières ou de copeaux risque de provoquer le dégagement de l'outil ou simplement des variations accidentelles rapides de hauteur qui modulent le

sillon à fréquence audible. Un autre système est celui à fléau libre qui est le plus communément employé et dans lequel on place le graveur sur un fléau articulé autour d'un axe horizontal, en réglant la profondeur du sillon par la pression du burin de gravure, ceci en se basant sur le fait que la réaction de coupe du disque, c'est-à-dire la force opposée par l'arrachement du copeau, est indépendante de la vitesse de coupe. Le réglage de la pression est obtenu soit par un ressort soit par un contre-poids.

Cependant la dynamique du système fait apparaître des phénomènes de résonance qui sont à l'origine d'inégalités constatées dans la gravure.

### III. — FONCTIONNEMENT DU FLÉAU LIBRE.

Le fléau est soumis à deux couples antagonistes :  
1° le couple dû à l'effort horizontal de réaction du disque sur la pointe de gravure agissant sur son bras de levier, égal à la hauteur  $h$  de l'axe de suspension du fléau au-dessus du plan du disque;  
2° le couple dû à la pression de la pointe de gravure agissant sur un bras de levier égal à la distance de la pointe de gravure à la projection sur le disque de l'axe de rotation du fléau. Ces deux couples s'équilibrent pour une profondeur déterminée du sillon.

Si, pour une raison quelconque, la section du copeau tend à augmenter, une surépaisseur du disque, par exemple, la réaction du disque augmente et l'équilibre entre les couples est détruit. Le fléau se relève et l'équilibre se rétablit lorsque la section du copeau a repris sa valeur initiale (les déplacements de la pointe de gravure sont négligeables par rapport à la distance séparant le plan du disque d'un plan passant par l'axe de pivotement.)

En cas de dépression du disque, la même compensation s'établit mais en sens inverse.

Le fléau, étant doué d'une certaine masse, se comporte comme un pendule élastique et présente une fréquence propre d'oscillation :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{C}} \quad (1)$$

avec  $I$  = moment d'inertie du fléau par rapport à l'axe de rotation,

$C$  = constante d'élasticité angulaire définie comme le quotient du couple appliqué par l'angle de déplacement qu'il provoque (on peut la déterminer en mesurant la pression sur la pointe de gravure pour deux profondeurs de sillons voisines).

Le fléau, dégagé du disque et des dispositifs de rappel, est un pendule composé dont la période propre est donnée par la formule :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}} \quad (2)$$

d'où

$$I = \frac{T^2 Mga}{4\pi^2} \quad (3)$$

$I$  est le moment d'inertie,

$M$  la masse,

$g$  l'accélération due à la pesanteur.

$a$  la distance du centre de gravité à l'axe d'oscillation.

La distance de la pointe de gravure à la projection sur le disque de l'axe d'oscillation du fléau

étant  $d$ , l'angle de pivotement de l'équipage est  $e$  en considérant la tangente confondue avec l'angle pour les petites variations  $d$  qui interviennent dans ce cas.

Le rapport du couple  $p \times d$  produisant le déplacement vertical  $e$  à la distance  $d$ , à l'angle correspondant  $\frac{e}{d}$  représente la constante  $C$  :

$$C = \frac{p \cdot d}{\frac{e}{d}} = \frac{p \cdot d^2}{e}$$

En remplaçant  $I$  et  $C$  par leurs valeurs dans (1) il vient :

$$T = \frac{T}{d} \sqrt{Mga \cdot \frac{e}{p}} \quad (4)$$

### IV. — DÉFINITION DU PROBLÈME.

Ainsi, le graveur étant fixé à son fléau qui oscille autour d'un axe solidaire du chariot de la machine de gravure, le problème consiste :

1° à obtenir un dispositif qui suit les variations de planéité du disque et pour cela il faut :

- a) une inertie minimum,
- b) des frottements minima.

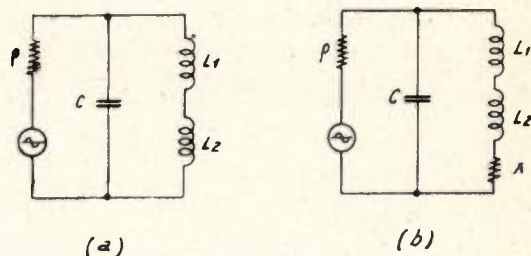


FIG. 1

2° à pouvoir amortir les oscillations du fléau support de graveur sur sa fréquence propre, oscillations provoquées par des impulsions mécaniques dues au moteur et aux irrégularités dans la dureté et la matière du disque, lesquelles provoquent des chocs.

Si l'on établit une analogie électrique du système employé, on a le circuit représenté figure 1. Dans ce circuit comme dans les suivants d'ailleurs, seuls sont figurés dans un but de clarté, les éléments qui intéressent le régime variable, les paramètres intéressant le régime fixe n'intervenant pas dans la question présente.

Sur la figure 1a, le générateur à grande résistance interne correspond à l'action du disque. On a un système à intensité constante. L'intensité dans le condensateur  $C$  correspond à la vitesse relative de la pointe de gravure normalement au disque, due à l'action des chocs ou des vibrations. Les selfs  $L_1$  et  $L_2$  représentent les moments d'inertie du graveur et du contre-poids.

L'oscillation correspond à celle du pendule élastique examiné précédemment.

L'application d'un système amortisseur correspond à la représentation de la figure 1b,  $R$  étant la résistance d'amortissement. Dans un tel système,  $R$  atténue le courant dans le condensateur à la

résonance. Mais, pour des fréquences de variations plus basses, la résistance a pour résultat d'augmenter au contraire l'intensité dans  $C$ .

Le but poursuivi n'est pas atteint, car si les vibrations dues au moteur d'entraînement correspondent à une fréquence discrète (hors de laquelle on cherche d'ailleurs à mettre les résonances du système), des perturbations à fréquences basses dues aux défauts du disque et à son manque de planéité sont présentes.

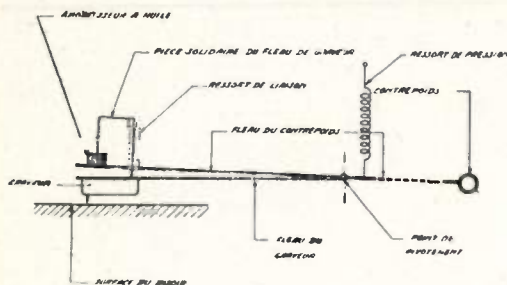


FIG. 2

L'application d'un amortisseur se traduit généralement par l'utilisation d'un système à frottement ou bien d'un dash-pot (amortisseur à huile).

Avec l'amortissement par frottement, le frottement au repos étant différent de celui obtenu en mouvement, on provoque un retard au début d'une variation de niveau du disque.

Le dash-pot employé directement conduit à des dispositions mécaniques difficiles à réaliser, notamment pour le relevage du graveur.

Un autre procédé consiste à établir un système à anti-résonance opposant aux oscillations du fléau celles d'un système mécanique possédant sensiblement la même fréquence de résonance. Ce procédé est difficile à employer par suite de la variation de la réaction du disque selon les conditions d'emploi. La valeur de cette réaction est en effet fonction : de la coupe de l'outil adopté (nature et angle), de la profondeur de sillon et de la nature et de la température du disque.

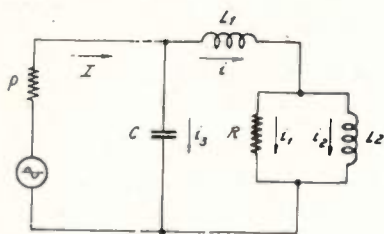


FIG. 3

## V. — SUSPENSION A DOUBLE FLÉAU.

Les considérations exposées précédemment nous ont amenés à réaliser un système de suspension à double fléau. Ce système (fig. 2) comporte un fléau servant à la suspension du graveur et pivotant autour d'un axe. Sur le même axe pivote un second fléau supportant le contrepoids, un ressort reliant les deux fléaux. Enfin sur le fléau support de contrepoids est fixée la cuve d'un amortisseur à huile dont le piston est solidaire du fléau de graveur.

Avec une telle disposition, en utilisant un long ressort fixé près de l'axe de suspension du fléau support de contrepoids, on obtient une pression pratiquement constante au cours du mouvement de l'équipage. D'autre part, l'adoption d'un graveur plat permet de reporter une partie de la masse de graveur vers l'axe d'oscillation, c'est-à-dire vers le centre de gravité de l'ensemble, d'où diminution du moment d'inertie.

## VI. — ANALYSE DU FONCTIONNEMENT.

Lors des balancements lents, la position relative des deux parties est maintenue au moyen du ressort de liaison; l'ensemble suit les mouvements verticaux du disque.

Pour des oscillations du graveur à fréquence plus élevée, le contrepoids se comporte comme une masse fixe, et le frein amortisseur intervient. La résistance de frottement du frein est réglée de telle sorte qu'on amène le fléau graveur à sa période critique en réduisant ainsi l'amplitude des oscillations à une valeur négligeable.

Le schéma électrique équivalent d'un tel système est représenté figure 3.

Analysons le fonctionnement de ce circuit :

En appelant  $e$  la tension aux bornes de  $C$ , on a :

$$e = \frac{1}{C} \int i_3 dt = L_1 \frac{di}{dt} - Ri_1$$

Sur la boucle  $L_2 R$  on a, avec les sens de courants adoptés :

$$Ri_1 = -L_2 \frac{di_2}{dt} \quad \text{et} \quad i = i_1 + i_2$$

$$\text{d'où} \quad Ri_1 = L_2 \left( \frac{di_1}{dt} - \frac{di}{dt} \right) \quad (1)$$

$$\text{Comme} \quad I = i + i_3 \quad (2)$$

$$\frac{1}{C} \int i_3 dt = L_1 \frac{di}{dt} - Ri_1$$

$$\text{et} \quad \frac{1}{C} i_3 = L_1 \frac{d^2 i}{dt^2} - R \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

En dérivant (1) et d'après (3) on obtient :

$$i_3 = L_1 C \frac{d^2 i}{dt^2} - RC \frac{di_1}{dt} \left( 1 + \frac{L_1}{L_2} \right)$$

Étant donné que :

$$\frac{di_2}{dt} = -\frac{R}{L_2} i_1 \quad i_2 = -\frac{R}{L_2} \int i_1 dt$$

On obtient en portant cette valeur dans (1) avec  $i = i_1 + i_2$

$$I = i_1 - \frac{R}{L_2} \int i_1 dt + L_1 C \frac{d^2 i_1}{dt^2} - RC \frac{di_1}{dt} \left( 1 + \frac{L_1}{L_2} \right)$$

Comme

$$\int i_1 dt = q \quad i_1 = \frac{dq}{dt}$$

et l'équation précédente où intervient la valeur de  $i_1$  devient

$$I = -\frac{R}{L_2}q + \frac{dq}{dt} - RC \frac{d^2q}{dt^2} \left(1 + \frac{L_1}{L_2}\right) + L_1 C \frac{d^3q}{dt^3}$$

Equation différentielle du 3<sup>e</sup> ordre dont la solution générale est de la forme

$$q = e^{xt}$$

L'équation caractéristique est donc :

$$L_1 C x^3 - R C \left(1 + \frac{L_1}{L_2}\right) x^2 + x - \frac{R}{L_2} = 0$$

où

$$x^3 - \frac{R}{L_1} \left(1 + \frac{L_1}{L_2}\right) x^2 + \frac{1}{L_1 C} x - \frac{R}{L_1 L_2 C} = 0 \quad (4)$$

Posons

$$\frac{1}{L_1 C} = P (P > 0) \quad \frac{R}{L_2} = Q (Q > 0)$$

$$\frac{L_1 + L_2}{L_1} = S (S > 0)$$

L'équation donnant  $I$  sera de la forme

$$y = x^3 - Q S x^2 + P x - P Q$$

polynôme du troisième degré qui admet soit trois solutions réelles, soit une solution réelle et deux solutions imaginaires conjuguées.

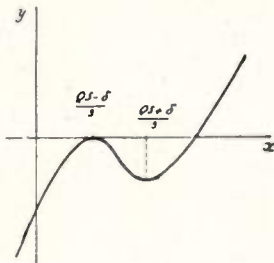


FIG. 4

Etudions la fonction dérivée :

$$y' = 3x^2 - 2QSx + P$$

qui s'annule pour

$$x_0 = \frac{QS \pm \sqrt{Q^2 S^2 - 3P}}{3}$$

a) Si  $Q^2 S^2 - 3P < 0$ ,  $y'$  est toujours positive

et ne s'annule jamais, la solution représente une oscillation dont les amplitudes décroissent suivant une forme exponentielle. Cette solution ne peut convenir puisqu'elle est de forme oscillatoire.

b) Si  $Q^2 S^2 - 3P > 0$

on pose  $Q^2 S^2 - 3P = \delta^2$  avec la condition  $\delta < QS$   
on en déduit  $x_0 = \frac{QS \pm \delta}{3}$

on aura obligatoirement  $x_0 > 0$

L'équation de  $y$  admet trois solutions réelles. Il y a lieu de rechercher une valeur critique pour laquelle deux solutions sont confondues. La courbe  $y$  doit donc toucher l'axe des  $x$  en deux points confondus d'abscisse  $x_0$ .

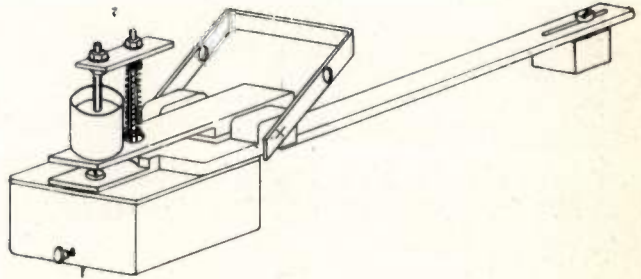


FIG. 5

Le tableau ci-dessous montre la variation de la courbe :

| $x$  | $-\infty$ | $0$    | $\frac{QS - \delta}{3}$ | $\frac{QS + \delta}{3}$ | $+\infty$ |
|------|-----------|--------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| $y'$ |           | +      | $P$                     | $0$                     | +         |
| $y$  | $-\infty$ | $-P_0$ | Max $0$                 | Min                     | $+\infty$ |

La branche inférieure de la courbe (fig. 4) est située en entier du côté des  $y$  négatifs. Le premier maximum comprenant les deux solutions confondues sera la valeur cherchée correspondant à

$$x_0 = \frac{QS - \delta}{3}$$

que nous porterons dans l'expression de  $y$  qui prend la valeur

$$y_0 = \frac{-2Q^3 S^3 - 9PQ(3 - S) + 2\delta^3}{27}$$

Comme  $\delta < QS$  en remplaçant  $\delta$  par  $QS$  inégalité qui donnera la relation cherchée.

Elle est satisfaite pour  $S > 3$

Comme  $\delta = \frac{L_1 + L_2}{L_1}$ ; on en déduit que :  $L_2 > 2L_1$

Ainsi, le moment d'inertie du contrepoids doit être au moins deux fois celui du graveur pour obtenir un amortissement des oscillations de résonance du graveur (l'amortissement critique est obtenu pour  $L_2 = 2L_1$ ).

Le système est donc susceptible de répondre au but pourvu, car :

1<sup>o</sup> Pour les fréquences élevées le condensateur agit comme un véritable court-circuit.

2<sup>o</sup> Les fréquences perturbatrices voisines de la fréquence de résonance resteront sans effet, étant donné que l'on a atteint au moins l'amortissement critique.

3° Pour les fréquences perturbatrices basses, le rôle de la résistance représentant le dash-pot sera négligeable et l'on retrouvera le fonctionnement en fléau libre.

#### VII. — RÉALISATION PRATIQUE

Dans la pratique, les perturbations citées en 2° sont dues au moteur, auxquelles s'ajoutent les excitations par chocs, et les perturbations citées en 3° sont essentiellement dues aux défauts de planéité.

Le moteur d'entraînement du tourne-disques est généralement alimenté en 50 p/s, et tourne à 1 500 t/mn ; les impulsions qu'il provoque sont donc à une fréquence de 25 p/s. Les servitudes de réalisation amènent le fléau à avoir une résonance assez voisine de ce chiffre. Aussi, doit-on s'efforcer d'amener le fléau à l'amortissement critique afin de ne pas amplifier les impulsions données par le moteur.

En appelant  $m_1$  la masse du graveur,  $m_2$  celle du contrepoids,  $r_1$  la distance à l'axe d'oscillation du centre de gravité du graveur et  $r_2$  la distance de cet axe au centre de gravité du contrepoids, on devra avoir l'inégalité :

$$m_2 r_2^2 > 2 m_1 r_1^2$$

Une juste proportion doit évidemment être observée, car un trop grand moment d'inertie du

contrepoids par rapport au graveur provoquerait un accroissement du freinage susceptible d'amener les variations de profondeur du sillon par suite du mouvement de l'ensemble.

En fait, on recherche le dimensionnement optimum en agissant simultanément sur la longueur au bras de levier, la masse du contrepoids sur l'importance du frein et sur la viscosité de l'huile.

Dans la réalisation que nous avons effectuée et représentée par la figure 5, il a été fait emploi d'un graveur plat tenu par un fléau en forme d'étrier oscillant sur un axe. Sur cet axe, entre les branches de l'étrier, un second fléau peut osciller. Ce fléau porte à une extrémité le frein à huile et à l'autre le contrepoids. Une pièce fixée sur le chariot de gravure porte l'axe de pivotement, et un ressort, non figuré pour la clarté du dessin, relie le fléau contrepoids au chariot en fournissant la pression de gravure voulue.

#### VII. — RÉSULTATS OBTENUS

Le système de suspension décrit nous a permis d'obtenir à 33 t/mn une gravure microsillon satisfaisante de disques souples, avec une largeur de sillon de l'ordre de 60 microns. Il est évident qu'il y a malgré tout avantage à réduire au maximum les vibrations propres de la machine ; dans ce but, il pourrait être intéressant de revenir à la disposition, peu usitée à l'heure actuelle, constituant à séparer nettement le moteur d'entraînement du bâti de la machine.

## LE DISQUE POUR ENREGISTREMENT DIRECT

PAR

MM. A. B. SAINT-HILAIRE, *Ingénieur E. C. P.*

et L. RAVEL, *Directeur de la Société Pyral*

Le disque cellulosique pour enregistrement direct est constitué par une « âme » généralement en aluminium recouverte sur les deux faces d'une laque cellulosique.

Les matières de base du vernis sont : la métrocellulose, des plastifiants et des colorants.

La composition et le choix des constituants est fait en fonction des qualités requises :

1° Adhérence de la couche de vernis sur l'aluminium.

2° Facteur temps. Conservation.

3° Coupe de la matière. Cas du microsillon.

4° « Raideur » de la matière, alliant une coupe facile et une réponse correcte aux fréquences élevées.

La gravure des fréquences élevées dans une matière « dure et élastique » (vernis cellulosique) est limitée par « l'impédance mécanique » de la matière.

5° Facteur humidité.

Composition et contrôle du vernis en fonction de ces propriétés.

Fabrication des disques.

Mélange et filtration du vernis. Contrôles physico-chimiques.

Étendage automatique par machine en « continu »

Contrôle des disques.

Mesures électroacoustiques :

Bruit de fond. Dynamique. Réponse des fréquences élevées du bord au centre.

Conclusion.

Examen critique des divers facteurs de qualité : Métallurgie de l'aluminium. Matières premières du vernis. Conditions de fabrication. Conditions d'emploi.

## SECTION V. — APPLICATIONS ET EXTENSIONS

### ENREGISTREMENT AUTOMATIQUE DE LA PLUVIOMÉTRIE D'UNE HAUTE VALLÉE EN VUE DE TRAVAUX HYDROÉLECTRIQUES

PAR

André BALP

*Ingénieur en chef*

*Laboratoire de Recherches Électro-mécaniques*

L'étude hydrologique d'une haute vallée est à la base de tous travaux hydroélectriques éventuels. Nous avons étudié pour l'E. D. F. un équipement d'études pluviométriques pour la haute Durance qui présente l'originalité d'utiliser des enregistrements magnétiques locaux (à chaque pluviomètre, installé en haute montagne, et accessible seulement 2 fois par an) qui sont transmis automatiquement par radio à un centre d'enregistrement également magnétique. L'ensemble du système est conçu de façon à économiser l'énergie au maximum afin de permettre 6 mois de fonctionnement sans intervention humaine. Il constitue un exemple de l'emploi de mémoire comme relais dans une chaîne d'information.

Il est inutile de s'étendre sur l'importance des enregistrements sonores dans la vie moderne : toutefois, cette notion d'enregistrement sonore fait surtout penser au cinéma parlant, aux appareils dictaphones ou autres, bref à tout ce qui est utilisé pour reproduire la parole humaine, la musique, des bruits divers, le tout à usage de reproduction, pour être finalement écouté par des oreilles humaines.

Or, ces enregistrements sonores peuvent devenir des enregistrements de phénomènes tout autres que sonores, avec une destination tout autre que l'oreille humaine, tout en conservant exactement le procédé d'enregistrement, voire même le procédé de reproduction utilisé pour les sons.

Le cas très particulier que nous présentons ci-dessous montre un exemple que nous pensons très représentatif de ce genre d'opérations.

Nous devons d'ailleurs signaler tout d'abord que le système décrit n'a pas reçu d'autres réalisations pratiques que les essais qui en ont confirmé l'excellent fonctionnement, cette absence de réalisation étant due à des facteurs financiers totalement étrangers au fonctionnement du système.

#### Problème.

Vers la fin de l'année 1951, l'E. D. F. soumettait le problème suivant :

En vue d'étudier la pluviométrie de la Haute Vallée de la Durance, étude intéressante au plus haut point les équipements hydroélectriques projetés dans cette vallée, l'E. D. F. se proposait d'installer dans le massif montagneux d'amont un certain nombre de pluviomètres. Ceux-ci seraient placés dans un certain nombre de bassins de haute altitude, et, étant donné les circonstances atmosphériques particulièrement en hiver, on devait considérer que ces appareils seraient pratiquement inaccessibles pendant plusieurs mois consécutifs.

Le problème était d'ailleurs posé de façon extrêmement précise par une note du Service des

Études et Recherches hydrauliques, division Hydrologie de l'E. D. F., note qui nous avait été communiquée par M. l'ingénieur SERRA et dont voici la teneur :

« La rareté, et parfois l'absence totale dans certaines vallées de haute montagne, de tout lieu habité, limite considérablement le choix des emplacements des pluviomètres.

« Il est cependant certaines études hydrologiques où la nécessité de mesures de précipitations en des points éloignés ou d'accès difficile se fait impérieusement sentir.

« 1<sup>o</sup> En certains cas, lorsque par exemple, il ne faut pas plus de quelques heures de marche pour se rendre à l'emplacement du pluviomètre — et cela durant la belle saison — on pourra utiliser des appareils enregistreurs à mouvement mécanique et dont le diagramme se déroule en quinze jours, ou à la rigueur huit jours.

« 2<sup>o</sup> Lorsque les conditions d'accès deviennent difficiles — éloignement, neige, risques d'avalanches, etc..., — il sera nécessaire de s'orienter vers les télémesures.

« — On peut d'abord envisager une *télétransmission par fil*. Le type de pluviomètre utilisé (pluviomètre à augets basculeurs construit par les Établissements Précis-Mécanique) peut être équipé d'une lame vibrante mise en mouvement à chaque basculement des augets, et envoyant ainsi au cours des averses une série d'impulsions basse fréquence enregistrées sur un appareil récepteur installé dans la vallée. Ce dispositif reste cependant soumis à tous les aléas des lignes électriques ou téléphoniques en haute montagne, c'est-à-dire : risques fréquents de rupture en hiver par la neige ou les avalanches.

« — Une solution séduisante, si elle est pratiquement réalisable, consiste dans l'*émission par radio* des impulsions liées à chaque basculement des augets.

« *Émission radio des indications du pluviomètre.*

« Un premier examen rapide du problème conduit aux constatations suivantes :

« a) les averses se produisent dans le temps d'une façon irrégulière et pratiquement impré-

« visible. Il faudrait donc pour les enregistrer toutes, que le poste radio équipant le pluviomètre fasse de l'émission continue. Cela pose le problème de l'alimentation, qui ne peut se faire ici que par accumulateurs, lesquels doivent pouvoir durer plusieurs mois.

« b) on pourrait peut-être imaginer un dispositif qui, dès les premières gouttes de pluie mettrait en route l'appareil émetteur, celui-ci s'arrêtant à la fin de l'averse; on risque dans ce cas de perdre les premiers basculements des augets pendant le temps de chauffage des lampes.

« Et, inconvénient plus sérieux, des gouttellettes de brouillard ou de rosée peuvent mettre l'émetteur en marche sans qu'aucune précipitation véritable ne puisse être enregistrée.

« c) d'une manière un peu plus simple, on peut envisager des émissions à intervalles de temps réguliers. Dans les études hydrologiques poursuivies, il n'est en effet pas indispensable de connaître de façon absolument rigoureuse les variations continues de la pluie en fonction du temps. Il suffit de prendre comme unité de temps le quart d'heure et savoir quelle quantité d'eau est tombée pendant cette période.

« On peut donc concevoir un appareillage du type suivant :

« Une partie mécanique (roues dentées, cames ou tout autre système à étudier) enregistre le nombre de basculements des augets pendant un quart d'heure. Le nombre de basculements varie de 0, s'il n'a pas plu, à un maximum de l'ordre de 500 (chaque basculement correspond à 1/10 de mm de pluie, et les averses exceptionnelles peuvent atteindre 50 mm en un quart d'heure). Quelques secondes avant l'émission un dispositif allume les lampes, puis l'appareil émet un signal composé de 1 à 3 chiffres représentant les indications enregistrées par la partie mécanique, et tout l'ensemble revient à zéro.

« A première vue, une telle émission doit durer, temps de chauffage compris, une trentaine de secondes. L'alimentation n'est donc en marche effective que 45 à 50 minutes par jour, ce qui diminue les tournées de remplacement des accus.

« d) on peut évidemment imaginer tout autre système de transmission radio: tout est possible, sinon en pratique, du moins en théorie.

« Par exemple, on pourrait s'arranger pour qu'après inscription, la bande enregistreuse d'un pluviomètre à fonctionnement mécanique du type courant, vienne s'appliquer sur un plan et une fois par jour un appareil à mise en route automatique en ferait une photographie et la transmettrait par Bélinogramme.

« On peut aussi chercher à utiliser des cellules photoélectriques, etc...

« L'essentiel est de réaliser un dispositif robuste pouvant fonctionner sans contrôles trop fréquents, et d'un prix raisonnable pour que l'on puisse envisager une construction en série.

« e) dernière remarque : les emplacements des pluviomètres pourront en général être choisis de façon qu'ils soient vus du poste central récepteur.

« Ce poste doit pouvoir recueillir les indications d'au maximum 4 à 5 émetteurs (dans la solution C on peut sans inconvénient prévoir un décalage dans le temps des diverses émissions qui se feraient tous les quarts d'heure).

« Les distances maxima entre émetteur et récepteur n'excéderont pas une dizaine de kilomètres. »

#### Solution.

Nous avons étudié conjointement avec l'ingénieur TAUPIN des constructions Nora-Radio à Salon-de-Provence, spécialisé dans les transmissions à très hautes fréquences, une solution à ce problème. Cette solution nous semble entrer parfaitement dans le cadre des discussions du Congrès, puisque comme on va le voir, elle utilise, d'un bout à l'autre de la chaîne, des procédés d'enregistrement habituellement utilisés pour les sons.

Le système consiste schématiquement à utiliser la chaîne suivante :

Le pluviomètre qui est du type à augets basculeurs porte, solidaire de son axe de basculement, un petit aimant qui est susceptible à chaque basculement de venir passer à proximité immédiate d'un ruban magnétique. Ce ruban mesure, par exemple, une soixantaine de centimètres et forme une boucle sans fin enroulée sur un tambour d'environ 18 cm de diamètre. Ce ruban occupe donc la périphérie du tambour.

Le ruban porte un pré-enregistrement d'amplitude constante à une fréquence de, par exemple, 5.000 cycles.

Chaque fois que le passage du petit aimant porté par l'axe du pluviomètre a lieu, ledit aimant efface quelques périodes du pré-enregistrement. Il va de soi que cet effacement constitue un enregistrement du basculement et que si l'on reproduit ultérieurement le pré-enregistrement à 5.000 cycles, les « trous » dans cet enregistrement correspondront chacun à un basculement du pluviomètre.

Supposons que le tambour soit entraîné par un petit moteur pour effectuer une rotation complète en 15 minutes par exemple. Au bout de ces 15 minutes, on aura donc stocké sur le ruban les 15 minutes d'observations du pluviomètre. Notre ruban constitue donc une mémoire de 15 minutes vis-à-vis du pluviomètre.

L'ensemble du système est agencé de telle sorte qu'au bout des 15 minutes, on provoque d'une part l'allumage d'un petit émetteur VHF, puis la rotation pendant une seconde du tambour porte-mémoire devant une tête de lecture, suivie d'ailleurs d'une tête d'effacement et d'une tête de réinjection du pré-enregistrement à 5.000 périodes, restituant au ruban sa « virginité » pour 15 minutes. Pendant la seconde de rotation rapide du tambour, l'émetteur transmet l'enregistrement des 15 minutes précédentes de pluviomètre, et le cycle reprend.

La suite de la chaîne se conçoit d'elle-même :

A la station centrale de la vallée, un récepteur enregistre l'émission du pluviomètre, toujours sur un ruban magnétique que l'on pourra, soit conserver, soit utiliser de suite pour inscrire sur un enregistreur les observations. Cette dernière solution avait d'ailleurs été retenue, puisque pour se libérer des questions de synchronisation, on admettait un déroulement continu du ruban à la réception, ruban qui, effacé après utilisation des renseignements enregistrés, pouvait resservir pour un nombre considérable d'opérations.

## Construction de l'équipement.

Nous ne décrivons pas les détails constructifs du système, détails qui sortiraient du cadre de cette communication. Toutefois, nous signalons qu'un bilan énergétique extrêmement étudié de l'ensemble de l'équipement a permis d'affirmer un fonctionnement complètement autonome du système supérieur à 3.000 heures, soit environ 4 mois.

Au bout de ce délai, l'intervention humaine se limiterait à l'échange d'une batterie de 50 à 60 ampères-heure sous 6 V., charge qu'il est très admissible de transporter en haute montagne à la fin de l'hiver.

Nous ne nous étendons pas non plus sur le multiplage du système lequel n'intervient d'ailleurs qu'à la réception et consiste simplement à coupler judicieusement les  $N$  enregistreurs correspondants au  $N$  pluviomètres. La sélection des  $N$  émissions est bien entendu assurée par l'utilisation de  $N$  fréquences de transmission.

Enfin, la totalité de l'équipement peut être construite avec le matériel électronique normal du commerce, facteur non négligeable au point de vue des rechanges éventuels et des amortissements.

## Précision du système.

La précision du système est facilement prévisible. On sait que par construction, les pluviomètres du type prévu donnent pour une averse exceptionnelle, quelque chose comme 500 basculements en 15 minutes, soit un basculement toutes les 2 secondes.

Avec le système exposé ci-dessus, le pire qui puisse arriver est que la rotation rapide pendant l'émission qui dure, disons 1,5 seconde pour être large, encadre un basculement, lequel de ce fait ne serait pas transmis. Ceci constituant le cas le plus défavorable, l'erreur maximum possible serait de 1/500<sup>e</sup>, soit 2 %, précision très remarquable pour ce genre d'appareillage et de mesure.

Il reste bien entendu que cette précision peut être quelque peu affectée par les parasites atmosphériques oblitérant la transmission radio : ce fait est commun à toutes transmissions radio et le système employé présente dans cette circonstance, l'avantage considérable de caractériser la mesure par une absence de signal et surtout par l'absence d'un signal bien déterminé, comme l'est une fréquence de modulation de 5.000 cycles, facile à différencier des parasites atmosphériques, même violents.

## LE TYPOSONOGRAPHE PHONÉTIQUE OU PHONÉTOGRAPHE

DE

J. DREYFUSS-GRAF

*Ingénieur du Polytechnicum de Zurich*

RAPPORTÉ

PAR Louis CHALLIER

*Ancien élève C. A. M. de Paris**Élève titulaire de l'École pratique des Hautes Études*

Le phonétographe s'inscrit dans la ligne de toutes les réalisations de machines électroniques modernes destinées à produire une économie de pensée maximum, analogue à celle que procurait dans le passé la science mathématique; elle est la première réalisation — sous son type n° 2 — d'un dispositif de métamorphose du langage parlé en un texte imprimé phonétiquement par une machine à écrire électrique située à n'importe quelle distance de quelque endroit du globe que ce soit.

Afin de réaliser le mécanisme employé, il faut d'abord examiner celui de l'émission d'éléments phonétiques par la bouche humaine. C'est ainsi que cet examen révèle un orchestre phonétique comprenant, 6 gammes d'ondes porteuses entre 150 et 4.000 hertz, et 3 gammes d'ondes portées entre 30 et 180 hertz qui renseignent sur la vitesse de variation des énergies rayonnées (énergies transitoires).

Le phonétographe de DREYFUSS-GRAF transpose le langage parlé en des groupes de 9 impulsions correspondant à 9 gammes, à la cadence de 10 groupes par seconde environ. Un « cerveau » de relais électro-dynamiques, inédit, inventé également par lui (et breveté), comportant des qualités exceptionnelles d'énergie minimum et de rapidité de réponse, compare ces impulsions 2 à 2 selon un système différentiel qui fournit les éléments d'information en code trinaire : 0 + —.

Un groupe de 9 impulsions donne 8 éléments dénommés TIT; qui peuvent distinguer jusqu'à 6.561 informations parmi lesquelles on choisit les quelques douzaines d'éléments alphabétiques actionnant la machine à écrire (type I. B. M. électronique).

Un système de lampes-témoins associées au cerveau dynamique montre simultanément sur un tableau les spectres d'information permettant à un sourd de suivre une conversation. La largeur de la bande de fréquence nécessaire pour transmettre des phonétogrammes est de 270 hertz, selon la théorie de FOURIER, et de 135 en pratique.

Le prototype I ne contenait que 6 filtres de bande (1). Le type II en contient 9 et l'orthophonie devrait remplacer l'orthographe. On peut construire un phonographe semi-orthographique mais il serait beaucoup plus coûteux qu'un phonétographe.

Par contre, il est facile d'adjoindre une mémoire de 10 chiffres de 0 à 9.

Parmi les applications possibles du phonétographe, on peut distinguer les télécommunications avec messages secrets du personnel à économie maximum de manipulations, la commande du téléphone automatique, celle d'ascenseurs, de serres, de messages individuels ultra-personnels et la commande verbale de machines à calculer, etc...

## SUR UN DISPOSITIF D'ENREGISTREMENT DES IMPULSIONS

PAR

Yves DRUET et Rudolf KUHNE

Ingénieurs de recherches à l'O. N. E. R. A.

Un dispositif d'enregistrement magnétique de données numériques a été réalisé sur un cylindre tournant recouvert d'un matériau ferromagnétique. Les chiffres d'un même nombre sont inscrits en parallèle et lus de même par la méthode de saturation avec retour à zéro. Les têtes d'enregistrement et de lecture sont semblables, mais distinctes. On a expérimenté des têtes frottant ou non sur le support et l'influence de leur construction. L'ensemble comprend un dispositif d'adresse, des amplificateurs de lecture, un dispositif d'enregistrement, un chiffre de transfert à temps d'accès nul et un dispositif de commande automatique.

Le dispositif d'enregistrement d'impulsions dont il va être question se compose d'un porteur de l'inscription, des têtes d'enregistrement et de lecture associées, et de circuits électroniques.

Le porteur utilisé pour l'étude du système est constitué par un cylindre en laiton recouvert soit de fil « Tophet M » pour enregistrement magnétique du son, soit de nickel électrolytique, soit enfin de poudre d'oxyde de fer pour magnétophone. Le porteur défile devant des têtes magnétiques, dont l'entrefer est disposé suivant une génératrice du cylindre. Pour effectuer l'enregistrement, la tête est parcourue par un courant continu  $I$ , dans un sens ou dans l'autre, pendant la durée nécessaire à la formation d'un doublet magnétique. Celui-ci est dirigé suivant une circonférence du cylindre, le

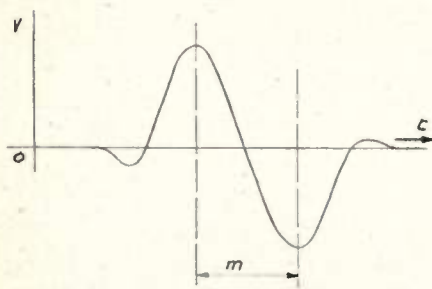


FIG. 1

pôle Nord étant, par rapport au sens de rotation, en aval ou en amont du pôle Sud, suivant le signe de  $I$ . Le chiffre 0 correspond à une orientation, et le chiffre 1 à l'autre. Lorsque le doublet défile devant la tête de lecture, il induit dans celle-ci une tension dont la forme est donnée par la figure 1. On y voit une pointe positive suivie d'une pointe négative, dans le cas de l'enregistrement d'un 1; la pointe positive ferait suite à la pointe négative dans le cas de l'enregistrement d'un 0. La distance géométrique  $m$  sur le porteur entre ces 2 points est caractéristique de la densité d'information que l'on peut enregistrer le long d'un cercle.

Les têtes que nous avons utilisées pour ces essais sont de petites dimensions, de façon à pouvoir en loger le plus grand nombre dans le plus petit espace. Supposons une de ces têtes, de forme et de dimensions données. Pour une vitesse  $V$  du porteur,  $m$  correspond à une durée  $t$ . L'expérience montre que si  $t$  est très court,  $m$  a une valeur minimum, qui a été dans nos essais de 0,16 mm sur fil magnétique, et 0,12 mm sur poudre ferrique.

Si  $t$  augmente,  $m$  reste d'abord constant, puis augmente proportionnellement à  $t$ . La valeur minimum de  $m$  est 2 à 5 fois celle de l'entrefer. Elle varie avec les dimensions de la tête, mais nous n'avons pas pu obtenir de relation nette entre les données géométriques et le nombre caractéristique  $m$ .

La réponse en impulsions peut cependant être comparée à la réponse en régime sinusoïdal. Un dispositif à 3 têtes (d'enregistrement, de lecture et d'effacement) peut être assimilé à un quadripôle,

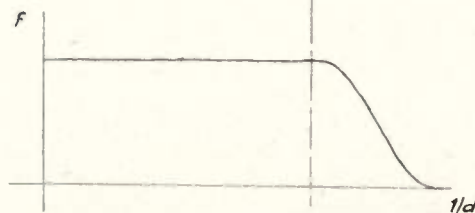
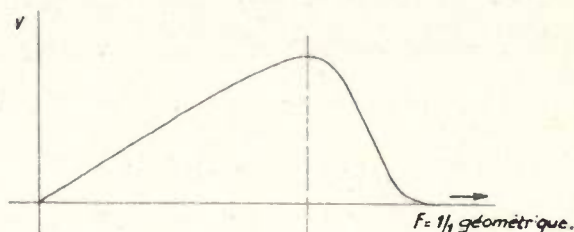


FIG. 2 a et b

l'entrée étant constituée par la tête d'enregistrement, et la sortie par la tête de lecture. Si l'entrée est alimentée par un courant sinusoïdal de tension constante, la tension de sortie en fonction de la fréquence  $f$  ou  $1/\lambda$  ( $\lambda$  étant la longueur d'onde géométrique sur le porteur) est donnée par la figure 2a. On pourrait déterminer, par le calcul, la réponse de ce quadripôle à des impulsions de très courte durée. Mais la comparaison aux résultats expérimentaux ne pourrait être qu'approximative, du fait de la non linéarité du système.

Nous avons procédé différemment : Si l'on diminue progressivement la distance géométrique  $d$  entre les impulsions successives, nous obtenons des formes d'ondes qui se déforment progressivement, et dont l'amplitude varie. En reportant les résultats ainsi établis, nous pouvons tirer la courbe de réponse  $E$  en fonction de  $1/d$ , et nous obtenons la figure 2b. Elle montre que l'espacement minimum admissible des impulsions correspond à une longueur d'onde légèrement plus courte que celle du maximum de la courbe 2a. Dans le cas de l'enregistrement sinusoïdal, il est possible d'utiliser la

région située au-delà de ce maximum vers les fréquences plus élevées, par l'emploi de circuits correcteurs appropriés. Ce n'est pas le cas en impulsions, et la densité maximum correspond à la chute de la courbe de la figure 2b.

Le circuit expérimental d'alimentation des têtes d'enregistrement est représenté sur la figure 3. Une impulsion attaque la grille d'un tube dont la plaque est reliée à la tête par un transformateur d'impulsions. Le courant  $I$  dans la tête met un certain temps pour atteindre sa valeur maximum. Soit  $n$ , le nombre de spires de la tête. La self de celle-ci sera :  $L = An^2$ ;  $A$  est un coefficient dépendant de la construction de la tête, proportionnel

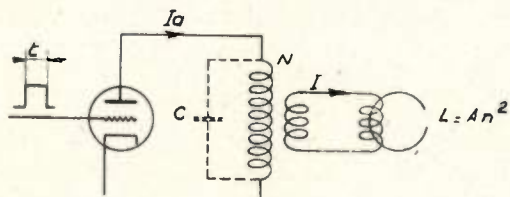


FIG. 3

à la section et à la perméabilité effective, et inversement proportionnel à la longueur du fer.

La saturation du porteur est obtenue pour un nombre d'ampères-tours :  $K = nI$ ,  $K$  dépendant de la forme de la tête et de la nature du porteur. Si  $L_p$  et  $C$  sont la self et la capacité rapportées au primaire du transformateur, le temps nécessaire pour obtenir  $I \times 0,9$  est, d'après REUBEN LEE (*Electronic transformers*, p. 233) et pour l'amortissement critique :

$$t = \pi \sqrt{L_p C}$$

Le courant plaque  $I_a$  du tube d'excitation est alors

$$I_a = K \pi \sqrt{A C} / t$$

Le rapport  $N$  du transformateur disparaît dans cette expression.

Nous désirons utiliser le tube le plus petit possible pour l'excitation. Il faut alors prendre  $t$  maximum, celui-ci étant limité par le nombre  $m$  comme nous l'avons vu plus haut. La section  $S$  du fer est faible : nous avons pris des épaisseurs de 0,05 et 0,1 mm. La capacité  $C$  est réduite au minimum. Le rapport de transformation et le nombre de spires de la tête sont choisis pour des raisons de commodité, puisque  $I_a$  est indépendant de ces 2 quantités. D'autre part, si l'on modifie les dimensions de la tête, on modifie le nombre  $K$ . La longueur du fer est finalement réduite. Le matériau utilisé doit avoir une saturation élevée. Nous avons pris du mumétal, quoique n'étant pas le plus favorable, parce qu'il était disponible dans les épaisseurs désirées, mais il est prévu d'utiliser un matériau magnétique plus approprié.

Deux dispositions relatives têtes/porteur ont été expérimentées : d'une part, celle habituellement adoptée dans les mémoires à impulsions pour machines à calcul, dans lesquelles les têtes se trouvent à une très faible distance du porteur, et d'autre part celle des têtes touchant le support, comme il est habituel dans l'enregistrement sonore. Cette dernière solution présente l'avantage de demander une construction beaucoup moins précise du cylindre et des dispositifs de montage des têtes. Elle présente par contre l'inconvénient de

demander une puissance d'entraînement plus élevée, un porteur résistant, et une construction de têtes évitant une usure prématurée.

À l'inscription, une distance  $d = 0,05$  mm entre tête et porteur amène une diminution du niveau de sortie de l'ordre de 6dB, qui ne peut être compensée par une augmentation du courant d'inscription, toujours saturant pour le porteur. La tension de lecture, pour une même aimantation du porteur diminue d'environ 1dB par 1/100 mm. La largeur de l'inscription (nombre  $m$ ) augmente aussi avec la distance. Nous avons trouvé un élargissement de 30 % pour une distance de 0,06 mm.

Finalement, nous admettons que, pour des têtes non frottantes, la distance  $d$  ne doit pas dépasser 0,02 à 0,03 mm, avec une tolérance d'au maximum 0,01 pour le réglage des têtes et pour l'excentricité du cylindre.

Dans le montage actuellement en exploitation, et que nous allons décrire, nous avons adopté la solution des têtes frottant sur un porteur constitué par le fil d'acier « Tophet M », enroulé à spires jointives et encollé sur un cylindre en laiton. La construction des têtes, spécialement étudiée, est schématisée par la figure 4. Nous avons recherché un faible coefficient d'inductivité, de faibles pertes

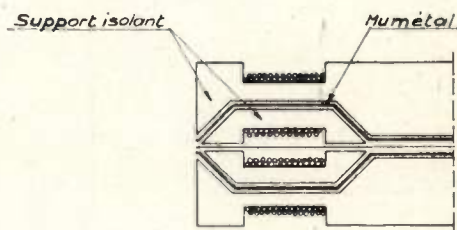


FIG. 4

par courants de FOUCAULT, fuites magnétiques, capacités parasites et des dimensions réduites. Chaque tête se compose de 2 parties identiques accolées, chacune comprenant un support et un noyau en matière isolante. Le support et le noyau serrent le mumetal comme dans un étau. Un enroulement est disposé sur chaque demi-tête. L'entrefer est obtenu par une lame de bronze entre les deux demi-parties. La résistance à l'usure est obtenue en évitant de faire frotter le mumetal contre la surface du cylindre. Le contact a lieu sur la surface du support isolant, qui est relativement grande. La pression par unité de surface reste faible, l'usure de la matière isolante très lente.

L'ensemble du dispositif d'enregistrement des impulsions constitue une mémoire parallèle, les chiffres d'un nombre ou d'un mot étant enregistrés ou lus simultanément. Chaque nombre est inscrit le long d'une génératrice du cylindre en rotation. Les chiffres de même rang des différents nombres sont répartis le long d'une circonférence. L'enregistrement étant effectué à saturation avec retour à zéro, l'inscription d'un chiffre confirme ou efface automatiquement celui précédemment situé à la même place.

La figure 5 représente le diagramme simplifié de la mémoire. Devant le cylindre se trouvent les têtes magnétiques d'enregistrement, distinctes des têtes de lecture. Chaque tête d'enregistrement définit une piste. L'une de celles-ci est réservée à l'inscription d'une suite de 1 et sert de référence de position. Les impulsions lues sur cette piste sont transmises au compteur du sélecteur d'adresses.

La capacité de ce compteur est égale au nombre de génératrices utiles. Il revient à zéro à chaque tour du cylindre.

Le sélecteur d'adresses comprend aussi un chiffreur et un dispositif de comparaison. Sur le chiffreur est affichée l'adresse à laquelle un nombre doit être lu ou enregistré. Lorsqu'il y a identité

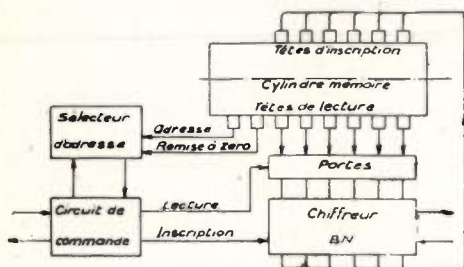


Fig. 5

entre les nombres inscrits sur le chiffreur et sur le compteur, le sélecteur crée une impulsion qui provoque le transfert interne entre le cylindre de la mémoire et le chiffreur statique intermédiaire BN.

Un nombre à enregistrer, se trouvant dans la machine associée à cette mémoire, est d'abord transféré sur le chiffreur BN. Ce transfert n'a lieu que si BN est libre, c'est-à-dire a été remis à zéro. La mémoire est informée de son exécution. Ensuite, l'impulsion venant du sélecteur d'adresses provoque le transfert du contenu de BN sur le cylindre. Enfin, la machine est informée que l'enregistrement a été effectué.

Pour la lecture, le processus est analogue : BN ayant été remis à 0, le sélecteur d'adresses provoque le transfert du nombre choisi, du cylindre sur le chiffreur BN. La machine est avertie de son exécution. Elle reçoit sur sa demande l'information contenue dans BN qui est aussitôt remis à zéro.

L'ensemble de ces opérations est effectué par l'intermédiaire du circuit de commande. Il n'y a aucune synchronisation entre la mémoire et la machine associée. En effet, celle-ci ne connaît que le chiffreur BN qui constitue une mémoire statique à temps d'accès nul.

Le dispositif comprend encore un autre chiffreur BP, semblable à BN. Ce chiffreur BP est destiné à l'affichage des instructions (ou programme), dont une partie est utilisée par la machine et l'autre par la mémoire elle-même. En particulier, BP reçoit l'adresse à laquelle le nouvel ordre ou nombre doit être enregistré ou lu, et l'envoie au sélecteur. BP est effacé lorsque toutes les informations qu'il contient ont été utilisées.

La longueur du cylindre actuel est de 20 cm, son diamètre de 6 cm. Sa vitesse de rotation est actuellement de 6.000 t/min, la vitesse circonférentielle d'environ 20 m/sec. Le temps d'accès serait de 10 millisecondes, si l'on utilisait la même tête pour la lecture et pour l'enregistrement, le temps d'accès moyen étant encore de 5 millisecondes. Étant donné la vitesse de fonctionnement de la machine associée, ce temps d'accès est encore relativement long. Cependant, nous avons considéré que la mémoire contient : des ordres établis à l'avance, des données, les résultats finaux recherchés et des résultats intermédiaires. En général, les premiers peuvent être disposés de façon à se présenter au moment où ils sont nécessaires. Les résultats intermédiaires sont, par contre, souvent

inscrits pour un temps plus court. C'est dans le but de diminuer le temps d'accès à ceux-ci que les têtes d'enregistrement sont distinctes des têtes de lecture et que celles-ci sont décalées de  $22^{\circ} 30'$ , le long d'une piste, et en retard par rapport aux têtes d'enregistrement. Ainsi, une information est disponible 0,6 milliseconde après son enregistrement. Une erreur dans le décompte des temps lors du programmation n'a pour inconvénient que de perdre 10 millisecondes. Du point de vue construction, le nombre de têtes est doublé, mais leur fabrication est plus simple, ainsi que celle des circuits électroniques.

Le circuit d'enregistrement comprend un tube pour l'inscription de 0, un tube pour l'inscription de 1, et un circuit d'inhibition. La figure 6 représente ce circuit. La sortie du bistable du chiffreur BN, contenant un chiffre à enregistrer attaque le circuit d'inscription par l'intermédiaire d'un transformateur d'impulsion T1. Si le chiffre à indiquer est 0, la porte du bistable est fermée; la diode D1 au repos, est conductrice et le tube V1 est au

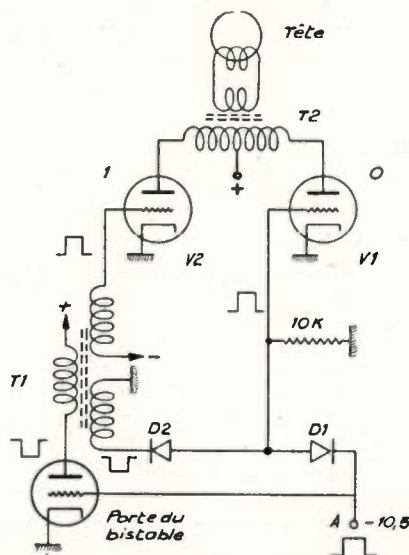


Fig. 6

cut-off. Une impulsion de transfert du chiffre est envoyée en A. La diode D1 se bloque, le tube V1 devient conducteur. Il en résulte dans la tête une impulsion de courant (positive).

Si le chiffre à inscrire est 1, la porte du bistable est ouverte. L'impulsion de transfert qui attaque aussi l'entrée de cette porte donne une impulsion rendant la diode D2 conductrice, et le tube V1 reste au cut-off. En même temps, le tube V2 conduit et il en résulte sur la tête une impulsion de courant de sens inverse de la précédente (négative).

La lecture utilise un transformateur d'impulsion suivi d'un amplificateur classique à un tube et d'une porte.

Le sélecteur d'adresse comprend un compteur d'adresses, un chiffreur d'adresses et un circuit de comparaison, comme nous l'avons vu. Le compteur et le chiffreur sont comparés à tout instant. Cette comparaison se fait étage par étage. La figure 7 montre le schéma du comparateur. Chaque bistable étant composé de 2 tubes ECH42, dont les parties triodes sont connectées en ECCLES-JORDAN, les

hexodes formant les portes associées, on utilise les portes de gauche (sur la figure) pour détecter une identité de position. S'il y a coïncidence, les 2 portes de gauche sont bloquées. S'il n'y a pas

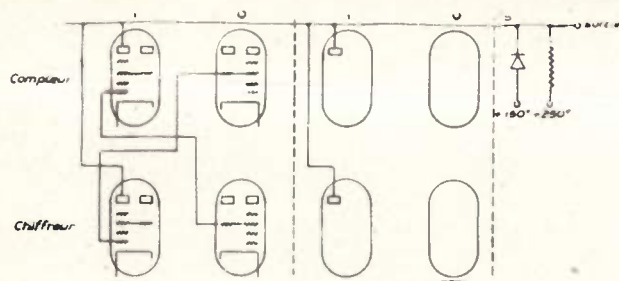


Fig. 7

coïncidence, l'une des 2 portes est ouverte par la grille G1 de l'hexode. Les quatre cas pouvant se présenter sont les suivants :

| Chiffreur sur | Chiffreur sur | Porte gauche du chiffreur | Porte droite du compteur |
|---------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| 1             | 0             | ouverte                   | fermée                   |
| 0             | 1             | fermée                    | ouverte                  |
| 1             | 1             | fermée                    | fermée                   |
| 0             | 0             | fermée                    | fermée                   |

Toutes les portes sont réunies à une ligne S pour tester la coïncidence sur tous les étages simultanément. Si une ou plusieurs portes sont conductrices, la diode D maintient la tension à  $\pm 150$  volts. Si aucune porte n'est ouverte, D est bloquée. Le signal résultant est transformé en impulsion de commande par un circuit approprié.

La mémoire réalisée suivant les principes qui viennent d'être examinés fonctionne de façon satisfaisante depuis un an, avec un nombre de têtes réduit, pour essais. Le cylindre de la mémoire définitive en cours de construction aura une longueur de 60 cm., et sa vitesse de rotation sera portée à 12.000 t/min pour diviser les temps d'accès par 2.

## QUELQUES APPLICATIONS DES TUBES CATHODIQUES A MÉMOIRE ÉLECTROSTATIQUE

PAR

Charles DUFOUR

*Chef de Service à la Compagnie générale de T. S. F.  
Centre de Corbeville à Orsay*

Les tubes cathodiques à mémoire permettent de conserver des signaux sous forme d'un dépôt de charges électriques sur un isolant. La capacité de tels tubes, comptée en nombre d'informations, reste très limitée (de l'ordre de 105 signaux) par rapport aux systèmes d'enregistrement usuels, films sonores, bandes magnétiques, etc...; mais ils présentent une très grande souplesse d'emploi :

- Vitesse d'inscription très élevée.
- Additions, soustractions de signaux.
- Possibilités de prélever les informations dans un ordre très différent de l'ordre chronologique d'inscription.

Deux exemples d'application sont donnés.

### A) Enregistrement d'un oscillogramme transitoire :

L'oscillogramme d'une vibration sonore est enregistré sur un tube à mémoire du type Graphecon sous forme de relief de charges sur une couche mince isolante. On peut l'observer sur un écran de tube cathodique au bout d'un temps arbitraire pendant quelques minutes au moyen d'une analyse Télévision simplifiée.

### B) Étude de la déformation d'un signal :

On enregistre successivement les deux signaux à comparer sur la cible isolante d'un « Barrier Grid Storage Tube ». Le signal de sortie recueilli représente la différence des deux informations.

Résultats expérimentaux obtenus à la Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil.

## MÉMOIRE DE GRANDE CAPACITÉ A BANDE MAGNÉTIQUE ET QUELQUES-UNES DE SES APPLICATIONS

PAR

C. DUMOUSSEAU

*Chef de Service  
au Laboratoire Central de Télécommunications*

La mise en mémoire d'une suite d'informations élémentaires caractérisées simplement par la présence ou l'absence d'un signe conventionnel a été obtenue depuis longtemps en faisant appel à des procédés mécaniques (systèmes à perforations),

électro-mécaniques (ensembles de contacts électriques) ou électroniques (tubes à gaz, tubes à vide).

Nous avons vu apparaître, ces dernières années, beaucoup d'autres procédés de mémoire, générale-

ment électroniques : mémoires à condensateurs, tubes-mémoires électrostatiques, mémoires matricielles magnétiques et ferro-électriques, tambours magnétiques, bandes magnétiques.

Le présent exposé a pour objet l'examen des propriétés de la mémoire utilisant la bande magnétique.

L'enregistrement des sons sur bande magnétique est à la base d'une industrie importante ayant des débouchés principalement dans les machines à dicter et dans l'enregistrement musical de haute qualité.

A partir des propriétés d'utilisation de la bande magnétique pour l'enregistrement sonore, il est possible de déduire les propriétés de ce support pour l'enregistrement des impulsions.

Cette simple transposition donne déjà des valeurs intéressantes en ce qui concerne la densité d'information et la vitesse d'enregistrement et de lecture.

Le développement d'un matériel plus approprié permet d'améliorer sensiblement ces valeurs.

La possibilité de faire défiler la même bande magnétique à des vitesses très différentes rend possible son utilisation dans des chaînes hétérogènes

d'appareils successivement lents et rapides comme, par exemple, des machines à imprimer (obligatoirement lentes) et des appareils de triage électroniques (pouvant être très rapides).

Compte tenu de ses propriétés, la bande magnétique est le matériau de choix pour de nombreuses applications où tout autre procédé serait actuellement plus onéreux et plus lent.

Elle sera, en particulier, utilisée avantageusement dans les domaines

— où la quantité d'informations mise en jeu est considérable (petit encombrement de la mémoire),

— où les opérations à effectuer sur les informations sont suffisamment simples pour ne pas créer d'embouteillage (grand débit),

— où le nombre de remises en mémoire entre deux opérations successives peut être important (économie du support),

— où interviennent des machines à imprimer (grande souplesse de vitesse).

Ces caractéristiques se rencontrent en particulier dans les problèmes de statistique élémentaire et de dispatching.

## L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE ET SON UTILISATION EN AUDIOLOGIE CLINIQUE : LE PHÉNOMÈNE DE L'AUTO-AUDITION RETARDÉE

PAR

Yves DUPON-TERSEN

*Oto-Rhino-Laryngologiste*

*Conseiller médical de la Compagnie française  
d'Audiologie*

L'adjonction sur un magnétophone d'un lecteur mobile sur un curseur permet de faire entendre à un sujet, après amplification adéquate et au moyen d'écouteurs, sa propre voix avec un délai variable. Il en résulte diverses altérations de la voix et du langage, soit par ordre de fréquence : le ralentissement de l'élocution, le phénomène de Lombard-

Tarneaud, le bégaiement classique. Ces altérations sont de nature réflexe, et sont par suite hors du contrôle de la volition. Cette expérience présente un grand intérêt pour l'étude de la psycho-physiologie du langage et, plus encore, dans le domaine de l'audiologie clinique, pour le dépistage de la simulation de surdité.

## ENREGISTREMENT GÉOPHYSIQUE SUR BANDE DE MAGNÉTOPHONE

PAR

Georges DUPOUY

*Ingénieur des Ponts et Chaussées au L. N. R.*

Des phénomènes physiques naturels tels que les variations du magnétisme terrestre, l'agitation microsismique, peuvent être enregistrés sur bande de magnétophone, avec l'aide, au besoin, d'amplificateurs. Il s'agit de phénomènes à variations bien plus lentes que dans l'acoustique usuelle; on utilise donc des enregistreurs à faible vitesse de déroule-

ment. La lecture ultérieure sur magnétophone à vitesse normale transpose les fréquences et permet d'écouter l'agitation microsismique comme un « bruit de la terre », et les pulsations du champ magnétique terrestre comme le « chant du champ magnétique ».

## UNE TECHNIQUE PHOTOGRAPHIQUE DE L'ENREGISTREMENT SONORE SUR LES DISQUES EN VERRE

PAR

Albert John FORTY  
B.A., A.M.I.E.E. British Post Office

On donne une description de la méthode de fabrication des disques de verre enregistrés du type utilisé par la « British Speaking Clock ». Des pistes sons circulaires à densité fixe sont tracées photographiquement sur des disques plats de 12" de diamètre recouverts d'une émulsion sensible. Le disque ainsi obtenu est utilisé comme un négatif à partir duquel un nombre quelconque de positifs peuvent être obtenus par procédé normal de tirage photographique. En fonctionnement, le disque est

fixé par un tenon central sur un tambour tournant et les pistes sont lues optiquement.

Une technique de copie à faible vitesse a été développée au moyen de laquelle les disques peuvent servir à une grande variété d'applications. Le fonctionnement et les performances de la caméra d'enregistrement sont décrits et les avantages et les limites de la méthode sont discutés. Une description de quelques machines et de quelques disques de ce genre est finalement donnée.

## MESURE ET TRANSMISSION DE GRANDEURS PHYSIQUES PAR LE MOYEN DE L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE : TÉLÉINDICATEUR PARLANT DE NIVEAU D'EAU

PAR

Ch. GARREAU  
(Établissements SAREG)

S'il est relativement aisé de mesurer une quantité quelconque avec un appareil approprié il est non moins facile de transmettre cette indication à distance.

Les mesures à transmettre peuvent se diviser en deux cas : soit la transmission continue, soit la transmission par tranches. Ces deux cas de transmission pouvant être réalisés, soit par des lignes spéciales, soit par des lignes existantes, par exemple les lignes téléphoniques.

En général, la transmission continue d'une mesure exige une ligne de transport spéciale, la valeur à transmettre étant une grandeur continuellement variable et la ligne étant utilisée constamment.

Dans le but d'utiliser des lignes de transport existantes, les lignes téléphoniques par exemple, on a été amené à réaliser des appareils transmettant une grandeur physique fractionnée par tranches.

L'appareil faisant l'objet de cette communication a pour but d'indiquer, sur simple appel téléphonique, la hauteur d'eau dans un bassin. Il fonctionne donc à la manière de l'horloge parlante.

La hauteur d'eau transmise a été divisée en 20 tranches égales, l'indication donnée étant précise à  $\pm 1/40$  de la hauteur mesurée.

L'enregistrement sur ruban magnétique a permis de réaliser un appareil simple et robuste ayant les avantages de ce mode d'enregistrement.

L'étude a été faite en vue de diminuer au maximum les erreurs de mesure provenant de l'appareil transmetteur et, de plus, de ne demander au système de mesure qu'une très faible énergie.

Bien entendu, si une réalisation a été faite en vue de la transmission d'une hauteur d'eau, cette réalisation peut être faite pour tout autre liquide. De plus, elle peut également être adaptée à toute mesure physique.

## ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE DE LONGUE DURÉE UN DISPOSITIF A TÊTES TOURNANTES UTILISANT LE FILM MAGNÉTIQUE PERFORÉ 35 mm

PAR

Ch. GARREAU  
(Établissements SAREG)

Parmi toutes les possibilités d'utilisation du magnétophone, une des premières applications que l'on peut considérer comme industrielle a été l'enregistrement de longue durée.

D'ores et déjà, avec un magnétophone ordinaire on peut enregistrer normalement pendant 1 heure sur une seule piste.

En vue d'augmenter le temps d'enregistrement, on a augmenté le nombre de pistes et diminué la vitesse de défilement du ruban.

Des réalisations ont vu le jour, utilisant les procédés suivants :

— utilisation d'un ruban relativement étroit et comportant un certain nombre de pistes, celles-ci étant utilisées à la suite l'une de l'autre, les pistes impaires dans un sens, les pistes paires dans l'autre, avec renversement automatique du sens de marche en fin de piste;

— ou alors, utilisation d'un ruban très large utilisé latéralement et ayant une piste allant de

gauche à droite, ensuite de droite à gauche et ainsi de suite.

Ces deux modes d'enregistrement peuvent être qualifiés de discontinus avec inversion du sens du mouvement.

De toute façon, la durée de l'enregistrement est fonction d'une surface et il est donc permis d'utiliser un ruban magnétique d'une manière quelconque.

L'objet de cette communication a pour but de présenter un mode d'enregistrement discontinu dont tous les mouvements mécaniques sont continus.

L'appareil construit suivant ce principe utilise le film magnétique de largeur 35 mm perforé, qui est enregistré sur des pistes placées en diagonale sur le film. Ce procédé a été réalisé en utilisant 3 têtes magnétiques tournantes, disposées à 120°

l'une de l'autre et effectuant un mouvement de rotation suivant un plan. Le ruban magnétique défile dans le sens inverse et suivant une hélice, ce qui donne comme pistes des droites parallèles. La vitesse de défilement du ruban qui est beaucoup plus faible que celle des têtes détermine l'écart entre deux pistes. L'enroulement du ruban sur son guide est de 120° également, et quand une tête quitte le ruban la suivante s'applique sur celui-ci.

L'enregistrement se présente sous la forme de pistes disposées en diagonales par rapport au ruban et placées parallèlement entre elles.

D'autres réalisations peuvent être faites suivant ce principe, le nombre de têtes n'étant pas absolu. Il est possible d'enregistrer 2 ou 3 pistes simultanément.

## APPLICATION DE L'ENREGISTREMENT AUX MESURES DE TEMPS ET AU CONTROLE DE POSITION D'UN MOBILE

PAR

Le Général GILSON

*Directeur des Établissements Belin*

ET

M. OEMICHEN

*Ingénieur aux Établissements Belin*

1° *Mesure des courts intervalles de temps.* — Méthode piézo-optique (Tawil) et méthode à photographie par éclair.

2° *Repérage d'un instant (applications astronomiques).* Chronographes imprimants (électronique et mécanique), émission de signaux horaires.

3° *Contrôle des bases de temps.* — Principe de l'emploi des chronographes à cylindre et dispositifs permettant d'en augmenter la précision (multiplicateur d'erreur, amplificateur de temps).

4° *Contrôle des positions d'un mobile.* — Principe et réalisations dans le cas d'un mouvement de rotation et d'un mouvement de translation.

### I. — GÉNÉRALITÉS.

Les types d'enregistrement dont nous décrivons ci-après les applications ne sont pas, à proprement parler, du domaine de l'enregistrement sonore, mais leur technique en est très voisine (emploi de cellules de Kerr par exemple).

Ils ont été rendus nécessaires par les exigences croissantes des utilisateurs de bases de temps ou de servomécanismes du point de vue de la précision, ils sont indispensables en particulier en astronomie, où il faut noter l'instant précis de passage d'une étoile à une position prédéterminée.

### II. — MESURE DE COURTS INTERVALLES DE TEMPS.

Le principe général de ces mesures est le suivant : on dispose d'un mobile en déplacement rapide sur lequel on note les instants correspondant au début et à la fin de l'intervalle de temps à mesurer, en y inscrivant simultanément les signaux d'une base de temps étalonnée.

#### 1° Le chronographe piézo-optique Tawil.

Ici l'organe en mouvement rapide est un film photographique, les instants de début et de fin de l'intervalle de temps à mesurer sont inscrits sur ce film par deux cellules de Kerr. Ces cellules sont excitées par des tubes amplificateurs, dont les

grilles sont actionnées par un montage basculeur du type Eccles-Jordan de telle sorte qu'à chaque signal envoyé à ce basculeur, il y ait une cellule qui perde son pouvoir rotatoire et une autre qui l'acquiert. En effet, l'extinction de la lumière passant à travers une cellule de Kerr lorsqu'on supprime la polarisation du tube qui la shunte est beaucoup plus rapide que sa réapparition au moment où on rebloque ce tube, le condensateur qui constitue la cellule pouvant se décharger dans le premier cas dans le tube amplificateur qui le shunte, en d'autres termes, la cellule de Kerr passe mieux la fonction unité dans le cas d'une diminution de lumière que dans le cas d'une augmentation.

La base de temps est inscrite sur le film de la façon suivante : supposons que nous placions entre deux polariseurs croisés deux lames de quartz qui se compensent du point de vue de leur pouvoir rotatoire : le champ reste obscur. Mais, si nous déformons une seule de ces lames sous l'influence, par exemple, d'actions piézo-électriques, la compensation n'a plus lieu et la lumière réapparaît. Cet effet est beaucoup plus marqué si on excite la lame de quartz par une tension alternative dont la fréquence est celle des oscillations propres de la lame, c'est ce que l'on fait en utilisant la lame comme élément stabilisateur d'un oscillateur à quartz à 50 kHz, ainsi la lumière est modulée à 100 kHz.

#### 2° Le chronographe à éclairs.

Ici la vitesse de déplacement du mobile est parfaitement connue, c'est sa régularité même qui permet de s'en servir comme base de temps. Le mobile est une roue portant une graduation et tournant à 10 tours par seconde. Les instants à repérer provoquent le déclenchement de deux lampes flash à gaz ionisé qui permettent de photographier la position de la roue au moment où l'éclair est déclenché.

### III. — REPÉRAGE D'UN INSTANT.

Les méthodes précédentes sont, en principe, utilisables pour le repérage d'un instant : il suffit que l'un des deux signaux dont nous avons parlé plus haut soit celui qui correspond à une origine de temps. Mais, en général, il faut pouvoir se contenter d'une origine de temps assez éloignée de l'instant à repérer, ce qui conduit à des intervalles de temps importants, et les engins destinés au repérage d'un instant doivent pouvoir donner une quantité d'information plus élevée que ceux qui servent seulement à la mesure des petits intervalles de temps.

#### 1° Le chronographe imprimant mécanique.

Un ensemble de roues portant des chiffres en relief sont entraînées par un moteur synchrone, alimenté lui-même par un générateur de fréquence étalon. Une de ces roues fait un tour par seconde et porte 100 chiffres de 00 à 99. Elle entraîne par l'intermédiaire d'un contact et d'un moteur « pas à pas » une seconde roue qui fait un tour par minute et porte 60 chiffres de 00 à 59. Cette seconde roue entraîne par contact et moteur « pas à pas » une troisième qui fait un tour en 1 heure et porte également 60 chiffres de 00 à 59, entraînant elle-même une quatrième roue, à raison de un tour en 24 heures, cette dernière étant graduée de 00 à 23.

Devant toutes ces roues se trouve une bande de papier qu'un marteau frappeur peut venir appliquer sur les roues par l'intermédiaire d'un ruban encreur, la frappe étant tellement brève qu'elle n'arrête pas la roue des centièmes de seconde et ne la ralentit même pas. L'instant d'arrivée du signal qui provoque la frappe se trouve donc imprimé sur la bande, la mise en phase de la roue des centièmes de seconde ayant été faite de telle sorte qu'elle compense le retard à la réponse du marteau frappeur.

#### 2° Le chronographe imprimant électronique.

Ce dispositif permet de pousser plus loin la précision de repérage : la base de temps est une source de tension alternative à la fréquence étalon de 1 kHz. Cette tension est transformée en impulsions que comptent des compteurs électroniques, mis au zéro à chaque dixième de seconde exact. Il n'y a que deux compteurs qui servent à compter les centièmes et millièmes de seconde, les dixièmes de seconde, secondes, minutes et heures sont comptées par des roues entraînées par des pas à pas comme dans le modèle mécanique.

Lorsque l'impulsion dont on veut connaître l'instant d'arrivée est appliquée à l'ensemble, elle provoque l'arrêt de l'arrivée de 1 kHz dans les compteurs, puis, par l'intermédiaire de relais et de cames, les chiffres inscrits sur ces compteurs sont traduits par les positions des roues des types correspondantes et le nombre correspondant est imprimé, le tout en 1/3 de seconde.

### IV. — CONTRÔLE DES BASES DE TEMPS.

En général ce contrôle se fait sur des impulsions à une période par seconde ou sur une fréquence de 1 kHz.

On emploie pour ce contrôle des chronographes à cylindre. Ce sont des appareils dans lesquels un moteur synchrone, du type roue phonique, entraîne à une vitesse de un tour par seconde un cylindre garni d'une feuille de papier paraffiné. Parallèlement à l'axe du cylindre se déplace un inscripteur

portant une plume qu'un électro-aimant peut amener au contact du papier quand il est excité.

Si l'excitation de cet électro-aimant a lieu exactement une fois par seconde, les différentes traces de la plume sur le papier paraffiné s'inscrivent sur une génératrice du cylindre, sinon elles s'enroulent en une hélice dont la connaissance du pas permet de connaître l'écart de fréquence entre les impulsions à contrôler et la base de temps.

Ce système peut nécessiter un enregistrement assez long si l'on désire une grande précision, aussi a-t-on imaginé différents dispositifs pour en augmenter la précision. C'est le rôle en particulier de « l'amplificateur de temps ».

L'emploi de l'amplificateur de temps revient en quelque sorte à adjoindre au chronographe un vernier, comme si l'on avait ajouté une aiguille des minutes à une montre qui ne comportait initialement que l'aiguille des heures. Il utilise les compteurs électroniques binaires pour compter le nombre de 20.000<sup>e</sup> de seconde qui se sont écoulés entre le dernier centième de seconde rond de la base de temps et l'instant d'arrivée de l'impulsion à repérer, le chiffre inscrit dans le compteur étant ensuite matérialisé par le retard avec lequel l'appareil envoie une seconde impulsion-écho au marqueur. L'écart entre les deux marquages permet de savoir beaucoup plus exactement le moment exact de l'arrivée de l'impulsion à contrôler.

Si l'on contrôle une fréquence de 1 kHz, il est facile de réduire le temps de la comparaison de cette fréquence avec le 1 kHz étalon en procédant par multiplication de fréquence et battement, c'est le principe du multiplicateur d'erreur.

### V. — CONTRÔLE DES POSITIONS D'UN MOBILE

Ce dernier contrôle se fait en liant au mobile un lecteur de position qui permet de connaître sous forme discrète la position du mobile. Par exemple, dans le cas d'un mouvement de rotation, on peut lier à l'axe étudié un disque portant des pistes alternativement transparentes et opaques, entre une lampe flash et des cellules photoélectriques, chaque position discrète correspondant à une répartition bien définie des cellules éclairées.

Ces cellules sont reliées par autant d'amplificateurs à des lampes à néon qu'une caméra automatique photographie régulièrement à chaque éclair de la lampe flash.

Sur ces photographies apparaissent en code défini (par exemple en code binaire) les positions successives du disque, et un traducteur automatique lisant le film restitue sous forme imprimée sur une bande de papier les azimuts successifs de l'axe.

Ce système d'enregistrement de position est particulièrement utile pour le contrôle des servomécanismes à réponse rapide, car il permet de garder une bande enregistrée des différentes positions de l'organe asservi, que l'on peut comparer aux positions aux mêmes instants de l'organe émetteur d'ordres.

Il n'y a aucune difficulté à adapter ce système pour la mesure et l'enregistrement des déplacements de translation d'un mobile.

Son intérêt, comme celui de tous les systèmes calculateurs basés sur l'emploi du code binaire est que l'on peut réaliser par cette méthode des précisions croissant en progression géométrique tandis que les difficultés de réalisation ne croissent qu'en progression arithmétique.

## ENREGISTREMENT ET CORRÉLATION OPTIQUE

PAR

le Lieutenant-Colonel Jean LOCHARD

Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur radioélectricien E. S. E.

1° Les machines permettant d'analyser par corrélation les courbes représentatives de phénomènes enregistrés sous la forme classique sont compliquées, coûteuses et peu précises.

2° Lorsque l'on désire employer systématiquement la corrélation comme moyen d'analyse, il est préférable de modifier la forme de l'enregistrement, ce qui permet d'employer des corrélateurs simples, plus optiques que mécaniques.

3° On obtient très simplement, par l'optique, la corrélation d'un enregistrement par tout ou rien (blancs et noirs de longueurs variables).

4° Différentes formes d'enregistrement se prêtent à la corrélation d'une fonction continue. Les enregistrements à densité variable du cinéma sonore permettent de réaliser très simplement une corrélation. Mais une bonne fidélité, sans étalonnage difficile, exige un enregistrement en noir et blanc. On peut adapter facilement les enregistrements classiques, quand il s'agit de phénomènes lents. Quand il s'agit de phénomènes rapides, on peut réaliser les enregistrements convenables à l'aide d'oscillographes et d'appareils photographiques.

5° Une machine à corrélation optique est réalisable avec des éléments optiques, mécaniques et électriques simples.

### INTRODUCTION

On a de plus en plus recours aux fonctions d'intercorrélation et d'autocorrélation pour faciliter l'interprétation des phénomènes complexes. Il n'entre pas dans notre dessein d'examiner ici l'emploi de ces fonctions, mais plutôt de suggérer comment on peut les obtenir, en partant d'un ensemble de résultats de mesures.

Les mesures dont nous parlerons sont celles qui représentent une fonction continue et réelle  $f(t)$  d'une variable  $t$ , laquelle est souvent le temps. Nous traiterons, pour simplifier le cas des fonctions d'autocorrélation, quoique les procédés envisagés s'appliquent également bien au cas des fonctions d'intercorrélation, moyennant une légère modification, évidente, des procédés.

Rappelons que si  $f(t)$  est définie pour toutes les valeurs positives de la variable, sa fonction d'autocorrélation  $F(\tau)$  est donnée par la limite de

$$F(\tau) = \frac{1}{S} \int_0^S f(t) f(t + \tau) dt$$

lorsque  $S$  devient très grand. Lorsque les valeurs de  $f(t)$  sont données par des mesures, la grandeur  $S$  a une valeur infinie. On s'efforce de faire les mesures pendant un temps assez long, et dans des conditions assez variées pour que les valeurs obtenues soient représentatives de l'ensemble du phénomène et que l'on puisse supposer que la fonction  $F(\tau)$  resterait à peu près la même si l'on prolongeait les mesures.

Si  $f(t)$  représente l'intensité d'un courant électrique en fonction du temps, sa fonction d'autocorrélation peut être calculée avec des machines dont plusieurs modèles assez satisfaisants ont été établis. L'une d'elles, par exemple, le Correlatograph, décrite très récemment (1), et destinée plus particulièrement à analyser les courants de parole, emploie des dispositifs multiplicateur et intégrateur purement électriques, suivis d'un enregistreur mécanique. Mais de telles machines ont nécessairement des caractéristiques très limitées et ne peuvent par suite servir à analyser n'importe quel phénomène. Si, en particulier, les phénomènes sont très rapides

ou très lents, on est conduit à les enregistrer photographiquement ou mécaniquement, et à traiter l'enregistrement à loisir.

Le plus souvent, on se sert d'enregistrements en coordonnées cartésiennes parce que la plupart des enregistreurs de laboratoire donnent cette forme d'enregistrement. On a construit également des machines destinées à fournir les fonctions de corrélation de courbes cartésiennes. Ces machines possèdent une mécanique compliquée, dont les organes nécessitent une grande précision de construction. Malgré cela, elles sont délicates à manier et ne fournissent qu'avec lenteur des résultats assez imprécis malgré l'intervention constante et nécessaire de l'opérateur.

Si l'on veut construire des machines plus simples et plus facilement maniables il faut employer des principes différents des principes mécaniques, lesquels assurent mal les opérations telles que la multiplication ou l'intégration.

Par contre, ces opérations sont facilement réalisables à l'aide des procédés optiques, pourvu que l'on veuille bien abandonner la forme cartésienne de l'enregistrement, principale responsable des difficultés de construction des machines à corrélation. Autrement dit, pour simplifier ces machines il est préférable de modifier le mode d'enregistrement, ce qui sera toujours avantageux si les enregistrements effectués sont tous destinés à la corrélation. Au reste, les enregistrements suggérés peuvent, si besoin est, être transformés en enregistrements cartésiens, à l'aide d'appareils faciles à imaginer.

### CORRÉLATION D'UN SIGNAL DISCONTINU

Une forme très simple de fonction discontinue, que nous appellerons  $\varphi(t)$  (pour la différencier de la fonction  $f(t)$  que nous supposons toujours continue) est celle qui ne peut prendre que les valeurs 0 et 1. Si la variable  $t$  est le temps, une telle fonction peut représenter par exemple un télégramme transmis avec l'un de nos codes télégraphiques actuels, pourvu que le signal n'ait pas encore traversé un filtre susceptible de le déformer. Malgré son apparence très simple, il est assez difficile de calculer la fonction de corrélation d'un tel signal, sauf dans des cas très particuliers. Il est curieux d'ailleurs de noter que la fonction de corrélation est plus facile à calculer pour un signal aléatoire (c'est-à-dire pour lequel on ne connaît que les probabilités des valeurs 1 et 0) que pour un signal de durée limitée correspondant, par exemple, à un texte connu.

Dans ce dernier cas, on obtient facilement la fonction d'autocorrélation en représentant par exemple sur un calque le signal 0 par un rectangle noir de hauteur constante, et de longueur proportionnelle à sa durée, et le signal 1 par un blanc défini de la même façon. Si on fait deux calques identiques et qu'on les superpose, avec une translation égale à la valeur choisie pour variable de corrélation  $\tau$ , la valeur de la fonction de corrélation est mesurée par la quantité de lumière traversant

(1) The Correlatograph par M. R. BENNETT. *Bell System Technical Journal*, Septembre 1953.

l'image ainsi formée, entre les triangles noirs, l'unité étant mesurée par la quantité de lumière traversant dans les mêmes conditions deux calques blancs de même surface.

En effet, la lumière ne traverse que si elle rencontre des blancs dans les 2 calques, ce qui correspond au cas où les deux fonctions  $\varphi(t)$  de l'élément différentiel sont égales à l'unité; d'autre part la longueur des rectangles blancs est proportionnelle à  $t$ .

On peut, par exemple, à l'aide de ce procédé, déterminer rapidement par points la fonction de corrélation d'un télégramme quelconque représenté par une suite de signaux rectangulaires.

Mais comme il est assez rare de rencontrer des fonctions à corréler prenant seulement deux valeurs, les applications du procédé sont assez limitées.

#### TRANSFORMATION D'UNE FONCTION QUELCONQUE EN SIGNAL DISCONTINU

La fonction continue  $f(t)$  peut se remplacer par une fonction discontinue  $\varphi(\Theta)$  en donnant à cette dernière la valeur 1 dans un intervalle de la variable  $\Theta$  proportionnel à  $f(t)$ . A chaque intervalle  $\Delta t$  on fait correspondre un intervalle  $\Delta \Theta$  proportionnel, contenant un blanc de largeur proportionnelle à  $f(t)$  et un noir de largeur proportionnelle à  $1 - f(t)$ .

Si par exemple  $f(t)$  est représentée par une tension électrique à mesurer — cas très fréquent ou facile à réaliser — on peut se servir de cette tension pour faire varier la largeur d'une fente, par un des procédés en usage courant dans l'enregistrement sonore cinématographique. Cette fente éclairée donne directement, presque au contact, un noir de largeur égale sur une pellicule photographique négative. Si cette pellicule avance par saccades régulières, les valeurs de la fonction  $f(t)$  sont enregistrées de la façon voulue. Si la valeur de  $f(t)$  est représentée par un éclairage variable, on peut employer un procédé analogue à celui de la similigravure : le faisceau lumineux est envoyé sur une surface sensible à faible distance de laquelle on a disposé une fente. Cette fente, n'étant pas au contact, produit sur la surface une image floue dont l'éclairage diminue progressivement vers les bords. Si on emploie une émulsion et un développement tels que le contraste obtenu soit très grand, c'est-à-dire ne pouvant pratiquement donner que du blanc ou du noir, on obtient après développement un trait noir de largeur proportionnelle à l'intensité du faisceau lumineux initial. La surface sensible doit avancer à intervalles réguliers, comme dans le système précédent.

Si dans les deux cas la fente fait un angle de  $45^\circ$  avec l'axe des abscisses du film, on obtient, par superpositions de deux tirages positifs dont l'un sera décalé de  $\tau$  et retourné tête en bas, des petits rectangles lumineux de côtés proportionnels à  $f(t)$  et  $f(t + \tau)$ ; la fonction de corrélation est encore mesurée par la quantité de lumière totale traversant les deux films photographiques superposés.

Il est bien connu que la similigravure ne permet pas d'assurer un rapport élevé de surfaces entre la plus grande et la plus petite tache blanche : les demi-teintes sont difficiles à reproduire avec leurs valeurs relatives correctes. On retrouvera avec ces procédés le même inconvénient : le rapport entre les largeurs de la plus petite et de la plus grande raie blanche est égal au rapport entre les valeurs maximum et minimum de  $f(t)$ . Seule l'expérience avec des appareils réels pourra montrer quel rapport peut être pratiquement réalisé.

S'il n'est pas déraisonnable d'envisager une valeur de 100 pour ce rapport, il n'est pas certain qu'elle puisse être atteinte en conservant une bonne linéarité, c'est-à-dire une bonne proportionnalité entre la largeur du blanc et la valeur de  $f(t)$ .

Enfin remarquons qu'en remplaçant  $f(t)$  par  $\varphi(\Theta)$  on a substitué à la courbe continue représentant  $f(t)$  une approximation en escaliers dont les marches ont une largeur  $\Delta t$ ; par suite la fonction d'autocorrélation  $F(t)$  ne peut être obtenue que pour des valeurs de  $\tau$  multiples de  $\Delta t$ , au nombre de  $\frac{S}{\Delta t}$ .

#### CORRÉLATION DE COURBES CARTÉSIENNES OMBRÉES

S'il n'est pas pratique de transformer un enregistrement continu en enregistrement discontinu de forme spéciale, on peut cependant conserver un enregistrement à forme cartésienne si l'on consent à compliquer l'appareil à corrélation.

Pour cela, on réalise un enregistrement tel que la partie comprise entre l'axe des abscisses et la courbe  $f(t)$  soit transparente, le reste opaque. Le noircissement d'une courbe expérimentale peut être obtenu rapidement à la main. On peut aussi photographier par déroulement continu l'écran d'un oscillographe sur lequel on a représenté la mesure par un trait de longueur proportionnelle à  $f(t)$ , obtenu par exemple à l'aide d'une tension alternative fixe modulée linéairement par  $f(t)$ .

Le produit  $f(t) / (t + \tau)$  est proportionnel au flux lumineux sortant d'un rectangle de côtés proportionnels à  $f(t)$  et  $f(t + \tau)$ . L'enregistrement doit être fait à une vitesse suffisante pour que la courbe varie assez peu en tous ses points dans un intervalle  $t$  assez grand pour la commodité des opérations suivantes. Un dispositif optique convenable permet de projeter le rectangle  $f(t + \tau)$ ,  $\Delta t$  éclairé sur le rectangle  $f(t)$ ,  $\Delta t$  après avoir réalisé sur le premier les opérations suivantes :

- a) une rotation de  $90^\circ$ ;
- b) une dilatation des abscisses, telle que  $\Delta t$  devienne égal à la plus grande valeur atteinte par  $f(t)$ ;
- c) une contraction des ordonnées, telle que la plus grande valeur de  $f(t + \tau)$  devienne inférieure à  $\Delta t$ .

Indiquons, sans insister, que les opticiens disposent des éléments nécessaires pour effectuer ces opérations : miroirs et prismes pour les rotations, optiques cylindriques pour les dilatations et contractions.

D'ailleurs, si l'on désire que l'appareil soit capable d'effectuer le calcul de fonctions d'intercorrélation aussi bien que celui des fonctions d'autocorrélation, on peut se dispenser de prismes et effectuer la rotation mécaniquement en disposant à  $90^\circ$  l'un de l'autre les deux transparents qui sont nécessaires. L'intégration exige alors un dispositif mécanique déplaçant simultanément les deux transparents tout en maintenant dans l'axe optique du système les deux portions décalées de la quantité fixe  $\tau$ .

En plus du maintien de la forme cartésienne des courbes, ce système permet d'obtenir la corrélation pour des valeurs de  $\tau$  quelconques mais supérieures à  $\Delta t$ , il suffit de dilater l'échelle des abscisses pour pouvoir faire la mesure dans un intervalle  $\Delta t$  aussi petit que l'on veut.

Dans ces conditions, la précision du résultat dépend essentiellement des qualités du système optique.

## CORRÉLATION À L'AIDE D'ENREGISTREMENTS EN DEMI-TEINTES

L'un des procédés d'enregistrement sonore cinématographique utilisait une « piste » sonore à densité variable et largeur constante. La représentation de la valeur de  $f(t)$  par la densité variable d'un enregistrement photographique permet justement d'assurer une corrélation directe des enregistrements sans autre transformation.

Appelons ici transparence le rapport  $T$  entre le flux lumineux transmis par l'enregistrement photographique et le flux lumineux incident. Si nous

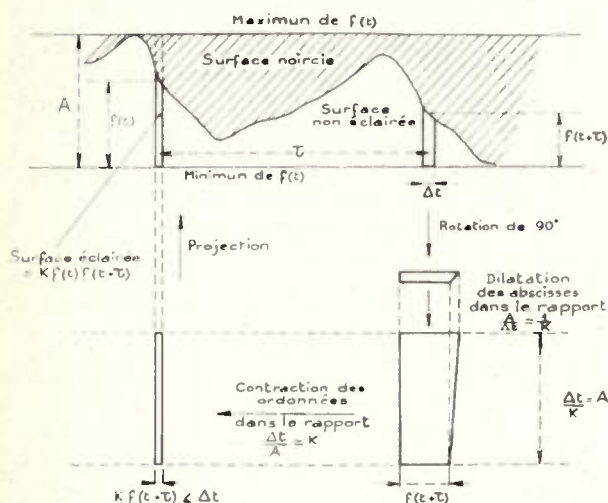


FIG. — Schéma des transformations optiques pour la corrélation des enregistrements cartésiens.

superposons deux demi-teintes, la transparence de l'ensemble est égale au produit des transparences individuelles. Si donc l'enregistrement est effectué de manière à produire une bande de largeur constante, de longueur proportionnelle à  $t$  et de transparence proportionnelle à  $f(t)$ , la valeur de la fonction d'autocorrélation est obtenue en mesurant l'énergie lumineuse traversant deux enregistrements identiques, superposés et décalés par simple translation.

Le seul problème ici est de produire une transparence  $T$  proportionnelle à une quantité donnée. Ceci est possible sous certaines conditions, à déterminer d'après les propriétés de l'émulsion photographique employée. Si nous appelons  $E$  l'exposition proportionnelle au temps de pose auquel est soumise l'émulsion, et si l'on porte en abscisses  $\log E$  et en ordonnée la densité  $D = -\log T$ , la caractéristique d'une émulsion est représentée par une série de courbes dont la partie centrale, la plus intéressante pour le photographe, est à peu près droite. Ces courbes présentent pas mal de ressemblances avec le réseau de caractéristiques  $I_p = f(Vg)$  d'un tube à vide : on retrouve la même partie centrale rectiligne, terminée en bas et en haut par une courbure de saturation, mais les différentes courbes ne sont pas parallèles. Chacune correspond à un temps de développement différent avec un révélateur déterminé et la pente de chaque courbe en son point d'inflexion central s'appelle le gamma de l'émulsion, pour le développement considéré. Pour un développement déterminé on peut obtenir un gamma égal à l'unité : la transparence est alors proportionnelle à l'inverse du temps de pose, dans toute l'étendue de la partie sensiblement droite de

la courbe. Pour obtenir une partie droite étendue, donnant une bonne linéarité dans un intervalle étendu de temps de pose, il faut employer des émulsions riches en sel d'argent, pas trop rapides, et régler très exactement le développement. Avec une émulsion de rapidité moyenne pour films cinématographiques de 16 mm (émulsion Plus X de Kodak) on peut employer un rapport d'expositions extrêmes de 100 avec une non-linéarité de 25 % aux extrémités de la courbe. On peut certainement obtenir mieux avec des émulsions spéciales, mais le rapport de 100 pour les valeurs extrêmes des mesures à enregistrer paraît être une limite qu'il ne faut guère compter dépasser dans les conditions pratiques de travail.

## MESURE ET INTÉGRATION DES QUANTITÉS DE LUMIÈRE

Quel que soit le procédé employé, on a à mesurer un flux lumineux total traversant l'ensemble de deux transparents superposés. On peut songer à mesurer ce flux en une seule opération en projetant la totalité de l'image formée sur une cellule photoélectrique. Mais les cellules à couche d'arrêt par exemple, dont l'étalonnage se conserve bien dans le temps, ne possèdent pas une caractéristique linéaire très étendue, et ne sont pas de très grandes dimensions. Il peut être nécessaire d'explorer les transparents en déplaçant la cellule. L'intégration peut alors être réalisée avec un micro-moteur actionné par la cellule : il existe de tels micro-moteurs d'intégration dont l'angle de rotation est proportionnel à la quantité d'électricité reçue, et qui sont assez sensibles pour être actionnés par une cellule à couche d'arrêt.

Lorsqu'il s'agit d'explorer une image en noir et blanc, c'est-à-dire de mesurer la surface éclairée, on peut éviter toute difficulté d'étalonnage en procédant par comptage. Si par exemple on éclaire les transparents avec une trame analogue aux trames de similigravure, le nombre de points éclairés est proportionnel à la surface éclairée. Il suffit de compter ces points à l'aide d'un compteur d'impulsions actionné par une cellule à faible inertie, qui n'a pas besoin d'être linéaire. Un système d'exploration tel qu'un seul point éclairé soit vu à la fois par la cellule peut être constitué par une fente éclairée mobile inclinée par rapport aux axes de la trame.

## CONCLUSION

Il est donc possible de construire des corrélateurs optiques, qui, s'ils paraissent à certains assez compliqués, le sont certainement moins que les machines à corrélation mécanique. Comme ils emploient un appareillage bien connu, dont l'adaptation ne demande pas des études difficiles, leur construction peut être assez économique.

Les formes d'enregistrement doivent être modifiées en suivant la tendance actuelle qui fait rechercher les méthodes d'enregistrement automatiques où intervient très souvent la photographie. L'emploi de l'oscillographe comme indicateur de tension, avec enregistreur photographique, permet d'ailleurs d'éliminer l'inertie des appareils enregistreurs, ce qui est précieux pour la mesure des phénomènes rapides, comme les fluctuations du champ électromagnétique, ou d'autres phénomènes intéressant les ingénieurs des Télécommunications. De plus en plus, on emploie les phénomènes de corrélation, pour

rechercher les propriétés de ces phénomènes complexes. Les procédés optiques permettent d'ailleurs de déterminer rapidement d'autres fonctions utiles dans ce cas, comme les fonctions de répartition statistique.

Les applications de la corrélation ont en outre depuis longtemps débordé le cadre de la physique

et des télécommunications : n'avons-nous pas entendu récemment décrire une méthode d'examen par corrélation de la régularité des fils sortant d'une filature? Ici la fonction de corrélation aurait pu être obtenue par procédé optique directement à partir d'une microphotographie grossière du fil, au lieu d'être calculée par un procédé mécanique.

## EXTENSION DES PROCÉDÉS MÉCANIQUES D'ENREGISTREMENT A LA BANDE INFRA-SONORE ET SON APPLICATION A L'ÉTUDE DES MOUVEMENTS PHYSIOLOGIQUES DE TRÈS FAIBLE AMPLITUDE

PAR

F. PASQUINELLY

*Laboratoire de Physiologie Acoustique  
de l'Institut National de la Recherche Agronomique*

La physiologie et la pharmacodynamie font appel à des techniques de détection et d'enregistrement des mouvements par des procédés mécaniques ou pneumatiques qui altèrent les signaux par leur inertie; d'autre part, ces procédés sont peu sensibles et manquent de maniabilité.

Les techniques électroacoustiques appliquées à certains des problèmes de ces disciplines, grâce à leur sensibilité — (amplification à volonté) et à la possibilité d'enregistrer sans inertie appréciable, peuvent améliorer les résultats et mettre en évidence des phénomènes jusqu'ici inaperçus.

Une adaptation pour les fréquences infraacoustiques nous a permis de mettre au point un appareil polyvalent, destiné à déceler des mouvements physiologiques de très faible amplitude (2 à 5 microns), l'enregistrement étant réalisé par un appareil mécanique (oscillographe à encre). Cet appareil a été appliqué aux techniques suivantes, liste non limitative) :

- enregistrement de cardiogrammes mécaniques,
- de pneumogrammes,
- de mouvements d'organes isolés (ovaires, intestins)
- de myogrammes,
- de sphygmogrammes,
- d'actogrammes de petits insectes (drosophiles),
- de perfusions d'organes.

### INTRODUCTION

La physique et la physiologie sont deux sciences qui se sont longtemps ignorées. Leurs rencontres ont pourtant déjà donné naissance à maints succès parmi lesquels on peut citer l'usage des rayons X, la découverte et l'étude des potentiels d'action, l'utilisation de l'électrocardiographie et de l'électroencéphalographie, celle des corps radioactifs.

L'enregistrement du mouvement des organes n'a encore que très peu reçu d'aide effective des méthodes électroniques, et dans beaucoup de laboratoires de physiologie et de pharmacodynamie on utilise encore les tambours inscripteurs, dits « de Marey », dont la rotation fournit l'axe des temps, tandis que les déplacements de stylets dans le sens des ordonnées tracent les mouvements du ou des organes étudiés. Or, les stylets en question sont mus à partir de l'énergie fournie par les organes, à l'aide de fils, leviers et poulies, dont aucune combinaison, si ingénieuse soit-elle, ne peut fournir d'amplification réelle ni être exempte d'inertie.

Cet équipement encore généralement employé est pourtant à un oscillographe moderne ce que la première machine d'Edison est à un enregistreur sonore actuel.

Nous nous sommes attaché à réaliser un dispositif électronique d'enregistrement qui ait comme avantage par rapport aux méthodes de la physiologie classique l'unification des différentes techniques sur un seul appareil polyvalent, tout en simplifiant à l'extrême les montages expérimentaux

quel que soit le type d'organe étudié (organes isolés, organes *in situ*, mécanocardiographie, sphygmographie, enregistrement de la tension artérielle chez les petits animaux, perfusion, actographie de petits insectes). Le détail de ces applications intéresse plus particulièrement la physiologie que l'électronique, c'est pourquoi nous nous limiterons ici à développer l'aspect physique de cette méthode d'enregistrement.

### NATURE ET CARACTÉRISTIQUES DES MOUVEMENTS PHYSIOLOGIQUES.

Nous appellerons mouvements physiologiques, les déplacements relatifs des tissus animaux, sous l'influence des tensions mécaniques locales produites par les tissus et les organes eux-mêmes, soit spontanément, soit sous l'action d'excitations extérieures. Les uns sont perceptibles à la surface du corps (pouls, cœur, respiration). D'autres doivent être décelés au sein même des tissus, ceux-ci ayant été mis à portée de l'appareillage par une opération chirurgicale préalable (par exemple : contraction d'un intestin, d'une corne utérine, etc.).

L'amplitude des mouvements n'a pas de limite inférieure, et peut atteindre l'ordre du millimètre (muscles moteurs mis à part).

Les fréquences des composantes vont du continu à une cinquantaine de cycles/seconde.

### LE PROBLÈME TECHNIQUE DE LA PRISE DE MOUVEMENT.

#### 1° Détecteurs existants.

Les appareils à cadre ou bobines mobiles sont pour nous absolument inutilisables, car leur tension de sortie est proportionnelle, non pas à la position de la bobine, mais à sa dérivée, la vitesse.

Des systèmes du type condensateur microphonique ont été proposés [1 et 2] ainsi que des dispositifs alimentés en haute fréquence [3, 7 et 9].

Si son courant de repos était bien défini, l'élément actif du microphone à charbon classique pourrait fournir une solution.

Les jauges de contrainte nécessitent une amplification très importante et des circuits associés relativement complexes et coûteux [6 et 8].

Nous avons pu employer les cristaux piézoélectriques, mais seulement pour l'étude des mouvements à cadence élevée (fondamentale à 5 cycles/s).

Enfin, nous avons été amenés à étudier et réaliser un détecteur stable et très sensible, spécialement adapté au domaine de fréquences qui nous intéressent, et à lui adjoindre des moyens de transmission du mouvement adaptés aux besoins de l'expérimentation physiologique.

## 2° Nouvel élément sensible.

Nous avons cherché à réaliser une sorte de jauge de contrainte ultrasensible. Pour cela, nous avons utilisé un conducteur liquide contenu dans une gaine élastique, que les déplacements à étudier écrasent en plusieurs points.

Pour obtenir une tension de sortie importante, nous avons porté l'impédance à une valeur aussi élevée que possible, si bien que la tension d'attaque n'est limitée que par la qualité des isoléments.

### Réalisation pratique :

Le conducteur liquide est matérialisé par une couche d'électrolyte contenue entre 2 membranes de caoutchouc. La forme de la résistance liquide

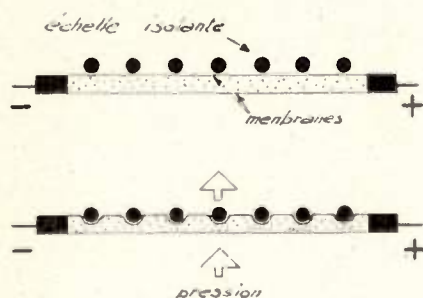


FIG. 1.

est celle d'un ruban. Pour éviter les dégagements gazeux, l'électrolyte est un sel du métal constituant les électrodes (électrolyse avec anode soluble). Pour augmenter l'impédance, et éviter l'évaporation de l'eau, l'électrolyte est dilué dans un liquide inerte dont la viscosité apporte par ailleurs l'amortissement voulu.

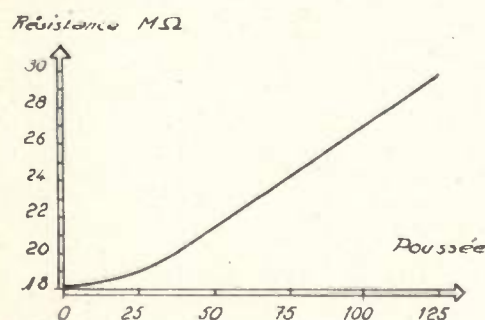


FIG. 2.

Cette résistance souple s'appuie sur une pièce isolante en forme d'échelle (fig. 1). Chaque échelon détermine donc dans la résistance une zone plus faible section, dont la résistance est prépondérante par rapport à celle d'un espace interéchelon. En raison de la réaction élastique de la membrane, l'enfoncement des échelons est proportionnel à la force de poussée que l'on applique. La courbe résistance-poussée (fig. 2) est en tout point comparable à la courbe  $I_p-V_g$  d'un tube électronique.

### Bande passante :

Elle n'a aucune limite du côté des fréquences basses. Pour les fréquences élevées, elle est limitée par l'inertie des parties mobiles, et par l'amortissement dû à la viscosité de l'électrolyte.

Chaque espace interéchelon peut être assimilé à un résonateur de très faibles dimensions (longueur : 6 mm ; largeur : 1 mm). Il suffira d'une faible tension mécanique pour obtenir une fréquence propre relativement élevée, compatible avec une bonne sensibilité. Dans ces conditions, l'obtention des 50 c/s ne présente pas de difficulté.

### Longévité :

Les membranes sont en caoutchouc garanti cinq ans et, jusqu'ici, aucune trace d'attaque par le liquide électrolytique n'a pu être décelée.

Le métal de l'électrode positive est transporté sur l'électrode négative à raison d'une valence-gramme pour 96.500 Coulombs, soit approximativement 64 g pour  $10^5$  Coulombs. Il est commode d'employer des électrodes pesant environ 200 mg. On peut estimer qu'il sera nécessaire d'inverser les polarités quand environ 130 mg de métal auront été transportés. Pour simplifier le calcul, prenons 128 mg =  $2 \cdot 10^{-3}$  valence-gramme. La quantité d'électricité correspondante sera :

$10^5 \times 2 \cdot 10^{-3} = 200$  Coulombs. La résistance des deux éléments en série peut aisément être de l'ordre de 72 MΩ, la tension aux bornes peut atteindre

500 V., d'où un courant de :  $\frac{500}{72 \cdot 10^6} = \frac{1}{144 \cdot 10^3}$

$A = \frac{1}{40 \cdot 3 \cdot 600} A$ . Soit, 1 Coulomb en 40 h.

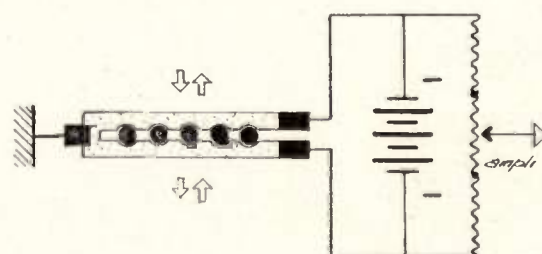


FIG. 3.

Il faudra inverser les polarités au bout de  $40 \cdot 200 = 8\,000$  heures de fonctionnement à plein régime. Il n'y a donc pas lieu de prendre à ce sujet de dispositions spéciales.

### 3° Circuit.

On pourrait choisir le point de fonctionnement vers le milieu de la partie rectiligne de la caractéristique, comme dans le cas d'une lampe amplificatrice classe A. Il suffirait pour cela d'établir une poussée continue, par exemple en tendant convenablement celle des membranes qui ne touche pas l'échelle.

Pour que la composante continue de la tension de sortie soit indépendante de la tension d'alimentation, nous avons préféré le montage de la figure 3, qui peut se comparer à un étage « push-pull », classe A.B.

Les éléments détecteurs nécessitent une alimentation spéciale entièrement isolée, mais leur point de repos est confondu avec le potentiel de la masse,

quelle que soit la tension d'alimentation. Il suffit d'ailleurs de doser cette dernière pour régler la sensibilité.

#### 4° Liaison élément sensible — amplificateur.

On attaquera directement la première grille sans placer de résistance de fuite. Il peut être bon de débiter par un étage cathode-follower, pour éviter les inconvénients d'une impédance de grille trop forte.

Vue du côté service, l'impédance est  $\frac{36}{2} = 18 \text{ M}\Omega$  (les deux éléments se trouvant alors en parallèle).

La bande passante de la liaison sera limitée par la capacité du câble de liaison. Si on se fixe comme constante de temps  $10^{-2}$  s, la capacité du câble devra être inférieure à

$$\frac{10^{-2}}{18 \cdot 10^6} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} = 0,500 \cdot 10^{-12} = 500 \text{ pF},$$

ce qui est très réalisable.

#### 5° Transmission du mouvement du tissu animal à l'élément sensible.

Dans les cas courants d'utilisation, il est impossible de prédéterminer ou de régler la position moyenne du bouton ou de la tige qui relie l'élément sensible au tissu animal. Il est donc bon de pouvoir éliminer la composante continue  $d$  et d'obtenir un rétablissement plus ou moins rapide de l'équilibre, quel que soit le point de travail.

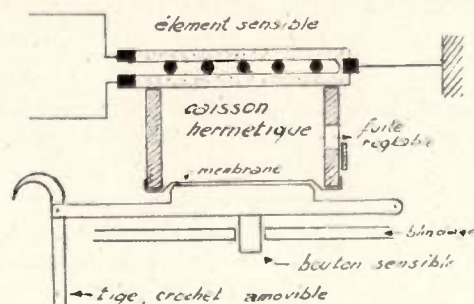


FIG. 4.

Il est tentant d'employer à cette fin une liaison par condensateur; nous y avons cependant renoncé, car, lorsque le point de travail se trouve loin de la position de repos, les moindres variations de la tension d'alimentation seraient transmises à travers le condensateur de liaison, et risqueraient de perturber l'enregistrement.

Pour éviter cet inconvénient, l'élément sensible est laissé en moyenne à sa position d'équilibre. Ce résultat est obtenu en supprimant, à volonté, la composante continue du mouvement lui-même au cours de sa transmission. Pour cela, on passe par un intermédiaire pneumatique : le condensateur fait place à un tampon d'air élastique, tandis qu'une fuite d'air, réglable et annulable, représente la résistance d'une liaison R. C. Les poussées nécessaires à l'actionnement de l'élément sensible sont ainsi fournies sous forme de variations de la pression de l'air (fig. 4).

#### 6° Présentation.

L'ensemble de prise de mouvement est protégé par un blindage de faibles dimensions. Sur une des faces, fait saillie un bouton d'environ 1,5 mm de diamètre, qui sert à la prise de mouvement par application sur la peau. On peut, en outre, fixer une tige-sonde qui sera posée sur l'organe à étudier, et un crochet destiné à la fixation de fil de relation aux organes isolés ou *in situ*.

#### 7° Amplificateur.

L'amplificateur est à courant continu à faible gain de type classique, équipé avec un étage de puissance.

#### 8° Enregistrement.

Le tracé des mouvements peut être fait sur un oscillographe cathodique, mais l'emploi d'un enregistreur mécanique à encre, de fréquence propre voisine de 50 c/s, fortement amortie, analogue à ceux utilisés dans les électrocardiographes, est beaucoup plus commode. La vitesse de déroulement du papier est réglable par boîte de vitesses, de 0.1 à 10 mm/s.

#### CONCLUSION

Notre but initial a été de réaliser à l'usage de la physiologie et de la pharmacodynamie un appareil enregistreur des mouvements de très faible amplitude. L'enregistrement des fréquences basses à l'aide des procédés électroacoustiques légèrement modifiés donne une fois de plus à l'électronique l'occasion de résoudre un nouveau problème technique.

L'exploration de ces mouvements se trouve grandement accrue par le procédé développé qui offre, en outre, l'avantage d'être polyvalent à de nombreux tests physiologiques.

La sensibilité de la technique n'est limitée que par les vibrations parasites transmises soit par l'animal, ce qui oblige à la contention, à la curarisation ou à l'anesthésie, soit par les vibrations des murs et du sol, ce qui nécessite un bon isolement des tables de travail.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRECHT (K.) et BOUCKE (H.) : *Plugers Arch. Ges. Physiol.*, 1952, 256, 43-54.
- [2] *Ibid.* : *Arch. Exp. Pathol. Pharmacol.*, 1953, 217, 399-400.
- [3] BUSNEL (R.-G.), PASQUINELLI (F.), BUSNEL (M. C.) : *Journ. Physiol.*, 1953, 45, 61-66.
- [4] CLEMEDSON (C. J.) et PETTERSSON (H.) : *J. Lab. Clin. Med. USA*, 1951, 38, 631-37.
- [5] DUNN (F. L.) et RAHM (W.) : *Amer Heart J.*, 1953, 45, 519-24.
- [6] GELFAN (S.) et WERNER (A. Y.) : *Yale J. Med.*, USA, 1950, 23, 112-13.
- [7] GIONO (H.) et CHEVILLARD (L.) : *Journ. Physiol.*, 1953, 45, 120-4.
- [8] OLMSTED (F.) et CORCORAN (A. C.) PAGE (I. H.) : *Circulation, USA*, 1951, 3, 722-6.
- [9] TAJAN (Y.) et MASSE (Cl.) : *Presse Médicale*, 1953, 61, 225.
- [10] WICK (H.) : *Arch. Exper. Pathol. Pharmacol.*, 1953, 217, 348-50.

## SUR LA NÉCESSITÉ D'ENREGISTRER LES INFORMATIONS DANS LES TRANSMISSIONS PAR MODULATION D'ESPACEMENT D'IMPULSIONS

PAR

G. POTIER

*Ingénieur à la Société LE MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE*

Lorsque l'on se propose d'effectuer une transmission par impulsions modulées, il est intéressant de rechercher quels sont les procédés de modulation utilisant au mieux le temps réservé à la transmission de l'ensemble de communications. L'un de ceux-ci consiste à faire en sorte que le temps s'écoulant entre l'impulsion de synchronisation et la dernière impulsion de voie soit proportionnel à la somme des valeurs instantanées des signaux de modulation existant à l'instant considéré. Ce type de modulation est appelé modulation d'espacement d'impulsions.

Les caractéristiques générales de ce mode de transmission sont les suivantes : le déplacement des impulsions, sous l'influence du signal de modulation, est unidirectionnel; ce déplacement est mesuré en prenant comme instant de référence celui correspondant à l'apparition de l'impulsion précédente; l'identification des impulsions repose sur le nombre d'impulsions émises depuis l'impulsion de synchronisation précédente.

Les impulsions affectées à une voie de transmission déterminée peuvent, à la réception, être isolées et transformées en impulsions dont la durée est égale au temps s'étant écoulé depuis l'impulsion de voie précédente. Ces impulsions sont non seulement modulées en durée par le signal transmis, mais également modulées en position par l'ensemble des signaux modulant les impulsions précédentes. Cette seconde modulation fait apparaître un signal indésirable dont l'amplitude est trop importante pour que l'on puisse se dispenser de le supprimer.

Un procédé pouvant être utilisé pour supprimer la modulation de position consiste à créer un signal dont l'amplitude est proportionnelle à la durée des impulsions et à l'appliquer à un filtre de démodulation à des instants équidistants. L'instant d'apparition des impulsions de voie étant déterminé et seules les impulsions de synchronisation se répétant de façon parfaitement périodique, on procède de la façon suivante : La grandeur proportionnelle à la

durée de l'impulsion est enregistrée et n'est transmise au filtre de démodulation qu'à l'instant où apparaît l'impulsion de synchronisation suivante. Immédiatement après sa transmission au filtre de démodulation, le souvenir de la grandeur enregistrée est effacé de manière à rendre le circuit apte à l'enregistrement de la grandeur suivante.

Le procédé ci-dessus permet d'éviter l'apparition d'un signal indésirable en absence de modulation sur la voie soumise aux mesures. Cependant, lorsque cette voie est elle-même modulée, la transmission est encore affectée de certains défauts. L'absence de distorsion exige, en effet, que les grandeurs transmises à des instants équidistants au démodulateur soient proportionnelles aux valeurs prises par le signal de modulation à des instants également équidistants. Un modulateur provoquant un déplacement d'impulsions proportionnel à la valeur prise par le signal à transmettre, au moment où se présente l'impulsion de voie précédente, ne peut donc permettre une transmission fidèle.

Ici encore, on peut faire appel à un enregistrement préalable du signal appliqué au modulateur. Une grandeur proportionnelle au signal à transmettre est créée et enregistrée au moment de l'apparition de l'impulsion de synchronisation. Cette grandeur n'est utilisée par le modulateur qu'à l'instant où doit s'effectuer la transmission. Immédiatement avant l'impulsion de synchronisation suivante, le souvenir de la valeur enregistrée est effacé de façon à pouvoir effectuer un nouvel enregistrement.

Dans les applications envisagées ci-dessus, l'enregistrement et l'effacement des grandeurs appliquées aux modulateurs et démodulateurs doit s'effectuer en quelques microsecondes et la mémoire du dispositif enregistreur est inférieure à une milliseconde. Pratiquement, on peut utiliser des mémoires constituées par simples capacités alternativement chargées et déchargées par des tubes à vide.

## L'APPORT DES TECHNIQUES D'ENREGISTREMENT DANS LA FABRICATION DE MATIÈRES ET DE FORMES MUSICALES NOUVELLES. APPLICATIONS A LA MUSIQUE CONCRÈTE

PAR

Jacques POULLIN

*Chef de travaux au Groupe de Recherches de Musique Concrète de la Radio-Télévision Française*

La musique, dans son déroulement temporel, ne permettait pas jusqu'ici de nous attacher aux phénomènes sonores instantanés dont la succession dans le temps constitue la matière musicale. Les techniques électroacoustiques et d'enregistrement permettent de soumettre les matériaux élémentaires à une analyse et d'opérer sur ces matériaux un certain nombre de manipulations qui aboutissent à leur transformation dynamique et spectrale.

Un certain nombre d'appareils utilisés par le Groupe de Recherches de Musique Concrète, dirigé par Pierre SCHAEFFER, s'attachent plus spécialement à la transposition harmonique du spectre sonore (phonogènes) ou à l'évolution de la forme dynamique (morphophones).

Les techniques du montage par juxtaposition et du mixage sur magnétophones multipistes donnent aux expérimentateurs toutes

les possibilités de composition des éléments sonores ainsi manipulés.

Les magnétophones multipistes convenablement associés à un dispositif régulateur permettent, en outre, la projection spatiale statique (localisation par l'auditeur de diverses sources sonores fixes à l'intérieur d'un espace de reproduction) ou cinématique (déplacement dans l'espace d'images sonores commandé à distance par les mouvements d'un opérateur au cours du déroulement de l'enregistrement).

Le Groupe de Recherches de Musique concrète par une utilisation convenable de ces diverses techniques met ainsi à la disposition des musiciens un ensemble de procédés qui contribuent, dans des domaines divers, à l'enrichissement des moyens d'expression musicale.

## I. — INTRODUCTION.

Un des aspects, peut-être le plus inattendu, de l'enregistrement sonore est de nous faire prendre conscience de la valeur objective de la matière musicale ordinairement fugace. Les phénomènes sonores, dans leur déroulement temporel, échappent à toute analyse matérielle. Des jugements d'ordre esthétique, affectif ou simplement informatif peuvent être portés sur un ensemble de phénomènes où chaque constituant n'est jamais retenu isolément pour lui-même et ne prend de signification qu'associé à son contexte. Une analyse élémentaire peut évidemment être effectuée par notre esprit mais seul le support matériel du temps que constitue l'enregistrement permet d'y apporter la rigueur scientifique.

Le découpage arbitraire d'un fragment sonore enregistré, qui peut être reproduit semblable à lui-même autant de fois qu'on le désire nous conduit à le considérer comme un objet sonore décomposable ou non en objets plus simples [1].

Cet objet possède une existence matérielle, il peut être *analysé* physiquement et musicalement et un jugement de valeur peut lui être porté, pour lui-même, indépendamment de l'ensemble du phénomène duquel il est *prélevé*. Après analyse, cet objet peut être classé et *noté* d'après un certain nombre de critères qui permettent de l'identifier et de le reconnaître, il peut être *transformé* par des manipulations électroacoustiques et donner naissance à de nouveaux objets.

Le langage défini par l'organisation temporelle d'objets sonores constitue l'objectif de recherches des musiciens du Groupe de Recherches de Musique Concrète, nous ne nous étendons pas ici sur les conséquences d'ordre musical de cette démarche mais nous nous proposons d'en étudier les aspects techniques représentés par la notation, la fabrication, la composition des objets sonores et la projection, en salle de concert, des œuvres élaborées.

## II. — ANALYSE ET NOTATION DES OBJETS SONORES.

## 2.1. Choix d'un système de notation.

La première préoccupation du musicien concret est la classification et la notation des objets sonores. Ceux-ci peuvent être prélevés dans des matières musicales ou non et leur nombre et la complexité de leur structure rendent parfaitement inadéquat l'usage de la notation de la musique traditionnelle. Théoriquement, seule la représentation analytique de tous les caractères physiques constitutifs permet une classification rigoureuse. Cependant, pour son utilisation musicale, une notation symbolique des impressions physiologiques engendrées par le phénomène sonore, à l'image de la notation musicale classique est certainement plus appropriée mais, avant d'en arriver là, il convient d'approfondir l'aspect physique de ce phénomène et ses différentes formes représentatives possibles.

## 2.2. Critique de la représentation analytique classique.

Une vibration sonore est le plus souvent représentée sur un système de coordonnées rectangulaires :  $y = i$ ,  $x = t$  qui permet de fixer la variation de son intensité instantanée en fonction du temps; ce système de représentation est fréquemment utilisé pour l'analyse des vibrations périodiques (fig. 1).

Une telle courbe contient *implicitement* tous les caractères physiques qui définissent le son repré-

senté; les échelles des intensités et des temps étant référencées, la période  $T$  définit la fréquence, donc la *hauteur*, l'analyse harmonique de la fonction  $I = f(t)$  nous renseigne sur le spectre, donc sur le *timbre*; l'intensité sera fonction de l'intensité maximum et du coefficient de forme de la courbe

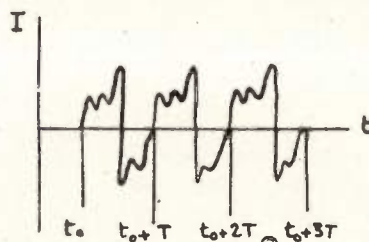


FIG. 1. — Représentation analytique classique.

représentative, plus exactement, elle sera la somme des intensités efficaces de chacun des termes de la série harmonique

$$I_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + I_2 \sin(2\omega t - \varphi_2) \dots + I_n \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

La phase  $\varphi$ , le rang  $n$ , le nombre et l'intensité de chaque harmonique définissant le spectre, l'intensité physique du son sera donnée par la relation

$$I_{eff} = \sum I_n$$

Même si on se borne à représenter un son périodique, l'interprétation physiologique du phénomène reste extrêmement délicate car il est nécessaire, à chaque instant, d'expliciter les indications contenues dans le graphique, telles que la fréquence, l'intensité et le timbre, ce qui n'est pas immédiat. En supposant que l'on puisse facilement interpréter l'échelle des temps, un entraînement préalable nous ferait associer, bientôt, à toute appréciation de la période  $T$  une notion de hauteur, mais il restera pratiquement impossible de déduire instantanément une notion de timbre et d'intensité *physiologique* par l'examen de la courbe.

Cette interprétation se complique encore si on considère, d'une part, que la sensation de timbre est indépendante de la phase des formants du spectre, (des courbes différentes pourront ainsi représenter des sensations sonores semblables), et, d'autre part, que l'intensité physiologique n'est pas une fonction simple de l'intensité efficace précédemment définie. En effet, les intensités efficaces de chaque harmonique doivent être affectées d'un coefficient qui tient compte de la non-linéarité de la réponse en fréquence de l'oreille, cette non-linéarité étant elle-même fonction du niveau (courbe de Fletcher).

En pratique, un phénomène sonore est rarement périodique même en restant dans les limites de la *note* telle qu'on la définit en musique. Si pendant un certain temps on peut y découvrir une pseudo-période (régime permanent du corps de la note) qui précise la hauteur, une analyse plus poussée nous montre que la forme du signal varie d'une pseudo-période à l'autre, cette variation étant due à l'évolution dynamique et spectrale de la note en fonction du temps (dans certains cas on enregistre, en outre, une modification périodique de la fréquence moyenne : vibrato).

Cette évolution est fonction du mode d'attaque de l'instrument, du mode d'entretien des vibrations et des conditions d'extinction du son. Le mode

d'entretien ayant justement pour but d'« entretenir » le plus longtemps et de la façon la plus homogène possible le régime permanent, c'est à l'attaque et à l'extinction que les variations de formes sont prédominantes. A l'attaque, le phénomène passe par des régimes transitoires et non périodiques avant de se stabiliser. Ainsi apparaissent des *partiels* étrangers à la série harmonique du son fondamental qui se superposent pendant un certain temps au corps de la note et peuvent, dans certains cas, se combiner, soit entre eux, soit avec les harmoniques pour former des *sons différentiels*. A l'extinction, le phénomène se complique par la réaction de la salle d'écoute, la nature de la réverbération entraînant un amortissement plus ou moins rapide des différents composants du spectre (couleur sonore).

Une courbe  $I = I(t)$  telle que celle qui est représentée (fig. 1) contiendra toujours implicitement tous les renseignements concernant l'évolution des diverses caractéristiques du son mais on conçoit que son analyse, en vue d'une interprétation de la sensation physiologique soit pratiquement impossible.

### 2.3. Représentation séparée de l'évolution des divers composants du spectre.

La visualisation des caractères dominants qui déterminent la sensation physiologique produite par un son nous est mieux représentée si on effectue préalablement la décomposition des termes de la série harmonique (cas d'une note à caractère périodique) et si on représente séparément les divers formants sur des axes de coordonnées différents.

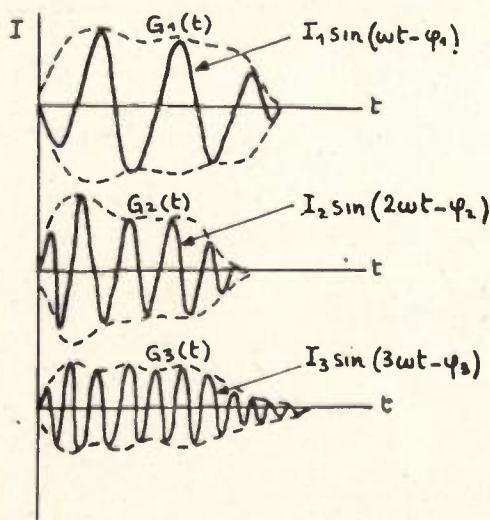


FIG. 2. — Représentation séparée de l'évolution des divers composants du spectre.

L'évolution du fondamental et des divers harmoniques nous renseignera plus immédiatement sur la variation de timbre qui s'opère sur la note au cours de son déroulement dans le temps (fig. 2).

Il convient de remarquer que la décomposition en série de Fourier n'est pas une pure abstraction mathématique mais qu'elle se justifie pleinement si on considère le mécanisme de l'audition, en effet, l'oreille procède d'abord à l'analyse des sons complexes, elle perçoit *séparément* les sons simples qui les composent à l'aide d'un nombre fini de résonateurs à bande suffisamment large pour recouvrir toute l'étendue du spectre audible (Helmholtz). La

sensation affective est évidemment une synthèse des diverses excitations à l'image du phénomène mécanique initial mais chacun des constituants élémentaires n'en possède pas moins une réalité objective.

Nous avons vu que dans le cas général d'un phénomène sonore, chacun des formants subit une modulation d'intensité qui lui est propre, au cours de son

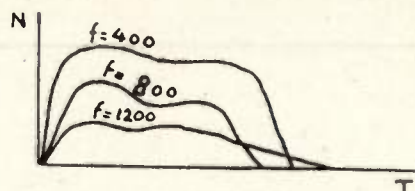


FIG. 3. — Représentation simplifiée d'une note de hauteur fixe.

évolution, autrement dit, chaque facteur tel que  $I_n$  qui définit l'amplitude du terme correspondant est lui-même une fonction du temps et le terme général de la série s'écrit alors :

$$G_n(t) \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

Ce sont les fonctions telles que  $G_n(t)$  qui nous permettent d'apprécier les variations du niveau physiologique (dynamique) du phénomène.

$$N(t) = \sum P_n G_n(t)$$

$P_n$  étant un coefficient propre à chaque terme tenant compte des courbes de Fletcher. Mais, si on se rappelle que  $P_n$  est à la fois fonction de la fréquence, de l'intensité donc de  $G_n(t)$  et des individus, on conçoit que l'évaluation du niveau physiologique d'après les courbes physiques ne puisse être qu'une appréciation.

La représentation graphique des fonctions telles que :

$$I_n \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

n'apporte aucune indication complémentaire sur l'évolution du son, un simple chiffre notant la valeur de la fréquence porté comme une indication paramétrique sur chaque courbe telle que  $G_n(t)$  nous renseignera suffisamment et une représentation commode d'une note de hauteur stable pourra être telle que la figure 3.

### 2.4. Représentation tridimensionnelle de P. Schaeffer.

Pratiquement, même dans le cas d'une note simple et *a fortiori* pour les notes complexes utilisées en Musique Concrète, la hauteur n'est pas rigoureusement stable et les diverses composantes subissent des translations en fonction du temps qui peuvent être périodiques (vibrato d'une chanteuse), continues (glissando de guitare hawaïenne) ou quelconques (variations mélodiques d'une note complexe). D'autre part, au-delà des limites de la note, si on désire représenter un événement sonore quelconque, on est obligé de suivre l'évolution du phénomène sur un système de trois coordonnées référant le niveau, la fréquence et le temps. Cette représentation permet de figurer également les sons non périodiques à spectres complexes continus ou discontinus et les bruits dont les composantes ne font plus partie d'une série harmonique [2] — et — [3].

La figure 4 représente, par exemple, une bande découpée dans un bruit blanc avec attaque et chute brusques. Ainsi, les sons à spectre continu seront représentés par des surfaces dont les directrices représenteront à chaque instant les courbes du

niveau en fonction de la fréquence, les génératrices représentant les courbes de niveau en fonction du temps pour chaque valeur de fréquence.

Un bruit blanc qui contient statistiquement toutes les fréquences du spectre avec des amplitudes égales sera figuré par un plan parallèle au plan  $TOF$  coupant l'axe  $ON$  à la valeur  $N_1$  définissant son niveau.

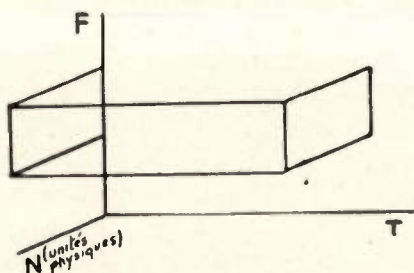


FIG. 4. — Bande découpée dans un bruit blanc avec attaque et chute brusques.

Si l'axe  $ON$  mesure le niveau physiologique la représentation du bruit blanc, pour un niveau donné, sera une surface dont la directrice figurera la courbe issue du réseau de Fletcher pour le niveau considéré et dont la génératrice sera une droite parallèle à  $OT$  (fig. 5).

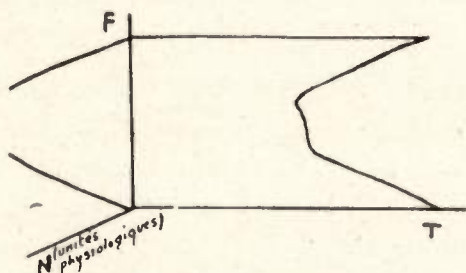


FIG. 5. — Impression physiologique produite par un bruit blanc.

Les sons à spectres discontinus (dont les sons périodiques sont un cas particulier) seront représentés par des lignes sans épaisseur dont les projections sur les plans  $TOF$  et  $TON$  figureront respec-

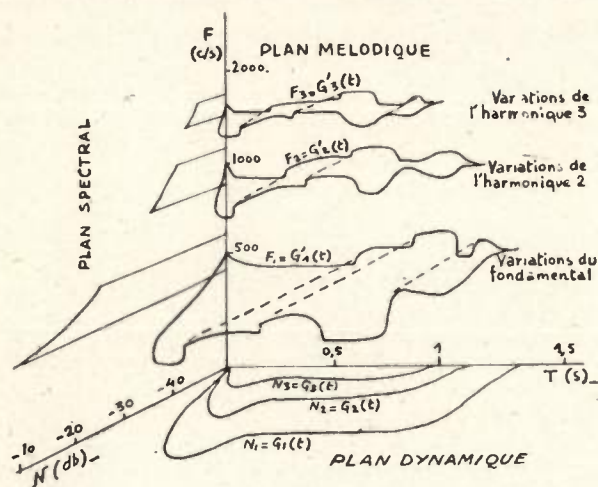


FIG. 6. — Note complexe.

tivement les modifications de fréquence et de niveau des différents composants du spectre (fig. 6).

On voit que si ce procédé donne une représentation satisfaisante de l'évolution de chacun des

paramètres déterminant l'impression physiologique produite par un phénomène sonore, il devient très vite difficile de noter dans une seule figure toutes ses fluctuations. On se bornera, dans la plupart des cas, à indiquer l'allure de l'évolution des principaux formants, une telle figure, même très schématisée, nous renseignera beaucoup plus efficacement sur les qualités physiologiques du son, que la rigueur mathématique indiscutable que nous fournit la représentation classique de la figure 1, toutefois, nous devons convenir que si cette dernière peut être obtenue immédiatement à l'aide d'un oscillographe cathodique par exemple, la représentation tridimensionnelle fait appel à des moyens d'analyse beaucoup plus délicats.

Une représentation analytique aussi approfondie qu'on le désire, compatible avec une figuration commode, sera obtenue par l'utilisation séparée d'autant de plans parallèles aux plans de coordonnées qu'il sera nécessaire. On pourra, par exemple, figurer le spectre complet du phénomène à un instant déterminé, ou suivre sur un autre graphique l'évolution en fréquence de chacun des formants.

## 2.5 Notation symbolique.

La représentation tridimensionnelle ne s'adapte pas plus à l'écriture musicale que la notation musicale traditionnelle ne convient à la représentation d'objets sonores complexes, cependant, elle nous permet de dégager les paramètres essentiels d'identification de ces objets en vue de définir une notation symbolique plus proche de nos habitudes musicales et surtout plus commode; les objets complexes ne peuvent évidemment pas être représentés sim-

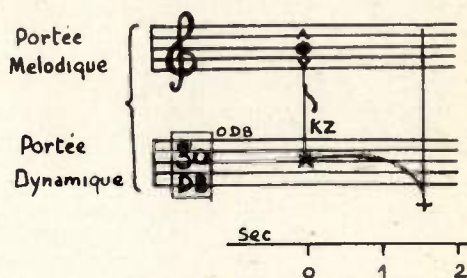


FIG. 7. — Notation symbolique de la note complexe représentée fig. 6. Le symbole figuré entre les deux portées et normalement utilisé pour désigner une croche, définit, ici, le caractère de l'attaque du son (attaque éolienne). Les lettres disposées au-dessus de la portée dynamique définissent conventionnellement le timbre. Cette notation peut comporter des indications symboliques de filtrage ou de réverbération artificielle.

plement mais il convient de dégager les caractères dominants permettant une identification suffisante et susceptibles d'être symbolisés par un nombre limité de signes conventionnels.

P. Schaeffer expérimente actuellement un système de notation qui n'est d'ailleurs certainement pas définitif et sur lequel nous ne pouvons nous étendre ici. Ce système utilise simultanément deux portées étalonnées dans le temps sur lesquelles sont figurées parallèlement des indications mélodiques et dynamiques, les caractères d'attaque, d'entretien et d'extinction sont représentés conventionnellement par des signes appropriés. La portée dynamique peut être affectée d'une clef dont le rôle est analogue à la clef de la portée mélodique et qui référence l'échelle verticale de la représentation symbolique.

Cette notation interprète ainsi deux plans du trièdre de référence à l'exclusion du plan harmonique ou des timbres. Cette dernière notion est momentanément définie par un code où les grandes familles

sont identifiées par des lettres que l'on dispose à l'origine de la notation de l'objet sonore considéré (fig. 7).

### III. — FABRICATION DES OBJETS SONORES.

#### 3.1 Prélèvements.

Toute coupe convenable dans le déroulement d'une matière sonore enregistrée constitue un prélèvement (1) qui donne immédiatement naissance à un objet sonore. La matière de départ peut être le résultat brut d'une prise de son directe effectuée spécialement en vue de créer un objet précis ou la résultante d'un certain nombre d'opérations électroacoustiques simultanées (mixage de diverses sources sonores directes ou enregistrées, soumises à une réverbération artificielle, sélective ou non, ou à des filtrages électriques appropriés).

Lorsque l'objet choisi est suffisamment simple on peut dissocier, au moins par la pensée, sa matière (notion harmonique) de sa forme (notion dynamique). Les instruments et procédés de Musique Concrète tendent à modifier l'un ou l'autre de ces caractères fondamentaux. P. Schaeffer appelle *transmutation* « toute manipulation dont l'effet porte essentiellement sur la matière de la structure sans altérer sensiblement la forme » et *transformation* « toute manipulation qui s'attache à changer la forme de la structure plutôt que sa matière ».

#### 3.2 Transmutations.

3, 2, 1. *Filtrage et transposition totale.* — Nous n'insisterons pas sur l'emploi des filtres électriques (passe-haut, passe-bas et passe-bande) qui permettent la suppression de bandes de fréquence et entraînent facilement des modifications de timbre, par contre, nous étudierons plus spécialement un des appareils de base utilisés en musique concrète : le phonogène, qui opère une transposition totale du spectre en utilisant à la lecture du matériau enregistré une vitesse de déroulement différente de celle qui fut utilisée pour son enregistrement.

3, 2, 2. — *Principe de fonctionnement du phonogène.* — En enregistrant un signal sinusoïdal de fréquence  $f$  sur une bande magnétique défilant à la vitesse  $V$  on provoque sur le rapport une induction rémanente

$$B = B_m \sin 2\pi \frac{V}{\lambda} t$$

où  $\lambda = \frac{V}{f}$  est la longueur d'onde du signal enregistré.

Lorsque ce support défile devant une tête de lecture à la vitesse  $V'$  on recueille aux bornes de la tête une tension

$$E = N \frac{d\Phi(t)}{dt} = -N 2\pi \frac{V'}{\lambda} \Phi_m \cos 2\pi \frac{V'}{\lambda} t$$

Cette relation nous montre que l'amplitude et la fréquence de la tension sont proportionnelles à la vitesse de lecture  $V'$ . Les variations de défilement à la lecture auront la même incidence sur l'amplitude de la tension de sortie que les variations de la fréquence du signal enregistré. La courbe de réponse de la tête étant normalement corrigée dans l'amplificateur de lecture, la tension de sortie sera donc finalement indépendante de la vitesse de défilement, par contre, la fréquence  $f'$  du signal obtenu à la

lecture correspondra à la fréquence du signal enregistré que si  $V = V'$  dans la négative

$$f' = f \frac{V'}{V}$$

Plus généralement un signal complexe enregistré à la vitesse  $V$ , défini par sa série de Fourier, engendrera, en fonction de la vitesse de lecture, une tension de la forme

$$E(t) = \sum A_n \sin \left( \frac{V'}{V} n \omega t - \varphi_n \right)$$

La fréquence de chaque terme étant multipliée par le facteur  $\frac{V'}{V}$  on assiste à une translation du spectre sur l'axe des fréquences, c'est-à-dire à une transposition musicale du phénomène sonore enregistré.

Nous appellerons rapport de transposition le rapport  $R = \frac{V'}{V}$

$$R < \text{ou} > 1$$

3, 2, 3. — *Transposition d'une note simple.* — La transposition d'une note musicale simple opérée à l'aide du phonogène diffère sensiblement de la transposition opérée directement à l'aide de l'instrument qui lui a donné naissance :

a) la transposition harmonique est accompagnée d'une transposition de la durée qui varie évidemment comme le rapport de transposition ;

b) le phonogène opère une translation rigoureuse du spectre alors que ce phénomène est beaucoup moins rigoureux dans le cas de la transposition directe. En effet, si, dans un instrument, le rapport des divers harmoniques est suffisamment constant d'une note à l'autre pour que l'oreille puisse reconnaître une homogénéité du timbre qui caractérise l'instrument, les amplitudes des divers composants sont susceptibles de varier dans des proportions non négligeables, pour une même note, des fluctuations d'amplitude s'observent déjà en fonction de l'intensité des attaques ;

c) la transposition opérée par le phonogène s'effectue non seulement sur tous les composants qui caractérisent la série harmonique définissant les oscillations pseudo-périodiques mais sur tous les phénomènes qui caractérisent le mode d'attaque, le régime d'entretien et les conditions d'extinction de la note (durée des régimes transitoires, fréquence et forme des fluctuations dynamiques, fréquence des partiels).

Ainsi, la transposition dans le grave entraînera une augmentation de la durée d'extinction, donc de la réverbération apparente, inversement, un timbre transposé dans l'aigu sera plus sec et plus mat que le timbre de départ.

Ce sont les phénomènes transitoires propres à l'instrument (forme de l'attaque et variations dynamiques de l'entretien) qui autant que son spectre harmonique nous permettent son identification, l'expérience classique qui consiste à modifier convenablement à l'enregistrement les attaques et l'aspect dynamique des notes émises par un piano pour lui donner une « sonorité » d'orgue est, dans ce sens, suffisamment concluante ; on conçoit que la transposition des partiels issus des régimes transitoires donne naissance à un timbre substan-

tiellement différent de celui qui aurait pu être obtenu par une transposition instrumentale directe.

3, 2, 4. — *Transposition d'une note complexe.* — Par définition, la note de musique traditionnelle est un son de hauteur fixe d'une durée variant de quelques secondes au 1/10 de seconde émis normalement par un instrument de timbre référencé que les luthiers ont rendu non pas le plus pur mais le plus agréable possible. Le plus souvent, l'intensité du son varie après son émission suivant une loi décroissante simple.

La note complexe [1] utilisée en musique concrète est une généralisation de la note traditionnelle, elle s'étend à tout phénomène sonore dont on peut déterminer un début, un développement simple et une extinction. Elle peut être une superposition de notes simples (accord) ou le résultat de la mise en résonance d'un corps sonore, donnant naissance à des phénomènes non périodiques ou bien encore une note artificielle obtenue par montage ou prélevée dans un complexe sonore quelconque. Physiologiquement, la note complexe est un son qui peut subir, au cours de son déroulement, des variations dynamiques, mélodiques et spectrales et dont le spectre peut contenir une superposition de plusieurs séries harmoniques et de partiels étrangers à ces séries. La transposition de l'ensemble des composants donnera naissance à des combinaisons variées entraînant de profondes altérations du timbre de départ.

3, 2, 5. — *Transposition d'un bruit.* — Ainsi, un objet sonore transposé s'éloigne d'autant plus du phénomène original que celui-ci s'éloigne lui-même du son périodique simple. Pour les sons musicaux, les modifications des caractéristiques du timbre seront d'autant plus importantes que les transitoires d'attaque et d'extinction prédomineront. On conçoit que pour les sons non périodiques (bruits) où les phénomènes transitoires sont seulement représentés, la transposition totale entraîne une véritable *transmutation* du son. Un tel signal transposé peut ainsi donner naissance à un phénomène sonore qui, à l'audition, ne rappelle en rien le son d'origine.

3, 2, 6. — *Transposition de la voix.* — On pourrait songer à utiliser le phonogène pour opérer des transpositions sur les voix, mais, indépendamment de l'accélération ou du ralentissement du débit d'élocution que l'on peut toujours compenser par une modification appropriée du débit à l'enregistrement, on constate que l'intelligibilité décroît très vite en fonction du rapport de transposition, en particulier les voyelles deviennent totalement méconnaissables. Cela paraît surprenant *a priori* puisque les voyelles correspondent au régime permanent (pseudo-périodique) de la voix et on a vu que, dans ce cas, l'altération du timbre, par transposition au phonogène, est minimum par rapport à l'altération provoquée par une transposition directe.

En fait, il convient de dissocier dans le spectre d'une voyelle les fréquences qui caractérisent la hauteur et le timbre de la voix qui la prononce, et les fréquences caractéristiques qui définissent cette voyelle, autrement dit le spectre particulier à chaque voyelle module à chaque instant le spectre de la voix qui l'émet mais ne suit pas son évolution dans la tessiture. Il est évident que le phonogène, en transposant le spectre caractéristique des voyelles, entraîne leur déformation, on constate néanmoins une tolérance de l'ordre du 1/3 d'octave pour

laquelle l'intelligibilité n'est pas sensiblement affectée.

3, 2, 7. — *Transposition des cellules.* — Une cellule ne présente pas les caractères définis de la note complexe et peut être la superposition ou la juxtaposition de phénomènes élémentaires dont la complexité ou la densité permet difficilement une décomposition de l'ensemble en notes complexes ou non. Une cellule peut aussi être plus simplement une succession de notes dissociables mais dont l'évolution (rythmique, mélodique ou spectrale) possède un intérêt *intrinsèque*, le découpage temporel ayant été guidé par des considérations d'ordre musical.

La transposition de durée qui accompagne la transposition harmonique est d'un intérêt secondaire, voire inopportun, dans le cas de notes isolées, mais cette possibilité de changer l'échelle du temps, de contracter ou d'étirer un phénomène sonore dans des limites inusuelles peut donner naissance à des effets dramatiques intéressants (analogie au ralenti et à l'accélération du cinéma). Sur le plan musical traditionnel, la transposition du temps permet d'extrapoler les possibilités des instrumentistes de même que la transposition harmonique extrapole celle des instruments.

Physiologiquement, la contraction dans le temps d'une cellule entraîne une intégration par l'oreille de certains phénomènes qu'elle ne peut plus dissocier temporellement. Dans certains cas, une cellule ainsi contractée peut devenir note complexe, les phénomènes composites disparaissant pour se substituer à un son bref d'apparence homogène et de hauteur mal définie. Pourtant, une succession de transpositions convenables dans le sens des vitesses croissantes permettra l'exécution d'un dessin mélodique.

Inversement, l'étirement dans le temps d'une note complexe fait apparaître de nouveaux phénomènes que l'oreille perçoit alors successivement; ainsi, indépendamment des limites entraînées par les courbes de réponse de l'appareil et de l'oreille, on assiste à une nouvelle borne inférieure de transposition; on définirait symétriquement une borne supérieure déterminée par le seuil de sensibilité temporelle de l'oreille.

3, 2, 8. — *Réalisation du phonogène.* — Le phonogène à clavier (brevet Schæffer, constructeur Tolana) comporte essentiellement un système d'entraînement à douze vitesses différentes d'une boucle fermée de bande magnétophonique composé de douze galets de diamètres convenables, le clavier permettant l'embrayage de la bande sur tel ou tel d'entre eux. Le rapport des douze vitesses correspond au rapport des fréquences de la gamme chromatique tempérée de Bach. Le moteur d'entraînement à deux vitesses double les possibilités de transposition immédiate qui couvrent ainsi deux octaves. En fait, il n'y a pas de limites mécaniques à la transposition: en s'adjoignant un magnétophone ordinaire pour effectuer des copies intermédiaires, il est possible d'enregistrer sur une boucle défilant à la vitesse inférieure (ou supérieure) des phénomènes issus d'une boucle lue à la vitesse supérieure (ou inférieure), la nouvelle boucle enregistrée pourra ainsi être transposée de deux nouvelles octaves dans le sens choisi, et ainsi de suite.

Les circuits électriques de lecture et d'enregistrement ne diffèrent pas de ceux d'un magnétophone standard; l'appareil comporte donc un amplificateur, une tête d'effacement (amovible),

une tête qui, par commutation, sur l'amplificateur, sert alternativement à la lecture et à l'enregistrement. La bande étant préalablement effacée à l'aide de la tête d'effacement amovible, l'opération d'enregistrement permet d'isoler au moment voulu par l'opérateur tout fragment sonore préalablement choisi et convenablement repéré par lui. Ce fragment peut être immédiatement lu à 24

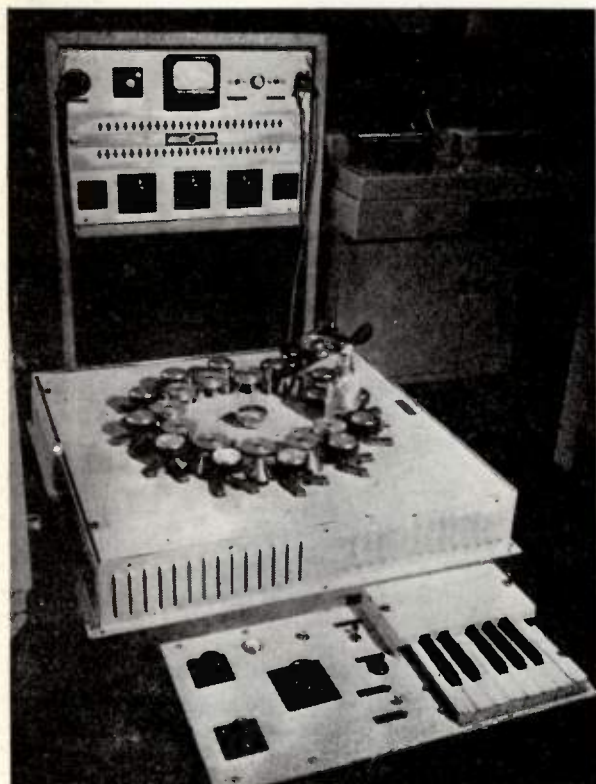


Fig. 8. — Le Phonogène.

vitesse différentes modifiant ainsi son rythme, sa durée et son timbre. Par un dispositif annexe de poulies de renvoi, la bande peut être amenée à une longueur suffisante pour contenir les fragments de longueur maxima utilisés dans les manipulations.

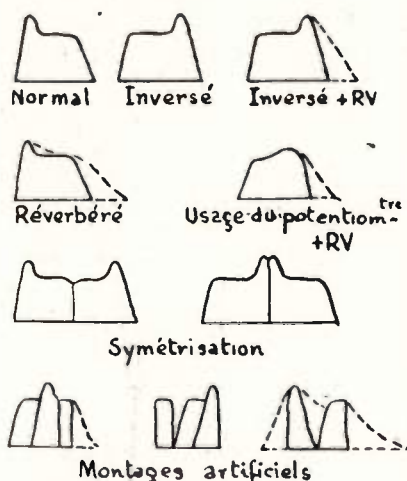
Une variante de cet appareil (phonogène à coulisse) réalisée par les Établissements S. A. R. E. G. permet d'obtenir un défilement de la bande à des vitesses continuellement variables et est susceptible d'être chargé indifféremment par des boucles fermées de longueur variable ou des bobines standard supportées par des flasques.

### 3.3 Transformations.

**3, 3, 1. — Transformations par montage.** — Des modifications dynamiques d'un objet sonore sont immédiatement obtenues par action directe sur le gain de l'amplificateur de lecture à l'aide du potentiomètre de réglage, mais la constante personnelle de l'opérateur ne permet que des modifications très limitées, surtout vis-à-vis des objets sonores courts. L'usage de la réverbération artificielle et l'inversion pure et simple des objets (inversion du sens de défilement de la bande) sont également des procédés d'application immédiate.

Les transformations par montage (découpage et collage de bandes magnétiques) sont plus délicates et souvent assez décevantes. Chaque objet sonore pouvant être décomposé en éléments  $a, b, c, \dots$ , la

permutation ou le retrait de certains d'entre eux donnent naissance à des formes artificielles dont la résonance des corps naturels ne fournit pas d'exemples. En fait, les formes dynamiques obtenues présentent de très grandes discontinuités aux points de juxtaposition. Il s'établit ainsi, à chacun de ces points, des régimes transitoires engendrés par les constantes de temps des circuits électroacoustiques de lecture et d'enregistrement et on assiste à la naissance de nouveaux partiels qui définissent, à chaque point de juxtaposition, des attaques artificielles. L'usage de la réverbération permet d'atténuer l'aspect hétérogène des objets ainsi manipulés (fig. 9).



**3, 2, 2. — Le morphophone.** — Cet appareil est essentiellement un magnétophone fonctionnant sur boucle fermée et possédant dix têtes lectrices, chaque tête attaquant un préamplificateur dont on peut modifier le gain et la courbe de réponse à l'aide de filtres simples. Les préamplificateurs débiteront, en mélange, sur l'amplificateur de sortie

(constructeur S. A. R. E. G.).

Une première utilisation de l'appareil est d'engendrer une réverbération artificielle de forme et de couleur variables puisque la durée de l'extinction de tout phénomène sonore sera prolongée suivant une loi qui dépendra des réglages des préamplificateurs de lecture. D'autre part, un élément de matière homogène de dynamique stable défilant successivement devant les têtes lectrices subira une modulation dynamique et accessoirement, si on le désire, des variations spectrales.

Toutefois, si les divers réglages de l'appareil permettent de déterminer *a priori* l'aspect dynamique d'un objet sonore, ils ne peuvent recréer des attaques assimilables aux attaques instrumentales dont les durées peuvent être de l'ordre de 1/100 de seconde. Pour imprimer à l'objet des transitoires d'attaque préalablement fabriqués par un système auxiliaire, A. Moles a imaginé un dispositif qui consiste à faire précéder les têtes lectrices d'une tête d'effacement dont on peut faire varier l'efficacité suivant une loi conditionnée par ce système auxiliaire. Le dispositif actuellement à l'étude permettrait la substitution d'un transitoire initial par un transitoire déterminé. Le transitoire initial préalablement lu et détecté aurait pour effet de déclencher, au moment opportun, une modulation de l'oscillateur d'effacement suivant la loi d'attaque choisie. On serait ainsi maître de la loi d'émergence du phénomène sonore dans les limites de temps qui pourraient être de l'ordre des durées d'attaques instrumentales pincées ou percutees.

**3, 2, 3. — Vers une transformation totale.** — Le problème général de la transformation dynamique d'un phénomène  $\sum G_n(t) \sin(n\omega t - \varphi_n)$  consiste à substituer à la fonction  $G_n(t)$  une fonction différente  $G'_n(t)$ .

Dissocier la fonction « forme » de la fonction « matière » reste le pont aux ânes de la musique concrète. S'il est relativement aisé de détacher la forme d'un phénomène, par détection de son enveloppe par exemple, pour l'imprimer à l'aide d'un modulateur à un autre phénomène, il est moins concevable que l'on puisse par une manipulation quelconque recueillir une matière dépouillée de sa forme. Toutefois, dans la mesure où les procédés de musique concrète sont susceptibles de livrer sur une boucle magnétique des matières dites homogènes, c'est-à-dire dont le timbre et le niveau sont suffisamment constants dans le temps, il est possible, théoriquement, d'imposer à ces matières des formes précises à l'aide de modulateurs de types classiques et les techniciens du Groupe s'orientent actuellement vers l'étude de « générateurs de formes dynamiques » qui, convenablement jumelés au phonogène, donneraient à ce dernier de nouvelles possibilités techniques.

#### IV. — COMPOSITION DES OBJETS SONORES

Les procédés de la composition musicale ne nous intéressent pas ici, seules les préoccupations techniques auxquelles ils conduisent seront exposées brièvement. Elles ne posent, d'ailleurs, que des problèmes relativement simples puisqu'il s'agit soit de composer une ligne mélodique par juxtaposition d'objets sonores, soit de superposer ces objets pour composer des ensembles harmoniques. Les opérations classiques de montage par collage bout à bout d'éléments enregistrés sur bande magnétique satisfont très rigoureusement au premier cas, le découpage de la durée étant ramené à des mesures de longueur de bande qui peuvent être aussi précises qu'on le désire. Les opérations de superposition sont d'autre part résolues par un magnétophone à trois bandes défilant en synchronisme (constructeur Tolana) qui permet l'audition et le repiquage simultané d'objets sonores séparés matériellement.

L'ensemble de plusieurs bandes composées pour être diffusées simultanément et lues sur l'appareil à trois bandes est recopié soit sur une piste unique de bande magnétique standard, soit sur une bande large comportant plusieurs pistes, chacune de ces pistes représentant une voix d'orchestration. La différenciation de ces voix permet alors la projection spatiale. Pour limiter le nombre d'appareils utilisés, ce magnétophone à plusieurs pistes est du type à bande perforée, ce qui facilite les applications de la musique concrète au cinéma et à la télévision.

#### V. — PROJECTION SONORE

##### 5.1 Reproduction ponctuelle.

La musique concrète, par essence même, n'existe qu'enregistrée; elle ne peut être livrée à l'audition que par l'intermédiaire de chaînes électroacoustiques. Dans le cas de l'utilisation d'un canal unique la source ponctuelle de reproduction néglige notre possibilité d'un repérage spatial des diverses sources composites, cependant souhaitable, ne serait-ce que pour diminuer les effets de masques qui limitent les superpositions de timbres trop riches ou trop voisins. C'est néanmoins le cas de toute musique radiophonique, et la reproduction de la musique concrète ne pose pas de problème particulier par rapport à ceux d'une retransmission normale si ce

n'est celui d'un cadrage et d'une décompression convenable de la dynamique en fonction de la salle d'écoute, de l'auditoire et du caractère de l'œuvre.

##### 5.2 Relief statique.

Les magnétophones multipistes permettent la projection sonore des diverses parties d'une composition en des points différenciés de l'espace de reproduction. Les points de localisation spatiale ne sont d'ailleurs pas limités au nombre des pistes (ou des haut-parleurs correspondants). Divers expérimentateurs et plus récemment J. Bernhart et J.-W. Garrett ont mis au point des procédés utilisant deux

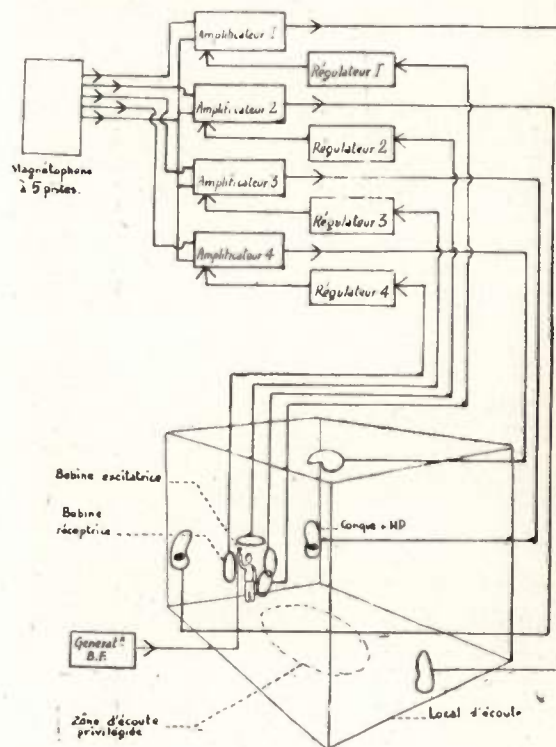


FIG. 10. — Installation de projection spatiale.

pistes qui permettent le repérage de sources virtuelles sur une ligne joignant les deux haut-parleurs de reproduction disposés normalement à droite et à gauche de l'auditeur. D'autre part, la théorie des plans sonores et nos habitudes de l'écoute radiophonique nous ayant familiarisés avec une localisation subjective des sources dans le sens de la profondeur [5] (ou plus exactement une notion de la proximité sans distinction précise de direction), les procédés stéréophoniques à deux voies restituent avec une approximation suffisante des phénomènes sonores situés dans un plan qui ne pourrait être convenablement défini que par un système à trois canaux.

L'utilisation de quatre voies de reproduction permet de définir un volume à l'intérieur duquel il est théoriquement possible de créer autant de sources virtuelles qu'on le désire, par une répartition convenable des intensités d'enregistrement sur chacune des pistes. L'auditeur, par une disposition appropriée des quatre haut-parleurs de reproduction (fig. 10), perçoit alors des impressions auditives de toutes les directions de l'espace qui l'environne et se trouve placé au centre d'un volume

d'informations sonores, ce qui est évidemment inhabituel dans les cas normaux de l'écoute musicale pour lesquels l'orchestre se situe, le plus souvent, dans un plan face au public [6].

### 5.3 Relief cinématique.

On sait [5] qu'il suffit de modifier sur chaque piste la répartition des intensités d'enregistrement pour engendrer à la reproduction des déplacements de la source sonore. Il est également possible d'obtenir ces déplacements, directement à la reproduction, à partir d'une piste unique alimentant quatre voies de projection sonore pour lesquelles il a été prévu un dispositif commode de réglage de la répartition des gains des divers amplificateurs.

Projeter le son dans l'espace, et l'y déplacer au cours même de la reproduction, devait être une suite logique aux préoccupations du Groupe de Recherches de Musique Concrète. En outre, pour établir un contact direct avec le public, et restituer une présence humaine au cours de l'exécution des œuvres, P. Schaeffer a imaginé un dispositif qui permet à un opérateur-exécutant d'imprimer des trajectoires sonores à partir des gestes qu'il décrit directement devant l'auditoire. Pour ce faire, l'opérateur tient dans la main une bobine émettrice alimentée par un courant alternatif et se trouve placé à l'intérieur d'un volume défini par quatre bobines réceptrices réparties autour de lui, par exemple à sa droite, à sa gauche, au-dessus et devant lui (fig. 10). Ses mouvements engendrent aux bornes des bobines réceptrices des tensions induites variables qui convenablement amplifiées et redressées fournissent la tension anodique à des étages modulateurs insérés dans chacun des quatre canaux d'amplification.

### 5.4 Équipement de projection spatiale.

Le jumelage d'un magnétophone à cinq pistes et d'un système de commande cinématique à bobines lié à une chaîne de reproduction comportant quatre voies permet d'obtenir simultanément :

a) Une restitution de sources quelconques à l'intérieur d'un volume, la position statique ou les déplacements des diverses sources étant conditionnés par la répartition de l'intensité correspondant à chacune des sources localisées sur quatre pistes spécialisées de l'enregistrement.

b) Des trajectoires sonores commandées par les gestes d'un opérateur et exécutées sur une partie de la composition spécialement enregistrée sur la cinquième piste.

Chaque amplificateur de reproduction dispose de deux entrées indépendantes dont l'une est classique tandis que l'autre est contrôlée par un étage à gain variable (tube monté en modulateur-plaque) dont la tension anodique est fournie par les régulateurs du dispositif de commande à bobines (constructeur Raoult).

Afin de diminuer la distorsion spatiale introduite par les diverses réflexions sur les parois de la salle d'écoute, qui, en provoquant des sources secondaires, ne manqueraient pas d'engendrer des localisations diffuses, les haut-parleurs sont équipés de baffles focalisateurs (Conques Elipson) [5] qui concentrent l'énergie rayonnée dans un cône utile de 60° et homogénéisent les courbes de réponse en fonction des diverses directions d'écoute.

L'ensemble du dispositif décrit est simple dans son principe, en fait, son utilisation est délicate et les

lois qui définissent la répartition des décibels en fonction des localisations à l'intérieur d'un volume nous sont encore mal connues. En outre, des localisations précises ne sont valables que pour une position déterminée de l'auditeur, on peut toutefois délimiter une zone d'écoute privilégiée suffisamment éloignée des sources sonores réelles à l'intérieur de laquelle les localisations et déplacements, sans être rigoureusement identiques, conservent néanmoins des caractères communs.

## VI. — CONCLUSION.

Les œuvres, déjà nombreuses, du répertoire de Musique Concrète sont, avant tout, des œuvres expérimentales, elles n'ont pas toutes bénéficié des mêmes possibilités techniques et chacune marque une étape des progrès réalisés. Toutefois, leur première audition peut susciter un vif intérêt, de l'étonnement, de l'indifférence ou une nette réprobation. Pour faciliter au lecteur un jugement objectif, nous lui proposons, en guise de conclusion, les deux remarques suivantes.

Les techniques de l'enregistrement ont ouvert aux musiciens divers secteurs de recherches et mis à leur disposition de nouveaux moyens d'expression. Les procédés de Musique Concrète se présentent techniquement comme une lutherie moderne puisqu'ils sont générateurs de sons, au même titre que les instruments d'orchestre. La palette du compositeur se trouve ainsi considérablement élargie mais, l'utilisation qu'il en fait est, avant tout, fonction de sa conception personnelle de la musique. Il est normal que la Musique Concrète ait d'abord attiré de jeunes compositeurs décidés à sortir des sentiers battus et il faut retenir que leur écriture, même exprimée en musique traditionnelle, s'adresse déjà à un public spécialisé. Il convient, pour le technicien, de dissocier l'aspect musical des œuvres qui lui sont présentées de la démarche scientifique qui a présidé à leur élaboration et dont nul esprit sincère ne peut mésestimer l'intérêt.

D'autre part, nos appareils actuels, pour admirables qu'ils soient sur le plan technique n'en sont pas moins encore difficilement malléables dans leur utilisation musicale. Nous sommes déjà loin du sillon fermé pratiqué sur disques des premières années qui ne livrait, à l'expérimentateur inlassablement face à d'unique tourne-disques tournant à vitesse désespérément fixe, que des matériaux cycliques, certes prometteurs, mais marqués d'une périodicité déconcertante. Cette technique a cependant donné naissance au déjà célèbre Concert de Bruits de P. Schaeffer, en 1948. Mais les procédés de Musique Concrète requièrent encore une longue patience de la part de ceux qui les utilisent et de nouveaux appareils, permettant l'exploration *com-mode* des diverses techniques de transmutation et de transformation de la matière sonore, restent à imaginer.

Les prélèvements engendrent des matériaux bruts qu'il est nécessaire d'affiner et il faut, actuellement, l'opiniâtreté et l'extrême habileté de spécialistes tels que Pierre Henry, musicien de talent et expérimentateur convaincu, pour les modeler et les amener à un état qui les rende dignes de figurer dans une composition. Notre jeune expérience a encore à s'enrichir avant que nous puissions donner aux compositeurs de toutes tendances un ensemble de moyens souples et d'application immédiate.

## BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- [1] P. SCHAEFFER. — A la recherche d'une Musique Concrète. Appendice : Esquisse d'un solfège concret. *Éditions du Seuil*, 1952.
- [2] P. SCHAEFFER. — Journal de la Musique Concrète. *Revue Polyphonie* numéro consacré à la musique mécanisée. Éditions Richard Masse.
- [3] A. MOLES. — Étude et représentation de la note complexe en acoustique musicale. *Annales des Télécommunications*, tome VII, n° 11; nov. 52.
- [4] A. MOLES. — Les machines à musique. *La Revue Musicale*, numéro spécial consacré à la Décade de Musique Expérimentale. Éditions Richard Masse, 1954.
- [5] J. BERNHART. — Deux applications de la notion de distorsion spatiale. *L'Onde Électrique*, n° 304, juillet 1952. Éditions Chiron.
- [6] J. POUILLIN. — Son et Espace. *La Revue Musicale*, numéro spécial consacré à la Décade de Musique Expérimentale. Éditions Richard Masse 1954.

## L'ENREGISTREMENT MAGNÉTIQUE DANS LE DOMAINE DES MACHINES A CALCULER

PAR

F.-H. RAYMOND

*Directeur**de la Société d'Électronique et d'Automatisme*

J. ALBIN

*Ingénieur de recherches**à la Société d'Électronique et d'Automatisme*

Le but de l'enregistrement magnétique dans les machines à calculer, sous la forme d'un support pouvant être aimanté réparti sur la surface d'un cylindre (voire sur la ou les deux surfaces d'un disque) réalise un compromis entre la recherche d'une grande capacité de mémoire (plusieurs centaines de milliers de « digits »), le minimum de circuits associés (pour l'écriture, la lecture et la sélection des pistes et des emplacements de mémoire sur une piste) et le minimum de temps d'accès (c'est-à-dire le temps imparti à l'obtention d'une information continue dans un emplacement de mémoire).

Les auteurs rappellent quelques caractéristiques principales permettant de déterminer le cadre

technique et financier dans lequel se développent les travaux accomplis à la S. E. A.

L'exposé est consacré ensuite à l'exposé du principe physique de l'enregistrement et à la discussion de résultats expérimentaux (séparation des pertes en particulier) ayant eu comme objectif la détermination des spécifications d'un tambour entrant dans la constitution d'une machine universelle (C. A. B. 2022) en construction à la S. E. A. L'usage de têtes en ferrite a ainsi été défini.

La fin de l'exposé est consacrée à l'exposé des tentatives faites en vue de simplifier les circuits de commutation en mettant en évidence l'usage qui est fait des ferrites dans ce domaine.

## UNE LIGNE A RETARD VARIABLE A RUBAN MAGNÉTIQUE

PAR

M. TOUTAN

*Ingénieur des Télécommunications,**Centre National d'Études des Télécommunications*

Un corrélateur analogique permet de tracer par points la fonction de corrélation propre d'une fonction  $f(t)$ , ou la fonction de corrélation mutuelle de deux fonctions  $f(t)$  et  $g(t)$ . Il est nécessaire pour cela de pouvoir injecter à son entrée la fonction  $f(t - \tau)$ ,  $\tau$  étant un retard variable. On étudie une ligne à retard composée d'une bande sans fin de ruban magnétique permettant l'enregistrement simultané de deux signaux électriques (largeur de bande 30 c/s à 18.000 c/s), et leur reproduction avec un retard relatif variable de  $-3$  à  $+200$  millisecondes. Un calcul sommaire indique le pleurage maximum admissible pour obtenir la courbe de corrélation avec une précision donnée. Les artifices employés pour satisfaire ces conditions sont décrits.

Corrélateur analogique.

Dans certains problèmes on est amené, connaissant deux fonctions du temps  $f(t)$  et  $g(t)$ , à étudier les fonctions :

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^{T+\tau} g(t) \cdot f(t - \tau) dt$$

ou

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^{T+\tau} f(t) \cdot f(t - \tau) dt$$

Sous certaines hypothèses faites sur  $f(t)$  et  $g(t)$ , que nous n'examinerons pas ici, ces fonctions ne dépendent que de  $\tau$ , sont paires, et appelées fonction de corrélation mutuelle de  $f(t)$  et  $g(t)$ , ou fonction d'autocorrélation de  $f(t)$ .

On dispose d'un corrélateur analogique qui, recevant les deux fonctions  $f(t)$  et  $f(t - \tau)$  sur deux entrées distinctes, en fait électriquement le produit  $g(t) = f(t) \cdot f(t - \tau)$ , puis l'intègre pendant le temps  $T$  et en prend la valeur moyenne. Il faut lui adjoindre une ligne à retard variable permettant, connaissant  $f(t)$ , d'obtenir  $f(t - \tau)$ ,  $\tau$  pouvant prendre des valeurs que nous préciserons plus tard. Les valeurs possibles de  $T$  sont 0,5-1,5-3,5-et 7,5 s. Les fonctions  $f(t)$  et  $g(t)$  peuvent avoir un spectre de fréquences s'étendant de 30 c/s à 18.000 c/s.

Nous supposons pour les calculs qui vont suivre que les fonctions  $f$  et  $g$  sont identiques et égales à  $\sin \omega t$ . Soit  $\rho(\tau)$  la fonction d'autocorrélation :

$$\rho(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^{t+\tau} \sin \omega t \cdot \sin \omega (t - \tau) dt = \frac{1}{2} \cos \omega \tau - \frac{1}{2\omega T} \sin \omega T \cdot \cos \omega (2t + T - \tau)$$

Quand  $T \rightarrow \infty$ ,  $\rho(\tau) = \frac{1}{2} \cos \omega \tau$ , le deuxième terme tendant vers 0 comme  $\frac{1}{\omega T}$ . Pour les valeurs admises de  $\omega$  et  $T$  l'erreur commise en le négligeant est inférieure à l'erreur propre du dispositif électronique de corrélation. Nous pouvons donc supposer que  $T$  devient effectivement infini.

Corrélation à remplir par la ligne à retard.

La fonction  $\rho(\tau) = \frac{1}{2} \cos \omega \tau$  est périodique de pulsation  $\omega$ . Le corrélateur la tracera par points, pour des valeurs croissantes du retard  $\tau$  par exemple. Pour que cette courbe  $\rho(\tau)$  soit facilement identifiable, nous admettrons qu'on doive en posséder six périodes complètes. Cela fixe, pour la fréquence la plus basse à étudier, soit 30 c/s, le retard maximum : 200 millisecondes.

Il est d'autre part intéressant de pouvoir afficher un retard  $\tau$  négatif pour s'assurer de la position  $\tau = 0$ . On a admis un retard négatif de - 3 millisecondes.

Enfin pour la fréquence la plus élevée, 18.000 c/s, ou une période = 55  $\mu$ s, on a admis qu'il fallait au moins 12 points par période, soit une variation de  $\tau$  par échelons repérables de 4 à 5  $\mu$ s.

Pour remplir ces conditions, un procédé d'enregistrement magnétique a été choisi. Les signaux  $f(t)$  et  $g(t)$  sont enregistrés simultanément sur deux pistes animées d'un même mouvement, puis lues avec des retards d'enregistrement et de lecture sur les deux pistes. Le retard  $\tau$  des formules précédentes est  $\tau_2 - \tau_1$ .

De tels dispositifs existent sous la forme de tambours dont la surface latérale supporte les pistes. Dans ce cas le pleurage dû à l'irrégularité de vitesse de défilement de la piste a une influence minimum, mais l'usinage du tambour doit être fait avec une grande précision pour éviter les variations d'amplitude du signal reproduit, causées par l'espace variable entre piste et têtes. Nous avons cherché à réaliser une ligne à retard avec une bande souple. Les variations d'amplitude disparaissent, mais le pleurage prend une importance plus grande, que nous allons examiner.

Influence du pleurage sur la fonction de corrélation.

Supposons donc une bande sans fin entraînée à la vitesse moyenne  $v_0$  et défilant devant deux trains de têtes successifs : effacement, enregistrement et lecture (fig. 1).

Le mouvement continu moyen de translation peut être affecté de variations diverses :

Les variations de vitesse de rotation du cabestan d'entraînement ou son excentricité se traduiront,

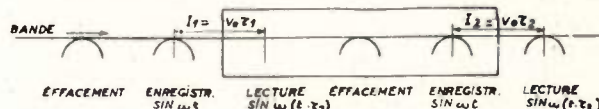


FIG. 1.

si la bande est parfaitement inélastique, par une variation, identique en tous points de la bande, de la vitesse de défilement. Comme la bande est en fait élastique, ces variations, en conservant la même fréquence, pourront subir un certain déphasage le long de la bande.

Des vibrations de la bande sont créées par les frottements sur les points fixes, et se transmettent par oscillations élastiques longitudinales le long de la bande, à des fréquences assez élevées.

Examinons d'abord d'une façon générale l'influence de variations sinusoïdales de la vitesse de défilement, indépendantes sur chaque train de têtes.

Soit  $l_1$  la distance entre têtes d'enregistrement et de lecture du premier train. Nous pouvons écrire  $l_1 = v_0 \cdot \tau_1$ .

Si la vitesse de défilement est  $v = v_0 + \Delta v_1 \cos p_1(t + \theta_1)$  le retard subi par le signal entre les deux têtes est  $\tau$  défini par

$$l_1 = \int_{t-\tau}^t v(t) \cdot dt$$

$$\text{ou } l_1 = v_0 \tau_1 = v_0 \tau + \frac{\Delta v_1}{p_1}$$

$$2 \sin p_1 \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos p_1 \left( t + \theta_1 - \frac{\tau_1}{2} \right)$$

comme on suppose  $\frac{\Delta v_1}{v_0} \ll 1$ , on peut écrire

$$\tau = \tau_1 - \frac{1}{p_1} \frac{\Delta v_1}{v_0} \cdot 2 \sin p_1 \frac{\tau_1}{2} \cdot \cos p_1 \left( t + \theta_1 - \frac{\tau_1}{2} \right)$$

et le signal enregistré  $\sin \omega t$  devient à la lecture :

$$\sin \left[ \omega t - \omega \tau_1 + m_1 \cos p_1 \left( t + \theta_1 - \frac{\tau_1}{2} \right) \right]$$

$$\text{en posant } m_1 = 2 \frac{\omega}{p_1} \frac{\Delta v_1}{v_0} \sin p_1 \frac{\tau_1}{2}$$

$$\text{En posant de même } m_2 = 2 \frac{\omega}{p_2} \frac{\Delta v_2}{v_0} \sin p_2 \frac{\tau_2}{2}$$

pour le deuxième train de têtes, où la vitesse de défilement est :

$$v_0 + \Delta v_2 \cos p_2(t + \theta_2) \quad \text{et} \quad l_2 = v_0 \cdot \tau_2$$

le signal lu sur la deuxième tête de lecture devient :

$$\sin \left[ \omega t - \omega \tau_2 + m_2 \cos p_2 \left( t + \theta_2 - \frac{\tau_2}{2} \right) \right]$$

la fonction de corrélation s'écrit :

$$\rho(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_t^{t+\tau} \sin \left[ \omega t - \omega \tau_1 + m_1 \cos p_1 \left( t + \theta_1 - \frac{\tau_1}{2} \right) \right] \cdot$$

$$\sin \left[ \omega t - \omega \tau_2 + m_2 \cos p_2 \left( t + \theta_2 - \frac{\tau_2}{2} \right) \right] \cdot dt$$

$$\text{ou } \rho(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_t^{t+\tau} \frac{1}{2} \cos \left[ \omega \tau + m_1 \cos p_1 \left( t + \theta_1 - \frac{\tau_1}{2} \right) - m_2 \cos p_2 \left( t + \theta_2 - \frac{\tau_2}{2} \right) \right] \cdot dt$$

Nous allons développer cette expression en produits de sinus et de cosinus, et utiliser les développements en série de fonctions de Bessel de :

$$\cos(z \cos \theta) \text{ et } \sin(z \cos \theta).$$

Nous pouvons dès maintenant, en tenant compte des valeurs effectives des paramètres, supposer que les quantités  $m_1$  et  $m_2$  sont au plus égales à 1 ou 2. Il s'en suit que les termes en  $J_k(m_1)$  et  $J_k(m_2)$  seront négligeables dès que  $k$  aura dépassé 5 ou 6. En ne conservant que les termes significatifs des développements, on est conduit aux résultats suivants :

Si  $p_1$  et  $p_2$  sont quelconques entre eux, c'est-à-dire si le rapport  $p_1/p_2$  n'est pas un rapport de nombres entiers petits, on a approximativement :

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2} \cos \omega \tau \cdot J_0(m_1) \cdot J_0(m_2).$$

Si  $p_1 = p_2 = p$ , on a rigoureusement :

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2} \cos \omega \tau \left[ J_0(m_1) \cdot J_0(m_2) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_k(m_1) \cdot J_k(m_2) \cdot \cos k p \left( \theta_1 - \theta_2 + \frac{\tau}{2} \right) \right]$$

Le cas le plus défavorable est  $p \left( \theta_1 - \theta_2 + \frac{\tau}{2} \right) = \pi$ ,

ce qui se produit par exemple si  $p \frac{\tau}{2}$  reste petit et si les variations de vitesse sont en opposition de phase sur les deux trains de têtes; ou si  $p \frac{\tau}{2}$  est quelconque (fréquence de variation de vitesse élevée), quels que soient  $\theta_1$ , et  $\theta_2$ . On a alors :

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2} \cos \omega \tau \cdot J_0(m_1 + m_2)$$

Si au contraire, les variations de vitesse sont en phase,  $k p \frac{\tau}{2}$  restant petit, on a :

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2} \cos \omega \tau \cdot J_0(m_1 - m_2)$$

Examinons maintenant, pour la ligne à retard réalisée, l'influence des divers paramètres.

Pour  $\tau = 0$ ,  $\tau_1 = \tau_2 = 200$  millisecondes. On crée le retard  $\tau$  en déplaçant un chariot portant la tête de lecture du premier train, et les têtes d'effacement et d'enregistrement du second. Pour le retard maximum 200 ms,  $\tau_2 = 300$  ms et  $\tau_1 = 100$  ms. Les retards  $\tau$  les plus grands sont nécessaires pour l'étude des signaux à fréquence  $\frac{\omega}{2\pi}$  faibles au contraire pour les fréquences élevées  $\tau$  reste petit (de l'ordre de quelques périodes du signal).

Des variations de la vitesse de défilement à des fréquences très basses ont peu de chances de se produire étant donné la stabilisation de vitesse de rotation du cabestan. Pratiquement, on observe des variations de vitesse de rotation de  $10^{-5}$  à des fréquences de l'ordre de 2 à 4 c/s.  $m_1$  et  $m_2$  sont inférieurs à 0,2 avec  $p_1 = p_2$ . Si elles entraînent des variations de vitesse de défilement égales, mais en opposition de phase sur les deux têtes (cas le plus défavorable), le terme correctif  $J_0(m_1 + m_2)$  est supérieur à 0,95 (valeur atteinte pour 18.000 c/s).

L'excentricité du cabestan produit, à sa fréquence de rotation de 15 c/s environ, une variation de la vitesse de défilement de 1/7.500. En supposant cette variation en opposition de phase sur les deux trains, le terme correctif reste supérieur à 0,90 (valeur à 18 000 c/s). Des variations à fréquence supérieure auront un effet moins sensible.

Enfin, les oscillations longitudinales à fréquence élevée (de l'ordre de 1 000 c/s) produites par les frottements créent localement des variations de la vitesse instantanée dont il est difficile de calculer ou de mesurer directement l'amplitude et la fréquence. Seuls leurs effets sur la fonction de corrélation sont sensibles.

On peut résumer les considérations précédentes en disant que, pour avoir  $\rho(\tau)$  à 10 % près (en moins) au maximum, le retard  $\tau$  affiché ne doit pas subir de variations absolues supérieures à  $\pm 1/10$  de la période du signal étudié, ce qui correspond, pour la fréquence maximum 18 000 c/s, à 5  $\mu$ s. Cette condition est remplie en ce qui concerne les variations mesurables, à basse fréquence.

Réalisation pratique de la ligne à retard.

La stabilisation de la vitesse moyenne de rotation du cabestan a été assurée en montant sur l'arbre du moteur shunt d'entraînement un moteur-alternateur alimenté par un courant à 1 000 c/s produit par un oscillateur à diapason stabilisé. On obtient ainsi une stabilité de l'ordre de  $10^{-5}$ . La vitesse de rotation est d'environ 15 t/s donnant une vitesse de défilement d'environ 75 cm/s. L'excentricité de l'extrémité de l'arbre du moteur, formant cabestan, est de  $\pm 1 \mu$ . Le nombre de points de frottement de la bande a été réduit au minimum. Le collage de la boucle donne en passant sur chaque point fixe un choc freinant la bande et produisant des oscillations longitudinales. La mise au point d'une méthode de collage favorable a été assez délicate. Les bandes à support papier, moins élastiques que les bandes ordinaires, donnent de meilleurs résultats.

Résultats obtenus.

Dans l'état actuel des essais, les variations absolues du retard  $\mu$  sont de l'ordre de  $\pm 10 \mu$ s, don-

nant un coefficient correctif d'environ 0,75 à 16.000 c/s (— fréquence stabilisée utilisée pour ces essais) — à 10.000 c/s, le coefficient est de 0,9 — des tentatives d'amélioration de ces caractéristiques sont en cours.

On possède donc une ligne à retard à ruban magnétique permettant au corrélateur analogique associé

d'obtenir la fonction de corrélation de signaux dont la fréquence est comprise entre 30 c/s et 10.000 c/s avec une erreur relative (en moins) inférieure à 10 %, cette erreur devenant de l'ordre de 25 % aux fréquences supérieures admises (16.000 à 18.000 c/s). Il convient de noter que cette erreur n'est pas aléatoire, mais systématique : elle est connue d'avance en grandeur et en signe.

---

## POSSIBILITÉ D'AMÉLIORER LE RENDEMENT D'UNE LIAISON PAR UN ENREGISTREMENT DES INFORMATIONS — APPLICATION A LA RETRANSMISSION D'UNE IMAGE DE RADAR OU DE TÉLÉVISION

PAR

G.-P. VASSEUR

*Société Française Radioélectrique*

Un bref rappel de la théorie de l'information montre que la plupart des liaisons usuelles sont très mal utilisées. En profitant des propriétés statistiques des signaux à transmettre, on peut améliorer beaucoup le rendement de la liaison, c'est-à-dire diminuer la puissance émise ou la largeur de bande utilisée. Ceci exige un enregistrement des signaux au moins à l'émission et introduit un retard de transmission d'autant plus grand que le gain obtenu est élevé. En outre, on risque de ne plus pouvoir transmettre certains signaux exceptionnels.

Par exemple, la transmission d'une image panoramique de radar exige, sans précautions spéciales, une bande de l'ordre de 1 MHz. En introduisant un retard d'une fraction de seconde on peut réduire cette bande à quelques kilocycles au moyen d'un matériel simple et en augmentant le retard à quelques secondes, on peut atteindre une bande de quelques centaines de périodes, le matériel devenant alors assez compliqué. De même, on peut obtenir un gain élevé dans la transmission d'une image de télévision de la parole.

# LES ONDES MÉTRIQUES EN RADIODIFFUSION <sup>(1)</sup>

PAR

G. MERCIER

*Ingénieur en chef à la Radiodiffusion  
et Télévision françaises*

## I. — INTRODUCTION.

Je veux tout d'abord remercier le Président, Monsieur DE MARE, d'avoir encouragé cet exposé ; dans le sein de la Commission Technique du S.N.I.R. sa compréhension bienveillante à l'égard des problèmes posés par l'utilisation des ondes métriques en radiodiffusion avait déjà été précieuse.

Je m'excuse d'accaparer le temps de mes auditeurs par un exposé qui va décevoir les techniciens habitués aux savantes conférences qui illustrent, en général, les réunions de la Société ; j'éprouve même le sentiment coupable d'un profanateur en utilisant cet auguste amphithéâtre pour cet exposé. Je ne me propose pas, en effet, de développer tel ou tel point particulier de la technique de l'émission ou de la réception en modulation de fréquence ; il s'agira de consacrer quelques instants aux conditions générales d'exploitation du service de radiodiffusion sonore, de montrer la disproportion sans cesse grandissant entre les moyens et les buts des radiodiffusions européennes et de préciser les solutions élaborées pour résoudre ces difficultés.

J'essaiera donc de répondre aux questions suivantes :

— Pourquoi les gammes des ondes longues et moyennes n'offrent-elles plus les possibilités suffisantes pour effectuer actuellement des services satisfaisants ?

— Pourquoi proposer à l'auditeur cette complication nouvelle qui consiste à ajouter une gamme à son récepteur, et quel intérêt l'auditeur peut-il espérer en contre-partie des dépenses supplémentaires nécessitées pour la réception des ondes métriques ?

— Quels sont les avantages et les inconvénients de la modulation de fréquence pour un service de radiodiffusion sonore sur ondes métriques ?

— Quelles seront les caractéristiques et les perspectives du nouveau service en France ?

## II. — EVOLUTION DE LA RADIODIFFUSION.

Le 28 novembre 1921 avait lieu la première grande manifestation radiophonique française sur la longueur d'onde 1 900 m de la station de Sainte-Assise 2 kW ; c'était une prouesse audacieuse.

Le 19 octobre 1952, la Radiodiffusion-Télévision Française remettait en service, après 12 ans de silence, et après combien de vicissitudes de tous ordres, l'émetteur onde longue d'Allouis 250 kW sur 1829 m ; l'aboutissement de deux ans d'efforts pour la construction de cet émetteur est encore un exploit en 1952.

Le rapprochement de ces deux faits trahit, malgré la différence des puissances utilisées, le caractère évolutif de la radiodiffusion dans tous les pays au cours de ces trois dernières décades ; il ne traduit pas l'instabilité chronique dont souffre l'exploitation radiophonique, et qui explique peut-être, ou du moins pourrait excuser, l'impuissance parlementaire à trouver jusqu'ici un statut à la Radiodiffusion-Télévision Française.

Quelques chiffres seront éloquentes :

En Europe, (du moins la partie de l'Europe située à l'ouest du 40° méridien Est) le nombre des utilisations de fréquences dans les gammes ondes longues et ondes moyennes qui déjà dépassait la centaine en 1929, atteignait 150 en 1933, 200 au moment de la guerre, 250 en 1947, et plus de 350 en 1952. Le nombre des canaux ayant peu changé :

109 canaux ondes moyennes en 1939 (Plan de Prague) ;

113 canaux en 1938 (Montreux) ;

119 canaux en 1948 (Copenhague) ;

Le coefficient moyen d'occupation par canal a passé de 1 en 1929 à 3 en 1952.

Plus impressionnant encore est l'accroissement de la puissance totale du réseau européen :

700 kW en 1929 — 3 200 kW en 1933 — 8 000 kW en 1938 ;

12 000 kW au début de 1950, plus de 16 000 kW actuellement (si, du moins, on en croit les chiffres officiels annoncés pour les stations).

(1) Conférence faite à la Société des Radioélectriciens le 15 décembre 1952.

Loin de cesser, l'augmentation tant du nombre des émetteurs que de leur puissance tend au contraire à s'accroître au cours des dernières années. Les diverses Conférences Internationales se sont révélées impuissantes à enrayer cette croissance ; tout au plus se sont-elles efforcées de la discipliner.

Mais cet engorgement toujours plus grand des bandes de radiodiffusion entraîne une diminution de la qualité du service que l'on peut attendre des émetteurs.

Cette dégradation du service possible sur ondes longues ou ondes moyennes est sensible sous divers aspects :

— Limitation à 9 kcs, et même dans certains cas à 8 kcs, du canal de fréquences réservé à chaque émission afin de disposer dans les gammes de fréquences réservées à la radiodiffusion, gammes trop limitées qui ont à peine varié depuis 20 ans, d'un nombre aussi grand que possible de canaux à répartir. Cependant, les distances entre un émetteur considéré et les émetteurs utilisant les canaux voisins ne pouvaient, en contrepartie, être augmentées (elles tendent au contraire constamment à diminuer), les risques de brouillages imposaient de recourir à des caractéristiques de sélectivité du récepteur permettant de limiter ces risques ; par là même, on sacrifiait la qualité de la reproduction : au-delà de 4 ou 5 000, les fréquences de modulation ne sont plus guère exploitées.

— Les brouillages possibles du fait des voisinages dans des canaux adjacents ne sont rien en comparaison des perturbations qui résultent des partages d'un canal entre plusieurs stations. Moins de 5 % des émetteurs seulement ont un canal dit exclusif ; les autres émetteurs partagent avec un ou deux autres émetteurs, et pour la moitié d'entre eux avec trois (ou plus) autres stations ; dans la catégorie la plus favorisée (partage entre 2 ou 3 stations seulement), les distances sont pour les 90 % des cas inférieures à 2 700 km ; or, si on se réfère aux courbes de propagation indirecte de Norton, et si on admet que le rapport  $\frac{\text{signal désiré}}{\text{signal non désiré}}$  doit être supérieur ou égal à

40 db, on constate qu'en Europe la puissance d'un émetteur partageant une fréquence devrait avoir une puissance maximum de l'ordre de 1 kW ; les puissances réellement utilisées sont, bien entendu, beaucoup supérieures à cette valeur pour la presque totalité de ces émetteurs.

— L'augmentation de puissance des émetteurs et la multiplication des émissions de puissance élevée favorisent par ailleurs toutes causes supplémentaires de perturbation par la formation de fréquences de combinaison à l'émission pour des émetteurs d'un même centre, ou à la réception par effet de rayonnement ou par combinaison interne avec l'oscillateur local du récepteur. Je rappellerai simplement l'interaction dans la haute atmosphère, le vieil « effet Luxembourg », qui se manifeste par de nouveaux effets depuis la mise en service de l'émetteur à grande puissance d'Allouis.

— Par ailleurs, le niveau des parasites électriques devenait de plus en plus gênant, sous leur forme ménagère particulièrement, par suite de la multitude

et de la dispersion des sources. Précisément, doit-on y trouver là une des causes qui a incité les exploitations de radiodiffusion à recourir à des puissances élevées à l'émission et à des émetteurs plus nombreux : un niveau élevé de réception, niveau seulement possible grâce à un rayonnement direct, est en effet le remède le plus efficace pour lutter dans une certaine mesure contre l'envahissement des parasites industriels ou ménagers.

Mais le nombre des longueurs d'ondes demeurant restreint (pour la France 19 en 1933 à Lucerne, 21 à Montreux en 1938, 20 depuis Copenhague en 1948 pour 50 stations) les émetteurs sont asservis à des programmes nationaux, à un fonctionnement dans des réseaux synchronisés pour la plupart d'entre eux et perdent, en général, la possibilité de diffuser un programme autonome particulier à la zone couverte par eux.

Le visage de la radiodiffusion s'est donc profondément modifié depuis ses origines. Dans les premières années, les émetteurs existants transmettaient chacun leur programme propre ; les émetteurs à grande puissance entraînèrent la substitution de la notion de programme national à celle de programme local ; puis les programmes nationaux exigèrent des émetteurs complémentaires qui ne purent bénéficier en général des possibilités de fonctionnement pour un programme local ; le nombre des émetteurs ayant gardé leur autonomie de fonctionnement a donc été limité à quelques émetteurs régionaux, leur nombre étant déterminé avant tout par celui des longueurs d'onde.

Ce sont donc les possibilités techniques réduites des gammes utilisées qui ont déterminé les contours et la structure de nos programmes nationaux et régionaux ; la physionomie de notre radiodiffusion eut doute sans être différente sans cette limitation du nombre des longueurs d'onde.

Pour clarifier la situation, du point de vue brouillage, une opération chirurgicale s'imposerait ; réduire le nombre des longueurs d'onde utilisées par chaque pays ; mais une telle solution n'est guère envisageable actuellement dans une Europe au morcellement politique très accentué, car une telle réduction conduirait à réduire le nombre des programmes de manière inacceptable, particulièrement en France où le choix entre plusieurs programmes de base ne peut être diminué d'un point de vue psychologique, au moment où les auditeurs réclament par ailleurs l'autonomie de fonctionnement des stations-relais asservies aux programmes de base.

III. — Le seul moyen permettant de sortir de la situation inextricable actuelle est de disposer de nouvelles longueurs d'onde, donc de nouvelles gammes de fréquences.

C'est ainsi que l'utilisation des ondes métriques apparaît pour la radiodiffusion comme une nécessité, les ondes décadiennes ne convenant pas techniquement pour des services nationaux ou locaux.

Les gammes métriques utilisables, réservées par le Règlement des Radio-communications à la radiodiffusion, sont celles de 40 à 68 Mcs (ou bande I), de 87, 5 à 100 Mcs (ou bande II) et 174 à 216 Mcs (ou bande III).

La Conférence de Stockholm (Juin 1952) a spécialisé les bandes de fréquences, bandes I et III pour la télévision, bande II pour la radiodiffusion sonore ; en conséquence, c'est l'utilisation de la bande II (bande des longueurs d'onde voisines de 3 m) qui offre les possibilités de nouvelles longueurs d'onde pour les services de radiodiffusion sonore.

L'auditeur devra donc adapter son installation réceptrice à ces nouvelles longueurs d'onde, c'est-à-dire faire une dépense plus importante que si les gammes utilisées se limitaient aux gammes classiques. Ces dépenses supplémentaires, l'auditeur ne les consentira que si l'utilisation de cette nouvelle gamme présente pour lui un intérêt, donc un avantage par rapport au service qu'il retire des émissions effectuées dans les gammes classiques.

Ces avantages, et cet intérêt pour l'auditeur, des services sur ondes métriques, nous les trouverons dans la mesure où ces ondes permettront de remédier aux inconvénients constatés sur les ondes moyennes et longues.

Le premier inconvénient dont souffre l'auditeur est la multiplication des brouillages sur les ondes qui assurent le service actuel de radiodiffusion sonore. Effectivement, les ondes métriques doivent faciliter un service exempt de brouillage ; d'une part, parce que les nouvelles longueurs d'ondes rendues disponibles dans la gamme des 100 Mcs doivent contribuer à décongestionner les gammes ondes moyennes et ondes longues et donc contribuer à améliorer les services classiques ; mais, d'autre part, les propriétés de propagation particulières aux ondes métriques sont telles que les risques de brouillage peuvent être considérablement limités sur ces ondes, même dans le cas d'une utilisation d'une même longueur d'onde par de nombreuses stations. Cet avantage, dira-t-on, résulte de la portée limitée des émetteurs, ce qui pourrait être un inconvénient ; mais la zone de service d'un émetteur ondes moyennes, même puissant, du fait des brouillages, dépasse rarement le soir les quelques dizaines de kilomètres qui peuvent être facilement atteints avec un émetteur ondes métriques.

Pour les ondes métriques, les conditions de service resteront les mêmes pendant le jour et pendant la nuit, alors que pour les ondes moyennes des conditions de réception avec un émetteur peuvent parfois être acceptables jusqu'à 100-150 km pendant le jour et devenir insupportables au-delà d'une vingtaine de kilomètres pendant la nuit, comme c'est le cas pour notre émetteur de Limoges actuellement. Or, pour être apprécié « service satisfaisant » par l'auditeur, un service de radiodiffusion doit avant tout être stable et offrir les mêmes possibilités quels que soient les heures ou les jours ; les ondes métriques, plus que toutes les autres, permettent de réaliser cette condition.

Une utilisation rationnelle des ondes métriques et l'application d'un plan méthodique d'utilisation des longueurs d'onde entre les diverses stations (l'avenir et l'expérience diront si le Plan de Stockholm répond à ces buts) doivent offrir la possibilité de réaliser sur les ondes métriques un service satisfaisant où l'auditeur ne sera plus importuné, comme sur les ondes moyennes, par des modulations parasites ou quelquefois les brouilleurs de ces modulations, toutes

sortes de chuchotements, de sifflements et de crachements qui limitent d'autant l'agrément que l'on peut avoir à écouter un programme intéressant.

Mais la perfection n'est pas de ce monde et un service de radiodiffusion sur ondes métriques, aussi judicieux soit-il, ne donnera pas satisfaction d'une manière totale ; en particulier, il faut s'attendre à ce que l'utilisation de ces ondes se révèle délicate et insuffisante dans les zones montagneuses ; l'établissement des stations dans de telles régions devra faire l'objet d'études approfondies pour déterminer par des mesures de champ préalables l'implantation la plus favorable.

\* \*

Un deuxième inconvénient subi lors de l'écoute sur les ondes moyennes et longues est le niveau des parasites de toute nature. Les parasites atmosphériques et un grand nombre de parasites industriels seront réduits ou éliminés, du fait de l'utilisation de la gamme ondes métriques, même en l'absence d'un procédé particulier à l'émission ou à la réception pour lutter contre leurs effets. Cependant, si certains parasites seront moins nocifs, d'autres sources de parasites peu efficaces dans les gammes ondes moyennes et longues risquent de produire des perturbations graves dans les ondes métriques, les parasites dus à certaines voitures par exemple, ainsi que ceux résultant des fours à haute fréquence. L'utilisation même de la gamme des ondes métriques n'est donc pas suffisante pour résoudre le problème de l'élimination des parasites.

\* \*

Le troisième inconvénient, le plus important à mon sens, dont pâtit l'auditeur, du fait de la limitation des longueurs d'onde disponibles, est la limitation du nombre des programmes et l'impossibilité de laisser aux diverses stations locales le fonctionnement autonome qui était la caractéristique initiale des stations de radiodiffusion, autonomie qui est âprement réclamée par la majorité de auditeurs. Dans le système actuel, nous l'avons dit, ce sont les limitations de la technique qui ont imposé les contours politiques de l'utilisation des émissions de radiodiffusion : l'utilisation de nouvelles longueurs d'onde dans la gamme ondes métriques doit permettre de lever cette hypothèque et, à notre avis, l'avantage essentiel que pourra présenter le service de radiodiffusion sur ondes métriques pour les auditeurs sera la possibilité de multiplier le nombre des programmes et de donner aux stations locales un fonctionnement autonome ; ce n'est qu'en deuxième lieu qu'interviendra le caractère plus agréable des réceptions, du fait que sur les nouvelles longueurs d'onde les brouillages causés par les stations étrangères pourront être pratiquement éliminés ; et enfin ce n'est qu'en troisième lieu sans doute que jouera, pour l'auditeur, l'intérêt d'une amélioration accrue de la qualité intrinsèque des émissions, accroissement de qualité rendu accessible par la disposition de nouveaux espaces de fréquences et, par conséquent, la possibilité de ne plus restreindre le canal de fréquences réservé aux émissions à quelques 8 ou 9 Kcs, c'est-à-dire

restreindre les fréquences de modulation transmises à une bande maximum de 4 000 ou 5 000 périodes.

On a estimé fréquemment que la qualité meilleure de transmission qui résultera d'une plus grande liberté offerte par les espaces nouveaux livrés à l'exploitation permettrait, à elle seule, d'attirer l'auditeur vers les services de radiodiffusion sur ondes métriques. Je pense que cet attrait de la qualité a été trop souvent surestimé, d'autant plus, que pour bénéficier réellement de cette qualité le surcroît de dépense qui devrait être consenti par l'auditeur dépassera le cadre d'un aménagement de la partie haute-fréquence de son récepteur, destiné à capter les nouvelles ondes ; il faudra, en outre, que toute la partie basse-fréquence, de la détection jusqu'au haut-parleur, soit traitée de façon à pouvoir reproduire fidèlement, non seulement les fréquences de modulations les plus hautes au-delà de 5 000 et jusqu'à (peut-être) 12 ou 15 000, mais également, et par équilibre, reproduire fidèlement les fréquences les plus basses, ce qui n'est pas le cas actuellement ; ainsi donc, si l'on prétend limiter pratiquement l'intérêt de l'auditeur envers les ondes métriques à celui de la qualité, il semble bien qu'il y ait disproportion pour la très grande majorité des auditeurs, entre les dépenses supplémentaires à consentir et l'intérêt esthétique qui en résultera. Soit par formation intellectuelle, soit par déformation physique, la proportion des privilégiés qui peuvent prétendre affirmer apprécier réellement et désirer l'amélioration de la qualité proprement dite des émissions, paraît assez faible. Par contre, un choix accru entre les programmes, des émissions plus adaptées aux préoccupations quotidiennes et intéressantes, par conséquent, la vie locale des agglomérations, ou plus adaptées aux horaires d'activité des diverses catégories de travailleurs, tous ces facteurs peuvent susciter un intérêt suffisant chez une proportion extrêmement importante d'auditeurs de toutes catégories, pour que les dépenses supplémentaires dans la partie « haute fréquence » du récepteur, dont nous parlions tout à l'heure, ne soient pas prohibitives, en supposant qu'au moins au départ la plupart des auditeurs renoncent à bénéficier de l'amélioration de qualité.

Bien loin d'handicaper ou d'enrayer le développement de la radiodiffusion sonore, la mise en exploitation de nouveaux services sur les ondes métriques devrait, au contraire, donner la possibilité d'un renouveau en faveur de la radiodiffusion, en admettant que soient justifiées certaines craintes, selon lesquelles l'essor récent et si longtemps attendu de la télévision pourrait détourner de la radiodiffusion sonore, au moins provisoirement, l'attention des auditeurs.

Je ne crois d'ailleurs pas que l'éventuelle désaffection du public envers les récepteurs de radiodiffusion sonore soit due à l'apparition de la télévision, car le fait visuel et le fait sonore sont différents ; ils sont complémentaires mais ne sont pas concurrents. La télévision n'offre pas à l'auditeur, et n'offrira jamais cette variété et cette permanence de distractions dont il peut bénéficier avec la radiodiffusion sonore sans être accaparé exclusivement par l'émission. Je crois plutôt que si certains auditeurs hésitent à rénover leur installation sonore c'est parce que les services dans les gammes actuelles les déçoivent du

fait des brouillages qui limitent le choix déjà restreint des programmes, et aussi parce qu'ils ne trouvent pas le programme local ou régional qu'ils désirent et qui ferait de ce relai local ou régional vraiment « leur » émetteur. De plus, la différence entre les prix du récepteur de radiodiffusion sonore et celui de télévision conduit encore à des catégories différentes de « clients » pour les deux services.

Du point de vue de l'exploitant qu'est la Radiodiffusion Française, l'évolution vers les ondes métriques apparaît une nécessité, car les perspectives de l'utilisation des ondes longues et des ondes moyennes paraissent si sombres qu'il faut admettre que, malgré l'effort considérable d'équipement réalisé au cours de ces dernières années, l'efficacité du service assuré par elle sur ces ondes a sans doute déjà dépassé son maximum ; il se dégradera de plus en plus, au cours des années prochaines, et il est plausible de prévoir qu'il arrivera un moment, peut-être relativement proche, où les possibilités techniques seront à ce point réduites dans ces gammes que les services faits à l'auditeur devront, eux-aussi, être considérablement diminués, c'est-à-dire, que le nombre de trois programmes actuels, déjà imparfaitement audibles sur l'ensemble du territoire, devra être restreint à deux tout au plus.

IV. — Les inconvénients subis par les auditeurs de radiodiffusion ne sont pas particuliers à la France, et l'éditorial du numéro de novembre 1952 de *Wireless World* se fait l'écho des mêmes inquiétudes.

D'ailleurs les pays étrangers ont déjà compris cette nécessité et les services de radiodiffusion sur ondes métriques sont en exploitation, non seulement aux U.S.A., mais encore en Allemagne et en Italie. Les autres pays européens ont, à peu près tous, une ou plusieurs stations expérimentales et des projets à plus ou moins longue échéance, puisqu'ils ont éprouvé la nécessité d'établir à Stockholm, en juin dernier, non seulement un plan de répartition des longueurs d'onde entre les stations de télévision, mais encore un plan de répartition pour les services de radiodiffusion à modulation de fréquence, service pour lesquels la bande des 100 Mcs a été réservée. Près de 2 000 stations ont été inscrites dans le Plan Européen de radiodiffusion à modulation de fréquence, bien que moins de 5 % d'entre elles soient en service.

Bien qu'en juin 1952 il ait pu paraître grotesque de prétendre établir une discipline dans l'utilisation de la gamme des ondes métriques, aussi grotesque peut-être que de vouloir dresser un plan de circulation automobile au milieu du Sahara préalablement à la fécondation de ses terres stériles, il a certainement été très sage de procéder à l'établissement d'un tel plan ; du temps a été consacré à son établissement parce que l'on prévoit un inévitable développement de la radiodiffusion sonore dans les ondes métriques, développement rendu nécessaire pour que soit brisé le carcan dans lequel étouffent les radiodiffusions européennes asservies aux ondes longues et moyennes.

Mais, dira-t-on, il semble que la radiodiffusion à modulation de fréquence soit en régression aux États-Unis, ou tout au moins stationnaire. Le nombre des émetteurs à modulation de fréquence est passé de 651 en Juin 1951 à 633 en Juin 1952, le nombre des

émetteurs à modulation d'amplitude passant de 2 300 à 2 350. La production des récepteurs à modulation de fréquence qui avait dépassé 10 % du nombre des récepteurs à modulation d'amplitude, pendant une partie de 1950, oscille entre 5 à 10 % pour la fin de 1951 et les premiers mois de 1952.

La situation aux U.S.A. est tout à fait différente de celle qui existe en Europe, particulièrement en France ; les services de radiodiffusion en modulation de fréquence n'ont pratiquement presque rien apporté de nouveau à l'auditeur dans ce pays : tout au plus, une certaine amélioration des conditions de réception vis à vis des parasites industriels ; déjà sur modulation d'amplitude et ondes moyennes, de par la structure même de leurs réseaux d'émetteurs, ils disposaient en effet dans tous les grands centres d'un choix entre un très grand nombre de programmes et les émetteurs à modulation de fréquence n'ont fait généralement que doubler les émissions existantes sur modulation d'amplitude. L'intérêt de l'américain moyen envers la radiodiffusion sonore était donc souvent saturé, alors qu'au contraire, en France, nous sommes très éloignés de cette saturation. En Allemagne, au contraire, le développement de la radiodiffusion à modulation de fréquence a été extrêmement rapide au cours de ces deux dernières années et, au 15 mars 1952, le nombre des stations en service en Allemagne Occidentale atteignait 68 ; pour la seule zone britannique, les stations à modulation de fréquence de la N.W.D.R. sont passées de 5 en avril 1950 à 20 en avril 1952. Il faut dire que, avec l'unique programme par zone, les auditeurs allemands étaient très éloignés de leur « saturation » et que l'apparition de la modulation de fréquence a été pour eux le moyen de trouver les programmes en plus grand nombre et, également, de se soustraire aux batailles technique et politique qui se livrent dans les zones d'Allemagne sur les ondes longues et moyennes. L'intérêt des ondes métriques pour les Allemands était donc énorme.

En Italie, des émetteurs à modulation de fréquence sont en exploitation régulière, mais le succès auprès des auditeurs a été nettement moins grand ; d'une part, dans ce pays de soleil, les habitants sont sans doute moins attirés vers la radiodiffusion sonore, puisque à population comparable, le nombre des auditeurs est deux fois moins grand qu'en France. D'autre part, les ondes métriques ont été utilisées comme un complément aux ondes moyennes, mais n'ont pas coïncidé avec l'apparition de programmes nouveaux ; par exemple, dans toutes les villes où un relai modulation de fréquence du troisième programme a été installé (Bologne, Gênes, Florence, Naples, Venise, Rome, Turin, Milan) il y avait déjà des relais (1 à 5 kW) sur ondes moyennes. L'audition du troisième programme italien en modulation de fréquence est sans doute très supérieure à celle sur ondes moyennes, mais l'amélioration de la qualité de réception ne paraît pas avoir été déterminante pour les auditeurs ; les conditions n'avaient donc pas été réalisées pour que l'auditeur trouve un avantage suffisant aux dépenses supplémentaires apparemment lourdes, eu égard au pouvoir d'achat de la population.

Les services ondes métriques en exploitation actuellement, ainsi que les demandes des pays à Stockholm, concernent des émissions en modulation

de fréquence, procédé de modulation qui a été préféré à la modulation d'amplitude.

Quels sont donc les avantages, et aussi les inconvénients, de la modulation de fréquence par rapport à la modulation d'amplitude ? Cette question a été très souvent controversée ; sans vouloir reprendre tous les arguments, nous en considérerons les principaux aspects.

La modulation de fréquence permet d'obtenir à la réception un effet antiparasite à condition que

l'indice de modulation :  $\frac{\text{dévi-ation de fréquence}}{\text{fréquence de modulation}}$

soit élevé, ce qui entraîne de prévoir une déviation de fréquence maximum élevée (75 Kc/s), lorsqu'on se réserve en radiodiffusion la possibilité d'une transmission des fréquences de modulation très élevées. Ces propriétés théoriques d'une réduction des bruits parasites et des brouillages dans le cas de la réception de la modulation de fréquence ne paraissent pas avoir été contestées ; les nombreux travaux publiés sur cette question cherchent, en effet, avant tout, à prévoir et expliquer les résultats obtenus ; les hypothèses simplificatrices utilisées sont d'ailleurs, en général, contestables surtout lorsqu'on veut rendre compte des phénomènes mettant en jeu des perturbations de caractère impulsif d'une intensité relativement élevée ; au lieu de calculer les régimes transitoires, on est, en effet, trop souvent tenté d'assimiler les bruits à des régimes sinusoïdaux permanents.

La Radiodiffusion-Télévision Française ne s'est pas contentée de ces considérations théoriques et a procédé à des essais systématiques : le but de ces essais était de déterminer dans quelle mesure la modulation de fréquence apportait une amélioration par rapport à la modulation d'amplitude. A cet effet, l'émetteur expérimental à modulation de fréquence, installé rue de Grenelle, avait été modifié de manière à pouvoir faire des émissions alternées d'une dizaine de minutes modulées successivement en amplitude et en fréquence ; la réception a été comparée en un même point pour ces deux procédés de modulation, pour des émissions qui étaient donc faites avec des puissances rayonnées analogues à partir de la même antenne sur la même fréquence porteuse et en présence, au lieu de réception, des mêmes signaux parasites. Deux sortes d'observations ont été faites : les essais objectifs par la mesure du rapport signal/bruit à la sortie du récepteur, et d'autre part, des écoutes subjectives. Avec le récepteur utilisé, qui était un hallicrafter, pourvu d'un limiteur ayant un seuil de sensibilité assez bas, en présence d'un signal perturbateur impulsif équivalent à un champ d'une quarantaine de microvolts, ces écoutes ont montré qu'une réception agréable exigeait un niveau de 400 à 500 microvolts en modulation d'amplitude et seulement 80 à 100 microvolts en modulation de fréquence. Dans les conditions de l'expérience, le rayon d'action agréable qui était d'une dizaine de kilomètres pour la modulation d'amplitude, était porté à près de 25 kilomètres dans le cas de la modulation de fréquence, il convient de souligner que, si le niveau des parasites perturbateurs avait été moins élevé et si, d'autre part, le limiteur avait eu un seuil de fonctionnement moins bas, l'amélioration cons-

tatée pour la zone de service aurait été évidemment plus réduite.

Il n'était certes pas question de reconstituer au cours de cette conférence des essais de cette nature; toutefois, il a paru intéressant de montrer quelles étaient les conditions qui seraient offertes à l'auditeur dans la gamme des ondes métriques en effectuant une comparaison de la réception, dans cet amphithéâtre, de l'émetteur de Grenelle modulation de fréquence (200 watts rayonnés environ) avec l'émetteur de Romainville 10 kW. Les champs moyens mesurés dans cette enceinte sont inférieurs au 1/2 millivolt en modulation de fréquence, et atteignent 6 millivolts environ pour Romainville.

Des appareils à rupteurs ont été installés pour produire des parasites d'un type assez courant. Vous pouvez constater que, en dépit du champ considérablement plus élevé sur les ondes moyennes que sur les ondes métriques, la réception très perturbée sur Romainville, demeure agréable sur la modulation de fréquence. Il n'a pas été nécessaire de faire appel à une antenne extérieure pour cette dernière réception puisque l'antenne du récepteur modulation de fréquence est constituée d'un simple dipôle incorporé au coffret.

Pour que l'effet antiparasite puisse jouer, il est bien connu que la déviation maximum de fréquence doit être grande, par rapport à la fréquence maximum de modulation à transmettre; pour la radiodiffusion, où la bande de fréquences peut s'étendre jusqu'à 15 000 périodes, la déviation maximum de 75 Kc/s a été adoptée. Ceci entraîne un canal de fréquence important qui explique que la modulation de fréquence n'a pu être envisagée qu'avec la mise en application de la gamme ondes métriques. Il est d'ailleurs assez piquant de constater qu'à l'origine, avant les théories de Carson, des espoirs avaient été mis dans la possibilité de réduire le canal de fréquence nécessaire à une émission en utilisant la modulation de fréquence avec une faible déviation. Nous savons maintenant que ces espoirs étaient vains et qu'en modulation de fréquence, le canal occupé par une émission est toujours supérieur à deux fois la fréquence maximum de modulation maximum à transmettre, c'est-à-dire, toujours supérieur au canal occupé par une émission en modulation d'amplitude. Dans le cas d'une émission ayant une déviation de 75 Kc/s et où la fréquence de modulation maximum est de 15 000 périodes, l'ensemble des bandes latérales dont l'amplitude dépasse 1 % se situe dans un canal d'environ 220 Kc/s. C'est pourquoi des objections ont parfois été présentées contre le fait que la modulation de fréquence réduisait le nombre des canaux utilisables dans une gamme déterminée ondes métriques. Si, par ailleurs, on admet que le principal avantage qui résulte de l'utilisation des ondes métriques serait d'accroître le nombre des programmes, on a pu s'étonner du choix d'une modulation qui semble limiter au départ les nouvelles possibilités offertes pour ces programmes. A cette objection, on peut répondre que, s'il est exact que l'organisation actuelle de la radiodiffusion, quant au nombre de ses programmes de base et à celui de ses programmes régionaux, est dictée par la nécessité de la rendre compatible avec les possibilités techniques des gammes ondes longues et moyennes, le

facteur technique n'est cependant pas le seul facteur limitatif dans l'accroissement du nombre général des programmes. En effet, ces programmes doivent être conçus, réalisés et financés, et, du moins dans l'état actuel de notre juridiction relative aux droits d'auteurs et aux droits d'exécutants, on peut penser que s'il est nécessaire de se libérer de la tutelle technique, il est, par contre, utopique d'imaginer qu'au-delà du stade de deux ou trois programmes supplémentaires et d'une autonomie relative des stations locales le nombre des programmes puisse être augmenté aisément dans un proche avenir.

De plus, il n'est pas évident qu'une utilisation de la modulation de fréquence ait pour conséquence de limiter le nombre des émissions possibles dans la gamme des ondes métriques, car les conditions de partage d'une même fréquence par plusieurs stations sont différentes avec la modulation de fréquence et la modulation d'amplitude: en effet, le rapport de protection entre une émission désirée et une émission non désirée est plus faible dans le cas de la modulation de fréquence puisque, si on en croit la Commission Technique de Stockholm, un rapport de 20 db est suffisant au lieu de 40 db en modulation d'amplitude. D'ailleurs les services britanniques ont comparé les conditions de couverture du Royaume-Uni par un réseau ondes métriques d'une part en modulation de fréquence, d'autre part, en modulation d'amplitude; ils sont arrivés à cette conclusion que le nombre des stations nécessaires était, dans le deuxième cas, environ 35 % supérieur au nombre des stations modulation de fréquence.

Une chose apparaît certaine, c'est que la modulation de fréquence permet de concevoir un service qui soit à l'émission aussi économique que possible. Il est admis que, pour assurer un service acceptable, il est nécessaire de fournir un champ d'au moins 250 microvolts par mètre dans le cas de la modulation de fréquence, mais de 1 500 microvolts par mètre pour la modulation d'amplitude: c'est pourquoi les 7 330 kW prévus pour le réseau britannique à modulation de fréquence deviendraient 14 258 kW dans le cas où la modulation d'amplitude serait utilisée. En zone française, 200 kW ondes moyennes sont rayonnés là où 45 kW sur ondes métriques font un service comparable en surface, meilleur en qualité. Pour la France, les 3 700 kW rayonnés inscrits dans le Plan de Stockholm, dans l'hypothèse d'une diffusion de trois programmes sur ondes métriques sur toute l'étendue du territoire métropolitain, devraient sans doute être doublés avec l'utilisation de la modulation d'amplitude.

A l'émission, la modulation de fréquence présente encore d'autres avantages; les propriétés antiparasites permettent, en effet, de prévoir la modulation d'un émetteur après réception et détection de la modulation transmise par un autre émetteur; pour des émetteurs relais ou pour le fonctionnement de deux ou trois émetteurs avec un même programme, cette possibilité permet d'éviter des frais de liaison par câbles.

Les émetteurs à modulation de fréquence présentent également quelques avantages techniques:

— rendement aussi élevé que possible par suite du fonctionnement permanent en classe *C* de toute la chaîne d'amplification ;

— étage de modulation réduit à l'amplification nécessaire pour moduler la grille du tube à réactance au lieu de l'étage basse-fréquence imposant, nécessaire pour la modulation de l'anode dans un émetteur à modulation d'amplitude ;

— stabilité de fonctionnement, puisqu'en fonctionnement à niveau constant, les tubes, du point de vue électronique, n'ont pas à être prévus pour la puissance quadruple de la puissance porteuse ;

— il est facile d'augmenter la puissance d'une station existante en adjoignant un étage de puissance supplémentaire.

Indépendamment des avantages propres à la modulation de fréquence, les ondes métriques, aussi bien avec la modulation d'amplitude qu'avec la modulation de fréquence, offrent en dehors du nombre accru des longueurs d'onde, quelques avantages supplémentaires. Avec ces fréquences, des antennes ayant un gain élevé peuvent être utilisées, et donc la puissance nominale des émetteurs peut être limitée. La Radiodiffusion Française a conçu son réseau de manière à ce que sa puissance nominale ne dépasse pas une dizaine de kilowatts ; la plupart des émetteurs pourra donc être télécommandée. D'autre part, en permettant de multiplier le nombre des stations au lieu de concentrer les émissions en un nombre réduit de centres à grande puissance, on assure des conditions de réception plus favorables dans une zone déterminée puisque la lumière sera mieux répartie sur une surface déterminée avec plusieurs petites lampes qu'avec une seule ayant la puissance de toutes les petites lampes.

Enfin, je ne citerai que pour mémoire les avantages de disposer d'un nombre important de stations en modulation de fréquence, stations dont le service ne peut pas être brouillée à grande distance, pour assurer en cas d'hostilités l'alerte et la protection de la population civile.

\* \* \*

Compte-tenu de tous ces éléments, la Radiodiffusion Française s'est décidée à confirmer son intention d'effectuer un service sur ondes métriques à modulation de fréquence. Parmi les facteurs déterminants, nous citerons :

— La nécessité de pouvoir dégager sur ces ondes les services ondes moyennes qui se révèlent ou se révéleront insuffisants. Même en supposant qu'il n'y ait pas absolue nécessité dans le présent (mais il y a déjà nécessité en certaines régions), il n'est que temps pour le service public qu'est la Radiodiffusion-Télévision Française de prévoir l'utilisation systématique ces de bandes dans quelques années pour pouvoir maintenir les services actuels. Il y a une évolution qu'il faut suivre au moins, sinon précéder, si l'on veut ne pas être en retard.

— La modulation de fréquence est plus intéressante que la modulation d'amplitude pour la radiodiffusion sonore, parce qu'elle est plus économique à l'émission et parce qu'elle offre à la réception des

possibilités supplémentaires, grâce à l'effet antiparasite chaque fois que le récepteur est conçu pour bénéficier de cet avantage. En outre, un récepteur simplifié qui ne bénéficiera pas de ces avantages n'aura pas un prix plus élevé que celui d'un récepteur qui serait conçu pour la réception des ondes métriques en modulation d'amplitude ; un tel récepteur sera certes utilisable dans une partie seulement de la zone de service utile possible de l'émetteur à modulation de fréquence mais au moins, semble-t-il, dans cette zone de service utile que l'on aurait avec l'émetteur s'il était modulé en amplitude.

D'ailleurs il n'est pas certain qu'un récepteur qui pourra recevoir les ondes métriques en plus des ondes longues et ondes moyennes, soit nécessairement d'un prix prohibitif pour l'auditeur, eu égard aux possibilités nouvelles offertes. Monsieur COURTILLOT se propose de répondre à cette question et je pense que sa réponse sera rassurante.

— Enfin, le pays voisin de nos frontières Nord-Est et Est exploitant les ondes métriques en modulation de fréquence, les autres pays européens se préparant à les exploiter, il paraît absurde d'handicaper l'industrie d'éventuels débouchés d'exportation par l'emploi de modulation d'amplitude et ne pas permettre aux Auditeurs de Lorraine ou d'Alsace, qui se sont déjà équipés pour écouter les postes frontières de Sarre ou d'Allemagne, de recevoir les émissions françaises. Adopter des normes différentes de celles des stations étrangères qui seront entendues de Sedan à Montbéliard aurait été une erreur ; en effet, l'équipement de la Radiodiffusion-Télévision Française progresse sûrement, mais à un rythme considérablement inférieur à celui de la plupart des pays voisins. Ceux des auditeurs qui auront pris les dispositions utiles pour pouvoir bénéficier de ces émissions étrangères n'auraient pu entendre les nôtres, quand elles apparaîtront, sans une nouvelle transformation. Sans doute aurions-nous perdu toute une clientèle particulièrement intéressante.

Mais la Radiodiffusion-Télévision Française est persuadée que l'attrait principal pour l'auditeur, attrait qui le décidera à majorer le prix de son installation réceptrice, consistera en un nouveau programme. C'est pourquoi, la Radiodiffusion-Télévision Française met actuellement au point les modalités qui permettront de diffuser un quatrième programme, différent des autres programmes diffusés sur les chaînes ondes moyennes et longues, sur l'émetteur modulation de fréquence 15 kW rayonnés de Paris-Grenelle qui pourra entrer en exploitation régulière au début de 1954. De plus, les stations à modulation de fréquence qui seront installées dans des centres de province pourront bénéficier d'une certaine autonomie de programmes, autonomie tant désirée, particulièrement à Nantes et Clermont pour ne citer que ces deux centres.

La Radiodiffusion-Télévision Française ne négligera pas pour autant le facteur amélioration de qualité, bien que ce soit, en l'occurrence, et provisoirement tout au moins, un facteur accessoire.

Le réseau français, tel qu'il résulte des allocations de fréquences de Stockholm, correspond à une couverture du territoire avec trois programmes, de ma-

nière à ce que les agglomérations importantes bénéficient d'un niveau élevé ; ces allocations correspondent théoriquement à la possibilité de :

3 émetteurs 50 kW et 1 émetteur 20 kW à Paris ;

19 centres de 3 émetteurs 50 kW (puissance nominale de l'ordre de 20 kW).

21 centres de 3 émetteurs 10 kW (puissance nominale de l'ordre de 2 kW) et d'un certain nombre de relais urbains de faible puissance.

Les caractéristiques seront :

déviatiun maximum : 75 Kc/s ;

préaccentuation : 50 u/sec.

En 1954, l'émetteur de Paris 15 kW entrera en service, (1) ainsi que deux centres urbains (dont probablement Nancy).

Le budget d'équipement 1953 comporte enfin une première tranche d'un équipement qui doit, au cours des prochaines années, voir la naissance d'une vingtaine de centres de 2 émetteurs (1 programme supplémentaire avec notamment des émissions locales et un relai du programme le moins bien reçu), dans les agglomérations les plus importantes et dans les régions où l'autonomie radiophonique est âprement réclamée.

Bien entendu, l'Industrie Française se prépare à participer à l'équipement des émetteurs (antennes, feeders, et lampes) ; mais, également à la réception, de nombreux problèmes économiques et techniques se poseront aux constructeurs français qui ne devront pas négliger d'éviter, grâce à des blindages adéquats, les risques de perturbations des émissions de télé-

vision par les rayonnements parasites toujours possibles des récepteurs réglés sur modulation de fréquence.

La Radiodiffusion-Télévision Française souhaite constituer un auditoire sur la gamme des ondes métriques et doit mettre tout en œuvre pour atteindre ce but. Nous le répétons, c'est une nécessité vitale pour elle. Mais il serait sans doute naïf de s'imaginer que le quatrième programme en modulation de fréquence correspond à un aboutissement. Ceci ne sera qu'une étape avant celle où les ondes moyennes pourront être réservées en Europe, pour la plupart d'entre elles, à des émissions fonctionnant dans des conditions techniques optima, afin de réaliser des émissions de caractère international, les services nationaux étant pour la plupart effectués sur les ondes métriques : les ondes moyennes ne disparaîtront pas cependant pour autant de l'exploitation des services nationaux car elles permettront une réception simple et bon marché, tandis que les ondes métriques évolueront vers les émissions de qualité ; il serait vain de vouloir prévoir au-delà de cette étape.

\* \* \*

#### APPENDICE

**Nombre de stations de radiodiffusion européennes à modulation de fréquence dans la bande II (87,5 — 100 mcs) en service au début de 1954.**

|                       |     |                |    |
|-----------------------|-----|----------------|----|
| Autriche .....        | 5   | Israël .....   | 7  |
| Belgique .....        | 1   | Italie .....   | 14 |
| Danemark .....        | 2   | Hollande ..... | 2  |
| Finlande .....        | 9   | Norvège .....  | 2  |
| France .....          | 1   | Sarre .....    | 1  |
| Allemagne (Rep. ....  |     | Suède .....    | 1  |
| Démocratique ...      | 5   | Suisse .....   | 1  |
| Allemagne (Rep. ....  |     | Vatican .....  | 2  |
| Fédérale et Berlin W) | 103 |                |    |

(1) Paris - Modulation de Fréquence est mis en service régulier le 28 mars 1954.

# LES PARASITES ARTIFICIELS DANS LES SYSTÈMES DE MODULATION PAR VARIATION DE L'AMPLITUDE (ma) PAR VARIATION DE LA FRÉQUENCE <sup>(1)</sup>

PAR

D. MAURICE

*Ingénieur-Docteur de la Faculté de Paris, Ingénieur  
Radioélectricien de l'Ecole Supérieure d'Electricité,  
A.M.I.E.E.*

La controverse au sujet de l'emploi éventuel de la radiodiffusion dans la gamme des très hautes fréquences (30 Mc/s à 300 Mc/s) a duré longtemps, surtout aux Etats-Unis où l'emploi répandu de la modulation de fréquence ne l'a pas encore réduit au silence.

La plupart des organisations qui s'occupent de ces questions aux Etats-Unis sont d'origines commerciales et avant de lancer un système de radiodiffusion en ondes très courtes dans le Royaume Uni la British Broadcasting Corporation a dû faire elle-même un certain nombre d'expériences pour se décider lequel de trois systèmes de radiodiffusion était le plus convenable à tous points de vue. Cette décision n'a pas encore été prise mais un émetteur expérimental à Wrotham près de Londres fait des émissions en *m/* et *ma* à une puissance de 25 kW au feeder; 200 kW puissance effective rayonnée horizontale.

Les trois systèmes d'émission dont il s'agit sont d'abord la modulation par amplitude avec récepteur conventionnel ayant une bande passante haute fréquence (moyenne fréquence pour les récepteurs super-hétérodynes) restreinte à celle nécessaire pour la reproduction fidèle des basses fréquences ; 2° la modulation par amplitude identique au premier système à l'émission mais avec la différence importante à la réception que la largeur de bande passante, disons moyenne fréquence avec l'hypothèse des récepteurs superhétérodynes, soit beaucoup plus grande (par exemple  $\pm 75$  kc/s) que celle exigée pour le passage sans affaiblissement des bandes latérales qui amènent l'intelligence. Cette façon de faire permet une réduction considérable, à l'aide des limiteurs d'intensité un peu spéciaux, des crêtes

des impulsions à moyenne fréquence dues aux parasites. Bien entendu un tel dispositif n'a aucun effet réducteur sur les bruits de fond d'origine dans les agitations thermiques des électrons des circuits d'entrée du récepteur ; 3° la modulation de fréquence avec des grandes déviations modulatrices telles que les bandes latérales qui amènent l'intelligence occupent une bande de fréquences (par exemple  $\pm 75$  kc/s) encore comme le système précédent, beaucoup plus grande que celle exigée pour un simple système de modulation par amplitude. Cette façon d'étendre l'intelligence autour de la fréquence porteuse amène un accroissement de rapport signal-bruit au-dessus du même rapport dans un simple système de modulation par amplitude proportionnel au rapport des largeurs des bandes passantes moyenne fréquence employées dans les deux cas et ceci soit pour le brouillage parasite soit pour les bruits de fond — avantage que ne possède pas le système de modulation par amplitude à large bande passante moyenne fréquence à la réception, système qui se repose sur l'emploi de limiteurs d'intensité pour le crépilage des impulsions parasites.

L'étude dont ce document est le résumé examine ce qui se passe quand des récepteurs destinés à la radiodiffusion par modulation par amplitude conventionnelle d'une part, ou de fréquence de l'autre part sont le siège simultané d'émissions convenablement modulées et des parasites provenant d'appareils industriels ou ménagers.

On établit tout d'abord que la gêne subjective de l'effet acoustique des parasites est susceptible d'être chiffrée le mieux par la mesure de sa puissance ou souvent de la valeur efficace des tensions perturbatrices dont les circuits à basse fréquence sont le siège. Cette constatation semble être en accord avec l'idée assez répandue que l'oreille n'est pas très sensible aux petites variations de phase.

(1) Résumé de la 1<sup>re</sup> thèse d'Ingénieur-Docteur de l'auteur. Travail fait au Research Department, Engineering Division, The British Broadcasting Corporation.

On passe ensuite à l'étude théorique et pratique des parasites dans les deux espèces de récepteur, *ma* et *mf*. On trouve que dans le cas d'une réception donnée, la valeur efficace subjective des perturbations parasites est indépendante de la largeur de bande globale du récepteur pourvu que celle-ci soit au moins aussi grande que la bande passante de l'oreille de l'auditeur (5 kc/s, effective énergétique, d'après la courbe psophométrique du Comité Consultatif International Téléphonique pour un spectre uniforme de fréquences acoustiques et 8 kc/s pour un spectre de forme triangulaire qui se rencontre dans la réception par *mf*).

Ceci dit, on est en droit de dire qu'étant donnée à l'avance une puissance invariable à l'émission, et en remarquant que l'intensité sonore à la réception d'un programme radiodiffusé est bien déterminée dans le système *ma* mais elle est proportionnelle à la déviation de fréquence de la porteuse en *mf*, le rapport signal-bruit en *mf* peut atteindre une valeur aussi grande que l'on voudra tandis que sa valeur en *ma* est limitée par la puissance à l'émission.

Il est de connaissance générale que le spectre de fréquences acoustiques d'un programme typique destiné à la radiodiffusion est loin d'être uniforme, et de plus, les fréquences au-delà de 5 kc/s sont en générale moins importantes que celles qui se trouvent au-dessous de cette valeur. Cette constatation nous permet de nous servir de l'artifice désigné sous le nom de pré et désaccentuation. Si on veut insister que l'émetteur soit modulé au taux maximum par toutes les fréquences dans le spectre du programme on peut arranger que la chaîne d'amplification à basse fréquence de l'émetteur présente une courbe d'amplification en fonction des basses fréquences ayant une pré-accentuation au-delà de, disons 5 kc/s. Pour maintenir une reproduction globale fidèle il faut que les amplificateurs à la réception présente une dés-accentuation inverse à la pré-accentuation à l'émission. Cet artifice sert, à la fois au maintien de pleine modulation à l'émission, et ce qui est plus important, comme réducteur de bande passante réceptrice en ce qui concerne les bruits quelconques qui fussent entrés dans l'émission à n'importe quel endroit pourvu que celui-ci soit après la pré-accentuation. Si on commence l'accentuation (pré- et dés-) aux basses fréquences élevées alors l'effet réducteur de bruit qui en résulte est assez faible et ne vaut pas la peine de la faire. Si, au contraire, on commence l'accentuation à des fréquences trop basses l'effet réducteur de bruit à la réception devient considérable mais alors il y a surmodulation à l'émission qui donne lieu à la distorsion harmonique aussi bien dans la *mf* que dans la *ma* bien que pour des raisons assez différentes. On a trouvé par des expériences subjectives que le meilleur accommodement entre la surmodulation à l'émission et l'effet réducteur de bruit à la réception a lieu pour une constante de temps des accentuations de l'ordre de 50  $\mu$ s. Bien entendu, le système d'accentuations donne un avantage en *mf* supérieur à celui qu'on attendra en *ma* à cause du fait que le spectre de fréquences des bruits en sortant d'un récepteur *mf* est triangulaire tandis que dans le cas de la *ma* ce spectre est uniforme.

Des études détaillées nous conduisent finalement à l'énoncé suivant : Pour un système de *mf* de déviations maxima de  $\pm 75$  kc/s et de pré- et dés-accentuations de 50  $\mu$ s, l'amélioration de rapport signal-bruit sur un système comparatif de *ma* n'employant pas l'accentuation (car il n'amène guère d'avantage) est de 26 dB. Ce chiffre est aussi applicable au brouillage parasite qu'il l'est aux bruits de fond. En fait le chiffre serait 28 dB s'il n'était pas nécessaire de réduire le taux de modulation par 2 dB en *mf* pour éviter la distorsion due aux crêtes de surmodulation à cause de la pré-accentuation.

L'énoncé ci-dessus n'est vrai qu'au-dessus du seuil d'amélioration *mf-ma* ou seuil d'intensité en *mf*. On a examiné ce que devient l'amélioration *mf-ma* au-dessous de ce seuil d'intensité. Lorsque la crête de l'impulsion parasite, avant son arrivée au limiteur d'intensité dans un récepteur *mf*, est supérieure à l'amplitude du signal reçu, le fonctionnement du récepteur *mf*, quant aux impulsions parasites, est assez différent de son fonctionnement normal auquel cas l'amplitude du signal dépasse la crête

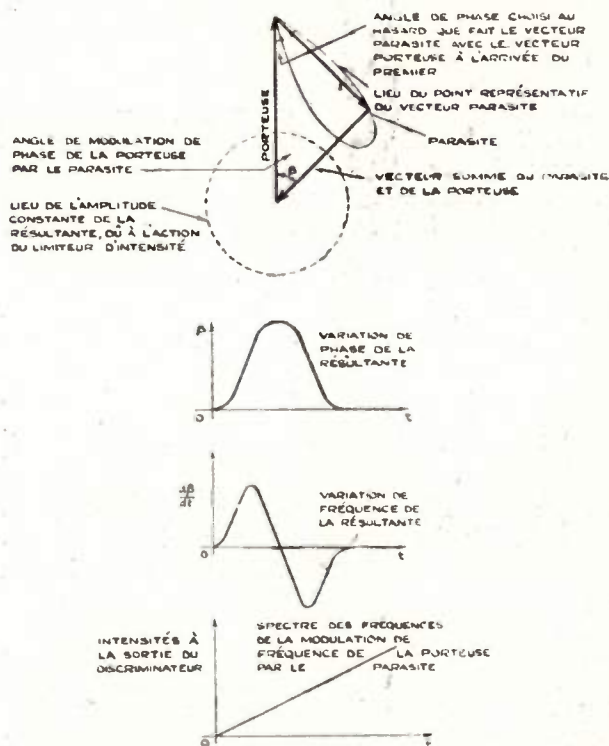


FIG. 1. — Réception en *mf* d'un parasite (au-dessus du seuil d'intensité).

des impulsions parasites. Ce fonctionnement normal donne lieu à un spectre de fréquences du brouillage, que ce soit de parasites ou des bruits de fond, de forme triangulaire. Cette forme du spectre résulte de la différentiation par rapport au temps de l'impulsion de l'angle de phase entre le vecteur porteuse et le vecteur parasite dans le discriminateur qui se trouve à la sortie des étages moyenne fréquence du récepteur *mf*. On se rappelle qu'une caractéristique de sensibilité en fonction de la fréquence en forme triangulaire (caractéristique du discriminateur) n'est

qu'une multiplication du spectre des tensions qui parcourent ce discriminateur par la variable impulsive de Dirac ou le symbole «  $p$  » de Heaviside. Or une multiplication par  $p$  n'est qu'une dérivation par rapport au temps,  $d/dt$ . La figure 1 se rapporte à la réception en  $m/f$ , au dessus du seuil d'intensité, d'un parasite et d'une porteuse non-modulée pour simplifier les idées. Cette figure a trait aux événements dans les étages moyenne fréquence qui comportent le limiteur d'intensité et le discriminateur. Le lieu du point représentatif du vecteur parasite est une courbe fermée et non une droite simple parce que ce vecteur a non seulement la fréquence centrale des circuits couplés des transformateurs à moyenne fréquence mais en plus un angle de phase qui, lui, est fonction du temps. Il est entendu que nous imaginons que toute la figure 1 est en rotation avec une vitesse angulaire  $\omega_0 = 2\pi f_0$  où  $f_0$  est la moyenne fréquence.

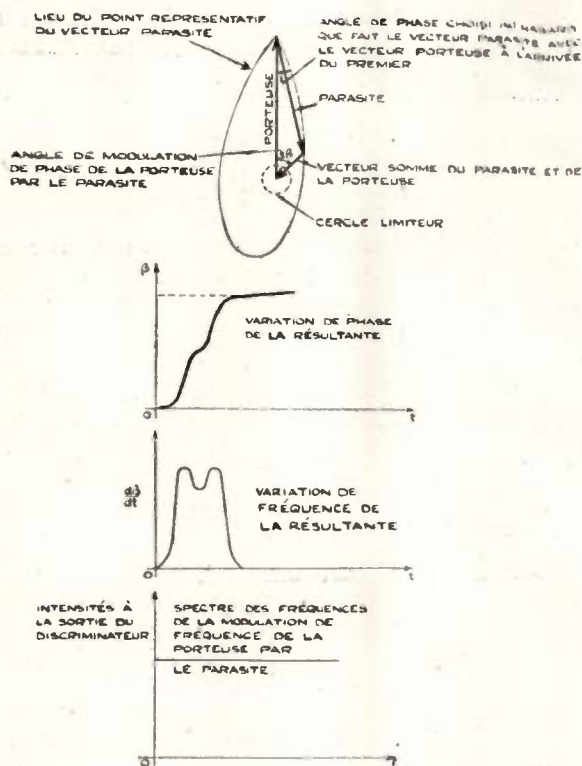


FIG. 2. — Réception en  $m/f$  d'un parasite (au-dessous du seuil d'intensité).

Supposons maintenant que la crête du parasite dépasse l'amplitude de la porteuse et que l'angle de phase initial entre ces deux vecteurs soit tel qu'il est montré dans la figure 2. Dans ce cas nous sommes dans les conditions de fonctionnement en-dessous du seuil d'intensité et il y a changement discontinu dans la forme des tensions à la sortie du discriminateur comme on peut le voir dans la figure.

On serait conduit à penser, puisque le spectre des fréquences des tensions ou intensités à la sortie du discriminateur est maintenant uniforme au lieu d'être triangulaire, que l'énergie du parasite aux bornes de sortie du discriminateur soit la même que celle du même parasite en  $ma$ ; mais il n'en est rien

car le mécanisme qui donne naissance à l'impulsion à basse fréquence en  $m/f$  n'a aucun rapport avec les phénomènes qui se passent dans un récepteur destiné à la  $ma$ . En fait, l'impulsion en  $m/f$  peut avoir dix fois l'énergie de l'impulsion équivalente en  $ma$  pour un rapport en valeurs de crête, signal-parasite (moyenne fréquence) de l'unité.

Puisque l'impulsion unipolaire ( $d\beta/dt$  de la fig. 2) qui se rencontre au dessous du seuil d'intensité en  $m/f$  résulte d'une rotation de phase (1) de  $2\pi$  radians dans un temps égal à la réciproque de la demi-largeur de bande passante moyenne fréquence ( $\pm 75$  kc/s par exemple) et ne dépend que très peu du rapport des amplitudes parasite-porteuse, on peut dire de façon approchée que l'énergie de cette impulsion à la sortie du discriminateur reste constante. Alors la détérioration du rapport signal-parasite en-dessous du seuil d'intensité ne dépend que de la proportion d'impulsions unipolaires, proportion qui croît de manière asymptotique à  $1/2$  lorsque le rapport parasite-signal (moyenne fréquence) croît indéfiniment. La figure 3 montre l'allure des phénomènes pour un cas de la pratique de brouillage parasite provenant d'automobiles en marche dans une rue de ville. Cette figure résulte de

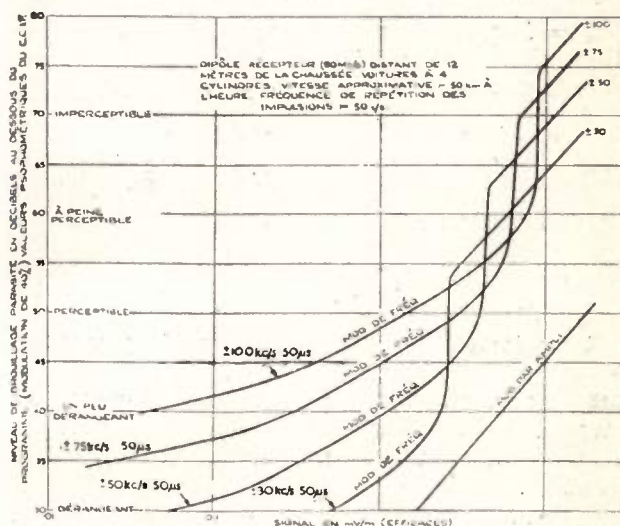


Fig. 3. — L'effet de différentes déviations de fréquence en  $m/f$  (combinaison de calculs théoriques et de mesures).

la mesure des parasites de plus de 350 voitures, mais les courbes de signal-bruit pour les différentes déviations en  $m/f$  supposent que chaque récepteur est étudié pour réception à la déviation spécifiée. La valeur du brouillage parasite a été choisie de manière statistique telle que 90 % des voitures donneraient lieu à un brouillage moins important tandis que 10 % en donneraient un plus fort.

L'auteur veut exprimer ses remerciements au Chief Engineer de la British Broadcasting Corporation pour son aimable permission de publier ce travail. Il est reconnaissant à Mr. W. Proctor Wilson, C.B.E., du Service des Recherches de la B.B.C. pour

(1) SMITH, D.B.; BRADLEY, W. E.; *Proc. I. R. E.*, Octobre 1946; pour le cas où la modulation basse fréquence de la porteuse existe.

ses conseils et encouragements. Il voudra mentionner, aussi, le nom de Mr. G. F. NEWELL, son collègue et collaborateur quant aux travaux pratiques.

#### APPENDICE

##### Quelques formules utiles.

1. L'étude se base sur l'excitation par la fonction unité de Heaviside d'un système de deux circuits résonnants en couplage par induction magnétique. Ce système représente les étages moyenne fréquence d'un récepteur superhétérodyne.

Dans ce qui suit on emploie la notation suivante :

$\Delta f$  = demi-bande-passante moyenne fréquence, définie par un accroissement d'affaiblissement de 3 dB par rapport à celui ayant lieu au centre. La bande passante moyenne fréquence est donc  $2 \Delta f$ .  $\Delta f$  est aussi la valeur maximum positive et négative de la déviation de la fréquence de la porteuse dans le cas d'une transmission par modulation de fréquence.

$f_r$  = fréquence de répétition des impulsions provenant des parasites répétés à l'entrée du récepteur.

$f_c$  = fréquence de coupure du filtre passe-bas dont les circuits basse fréquence d'un récepteur peut se composer.

$f_a$  = « fréquence de coupure » d'un circuit de désaccentuation dont les circuits basse fréquence d'un récepteur peut se composer. Si la constante de temps d'un circuit de désaccentuation est  $RC$ , alors :

$$f_a = 1/(2\pi RC)$$

2. Le facteur de crête à moyenne fréquence est le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace des impulsions parasites lorsqu'elles sortent des étages à moyenne fréquence du récepteur. Ce facteur a une certaine importance quant aux mesures des parasites.

Facteur de crête, moyenne fréquence, mod. par ampli. =  $5 \sqrt{\Delta f/f_r/2}$ ,

Facteur de crête, moyenne fréquence, mod. de fréquence =  $5 \sqrt{\Delta f/f_r}$ .

3. L'amélioration  $m/m_a$  est le rapport des rapports signal/parasite aux sorties des récepteurs étudiés pour la réception en modulation de fréquence et en modulation par amplitude respectivement. Cette amélioration n'est donnée de manière algébrique que dans les cas de réceptions dans lesquelles le signal dépasse le seuil d'amélioration ou d'intensité  $m/m_a$ . Dans tout ce qui suit on suppose que les bandes-passantes à moyenne fréquence sont plus grandes que le double des bandes passe-bas basse fréquence. Que les bandes passe-bas se composent de circuits réels dans les récepteurs ou qu'elles se trouvent constituées par les oreilles des auditeurs importe peu. On suppose aussi que la modulation de la porteuse soit au taux de 100 % ; l'amplitude

de la modulation maxima en  $ma$  est évidemment égale à celle de la porteuse tandis qu'en  $m$  la déviation maximum sera celle pour laquelle le système a été étudié, c'est-à-dire,  $\Delta f$  même.

Amélioration  $m/m_a$ , valeurs efficaces, =  $\sqrt{3\Delta f/f_c}$ .

Si les deux récepteurs ont, en outre du filtre passe-bas de coupure  $f_c$ , une désaccentuation  $f_a$ , nous aurons :

Amélioration  $m/m_a$ , valeurs efficaces,

$$= \frac{\Delta f}{f_a} \sqrt{\frac{\arctg(f_c/f_a)}{f_c/f_a - \arctg(f_c/f_a)}}$$

Pour calculer les valeurs subjectives des améliorations, c'est-à-dire leurs valeurs auditives il faut tenir compte des bandes passantes effectives de l'oreille de l'auditeur moyen en écoute aux spectres uniforme et triangulaire. Si, donc, nous supposons deux récepteurs, chacun avec circuit basse fréquence constitué par une désaccentuation  $f_a$ , nous aurons :

Amélioration  $m/m_a$ , subjectif,

$$= \frac{\Delta f}{f_a} \sqrt{\frac{\arctg(5/f_a)}{8/f_a - \arctg(8/f_a)}}$$

avec toutes les fréquences en kilocycles par seconde. Un cas plus fréquent que le précédent est celui dans lequel le récepteur  $ma$  a une bande passe-bas plus grande que celle de l'oreille de l'auditeur, c'est-à-dire que c'est cette dernière qui limite l'étendue du spectre du bruit (parasites) à basse fréquence. En même temps nous admettons que le récepteur  $m$  n'a qu'une désaccentuation  $f_a$ , comme circuit à basse fréquence avant que la réponse du récepteur atteigne l'oreille de l'auditeur. Dans ce cas nous avons, avec toutes les fréquences en kc/s :

Amélioration  $m/m_a$ , subjectif,

$$= \frac{\sqrt{5} \Delta f}{\sqrt{f_a^3 [8/f_a - \arctg(8/f_a)]}}$$

4. On atteint et dépasse le seuil d'amélioration  $m/m_a$  lorsque la valeur maximum du signal à moyenne fréquence atteint et dépasse la crête de l'impulsion parasite à moyenne fréquence. Lorsque cet état d'affaires se réalise, c'est-à-dire quand on est en présence du seuil d'amélioration exact, le rapport subjectif du signal en  $m$  au bruit impulsif dû aux parasites est :

Signal/bruit, subjectif,  $m$ , au seuil d'amélioration,

$$\frac{\pi \sqrt{3}}{2 \sqrt{2}} \frac{(\Delta f)^2}{\sqrt{f_r f_a^3 [8/f_a - \arctg(8/f_a)]}}$$

avec toutes les fréquences en kc/s.

Le lecteur vérifiera que les courbes de la figure 3 sont en accord avec cette formule qui donnera des rapports signal/bruit au seuil qui dépasseront les valeurs de la figure de 8 dB à cause de l'hypothèse

de 40 % de modulation pour la figure et 100 % pour la formule.

5. Il faut se méfier d'une application trop précise des formules ci-dessus à cause des nombreuses hypothèses qu'il a fallu faire pour arriver à des expressions maniables. Néanmoins la précision est tout à fait suffisante pour soutenir la remarque très importante que lorsque la  $m_f$  est en fonctionnement propre, au-dessus du seuil d'intensité ou d'amélioration  $m_f/ma$ , le rapport signal/bruit pour des fréquences de répétition des impulsions tout à fait normales

(telles que  $f_r = 50$  à 500 impulsions par seconde) est si grand pour des déviations de l'ordre de  $\pm 75$  kc/s que le bruit n'est guère audible. On peut vérifier cette remarque sur la figure 3. Donc, quand un auditeur se trouve dérangé par un brouillage parasite en réception en  $m_f$  avec grande déviation c'est que le système fonctionne bien en-dessous du seuil d'intensité. Malgré la tentation de n'employer que des faibles déviations, on notera sur la figure 3 que la séparation minima entre les rapports signal/bruit  $m_f$  et  $ma$  croît avec la déviation employée, même bien en-dessous du seuil.

# LES POLYCYLINDRES ET LA DIFFUSION DES ONDES SONORES

PAR

R. LAMORAL

Ingénieur des Télécommunications à la R.T.F.  
Master of Science de l'Université d'Harvard

Dans un numéro antérieur (1) un dispositif d'étude acoustique de grandes salles sur maquette a été décrit. Une partie de l'appareillage utilisé alors nous a semblé convenir parfaitement au but que nous cherchions à atteindre et qui est présenté ici.

Depuis quelques années, on le sait, les surfaces polycylindriques ont été utilisées intensément en traitement acoustique chaque fois que l'on craignait un écho en *flu'te' echo*, ou simplement de manière à obtenir un champ acoustique plus homogène dans les salles.

Les conclusions tirées par les acousticiens sur l'opportunité de revêtir une portion de salle donnée à l'aide de polycylindres sont basées sur les lois de l'acoustique géométrique : autrement dit on suppose implicitement que la longueur d'onde est petite par rapport aux dimensions de la salle et des irrégularités placées dans celle-ci.

Envisageons par exemple le cas simple de la figure 1 où la distance entre la zone source-microphone et le mur du fond est de l'ordre de 30 mètres.

La différence de marche entre S.M. et S.K.M. est telle qu'un écho franc sera perçu par M dans le cas d'un mur A.B. plan et réfléchissant.

Une solution simple consiste à placer des polycylindres sur A.B., ce qui disperse l'onde incidente S.K. et « supprime » K.M. qui nous gêne. Ce mode de

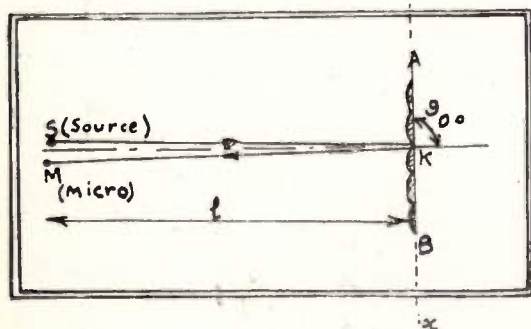


FIG. 1. — Plan de la maquette recouverte intérieurement d'absorbant.

traitement est fort intéressant comparé à la simple application d'un matériau poreux sur A.B. : ce matériau déséquilibre gravement la salle en favorisant les fréquences graves aux dépens des aiguës et d'autre part, il ne peut supprimer l'écho pour les fréquences basses (on sait en effet que le plus efficace des matériaux poreux, la laine de verre absorbe environ 20 %

de l'énergie aux alentours de 100 p/s, ce qui est notablement insuffisant pour supprimer l'écho, 80 % de l'énergie incidente étant renvoyée vers le microphone).

Il était donc intéressant d'étudier la zone de fréquences pour lesquelles une surface polycylindrique est efficace dans la suppression d'un écho, ainsi que l'influence de la distance source-polycylindre sur cette efficacité.

## DISPOSITIF.

Nous avons utilisé le principe des maquettes mentionnées au début de cet article, dans un but de rapidité et d'économie. Les impulsions étaient ici encore

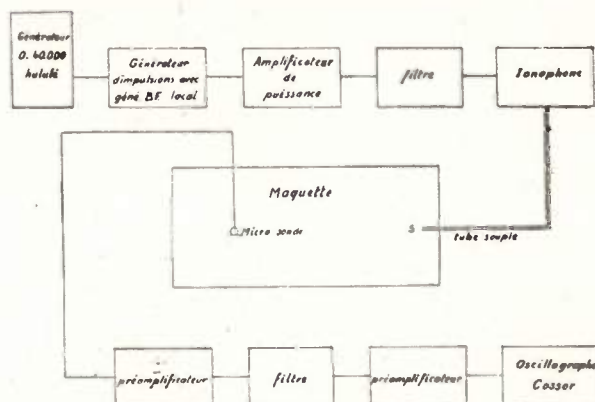


FIG. 2. — Schéma d'ensemble.

de 1 ms. toutes les 10 ms. les polycylindres mesuraient 3.4 cm, ce qui, rapporté à des diffuseurs grandeur réelle de 1,70 m donne le rapport de similitude 50.

Par conséquent, en étudiant le comportement de notre modèle réduit au 1/50<sup>e</sup> en faisant varier  $l$  (voir figure 1) de 20 à 50 cm et la fréquence de 5 000 à 30 000 hertz, tout se passe comme si nous avions dans une salle grandeur nature, considéré des polycylindres de 1,70 m entre 100 et 600 hertz placés à une distance  $l$  de la source comprise entre 10 et 25 mètres.

## RÉSULTATS.

On a mesuré sur l'écran d'un oscillographe le rapport des amplitudes des impulsions réfléchies B (fig. 3) dans les deux cas suivants :

a) cas d'une surface réfléchissante plane ;

(1) « Onde Electrique » Octobre 1953.

b) cas d'une surface réfléchissante égale mais polycylindrique.

Ce rapport nous donne approximativement non le « coefficient d'absorption » du matériau étudié mais plus exactement le pourcentage de l'énergie

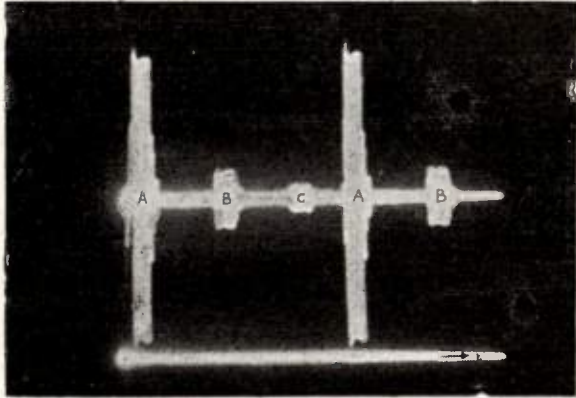


FIG. 3. — A : impulsions initiales ;  
B : impulsion réfléchi, soit par une surface plane réfléchissante, soit par les polycylindres de même surface placés au même endroit.

non renvoyée dans la direction de la source, donc non responsable d'un écho éventuel.

(Ce procédé est à rapprocher de la mesure de M. RAES sur les matériaux acoustiques conventionnels en grandeur nature).

On a fait varier la distance  $l$  et obtenu les résultats de la figure 4.

On remarque que :

— plus on éloigne la surface recouverte de polycylindres plus l'efficacité de ceux-ci augmente ;

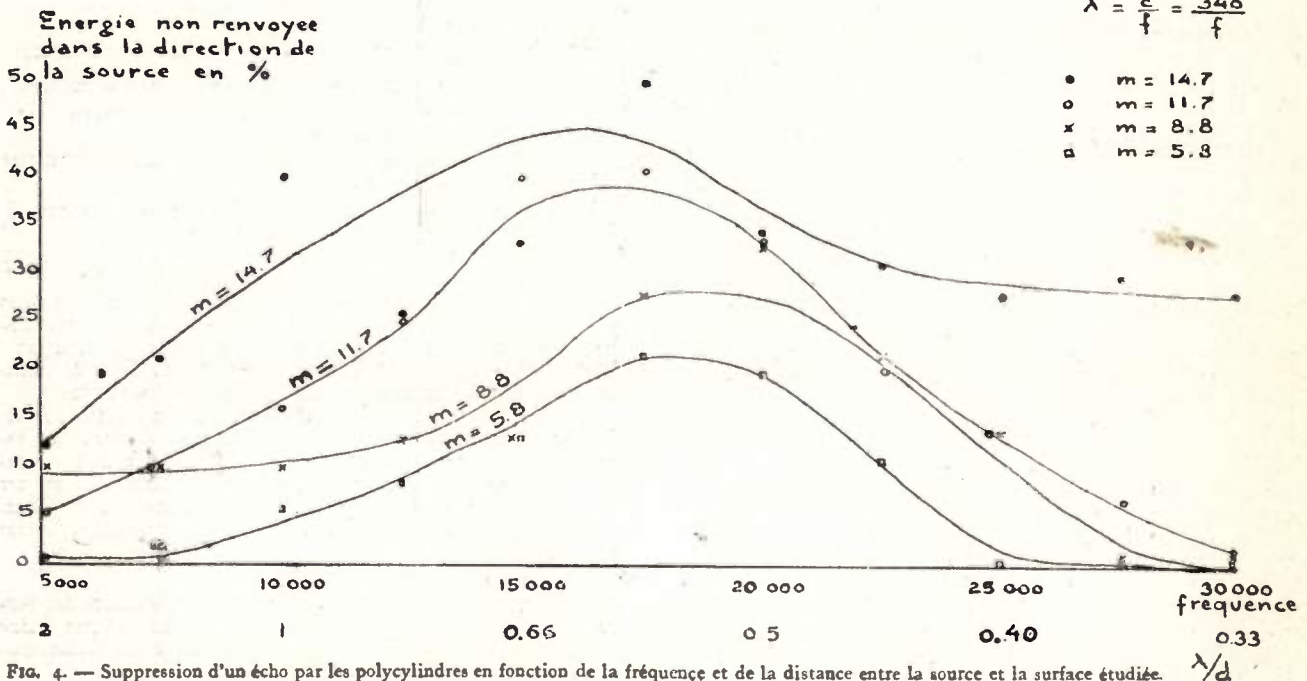
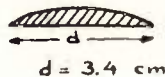


FIG. 4. — Suppression d'un écho par les polycylindres en fonction de la fréquence et de la distance entre la source et la surface étudiée.

— ils semblent « absorber » peu aux basses et aux aiguës pour avoir une zone de diffusion maximum située aux environs des longueurs d'onde  $\lambda = 0,5 d$  à  $d$ .

— si on prend  $l = 20$  cm et déplace  $S$  le long de  $x x'$  (fig. 1) on obtient successivement des maxima et minima de réflexion distants de  $d$  montrant que la distribution d'énergie sonore réfléchi est relativement homogène avec une surface plane est perturbée par les polycylindres pour donner un ensemble de faisceaux privilégiés.

Donc la zone d'écoute placée près de ces diffuseurs est acoustiquement mauvaise à cause de cette homogénéité du champ acoustique.

#### CONCLUSIONS.

En raison de ces résultats l'utilisation des polycylindres semble assez délicate :

a) Leur diffusion est assez difficile et donc risque de ne pas être suffisante pour éviter à coup sûr un écho (vérification pratique : le grand studio de Maida Vale).

Il faut donc en placer sur toutes les parois pour être sûr du résultat (N° 2 de Maida Vale).

b) Leur zone d'efficacité en fréquence et leur efficacité augmentent lorsque leur distance des sources et microphones est élevée, d'où leur intérêt dans de grandes salles beaucoup plus que dans de petits studios.

c) Les fréquences faibles ( $\lambda/d \geq 2$ ) sont mal diffusées même si  $l$  est grand, donc danger d'écho aux fréquences basses à moins d'utiliser des polycylindres de très grand diamètre.

d) Les *flutter echoes* sont supprimés aisément puisque des absorptions ou plutôt « non réflexions » de l'ordre de 10 % suffisent à cet effet.

# VIE DE LA SOCIÉTÉ

PÉRIODE DU 17 JANVIER AU 12 FÉVRIER 1954

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE du 30 JANVIER 1954

La séance est ouverte à 17 h. à l'Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne, sous la présidence de M. P. DAVID.

## Rapport Moral

présenté par M. J. MATRAS  
Secrétaire Général

*Mes chers Collègues,*

La situation toujours favorable de notre trésorerie nous permet de développer progressivement notre activité.

Celle-ci s'est manifestée en 1953 sous un quadruple aspect :

- Amélioration de l'Onde Electrique ;
- Conférences ;
- Visites en France et à l'étranger ;
- Organisation de colloques internationaux.

« L'Onde Electrique » a été l'objet de notre souci constant ; tant du point de vue quantitatif que qualitatif.

Je n'ai pas eu la curiosité de peser la collection 1953, mais j'ai pu vérifier que le nombre de pages de textes offert à la curiosité des lecteurs a atteint 730, alors que nous n'arrivions qu'à 500 en 1951 et à 525 en 1952. Notre plan quinquennal prévoit une nouvelle augmentation en 1954, année qui nous l'espérons, nous verra franchir le cap des 800 pages.

C'est donc un accroissement de 60 % que nous pensons obtenir sans envisager même une modification de votre cotisation ; il est vrai que notre éditeur a demandé l'autorisation de majorer de 25 % le prix du numéro et le prix de l'abonnement, particulièrement bas si on les compare à ceux des revues françaises et étrangères similaires. Nous avons donné accord, sous la réserve expresse que les numéros livrés à la Société le seraient toujours aux mêmes conditions.

Nous avons pu, en 1953, spécialiser quatre numéros consacrés respectivement aux semi-conducteurs, à l'Assemblée Générale de l'U.R.S.I. qui s'est tenue à Sydney en 1952, aux aides radioélectriques à la navigation aérienne et maritime, enfin aux applications de l'électronique.

En sus des articles techniques, et pour répondre à une demande déjà ancienne, nous avons introduit quelques pages consacrées à la Vie de la Société : c'est notre nouveau secrétaire M. CHARLET qui veut bien s'en occuper, avec autant de compétence que de diligence.

Nous aimerions connaître ce que vous pensez de cette innovation si la formule employée vous agréait, s'il y a lieu au contraire de la rectifier et comment.

A plusieurs reprises également, nous avons cru intéressant de publier soit une Bibliographie sélectionnée sur un sujet donné, soit quelques termes de vocabulaire officiel, concernant des techniques en plein développement. Convient-il de continuer ?

De façon générale, nous espérons que le niveau et la qualité des articles vous ont plu ; il nous serait agréable de recevoir vos critiques, ce qui faciliterait notre travail d'orientation — mais aussi des exposés sur des sujets techniques d'actualité, ce qui faciliterait notre travail de prospection.

L'accroissement de la diffusion de l'Onde Electrique à l'étranger nous permet de faire dans ce domaine un pressant appel aux Sociétés : Ce n'est pas un apport financier que nous leur demandons, qu'elles se rassurent, mais un apport de matière grise ; il est de leur plus immédiat intérêt, comme de celui de notre Pays, que soient connues leurs réalisations qui, nous le savons, mais nous ne le disons pas assez, font le plus grand honneur à l'industrie

française. Nous en voudront-elles, si leur forçant discrètement la main nous les associations de plus près encore à la rédaction de notre Revue, qui est aussi leur Revue ?

A côté des progrès qui viennent d'être exposés ci-dessus, nous nous devons de signaler que, malgré les efforts apportés par l'Editeur Chiron pour améliorer la qualité du papier et la présentation matérielle de l'Onde Electrique, certaines imperfections subsistent encore qui font l'objet d'élimination progressives : je citerai essentiellement l'irrégularité dans la date de parution et un emballage pas toujours judicieux.

Défauts mineurs certes ; raison de plus pour leur tordre le cou. C'est à quoi s'emploie diligemment notre Comité de rédaction animé par son Président M. Louis Cahen, et son brillant secrétaire M. LIBOIS, véritable cheville ouvrière, maître d'œuvre de notre publication.

Second champ d'activité de notre Société : les Conférences en Sorbonne, en Sections, et, ce qui échappe parfois aux parisiens, en groupes régionaux.

Je serai plus bref et me contenterai d'une énumération :

21 Conférences en Sorbonne, dont 12 en commun avec d'autres Sociétés savantes éminentes :

- 7 avec la Société Française de Physique ;
- 2 avec la Société Française des Electriciens ;
- 1 avec la Société des Ingénieurs Civils de France.
- 1 avec l'Association des Ingénieurs Electroniciens.
- 1 avec le Comité National Français de Radioélectricité Scientifique.

Par ailleurs, nous avons été co-invités pour 4 conférences. 1 organisée en commun avec la Société des Ingénieurs civils de France et la Société Française des Electriciens.

3 organisés en commun avec la société Française de Physique, le Commissariat à l'Energie Atomique et la Société des Ingénieurs Techniciens du Vide.

Sujets très variés : compte-rendus des travaux de l'U.R.S.I., la théorie de l'Information et ses plus récentes applications, application de la Radioélectricité aux recherches et aux réalisations atomiques, semi-conducteurs, télévision, etc...

Je n'aurais garde d'oublier le savoureux exposé de notre Président M.P. DAVID sur « Tradition et nouveauté en Radioélectricité »

En Sections, vive activité — Au total 40 Conférences dont :

- 9 communes avec l'Association des Ingénieurs Electroniciens ;
- 5 avec la Société Française des Electriciens,
- 4 avec le Groupement des Acousticiens de Langue française
- 3 communes à 2 sections.

En tête du tableau d'honneur, la 8<sup>e</sup> Section présidée par M. F. RAYMOND, avec 9 communications, suivie de près par la 1<sup>ère</sup> Section présidée par M. l'Ingénieur Militaire en Chef ANGOT avec 8 communications, et la 5<sup>e</sup> Section de M. WARNECK avec 7.

Merci aux Présidents de toutes les Sections, à leurs Secrétaires et à tous les éminents conférenciers qui nous ont si vivement intéressés, et dont je ne citerai, faute de temps, que les étrangers : MM. RAES — SACERDOTE, BELEVITCH — YEOUTA, FRINGS, SCHOCKLEY, HEROLD, LEVERENZ, ROSE, JAMES, WIJN, HIRSCH...

Hors Paris, notre reconnaissance particulière s'adresse à MM. BENOIT et MOUSSEGT, Président et Secrétaire du Groupe de Grenoble, à MM. BLANC-LAPIERRE et SAVORNIN, Président et Secrétaire du Groupe d'Alger, qui ont su remarquablement organiser et animer l'activité de nos Collègues alpins et ultra-méditerranéens.

Troisième champ d'action de notre Société : les visites en Usines et en Laboratoire.

D'abord en France.

Grâce à l'aimable obligeance de notre Vice-Président M. AUBERT, il a été donné à nos Membres de suivre l'intéressante chaîne de fabrication des relais hertziens du Centre de la Compagnie Générale de T.S.F. à Montrouge.

Sous l'égide de M. SURDIN, plusieurs Groupes de collègues ont pu s'initier aux développements du Centre d'Etudes nucléaires de Saclay.

Je n'aurais gardé d'omettre les visites accompagnées et abondamment commentées offertes aux participants du Congrès des impulsions : le service des Recherches et du Contrôle Technique des P.T.T., la Compagnie Française Thomson-Houston, le Matériel Téléphonique, la Société Française Radioélectrique ont fait assaut de compétence et de complaisance pour montrer des laboratoires remarquablement outillés ou des matériels en pleine exploitation.

Nous ne pouvons que nous réjouir de cette aimable émulation, grâce à laquelle, français et étrangers ont pu apprécier les belles réalisations de notre technique radioélectrique.

Mais il est un élément nouveau sur quoi, je voudrais insister plus particulièrement, notre voyage d'études en Belgique et en Hollande voyage qui a fait l'objet d'un compte-rendu détaillé dans « La Vie de la Société ».

Qu'il me soit permis à ce propos d'associer aux noms de MM. ORHOND, BLOESMA et MARIQUE, nos aimables correspondants celui de M. ZIEGLER, grâce à l'entremise de qui, nous avons pu, je ne dis pas connaître ce serait tant soit peu présomptueux, mais avoir une première idée du fonctionnement des immenses Usines Philips d'Eindhoven. Ce fut d'ailleurs pour nous une bien vive satisfaction d'accueillir son inscription à notre Société.

Le nombre des participants au Voyage a été limité : 35 de nos Collègues seulement eurent la hardiesse de s'y risquer. Pouvons-nous croire qu'ils ne le regrettent pas ? Sous la direction souriante de MM. RIGAL et AUBERT, nos dévoués Vice-Présidents, favorisés par un temps bénéfique, notre Groupe, passant de Charleroi à Bruxelles, d'Eindhoven à La Haye et à Hilversum, a pu se rendre compte de l'intérêt que présentait cette expédition, non seulement pour nous, mais aussi pour nos collègues Belges et Hollandais. Nous avons été accueillis, mieux qu'à bras ouverts, avec sympathie, avec affection. Les uns comme les autres, nous avons regretté que les échanges techniques entre voisins ne soient pas plus nombreux, et nous nous sommes bien promis de mettre tout en œuvre pour les amplifier. Des contacts amicaux sont gardés, des liaisons renforcées. Il faut cependant faire encore plus et mieux : votre Conseil en appelle à chacun d'entre vous pour que, dans ce travail de resserrement des liens techniques internationaux, vous nous aidiez, en nous signalant les personnalités, les groupements les Entreprises que pourrait, hors de nos frontières, intéresser l'activité de notre Société.

C'est précisément cet accueil favorable qui nous a conduit à reprendre l'organisation de Colloques internationaux.

Sur l'initiative de M. BAYARD, nous avons tenu du 5 au 10 Octobre dernier un Colloque consacré à la Théorie et à la Technique des impulsions, MM. AUBERT et LIBOIS (plusieurs fois nommés déjà) M. MARQUERIE en ont assuré une organisation impeccable, avec la collaboration de notre Secrétariat. 64 communications dont 9 étrangères ont permis une mise au point intéressante d'une technique qui n'est certes plus tout à fait neuve, mais dont les développements sont pleins de rebondissements imprévus.

Dans la vie de la Société, vous avez pu lire un compte-rendu détaillé de ce Colloque, agrémenté de quelques belles photographies. Nous espérons que le souvenir qu'en ont gardé nos collègues étrangers les inciteront à revenir souvent à Paris.

D'autres sans doute, intéressés par une technique différente, non moins ancienne, mais non moins riche en rebondissements, les précéderont au début d'Avril prochain. C'est à cette époque en effet, que se réunira à la Maison de la Chimie, un Congrès international sur l'Enregistrement sonore et sur son extension à l'Enregistrement des informations.

L'initiative en revient à notre ancien Président, le Général Leschi qui en jeta les premières bases, avec l'assistance de nos collègues MM. MERCIER et LOVICH.

Toute une équipe, réunie périodiquement sous la houlette bienveillante, mais ferme de M. RABUTEAU, s'affaire pour transformer ce projet en réalisation heureuse. Je pense être votre interprète à tous en lui transmettant nos vœux chaleureux.

Je ne veux pas terminer ce compte-rendu, mes chers Collègues sans remercier les Membres sortant du Conseil, pour leur collaboration toujours diligente, et sans souhaiter la bienvenue, aux nouveaux Membres que vous allez élire.

Qu'il soit permis au Secrétaire Général d'exprimer à ses deux « anciens » qui quittent aujourd'hui le Bureau, MM. P. DAVID et R. RIGAL, toute la reconnaissance qu'il leur doit plus particulièrement pour l'aimable assistance qu'ils lui ont toujours apportée. Leur aide, leur présence, leurs conseils éclairés, l'on soutenu et guidé dans une tâche parfois délicate.

Est-ce à dire que ce départ équivaut à un adieu ? Il faudrait réformer les Statuts de notre Société, s'il en était ainsi. Rendons grâce aux fondateurs d'avoir prévu le cas.

Président sortant ne veut pas dire, pour nous, Président retraité. La Société vous a donné, M. DAVID, en vous élevant à sa Présidence la plus haute marque d'estime, mais elle ne vous tient pas quitte pour autant.

Nous ne vous lâchons pas et nous savons que vous ne nous lâcherez pas. Ni vous, ni M. RIGAL, qui, s'il subit en nom, une éclipse certainement très temporaire, continuera, nous le savons, à nous faire bénéficier de sa fructueuse expérience et de son amicale compétence.

Il m'est agréable également de saluer, en fin de cette période triennale, les services particulièrement éminents rendus par notre jeune et brillant Secrétaire sortant, M. TESTEMALE. Ses actes plaident pour lui mieux que je ne pourrais le faire, je me contenterai de souhaiter qu'il nous continue également sa collaboration, en lui promettant, sans grande crainte de me tromper, la plus enviable destinée.

Une nouvelle année s'ouvre devant nous, mes chers Collègues, riche en possibilités et en perspectives nouvelles. Puisse-t-elle renforcer encore les liens qui unissent le Conseil à tous les Membres de la Société c'est grâce à cette solidarité que nous pourrions continuer sans désespérer à aller de l'avant.

### Rapport du Trésorier

présenté par M. R. CABESSA

pour la période du 1<sup>er</sup> Janvier 1953 au 31 Décembre 1953

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| En caisse au 1 <sup>er</sup> Janvier 1953 : | 1 680 478 |
| se décomposant en Ch. Postaux :             | 1 041 573 |
| Banque :                                    | 582 949   |
| Espèces :                                   | 55 956    |
|                                             | 1 680 478 |

### Recettes (1953)

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| Cotisations .....                                  | 3 773 036 |
| Versements libératoires .....                      | 80 000    |
| Subvention du Secrétariat d'Etat à la Guerre ..... | 75 000    |
| Remboursement de services et divers .....          | 39 767    |
| Colloque des Impulsions .....                      | 697 752   |
| Voyage Belgique et Pays-Bas .....                  | 150 400   |
| Visite Centre de Saclay .....                      | 800       |
| Coupons et Agios .....                             | 23 255    |
| Total.                                             | 4 840 010 |

### Dépenses 1953)

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| Frais de Secrétariat .....             | 1 999 309 |
| Frais de réunions et de Sections ..... | 779 609   |
| Onde Electrique .....                  | 513 718   |
| Achat de Machine à écrire .....        | 158 000   |
| Colloque des Impulsions .....          | 696 583   |
| Voyage Belgique et Pays-Bas .....      | 214 449   |
| Visite Centre de Saclay .....          | 22 716    |
| Total                                  | 4 384 384 |

Excédent de recettes 1953 ..... 455 626

d'autre part :

au titre du « Congrès de l'Enregistrement Sonore » il a été avancé ..... 175 000

reçu ..... 37 500

et 10 Bons du Trésor de 100 000 F ont été achetés pour la somme de ..... 995 000

Il en résulte un compte en Caisse au 31 Décembre 1953 de ..... 1 003 604

se décomposant en Banque ..... 516 834

CC Postaux ..... 460 171

Espèces ..... 26 599

1 003 604

Timbres pour mémoire ..... 29 874

## Compte rendu des Commissaires aux Comptes

présenté par MM. LAFFINEUR, LœB et VARRET

Mesdames, Messieurs,

Conformément à la mission que vous avez bien voulu nous confier au cours de l'Assemblée Générale du 31 janvier 1953, nous avons examiné les écritures comptables de la Société des Radioélectriciens pour l'exercice qui vient de s'achever.

Ces comptes, qui font ressortir un excédent de recettes de F. 455 626, sont un témoignage de la progression accomplie dans l'activité de la Société.

Vous avez aussi noté qu'à la suite du vœu émis ici même l'année dernière, la Société profitant de ses disponibilités de trésorerie, a souscrit, pour un million de francs de Bons du Trésor.

Les comptes qui nous ont été présentés nous sont apparus comme tout à fait clairs et satisfaisants ; nous vous proposons donc de les approuver.

Nous tenons à remercier tout particulièrement M. MATRAS, notre Secrétaire Général, et M. CABESSA notre dévoué Trésorier pour la manière dont ils nous ont facilité cet examen et nous les félicitons pour leur bonne gestion.

## ALLOCUTION DE M. P. DAVID

Président sortant

Mes Chers Collègues,

Les rapports que vous venez d'entendre vous ont très complètement présenté l'activité de notre Société dans l'année 1953. Je n'y ajouterai donc qu'un bref commentaire.

Notre situation est toujours satisfaisante. L'excédent de recettes sera utilement employé pour accélérer la marche ascendante de l'Onde Électrique et améliorer le fonctionnement de notre secrétariat, dont le personnel est parfois débordé.

Ces bons résultats sont dus à l'activité et au dévouement de tous nos membres mais plus particulièrement de ceux qui constituent ou assistent le Bureau. M. MATRAS les a remerciés en termes excellents, et je m'associe personnellement à l'hommage qu'il a leur rendu, notamment pour MM. LIBOIS et CABESSA. Notre Secrétaire Général s'est oublié lui-même : il me reste donc le devoir de souligner combien son rôle est essentiel dans toute la vie de notre Société, et de quel dévouement il fait preuve en nous consacrant un temps et une compétence si précieux à la Radiodiffusion-Télévision Française ; vous en avez été témoins à notre dernière réunion à la Sorbonne, à propos de la nouvelle « Maison de la Radiodiffusion ».

Je voudrais aussi dire un mot de gratitude pour une catégorie de membres auxquels on pense rarement (je me hâte d'en dire du bien, car dans cinq minutes je ne pourrai plus le faire, puisque je lui appartiendrai) : celle des anciens présidents, auxquels on ne fait jamais appel inutilement pour un conseil, une démarche ou une intervention quelconques.

Enfin je tiens à envoyer un amical salut à nos Groupes : de Grenoble, dirigé depuis longtemps par M. BENOIT, et d'Alger, que j'ai eu l'honneur d'inaugurer en Février, et qu'anime M. BLANC-LAPIERRE.

\*\*\*

Dans les événements de l'année, il en est un que nous n'avons pas mentionné ; ne croyez pas que ce soit une omission. Plusieurs d'entre vous ont sans doute remarqué qu'au mois d'Octobre a été célébré le Cinquantenaire du poste militaire de la Tour Eiffel, et qu'à cette occasion un hommage a été rendu à son créateur le Général Ferrié. Nous n'avons pu participer officiellement à cette Cérémonie organisée par un autre Groupe, mais nous ne voulons pas manquer cette occasion de rappeler le fidèle souvenir que nous gardons d'un de nos plus éminents fondateurs. Nous pensons évoquer dans un prochain article, cette période « héroïque » de la radioélectricité avec les leçons qu'elle comporte : réalisations efficaces malgré les difficultés techniques et administratives ; construction d'un matériel dont la robustesse pourrait encore aujourd'hui, nous servir de leçon : bonne entente et esprit d'équipe entre tous les participants à ce travail collectif. Tout cela vaut la peine d'être dit ou redit pour constituer un exemple qui doit demeurer présent à nos yeux.

\*\*\*

Il me reste enfin, mes chers Collègues avant de passer la présidence à M. RABUTEAU, à vous rappeler les titres qu'il possède à

l'exercer ; nous en connaissons tous une partie ; mais peut-être nos mémoires infidèles ne nous les évoqueraient pas tous.

Sorti, Ingénieur de l'Ecole de Physique et Chimie en 1927, M. RABUTEAU entre presque aussitôt aux Laboratoires L.M.T., où il devient rapidement Chef du service des tubes à vide. Parmi ses réalisations personnelles, on peut compter :

— celle d'un des premiers tubes de 120 kW construits en Europe ;

— celle d'une des premières séries de tubes redresseurs à vapeurs de mercure à cathode chaude, construits par cette Société ;

— puis, en 1936-1939, l'étude et la construction de l'émetteur de télévision de la Tour Eiffel (441 lignes, 30 kW, puissance énorme pour l'époque).

La guerre de 1939 éclate. Mobilisé d'abord comme Lieutenant d'artillerie au 30<sup>e</sup> R.A.D., M. RABUTEAU revient aux Laboratoires L.M.T. pour en prendre la direction et notamment, participer à une réalisation remarquable ; la première station de détection électromagnétique de grande puissance pour la Marine, à Port-Cros ; 350 kW sur 48 Mc/s (je crois que nulle part on ne faisait mieux à cette époque) ; édifée avec une célérité admirable, malgré les difficultés du terrain, l'absence de route et même de port de profondeur suffisante, cette station entrain en service en Mai 1940 avec une portée atteignant parfois la Corse (!)

Ces divers travaux ont fait l'objet de publications et de conférences diverses auxquelles il faut joindre des communications sur l'emploi des rayons X dans la fabrication des tubes à vide (1937) Radiotéléphonie « Multiplex » (Sté Fse des Electriciens, 1944) et « l'évolution de la Technique des Télécommunications à grande distance ». (Sté des Radioélectriciens, 1945).

Depuis 1950, M. RABUTEAU est devenu Directeur Général de la Société « Le Matériel Téléphonique », l'une des plus importantes de notre industrie spécialisée. Peut-être est il maintenant plus préoccupé de matériel « sur fil » que de matériel « radio », mais nous savons tous qu'il faut beaucoup de fil et de matériel téléphonique pour faire de la Télégraphie sans fil.

Enfin je dois vous signaler que dès cette année, M. RABUTEAU a largement contribué à la vie de notre Société ; c'est lui qui a dirigé toute l'organisation du « Congrès sur les procédés d'Enregistrement Sonore ».

Reportez donc déjà sur lui tout le mérite de cette manifestation.

Suivant une sage tradition, la Société des Radioélectriciens, choisit ses présidents alternativement parmi les hommes de Laboratoire, et des hommes d'action et de réalisation : M. RABUTEAU a su exceller parmi les uns et les autres, et réunir les qualités spéculatives des premiers avec le dynamisme des seconds. Je suis sûr qu'il fera faire à notre Société en 1954, de nouveaux pas sur le chemin du succès.

En lui cédant le fauteuil et la sonnette symboliques, je tiens à vous remercier encore de l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à cette fonction ; je tiens à vous assurer que j'y serai toujours heureux d'être utile à la Société des Radioélectriciens, et je tâcherai de ne pas fonder une catégorie, (dans laquelle je serais seul.) d'anciens présidents-bon-à-rien.

Le texte de l'allocution de M. G. RABUTEAU, Président de la Société des Radioélectriciens pour 1954 paraîtra dans le prochain numéro de l'Onde Électrique.

## Résultats des élections

Nombre de votants ..... 169  
(bulletins nuls : 1)

Président (1955). — M.H. PARODI, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire National des « Arts et Métiers » 164

Vice-Président. — A. ANGOT, Ingénieur Militaire en Chef, Directeur de la Section d'Etudes et de Fabrications des Télécommunications ..... 161

Secrétaire Général. — J. MATRAS, Ingénieur Général des Télécommunications ..... 166

Secrétaire. — J.M. MOULON, Ingénieur des Télécommunications C.N.E.T. — S.R.C.T. .... 165

(1) voir Giboin, l'Evolution de la D.E.M. dans la Marine Nationale, Onde Électrique, Février 1951.

**Membres du Conseil :**

|                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| MM. J. ICOLE, Ingénieur en Chef des Télécommunications, chef du Département Faisceaux-Hertziens, Direction des Lignes Souterraines à Grande Distance ..... | 166 |
| J. LOCHARD, Lieutenant Colonel, Chef des Services Techniques du Groupe de Contrôle Radioélectrique .....                                                   | 165 |
| N'GUYEN THIEN CHI, Chef de Département à la Compagnie Générale de T.S.F., Ingénieur-Conseil à la Compagnie Industrielle des métaux électroniques .....     | 166 |
| G. POTIER, Ingénieur à la Société « Le Matériel Téléphonique » .....                                                                                       | 167 |
| P. RIVIERE, Chef du Service « Multiplex » de la Sté Française Radioélectrique .....                                                                        | 168 |
| M. SOLLIMA, Directeur du Groupe Electronique de la Cie Française Thomson-Houston .....                                                                     | 167 |
| H. TESTEMALE, Ingénieur des Télécommunications .....                                                                                                       | 168 |
| A. VIOLET, Chef de Groupe à la Société « Le Matériel Téléphonique » .....                                                                                  | 167 |
| <b>Commissaires aux comptes :</b>                                                                                                                          |     |
| MM. A. FLAMBARD .....                                                                                                                                      | 165 |
| P. LIZON .....                                                                                                                                             | 167 |
| J. THURIN .....                                                                                                                                            | 166 |

**CONFÉRENCE DE M. G. RABUTEAU**

A l'issue de l'Assemblée Générale, M. G. RABUTEAU Président entrant, Directeur Général de la Société « Le Matériel Téléphonique » fit un exposé sur « l'Ingénieur dans l'Industrie des Télécommunications ».

Après avoir rappelé l'évolution de la technique des télécommunications, le conférencier insiste sur l'augmentation et la diversité croissantes des besoins des administrations. En outre le développement des applications accessibles au public, les modifications des conditions de fonctionnement de l'industrie qui en résultent continuent à augmenter l'étendue de l'importance des problèmes à résoudre.

Enfin les connaissances demandées aux ingénieurs, les sources d'informations qui leur sont accessibles, leur rôle dans l'industrie, leurs responsabilités sont examinées brièvement dans les différents domaines des télécommunications.

**ACTIVITÉ DES GROUPES****Groupe de Grenoble (Année 1953)**

1<sup>er</sup> 12 Décembre 1952 : Conférence de M. MOULON, Ingénieur des Télécommunications sur :

**« Les transistors »**

**Résumé :** L'utilisation des transistors est caractérisée par l'existence d'un courant de commande jouant le rôle de la tension grille des tubes à vide. Le principe de leur fonctionnement découle des propriétés des semi-conducteurs. Le germanium est utilisé à l'heure actuelle pour leur fabrication ; il se pose de difficiles problèmes de purification. Les transistors ont été utilisés pour réaliser des amplificateurs, des basculeurs, des répéteurs à impédance négative etc.... Leur fonctionnement peut-être compris à l'aide de montages équivalents utilisant des tubes. Les progrès de la physique permettent d'espérer des améliorations importantes des transistors par l'emploi de corps composés.

2<sup>o</sup> 14 Mars 1953 : Conférence de M. BENOIT, Professeur à la Faculté des Sciences, Président du Groupe de Grenoble sur :

**« Vue d'ensemble sur la Radio-astronomie »**

**Résumé :** Notre connaissance de l'Univers était limitée il y a encore quelques années aux radiations optiques reçues sur la terre. La Radioastronomie nous fournit d'autres renseignements en étudiant parmi les ondes hertziennes émises par les astres celles qui peuvent traverser l'atmosphère terrestre. Ce sont des radiations de longueur d'onde très courtes et de très faible puissance ce qui impose une technique spéciale tant en ce qui concerne les antennes que les appareils de réception. L'observation du soleil se fait aussi bien sur le soleil calme que sur les taches solaires. Les protubérances éruptives émettent également de façon importante. L'étude des émissions galactiques a permis de tracer une carte radio-électrique du ciel et de déceler des « étoiles radioélectriques » inconnues des astronomes « optiques ». On a même pu déceler l'émission de l'hydrogène interstellaire et celle des lointaines nébuleuses.

3<sup>o</sup> 17 Avril 1953 : Conférence de M. STEINBERG, Maître de recherches au C.N.R.S. sur :  
« Le Radio Soleil, origines des émissions radioélectriques »

**Résumé :** Cette communication, après l'exposé général de M. BENOIT, étant plus spécialement consacrée à l'émission radioélectrique du Soleil. Après une description des appareils utilisés et des moyens mis en œuvre, le conférencier passe en revue les résultats obtenus dans l'étude des sursauts de rayonnement radio du Soleil et dans celle de la forme du « Radiosoleil » par l'observation des éclipses. Il en tire des renseignements précieux concernant la structure du Soleil.

4<sup>o</sup> 21 Mai 1953 : Visite des installations radioélectriques et électroniques de l'Institut Polytechnique et de l'Institut Fourier de Grenoble.

Au cours de cette visite furent présentés : un radar H2S, un microscope électronique, une machine à calculer analogique, un appareil à relever les diagrammes d'antenne en Hyperfréquence et divers montages pour micro-ondes (de 30 cm à 8 mm de longueur d'onde).

5<sup>o</sup> 11 Juin 1953 : Visite des installations de radionavigation de l'Aérodrome de Genève-Cointrin.

Cet aérodrome est muni en particulier, d'un système d'atterrissage sans visibilité ILS et d'un radar 3 cm C.F.T.H.

6<sup>o</sup> 6 Novembre 1953 : Conférence du Capitaine FOURIÉ sur :

**« Sondages ionosphériques aux Iles Kerguelen »**

**Résumé :** Le Capitaine FOURIÉ qui fut membre des missions australes et antarctiques françaises en 1951-53, après un historique des expéditions aux Iles Kerguelen, a exposé les buts de la Mission et tout particulièrement le principe des sondages radioélectriques dont il était chargé. Il a présenté de nombreux enregistrements de diagrammes relevés à cette occasion. Le lieutenant BOUCHIER qui l'accompagnait a projeté de magnifiques photographies en couleur de l'expédition.

**Groupe d'Alger**

Le groupe d'Alger a été fondé par M. A. BLANC-LAPIERRE, Professeur à la Faculté des Sciences d'Alger, au début de l'année 1953.

Son siège se trouve à la Faculté des Sciences d'Alger.

Le Bureau se compose de sept membres :

**Président :** M. A. BLANC-LAPIERRE ;

**Secrétaire :** M. J. SAVORNIN ;

**Trésorier :** M. H. CORBERY ;

**Membres :** MM. E. ESCANDE ;  
H. GAYRAUD ;  
P. MAUCUIT ;  
H. PETTENATI.

Activité du groupe d'Alger au cours de l'année 1953.

— Réunion inaugurale : le 9 février 1953 :

Conférence de M. P. DAVID Président de la Société des Radioélectriciens sur « de la radio au radar et réciproquement ».

— Visite d'installations extérieures : le 11 avril 1953 :

Visite des services de la Radiodiffusion-Télévision française à Alger (studios, salles techniques, émetteurs).

— Conférences : le 26 mai 1953 :

« Les mesures dynamiques du module d'Young par des méthodes électroniques ».

**ACTIVITÉ DES SECTIONS****Première section « Etudes Générales »**

Le groupe de Mathématiques appliquées à la Radioélectricité avait organisé le mardi 9 Février sous la présidence de M. l'Ingénieur militaire en Chef Angot, une séance au cours de laquelle M. CAZENAVE, Docteur es-sciences, Ingénieur à la Sté L.T.T. poursuivit son exposé sur le « Calcul des intégrales elliptiques de LEGENDRE de première et de seconde espèces et des fonctions elliptiques ».

Il traita du calcul des fonctions elliptiques de Jacobi au moyen des fonctions theta et leurs développements en série de Fourier, puis montra la parenté qui, par l'intermédiaire du poten-

tiel newtonien d'un système de révolution, unit l'intégrale Elliptique de première espèce aux fonctions de LEGENDRE et aux fonctions de BESSEL, avec des exemples à l'appui. Il termina brièvement par les intégrales elliptiques eulériennes, laissant ensuite la parole à M. INJOUJIAN.

M. INJOUJIAN, Ingénieur des Télécommunications fit après M. CAZENAVE un exposé sur le

« Calcul par itération des fonctions de JACOBI, dans la pratique de la synthèse de certains réseaux ».

Le conférencier rappelle que dans la pratique de la synthèse de certains réseaux et, notamment, de filtres ayant le comportement optimum de TCHEBYCHEV dans la bande passante et dans la bande affaiblie, on est amené à calculer, avec une précision que ne permet par l'interpolation dans les tables existantes, les valeurs de fonctions elliptiques de JACOBI, notamment pour des valeurs du module voisines de l'unité. Il établit une brève comparaison, avec les méthodes proposées d'autre part, et montre la commodité d'un calcul par itération, utilisant sous une forme non classique, tantôt l'une, tantôt l'autre des deux transformations de LANDEN. Une méthode rapide de calcul par itération est également indiquée pour l'intégrale complète de première espèce.

Cette communication ne sera pas publiée dans l'Onde Electrique elle sera détaillée sous forme d'une annexe à un livre que M. INJOUJIAN prépare actuellement sur les problèmes pratiques de synthèse des filtres.

### Troisième section « Electroacoustique »

M. P. CHAVASSE, Secrétaire Général du Groupement des Acousticiens de Langue Française (GALF) et Président de la 3<sup>e</sup> Section avait invité les membres de cette section à assister à la réunion du Galf du mercredi 27 Janvier 1954.

L'ordre du jour de cette réunion était le suivant :

M. VALLENCIEN — « *Le son physique et sa traduction physiologique* » ;

M. BUSNEL et ses collaborateurs — « *Exposé général sur les travaux poursuivis sur le comportement acoustique des orthoptères* » ;

M. PIMONOV — « *Essai de théorie de la modulation d'ondes stationnaires ultra-sonores dans l'air* » ;

MM. BUSNEL et DESGROIS — « *Mesure de la puissance ultra-sonore dans les liquides* ».

Communication de M. VALLENCIEN : « *Le son physique et sa traduction physiologique* ».

L'auteur considère la variété des mesures proposées pour définir la sensation sonore d'une part, et la perennité des coordonnées du son physique d'autre part et montre que l'on est obligé de reconnaître qu'il existe pour les premières une contingence dont les secondes n'ont pas à tenir compte.

Il précise que le son physique et le son physiologique ne peuvent s'exprimer dans le même langage, celui-ci étant la traduction subjective de celui-là. Il montre ensuite comment les deux paramètres du message sonore physique ; fréquence et intensité se traduisent physiologiquement dans la chaîne nerveuse par une seule réponse : accroissement du nombre des influx et recrutement d'un nombre plus important de fibres, ce qui prouve la nécessité de faire appel à d'autres notions, en particulier, en ce qui concerne l'intensité, à la production d'une intégration où le discontinu des décharges se trouve nivelé en un niveau graduable d'intensité.

Enfin, la propriété pour les neurones supérieurs d'une diffusion par entraînement réciproque de l'activité de fibres adjacentes, amène l'auteur à penser qu'une opération spatiale s'opère, ce qui contribue à compléter une information qu'une seule fibre ne peut exprimer.

Communications de M. BUSNEL et ses collaborateurs :

« *Exposé général sur les travaux poursuivis sur le comportement acoustique des orthoptères* »

1<sup>o</sup> M. BUSNEL expose les travaux entrepris depuis 1949 sur l'émission acoustique des orthoptères, le problème posé, les méthodes et les techniques suivies, les lieux et conditions de travail, les résultats acquis, avec présentation de documents photographiques. Chacun des membres du Laboratoire développe ensuite brièvement un point particulier des travaux.

2<sup>o</sup> Mme BUSNEL. — L'émission et ses caractères acoustiques selon les espèces. Les quatre grands groupes d'Orthoptères : Acridiens, Tettigonides, Ephippigères et Gryllydes, ont quatre mécanismes d'émission, correspondant à des morphologies diffé-

rentes. Les spectres acoustiques sonores et ultra-sonores sont caractéristiques des espèces. Les Acridiens et les Gryllydes plus particulièrement ont une gamme d'émission assez riche correspondant à des états psychiques particuliers qui peuvent être assimilés à un moyen de communication entre les individus (Présentation d'un film et disque).

3<sup>o</sup> M. PASQUINELY. — L'analyse de l'amplitude des fréquences dans un chant d'insecte est faite à l'oscillographe. La présence d'une bande ultrasonore dans le spectre rend nécessaire de faire une double analyse synchrone, endétequant le signal avec deux microphones. Présentation de divers types d'oscillogrammes.

4<sup>o</sup> M. BROUGHTON. — L'analyse du chant de certains Orthoptères peut être faite en partant d'enregistrements qui sont reproduits à vitesse ralentie. Application de cette technique à l'analyse de stridulation de diverses espèces. Audition de disques.

5<sup>o</sup> M. LOHER. Certains Acridiens réagissent lorsqu'ils reçoivent des signaux acoustiques artificiels produits soit par un sifflet de Galton, soit par des sifflets à oiseaux, ou même des bruits de bouche émis par l'expérimentateur. Analyse de ces différents signaux artificiels en les comparant aux émissions normales des insectes et description des réactions des insectes, celles-ci se manifestant soit par des déplacements en direction de la source d'émission, soit par une réponse acoustique de l'animal. Présentation de clichés et audition de disques.

Communication de M. PIMONOV :

« *Essai de théorie de la modulation d'ondes stationnaires ultra-sonores dans l'air* »

Dans son exposé, l'auteur rappelle les conditions théoriques nécessaires pour qu'une modulation entre systèmes vibrants mécaniques puisse exister et suppose que ces conditions ne peuvent pas être appliquées aux milieux gazeux. Les phénomènes de modulation des ondes stationnaires sont, d'après la théorie proposée, provoqués par la perturbation des ondes stationnaires.

En effet, un déphasage dans les ondes stationnaires, par exemple par les mouvements de la paroi réfléchissante ou du milieu, provoque une libération d'énergie dans les nœuds de pression (l'amplitude augmente) et une absorption dans les ventres (l'amplitude diminue).

A ce sujet, l'auteur présente un certain nombre d'équations mathématiques correspondantes, confirmant la théorie qu'il a exposée.

Communication de MM. BUSNEL et DESGROIS :

« *Mesure de la puissance ultra-sonore dans les liquides* »

L'auteur décrit l'étude et la réalisation qui s'en est suivie d'un palpeur d'un type nouveau facilement réalisable, permettant la mesure de la puissance ultrasonore dans tous les liquides.

L'énergie ultrasonore est transmise par un milieu auxiliaire à un milieu absorbant. La mesure de l'énergie ultrasonore dégradée en chaleur se fait dans ce dernier, au moyen d'un thermocouple.

### Huitième Section. — « Electronique Appliquée »

La huitième section avait organisé le vendredi 5 février 1954 une réunion présidée par M. F. RAYMOND, Directeur de la Société d'Electronique et d'Automatisme au cours de laquelle M. LANDRIN fit un exposé sur la « *Présentation du transféromètre L.C.A. (permettant la mesure du gain et du déphasage des éléments de servomécanisme)* ».

Le Transféromètre du Laboratoire Central de l'Armement est un appareil qui permet le relevé expérimental des fonctions de transfert des servomécanismes et des éléments de servomécanisme.

Les bases théoriques d'étude des systèmes asservis sont brièvement rappelés ainsi que la représentation des fonctions de transfert sous forme de deux courbes : gain et déphasage en fonction de la pulsation  $\omega$ . On met en lumière l'importance de la connaissance de ces courbes pour l'étude de la stabilité des systèmes asservis et le calcul des éléments correcteurs.

Un relevé expérimental apparaît nécessaire, comme vérification des calculs, ou pour la connaissance d'une fonction de transfert dont l'approche théorique s'avère impossible avec une précision suffisante.

Le principe de fonctionnement du Transféromètre est ensuite exposé ainsi que sa mise en œuvre. C'est un appareil de zéro dont on décrit successivement les différents éléments : générateur très basse-fréquence, affaiblisseurs, amplificateur à courant continu,

circuits du tube cathodique sur l'écran duquel se fait le réglage du zéro.

Le gain et le déphasage sont lus directement sur des cadrans gradués respectivement en décibels et en degrés.

Des processus de relevés sont décrits à titre d'exemples.

Cette communication a été suivie d'une démonstration consistant en particulier à relever quelques points de la fonction de transfert d'un petit servomécanisme de position, avec et sans correcteur.

#### INFORMATIONS

**Symposium d'Electronique et Télévision de Milan.** — 12-17 Avril 1954).

Dans le cadre des « Journées de la Science » organisées chaque année à l'occasion de la Foire Internationale de Milan, le Conseil National des Recherches d'Italie organise cette année du 12 au 17 avril 1954 un Congrès International d'Electronique et de Télévision.

Les séances auront lieu dans les locaux du Musée National de la Science et de la Technique, Piazza S. Vittore à Milan.

Pour tous renseignements s'adresser à la Société des Radioélectriciens, 10, avenue Pierre Larousse à Malakoff (Seine), tél. ALE 04-16.

**Congrès International du cinquantième de la cathode à oxydes.** — Paris 24 et 15 Juin 1954.

La Société Française des Ingénieurs techniciens du Vide organise les 24 et 25 juin 1954 à Paris, 44, rue de Rennes un Congrès International à l'occasion du Cinquantième de la première publication se rapportant aux cathodes à oxydes.

#### Résumé du Programme

- I. — Métal support.
- II. — Carbonates et techniques des dépôts.
- III. — Théorie de l'émission des cathodes à couches d'oxydes.
- IV. — Définition et mesure des qualités des cathodes.
- V. — Cathodes spéciales.
- VI. — Stabilité des propriétés émissives.

Pour tous renseignements, s'adresser à la Société Française des Ingénieurs Techniciens du Vide, 44, rue de Rennes — Paris VI<sup>e</sup>.

#### Documentation

La Bibliothèque de la Société des Radioélectriciens a reçu à titre gracieux les volumes suivants :

*Enregistrement des Sons* par M. J. LANDRAC, Ingénieur en chef des Télécommunications à la Radiodiffusion-Télévision Française, Editeur L. EYROLLES, (collection de la Radiodiffusion-Télévision Française).

*Les filtres à cristaux piézoélectriques*, par M. D. INDJOUJIAN, Ingénieur des Télécommunications au S.R.C.T., Professeur à l'Ecole nationale supérieure des Télécommunications, et P. ANDRIEUX, Ingénieur des Télécommunications au S.R.C.T., Editeur GAUTHIER-VILLARS (Paris) (collection technique et Scientifique du C.N.E.T.).

#### DÉCÈS

Nous avons le regret de vous faire part du décès de René BARTHELEMY, membre de l'Académie des Sciences, Commandeur de l'ordre de la Légion d'Honneur, ancien Vice-Président de la Société des Radioélectriciens, survenu le 12 février 1954.

#### OFFRE D'EMPLOIS

0.10. — Recherche Ingénieur Radio-Electricien pour services études et plate-forme d'essais « Ecrire à la Société qui transmettra »

0.11. — Rech. Ingénieur Electro-mécaniciens, ayant qq. années prat. ; industrielle « Ecrire av. curric. vitae et présent. à n° 31 913, Contesse et Cie 8, sq. Dordogne 17<sup>e</sup> Q. tr. »

0.12. — On demande Ingénieurs de recherches laboratoires possédant connaissances électronique et Appareils de Mesure « Ecrire avec curr. vitae, référ. et prétentions Cie Gle de Métrologie, B.P. 30, Annecy.

0.13. — « Bons agents technique et ingénieurs débutants, radio et électronique, recherchés par administration de l'Etat. Ne pas se présenter mais faire parvenir avant le 20 mars à service Documentation — S.E.F.T. — Fort d'Issy-les-Moulineaux, curriculum vitae détaillé en vue recrutement sur titres ou sur concours prévu pour fin mars. Rappeler référence : AP 27.

# 2 nouveaux appareils PHILIPS

pour le laboratoire de télévision



## LE GÉNÉRATEUR T.V. GM 2657

- Porteuses son et image pilotées par quartz - Image entrelacée - Profondeur de modulation réglable - Signaux de synchronisation et de blanking de durées réglables - Demi-teintes - Possibilité de modulation son et vidéo extérieure - Oscilloscope de contrôle incorporé.

et

## LA BASE DE TEMPS MICROSCOPE GM 4584

- Spécialement étudiée pour être associée à l'oscilloscope GM 5654 ou GM 5653 fournit un agrandissement important dans le sens horizontal pour l'étude d'impulsions de synchronisation.

Un générateur de signaux rectangulaires incorporé peut fonctionner en commutateur électronique et permet de séparer les deux demi-images et de contrôler l'interlignage.



- Phase réglable de 0 à 400°
- Vitesse de balayage variable entre 10 cm/ms et 150 cm/ms
- Fréquence de répétition : 50 à 60 c/s
- Tension de balayage : 180 V crête à crête
- Tension de modulation de Wehnelt : 35 V crête à crête (pour suppression d'une demi-image)
- Tension de commutation : 75 V crête à crête.

Demandez notre Documentation N° 591

# PHILIPS-INDUSTRIE

105, R. DE PARIS, BOBIGNY (Seine) - Tél. NORD 28-55 (lignes groupées)

**RADIO AIR**

**FICHES TROPICALISÉES**  
étanches, inoxydables

★ 2-boîtiers de différentes dimensions. 4-9-14 contacts

2, AVENUE DE LA MARNE  
ASNIÈRES (Seine) GRÉ : 47-10

Documentation sur demande

Publ. GEAD

## INVERSEURS à contacts en argent massif

Trois positions  
avec point mort au centre  
10 A, 110 V - 5 A, 250 V

Tous les interrupteurs et inverseurs, unipolaires et bipolaires à cosses et à vis de 2 A à 10 A

Appareillage Professionnel  
Radioélectrique

### Ets Jean ROGERO

MONTPEZAT-DE-QUERCY (Tarn-&Gar.) Tél. 8  
Dépôt :  
162, avenue de Stalingrad, 162  
L'HAY-LES-ROSES - Tél. ROB. 32-21