

L'ONDE

43^e ANNÉE - N° 431

FÉVRIER 1963

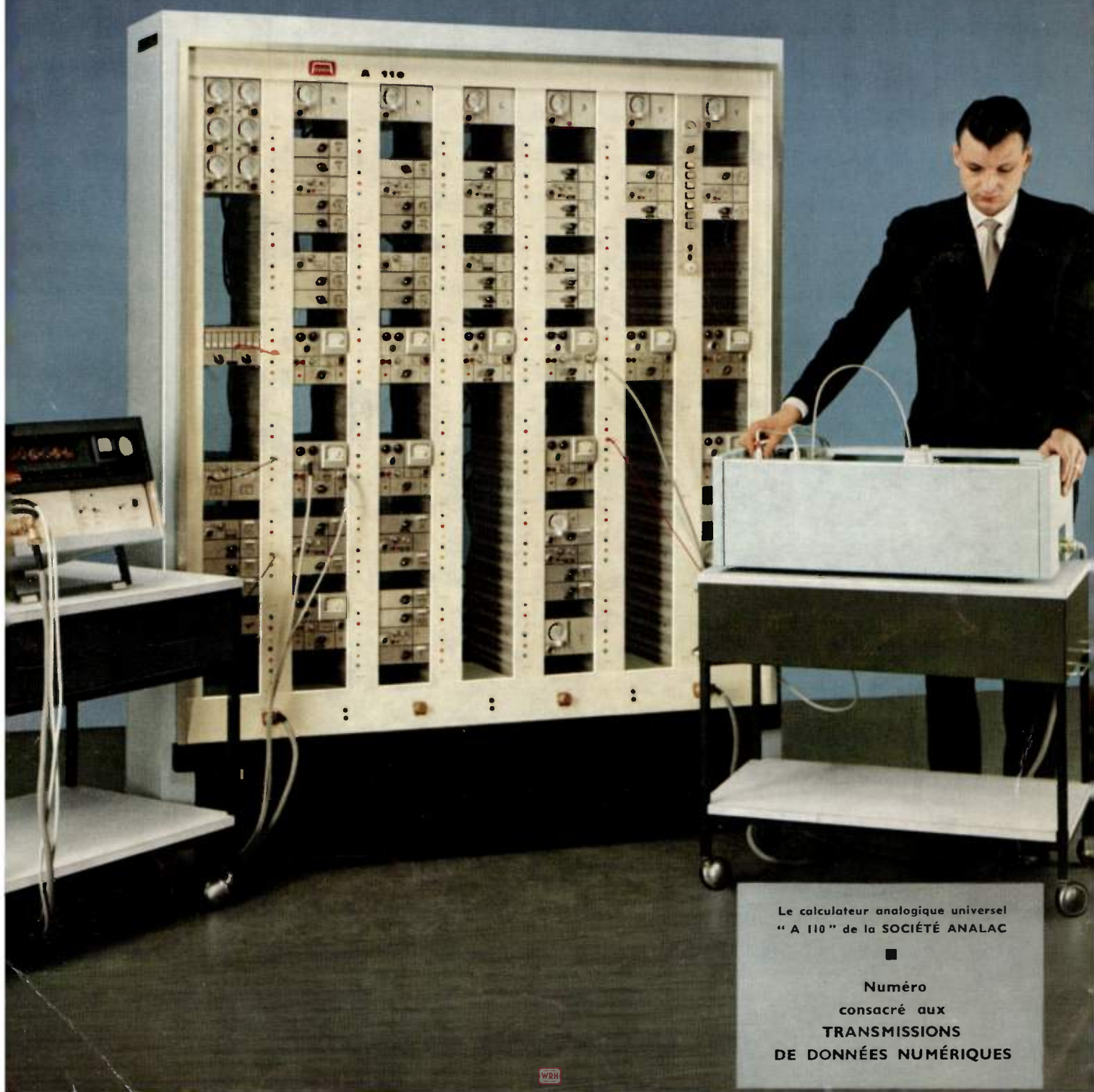
PRIX : 12,50 F

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
NIST
Boulder, Colorado

APR 29 1963

ÉLECTRIQUE

REVUE MENSUELLE de la SOCIÉTÉ FRANÇAISE des ÉLECTRONICIENS et des RADIOÉLECTRICIENS
PUBLIÉE PAR LES ÉDITIONS CHIRON, PARIS



Le calculateur analogique universel
"A 110" de la SOCIÉTÉ ANALAC

■
Numéro
consacré aux
TRANSMISSIONS
DE DONNÉES NUMÉRIQUES



ANALYSEUR DE

spectre

DU NOUVEAU

dans la conception des ANALYSEURS DE SPECTRE

La conception originale de cet appareil permet à tout laboratoire disposant d'un générateur ou d'un oscillateur hyperfréquence de bonne qualité, délivrant un signal UHF pur (CW) d'une puissance de 1 mW, de s'équiper d'un analyseur de spectre de grandes performances à un prix notablement réduit. En effet, le premier oscillateur local (fonctionnant dans la gamme UHF du signal à observer) n'est pas incorporé. Il suffit d'utiliser pour cette fonction un générateur extérieur.

CARACTÉRISTIQUES :

Plage de fréquence d'utilisation : 800 à 11 000 MHz avec oscillateur extérieur délivrant une puissance de l'ordre de 1 mW - 11 000 à 44 000 MHz (ou plus) avec oscillateur et mélangeur extérieurs.

Résolution..... 10 kHz (à 3 dB)
Excursion en fréquence..... 300 kHz à 70 MHz
Fréquence de balayage..... 1 à 30 Hz
Sensibilité..... 70 dB/m
Atténuateur d'entrée..... 0 à 80 dB
Marqueur..... linéaire, étalonné tous les 50 kHz
Tube cathodique... 13 cm à fond plat. Post accélération : 10 kV (luminosité élevée)
Dimensions..... 505 x 595 x 365 mm
Poids..... 45 kg

* NOTICE TECHNIQUE DÉTAILLÉE SUR DEMANDE

**18, AVENUE PAUL-VAILLANT-COUTURIER • TRAPPES
(S.-&-O.) - TÉLÉPHONE 923-08-00 (5 lignes groupées)**

XB-101*

- PERFORMANCES ÉLEVÉES
- VOLUME, POIDS ET PRIX RÉDUITS
- GRANDE COMMODITÉ D'EMPLOI



Société Anonyme au capital de 2.000.000 NF

**ETS GEFFROY ET CIE
INGÉNIEUR-DOCTEUR**

Agence PUBLICITEC DOMENACH 49/0

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Vol. XLIII

FÉVRIER 1963

N° 431

Rédaction de l'Onde Électrique :
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

10, Avenue Pierre-Larousse - Malakoff (Seine) - Tél. : ALÉSIA 04-16 - C.C.P. Paris 697-38

Cotisations des Membres de la Société : Voir au verso "Extraits des Statuts"

Numéro consacré aux TRANSMISSIONS DE DONNÉES NUMÉRIQUES

L'Onde Électrique, revue mensuelle publiée par la Société Française des Électroniciens et des Radioélectriciens, est éditée par les

ÉDITIONS CHIRON

40, Rue de Seine - PARIS-6^e - Tél. : MÉD. 18-93 - C.C.P. Paris 53-35

Abonnement annuel souscrit directement aux Éditions Chiron : France 54 F — Etranger 60 F — Ce n° 12,50 F

Exclusivité de la Publicité : M. R. DOMENACH, 161, Bd St Germain, Paris 6^e - Tél. BAB. 41-97 et 41-98

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président (1963)
M. G. LEHMANN, Directeur Scientifique à la C.G.E.

Président désigné pour 1964
M. L. BRAMEL de CLÉJOUX, Directeur des Services d'Enseignement des P.T.T.

Vice-Présidents
MM. J. DAUVIN, Ingénieur Général des Télécommunications e.r., Directeur délégué du Centre de Recherches de la C.G.E.
P. GRIVET, Professeur d'Electronique à la Faculté des Sciences de Paris.
M. SURDIN, Chef du Département Electronique au C.E.A.

Secrétaire Général
M. R. CABESSA, Directeur de la Division systèmes électroniques à la Société Le Matériel Téléphonique.

Secrétaires Généraux Adjoints
MM. B. GAUSSOT, Chef du Service Radioélectricité et Electronique à l'E.S.E.
M. THUÉ, Ingénieur des Télécommunications.

Trésorier
M. J.M. MOULON, Directeur Général Adjoint de la Société M.E.C.I.

Secrétaires
MM. J. BLOUET, Chef de la Section Métrologie de la Division Radioélectricité et Electronique du L.C.I.E.
J.-P. POITEVIN, Ingénieur des Télécommunications.
J.M. COUPRIE, Ingénieur des Télécommunications à la R.T.F..

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Président	Secrétaires
1	Problèmes d'enseignement. Formation et perfectionnement des Ingénieurs et des Techniciens	M. L. CHEREAU	
2	Etudes scientifiques générales	M. L. ROBIN	M. M. MENORET
3	Physique de l'état solide	M. Ch. DUFOUR	M. G. PARICARD
4	Tubes électroniques	M. J. PICQUENDAR	M. O. CAHEN
5	Composants électroniques	M. DANZIN	M. Ch. LOYEN
6	Propagation des ondes	M. J. VOGÉ	M. DU CASTEL
7	Electroacoustique. Enregistrement des sons	M. R. BUFFARD	M. R. LEHMANN
8	Télécommunications-Radiodiffusion-Télévision	M. J. FAGOT	M. AFANASSIEFF
9	Radiodétection et localisation, Radionavigation	M. P. ASSENS	M. D. COULMY
10	Calculateurs électroniques. Automatismes	M. J. LOEB	M. G. ROTH
11	Electronique nucléaire et corpusculaire	M. P. DESNEIGES	Mme KOCH
12	Electronique biologique et médicale	M. J. POLONSKY	M. E. ALLARD

Rédaction de l'Onde Électrique

M. L.-J. LIBOIS, Ingénieur en Chef des Télécommunications, Président du Comité de Rédaction.
M. J.-P. POITEVIN, Ingénieur des Télécommunications, Rédacteur en Chef de l'Onde Electrique.
M. M. CAMUS, Ingénieur des Télécommunications
M. A. PROFIT, Ingénieur des Télécommunications

GROUPES RÉGIONAUX

GROUPE D'ALGER
Secrétaire. — M. P. CACHON, Assistant à la Faculté des Sciences d'Alger.

GROUPE DE L'EST
Président — M. R. GUILLIEN, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique de Nancy.
Secrétaire. — M. E. GUDEFIN, Maître de Conférences à l'E.N.S.E.M.

GROUPE DE GRENOBLE
Président. — M. J. BENOIT, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, Directeur de la Section de Haute Fréquence à l'Institut Polytechnique de Grenoble.
Secrétaire. — M. J. MOUSSIEGT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble

GROUPE DE LYON
Président. — M. A. SARAZIN, Professeur de Physique Nucléaire à la Faculté des Sciences de Lyon, Directeur de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon.
Secrétaire. — M. R. ARNAL, Maître de Conférences à l'I.N.S.A. de Lyon.

GROUPE DE MARSEILLE
Président. — M. Th. VOGEL, Directeur de Recherches au C.N.R.S.
Secrétaire. — M. J. GIRAUD, Ingénieur des Télécommunications.

GROUPE DU NORD
Président. — M. N. SEGARD, Professeur, Directeur de l'I.S.E.N.
Vice-Présidents. - M.R. CARPENTIER Chef du Centre de Télévision de la R.T.F.
— M. R. GABILLARD, Professeur, Directeur de l'Institut Radiotechnique.
Secrétaire. — M. BOUVET, Secrétaire Général de l'I.S.E.N.

EXTRAITS DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS a pour but :

1° De contribuer à l'avancement de la radioélectricité et de l'électronique théoriques et pratiques ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent.

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Elle tient des réunions destinées à l'exposition et à la discussion de questions concernant la radioélectricité, l'électronique et tout ce qui s'y rattache.

.....

ART. 2. — La Société se compose de membres titulaires, dont certains en qualité de membres bien-faiteurs ou de membres donateurs, et de membres d'honneur.

Pour devenir membre titulaire de la Société, il faut :

1° Adresser au Président une demande écrite

appuyée par deux membres, non étudiants, de la Société.

2° Etre agréé par le Bureau de la Société.

.....

Tout membre titulaire qui, pour favoriser les études et publications scientifiques ou techniques entreprises par la Société, aura pris l'engagement de verser, pendant cinq années consécutives, une cotisation égale à dix fois la cotisation annuelle, recevra le titre de membre bienfaiteur.

Ceux qui, parmi les membres titulaires, verseront une cotisation égale à cinq fois la cotisation annuelle, seront inscrits en qualité de donateurs.

.....

Tous les membres de la Société, sauf les membres d'honneur, paient une cotisation dont le montant est fixé par une décision de l'Assemblée Générale.

Les membres âgés de moins de 25 ans en cours d'études pourront sur leur demande, bénéficier d'une réduction de 50 % sur leur cotisation. Cette

réduction ne leur sera accordée que pendant cinq années au plus.

Les membres titulaires reçoivent une publication périodique ayant un caractère technique*.

Cette publication leur est adressée gratuitement. Toutefois, les membres résidant à l'étranger devront verser, en sus de leur cotisation annuelle, une somme destinée à couvrir les frais supplémentaires.

MONTANT DES COTISATIONS
(Assemblée Générale Janvier 1962)

Particuliers	30,00 F
Particuliers âgés de moins de 25 ans en cours d'études	15,00 F
Sociétés ou Collectivités	150,00 F
..... ou	350,00 F
..... ou	750,00 F

au gré de la Société ou Collectivité.

Particuliers résidant à l'étranger	30,00 F
plus frais postaux	5,00 F

* NDLR. Cette revue est l'Onde Electrique.

Changement d'adresse : joindre 0,50 F à toute demande.

SOMMAIRE DE CE NUMÉRO

La transmission de données numériques	R. SUEUR	93
Résultats d'essais de transmission de données sur liaisons téléphoniques	J. LABEYRIE	94
Transmission d'informations numériques	M. POLIET	106
Les codes capables d'assurer une sécurité contre les erreurs dans la transmission de données	F. CORR E. GOROG	117
Les codes cycliques et les transmissions de données	S. FONTANES	128
Un système de transmission de données numériques	M. COIRON G. DUPIRE B. LORIMY	141
Système de transmission de données à modulation différentielle par inversion de phase	J. CLAISSE	148
Système ITT ADX 7300 pour commutation télégraphique et transmission de données	P. OTTENHEIMER DE GAIL R. PAGEL	153
Le système de télétransmission « Marathon ». Principe et applications	J. FUZELLIER	170
Modulateur-démodulateur par inversion de phase pour la transmission de données sur lignes téléphoniques	J.M. PIERRET	177
Le système synchrone de transmission rapide d'informations	A. GIRINSKY P. ROUSSEL	186
Transmission de données à grande vitesse sur lignes téléphoniques ...	H. COHN	199
Essai de transmission rapide d'informations codées sur liaison expérimentale entre la France et les Pays-Bas	J. TOUCHARD	207
Une application des transmissions de données dans le domaine des télécommunications : taxation et comptabilité téléphoniques « centralisées »	R. LEGARE J. DONDoux J.C. LAVENIR	214
La mécanographie par fil	L. DURAND	220
Le calculateur CITAC résoud les problèmes à distance	P. BODEZ A. AMEAU P. BIZET	231
Systèmes de traitement de l'information utilisant les transmissions numériques à grande distance	A. DESBLACHE	243
Informations :		
Documentation technique		251
Communiqué		256
Bibliographie		256

Sur notre couverture :

La Société ANALAC fabrique un calculateur analogique universel A 110 permettant de résoudre les problèmes se posant dans tous les domaines scientifiques ou industriels.

Le matériel est constitué d'un meuble support dans lequel on dispose des blocs pré-réglés représentant les termes des équations à résoudre.

Véritable système d'équations animé cette machine est par conséquent d'une exploitation particulièrement souple et aisée.

Grâce à l'originalité de la technique de calcul utilisée :

- Fréquence élevée 472 kHz
- Réversibilité des chaînes de calcul
- Système de répartition d'erreurs

les possibilités du calcul analogique ont pu être étendues à la résolution automatique des systèmes algébriques implicites et au traitement direct des problèmes d'optimisation.

Les résultats sont enregistrés

- soit numériquement sur un autolecteur à 4 chiffres significatifs
- soit sous forme de réseaux de courbes sur un traceur XY de grande précision ou sur un enregistreur multivoies.

L'opérateur peut ainsi suivre l'évolution d'un problème et modifier un paramètre quelconque sans arrêter le calculateur et sans affecter la stabilité de l'ensemble des circuits de calcul.

Société ANALAC, 101 bd Murat, Paris-XVI^e. AUT. 81.25. Centre de Calcul. BAG. 87.57.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRONICIENS ET DES RADIOÉLECTRICIENS

FONDATEURS

- † Général FERRIÉ, Membre de l'Institut.
† H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne (M. p. F.).
† A. BLONDEL, Membre de l'Institut.
M.P. BRENOT, Directeur de 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.

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

- † R. MESNY (1947) — † H. ABRAHAM (1947) — † R. RIGAL (1959).
Le Prince Louis de BROGLIE, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, Prix Nobel de Physique (1956).

ANCIENS PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ

MM.

- 1922 † Le Duc Maurice 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 ès Science.
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 Radioélectricité.
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 Le Général LESCHI, Directeur des Services Techniques de la Radio-diffusion-Télévision Française.
1952 J. de MARE, Ingénieur-Conseil.
1953 P. DAVID, Ingénieur en Chef de la Marine.
1954 G. RABUTEAU, Directeur Général de la Sté « Le Matériel Téléphonique ».
1955 H. PARODI, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.
1956 † R. RIGAL, Ingénieur des Télécommunications.
1957 R. AUBERT, Directeur Général Technique de la C.S.F.
1958 G. DUPOUY, Directeur Général Honoraire du C.N.R.S.
1959 - P. ABADIE, Ingénieur en Chef des Télécommunications.
1960 L'Ingénieur Général A. ANGOT.
1961 Le Général de C.A. J. GUERIN.
1962 B. DECAUX, Ingénieur en Chef des Télécommunications.

MEMBRES D'HONNEUR

- Sir Edward APPLETON, Principal and Vice-Chancellor of Edinburgh University, Prix Nobel de Physique.
† André BLONDEL, Membre de l'Institut, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.
M. Paul BRENOT, Président d'Honneur de la S.F.R. Afrique et de la Société Fabrications Radioélectriques Marocaines.
M. Jean COULOMB, Membre de l'Institut, Directeur Général du Centre National de la Recherche Scientifique.
† Eugène DARMOIS, Membre de l'Institut.
M. Gaston DUPOUY, Membre de l'Institut, Directeur Général du C.N.R.S.
† Général FERRIÉ, Membre de l'Institut, Commandant Supérieur des Troupes et Services de Transmissions.
M. Alfred FESSARD, Professeur au Collège de France, Directeur du Centre d'Etudes de physiologie nerveuse et d'électrophysiologie.
† Paul JANET, Membre de l'Institut, Directeur de l'Ecole Supérieure d'Electricité.
† Frédéric JOLIOT-CURIE, Membre de l'Institut, Prix Nobel de Chimie.
† Arthur E. KENNELLY, Professeur au Massachusetts Institute of Technology.
M. André LALLEMAND, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris.
M. Louis LEPRINCE-RINGUET, Membre de l'Institut.
M. Charles MAURAIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris, e.r.
M. Louis NEEL, Membre de l'Institut, Directeur du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, Président de la Section Electronique du Comité National de la Recherche Scientifique, Directeur du Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du Métal, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Hydraulique, de Radioélectricité et de Mathématiques Appliquées.
† H. PERCY-MAXIM, Président de l'International Amateur Radio-Union de l'American Radio Relay League.
M. Francis PERRIN, Membre de l'Institut, Haut Commissaire à l'Energie Atomique.

MEMBRES DU CONSEIL

MM.

- L. BOITHIAS, Ingénieur en Chef des Télécommunications au C.N.E.T.
A. CHEVALLIER, Chef Adjoint de la Division Télécommunications d'Electricité de France.
Mme CUBAIN, Licenciée ès Sciences.
L. GOUSSOT, Ingénieur en Chef des Télécommunications à la R.T.F.
M. de MIRBECK, Ingénieur Militaire en Chef des Télécommunications à la S.E.F.T.
J. MENOT, Directeur technique de la C.I.F.T.E.
J. OSWALD, Sous-Directeur technique à la C.I.T.
J.C. SIMON, Directeur du Département de Physique Appliquée à la C.S.F.
R. BERTEROTTIÈRE, Chef du Service Orientation Technique, Groupe Electronique C.F.T.H.
Cl. CARDOT, Ingénieur en Chef des Télécommunications e.d., Ingénieur au C.R. de la C.G.E.
J.-L. DELCROIX, Maître de conférences (Physique des plasmas) à la Faculté des Sciences de Paris.
J. DEZOTEUX, Ingénieur des Télécommunications.
J. FRANÇOIS, Ingénieur des Télécommunications à l'E.N.S.T.
A. LAURENS, Directeur Technique à la Société T.R.T.
Ph. OLMER, Directeur de l'E.S.E., Directeur du L.C.I.E.
J.-P. VASSEUR, Chef de Laboratoire à la C.S.F.
M.Y. BERNARD, Professeur de Radioélectricité au C.N.A.M.
P. DESNEIGES, Chef de la Section Autonome d'Electronique Appliquée au C.E.A.
R. DESSOULAVY, Professeur, Titulaire de la Chaire Electronique et Télécommunications à l'E.P. de l'Université de Lausanne.
P. GAMET, Ingénieur-Conseil à la F.N.I.E.
A. HENRY, Ingénieur en Chef des Télécommunications (en disponibilité) I.B.M. (World Trade Europe Corporation).
B. LECLERC, Directeur adjoint des Etudes à la Compagnie des Machines Bull.
Ch. LOGEN, Secrétaire Général Technique de la F.N.I.E.
R. MARTINET, Ingénieur-Conseil en Propriété Industrielle.

COMMISSAIRES AUX COMPTES

MM.

- F.D. DAYONNET, Ingénieur en Chef des Télécommunications au C.N.E.T.
L. ROBIN, Ingénieur en Chef des Télécommunications au C.N.E.T.
J. VILLEMAGNE, Ingénieur, Chef d'un Département Radar au L.C.T.

RÉSUMÉS DES ARTICLES

RÉSULTATS D'ESSAIS DE TRANSMISSION DE DONNÉES SUR LIAISONS TÉLÉPHONIQUES, par J. LABEYRIE, *Ingénieur en Chef des Télécommunications au Département Transmission du Centre National d'Etudes des Télécommunications*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 94 à 105).

Cet article indique les résultats des essais de transmission de données qui ont été effectués, sous la direction ou avec la collaboration du C.N.E.T., sur des liaisons téléphoniques du réseau général et sur des liaisons téléphoniques spécialisées. Les taux d'erreurs mentionnés concernent les chiffres binaires et des blocs de 240 chiffres.

D'autre part, l'analyse statistique des enregistrements effectués durant les essais a permis de déterminer les modes d'apparition des erreurs (intervalles entre erreurs, paquets d'erreurs, intervalles entre blocs erronés, etc...).

TRANSMISSION D'INFORMATIONS NUMÉRIQUES, par M. POLIET, *Chef du Service "Asservissements-Calculateurs" au groupement "G" de la C.S.F.* L'Onde Electrique de février 1963 (pages 106 à 116).

L'auteur montre dans cet article la souplesse et les possibilités multiples des systèmes de transmission d'informations codées ou digitales.

Le développement de ces systèmes est dû, non seulement à toutes leurs qualités, mais aussi au développement des transistors qui par leur taille et leurs caractéristiques permettent de construire des petits matériels, légers, robustes, sûrs et ne consommant qu'une très faible puissance.

LES CODES CAPABLES D'ASSURER UNE SÉCURITÉ CONTRE LES ERREURS DANS LA TRANSMISSION DE DONNÉES, par F. CORR et E. GOROG, *Compagnie IBM-France*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 117 à 127).

L'utilisation, dans la transmission de données, d'un réseau à commutation (ou éventuellement de tout autre canal) nécessite d'une part la connaissance la plus précise possible des erreurs qui se produisent au cours de la transmission et d'autre part le développement de moyens de contrôle qui permettent de lutter efficacement contre ces erreurs.

Ces deux aspects du problème de la sécurité de transmission sont étroitement liés et leur étude fait appel aussi bien à des notions d'ordre pratique que théorique.

L'article comprend : une description statistique des modèles d'erreurs obtenues grâce à une série de tests sur des lignes réelles, la recherche théorique des meilleurs codes propres à détecter ou à corriger ces modèles d'erreurs et une étude pratique de leur efficacité réelle.

LES CODES CYCLIQUES ET LES TRANSMISSIONS DE DONNÉES, par S. FONTANES, *Compagnie Française Thomson-Houston*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 128 à 140).

Pour tout système de transmission de données, il est nécessaire d'utiliser :

- un principe de modulation et de démodulation adapté,
- un codage convenable permettant la détection des erreurs ou éventuellement la correction de ces erreurs.

Les codes cycliques apportent un certain nombre d'avantages concernant :

- la détection des coupures,
- la correction d'un certain nombre d'entre elles.

Sont étudiés plus particulièrement :

- les caractéristiques générales de ces codes,
- quelques notions d'analyse polynomiale,
- leurs propriétés principales du côté de la détection et de la correction des erreurs,

- la réalisation des circuits,
- un aperçu des différents codes expérimentés, ceci dans le but de montrer :

- les performances tout à fait particulières de ces codes en ce qui concerne la détection des erreurs sur les lignes réelles,
- leur efficacité dans le cas de mots très longs, leurs avantages technologiques.

UN SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES NUMÉRIQUES, par M. COIRON, G. DUPIRE et B. LORIMY, *Société de Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques*, L'Onde Electrique de février 1963 (pages 141 à 147).

Le système décrit, dont les caractéristiques générales sont conformes aux recommandations du C.C.I.T.T., notamment en ce qui concerne la rapidité de modulation fixée à 1 200 bauds, présente l'intérêt d'une réalisation relativement simple pour laquelle ont été particulièrement recherchées une grande sécurité de fonctionnement, une souplesse d'exploitation élevée et la possibilité immédiate de connecter à chaque terminal un enregistreur magnétique.

Ce matériel est destiné à équiper le Champ de Tir Français.

SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES A MODULATION DIFFÉRENTIELLE PAR INVERSION DE PHASE, par J. CLAISSE, *Ingénieur à la Société Anonyme de Télécommunications*. L'Onde Electrique, de février 1963 (pages 148 à 152).

Le présent article a pour but la description d'un dispositif de transmission de données étudié et réalisé par la Société Anonyme de Télécommunications.

Ce système, à modulation différentielle par inversion de phase, utilise la bande de fréquences de la voie téléphonique normale.

Le principe de la transmission des signaux est brièvement rappelé.

Une des originalités du dispositif réside dans le système de démodulation et de régénération de la fréquence porteuse.

SYSTÈME I.T.T. 7300 A.D.X. POUR COMMUTATION TÉLÉGRAPHIQUE ET TRANSMISSION DE DONNÉES, par P. OTTENHEIMER DE GAIL et R. PAGEL, *Ingénieurs à la Société Le Matériel Téléphonique*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 153 à 169).

Le système I.T.T. 7300 A.D.X. (Automatic Data Exchange) a été étudié pour répondre aux diverses exigences des centres de commutation télégraphique et de transmission de données. La partie centrale du système est constituée par un calculateur 5 MHz à programme enregistré capable de communiquer avec un grand nombre de circuits périphériques sous le contrôle d'un dispositif « d'interruption des séquences ».

L'A.D.X. permet la réception, l'analyse, le traitement, l'archivage et la diffusion des messages et des données à des vitesses, codes et formats variés sur des centaines de lignes duplex ou simplex.

Cet article donne les caractéristiques essentielles du système central et montre les possibilités offertes par l'adjonction des circuits périphériques.

Les auteurs présentent ensuite le matériel constituant le système A.D.X. puis examinent l'aspect opérationnel de la machine utilisée comme centre nerveux d'un réseau de télécommunication.

LE SYSTÈME DE TÉLÉTRANSMISSION MARATHON, PRINCIPE ET APPLICATIONS, par J. FUZELLIER, *Ingénieur au Département des Applications Nucléaires et Industrielles de la C.S.F.*, L'Onde Electrique de février 1963 (pages 170 à 176).

Le système de télétransmission Marathon étudié et développé par la CSF — Compagnie générale de télégraphie Sans Fil est spécialement adapté aux installations de type industriel.

Après avoir décrit le principe général de fonctionnement du système et exposé ses possibilités, l'auteur donne deux exemples d'applications dans deux cas de liaisons : une liaison par ligne téléphonique entre 2 stations, une liaison par voie hertzienne entre 3 stations.

SUMMARIES OF THE PAPERS

A NUMERICAL DATA TRANSMISSION SYSTEM, by M. COIRON, G. DUPIRE and B. LORIMY, *Société de Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 141 to 147).

The system described, the general characteristics of which meet the C.C.I.T.T. recommendations, notably in the field of modulation speed specified at 1200 Bauds, gives the advantage of a relatively simple equipment designed to give reliable and versatile service coupled with the facility for easily connecting a magnetic recorder at each terminal.

The equipment was made for the French Firing Range.

DIFFERENTIAL MODULATION DATA TRANSMISSION SYSTEM USING PHASE INVERSION, by J. CLAISSE, *Ingénieur à la Société Anonyme de Télécommunications*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 148 to 152).

The present article aims to describe a data transmission device designed and built by the Société Anonyme de Télécommunications.

This phase inversion system of differential modulation occupies the normal telephone channel bandwidth.

The principles of signal transmission are briefly outlined.

The device is original in its method of demodulation and carrier regeneration.

ITT 7300 A.D.X. MESSAGE AND DATA SWITCHING SYSTEM, by OTTENHEIMER DE GAIL and R. PAGEL, *Ingénieurs à la Société Le Matériel Téléphonique*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 153 to 169).

The ITT 7300 A.D.X. (Automatic Data Exchange) System was designed to meet the various requirements of switching centers for both telegraph messages and data communications. The central part of this system consists of a 5 Mc/s stored program computer which can handle a large number of input and output circuits under the control of a « sequence break » device.

The A.D.X. permits messages and data to be received, analysed, processed, logged and forwarded, in variable speed, code and format over hundreds of simplex or duplex circuits.

This paper gives the essential features of the central system and points out the possibilities offered by adding peripheral units.

The authors then describe the hardware making up the A.D.X. system and further elaborate on the operational use of this equipment as the nervous centre of a telecommunications network.

THE « MARATHON » SYSTEM OF TELETRANSMISSION. PRINCIPLES AND APPLICATIONS, by J. FUZELIER, *Ingénieur au Département des Applications Nucléaires et Industrielles de la C.S.F.* L'Onde Electrique, February 1963 (pages 170 to 176).

The « Marathon » system of teletransmission, designed and developed by the C.S.F. (Compagnie générale de télégraphie Sans Fil) is especially applicable to industrial installations.

After describing the general principles and outlining its possibilities, the author cites two examples of its use in two types of links : one by telephone line between two stations, the other by radio links connecting three stations.

RESULTS OF DATA TRANSMISSION TESTS OVER TELEPHONE LINKS, by J. LABEYRIE, *Ingénieur en Chef des Télécommunications au Département Transmission du Centre National d'Etudes des Télécommunications*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 94 to 105).

This article outlines the results of data transmission tests which have been carried out, under the direction or with the co-operation of the C.N.E.T., over both normal and special telephone links. The error rates indicated concern binary numbers and blocks of 240 numbers.

The statistical analysis of recordings made during the tests has also made it possible to determine the pattern of errors (interval between errors, size of error groups, interval between erroneous blocks of numbers, etc.).

TRANSMISSION OF NUMERICAL INFORMATION, by M. POLIET, *Chef du Service « Asservissements-Calculateurs » au groupement « G » de la C.S.F.* L'Onde Electrique, February 1963 (pages 106 to 116).

In this account the author points out the flexibility and many applications of transmission systems using numerically coded data.

The development of these systems is, as a result, not only of the characteristics but also because of the development of transistors which by their size and their characteristics make it possible to construct small devices, light in weight, strong, reliable and requiring only low power.

CODES FOR PROVIDING PROTECTION AGAINST ERRORS IN DATA TRANSMISSION, by F. CORR and E. GOROG, *Compagnie IBM-France*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 117 to 127).

The use in data transmission of a switching network (or eventually of any other circuit) makes necessary on the one hand very exact information about the possible errors which can arise during transmission and on the other hand the development of control devices for efficiency countering these errors.

These two aspects of the problem for reliability of transmission are closely linked and their examination requires the application of practical ideas as well as theory.

The article includes a statistical description of typical errors obtained in a series of tests on real lines, the theoretical development of the best codes suitable for detecting or correcting these representative errors and a practical study of their operational efficiency.

CYCLIC CODES AND DATA TRANSMISSION, by S. FONTANES, *Compagnie Française Thomson-Houston*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 128 to 140).

For any data transmission system it is necessary to use :

- a suitable technique for modulator and demodulator,
- a convenient coding arrangement which allows the detection of errors and ultimately a correction of these errors.

Cyclic codes contain a number of advantages, concerning in particular :

- the detection of interruptions,
- the correction of some of these.

A study is made particularly of :

- the general characteristics of these codes,
- various ideas concerning polynomial analysis,
- their principal characteristics in connection with the detection and correction of errors,
- the design of circuits,
- the evaluation of various codes which were tried particularly to show :
 - the characteristic performance of these codes as far as the detection of errors on real lines is concerned,
 - their efficiency in the case of particularly long words and their technological advantages.

RÉSUMÉS DES ARTICLES (suite)

MODULATEUR DÉMODULATEUR PAR INVERSION DE PHASE POUR LA TRANSMISSION DE DONNÉES SUR LIGNES TÉLÉPHONIQUES, par J.M. PIERRET, *Compagnie IBM-France*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 177 à 185).

Les grandes vitesses de transmission, rendues nécessaires par le développement d'ensembles puissants de traitement de données justifient la recherche de solutions différentes de celles qui ont été retenues pour les vitesses télégraphiques.

Parmi ces solutions, celle utilisant la modulation par inversion semble être la plus satisfaisante pour la transmission d'informations binaires.

Le présent article est consacré à la description d'un modulateur démodulateur destiné à l'étude de la transmission des données sur lignes téléphoniques et utilisant ce type de modulation.

LE SYSTÈME SYNCHROME DE TRANSMISSION RAPIDE D'INFORMATIONS « RAPIDATA S », par A. GIRINSKY et P. ROUSSEL, *Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 186 à 198).

Ce système de transmission est du type synchrone à modulation de fréquence. Il est prévu pour fonctionner sur des circuits téléphoniques. Ses caractéristiques sont conformes aux dernières recommandations du C.C.I.T.T. en ce qui concerne les fréquences utilisées, les vitesses de modulation et les circuits de jonction aux équipements de traitement de données.

La sécurité de transmission est assurée par un dispositif automatique de détection et de correction d'erreurs qui transmet les informations sous forme de blocs et provoque la répartition de ceux d'entre eux qui se trouveraient perturbés.

Des équipements auxiliaires permettent de vérifier le fonctionnement et de faire des relevés statistiques d'erreurs.

La dernière partie de l'article est consacrée aux applications qui se présentent pour les systèmes de transmission de ce genre et aux avantages que procure leur emploi.

TRANSMISSION DE DONNÉES A GRANDE VITESSE, par H. COHN, *Ingénieur au groupe Electronique de la Compagnie Française Thomson-Houston*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 199 à 206).

Après un rappel des différents facteurs déterminant le choix et la constitution d'un système de transmission de données par lignes téléphoniques, on décrit un équipement multiplex télégraphique « TOR » à correction automatique des erreurs de transmission, et un équipement « DIGITRAN » pour la transmission de données à moyenne et grande vitesse. On résume ensuite les résultats des essais entrepris sur une liaison bouclée d'une longueur totale de 1 800 km.

ESSAIS DE TRANSMISSION RAPIDE D'INFORMATIONS CODÉES SUR LIAISON EXPÉRIMENTALE ENTRE LA FRANCE ET LES PAYS-BAS, par J. TOUCHARD. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 207 à 213).

Des essais de transmission rapide d'informations codées ont été effectués entre Paris et Hilversum (Pays-Bas).

La vitesse télégraphique était de 1 000 bauds.

Le circuit utilisé était une voie téléphonique normale.

Les équipements terminaux étaient une version simplifiée de ceux fournis par la Société Philips Télécommunication Industrie à la Compagnie Américaine de Navigation Aérienne « United Air Lines » pour son réseau de réservation de places.

Ces équipements simplifiés ont été installés à Paris au Centre Télégraphique de la Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques.

La voie aller était bouclée à Hilversum sur la voie retour.

Les informations étaient donc émises et contrôlées en retour à Paris.

Les résultats obtenus permettent d'envisager l'emploi de voies téléphoniques de haute qualité pour la transmission de données à vitesse télégraphique élevée dans les meilleures conditions.

UNE APPLICATION DES TRANSMISSIONS DE DONNÉES DANS LE DOMAINE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS : TAXATION ET COMPTABILITÉ TÉLÉPHONIQUE « CENTRALISÉES », par R. LEGARE, J. DONDOUX, J.C. LAVENIR, *Ingénieurs des Télécommunications à la Direction Générale des Télécommunications et au Centre National d'Etudes des Télécommunications*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 214 à 219).

Des études importantes sont actuellement menées par la Direction Générale des Télécommunications pour automatiser la gestion des Télécommunications. Les auteurs exposent dans ce cadre quelques problèmes de transmission de données posés par l'automatisation de la taxation téléphonique.

LA MÉCANOGRAPHIE PAR FIL, par L. DURAND, *Ingénieur d'étude à la Compagnie des Machines Bull, Chef de Section, « Gestion en Temps Réel »*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 220 à 230).

Après avoir situé la « transmission électrique » parmi les véhicules possibles des informations codées, il est décrit quelques applications mécanographiques de ce procédé.

Le problème de la détermination du meilleur réseau est abordé et des critères de choix indiqués. Dans le cadre plus limité des voies téléphoniques, la constitution d'une liaison point à point est évoquée dans le but d'analyser les contraintes du système qui se traduisent en fait par une perte de rendement.

En conclusion, l'auteur se félicite de l'heureux mariage de deux grandes familles : la Mécanographie et les Télécommunications.

LE CALCULATEUR CITAC RÉSOUD LES PROBLÈMES A DISTANCE, par P. BODEZ, A. AMEAU et P. BIZET, *Compagnie Industrielle des Téléphones*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 231 à 242).

L'article décrit un système de transmission de données conçu spécialement pour fonctionner entre le calculateur CITAC 210 B d'une part et des équipements périphériques d'autre part, la distance qui les sépare pouvant atteindre plusieurs centaines de kilomètres.

Après un bref rappel des caractéristiques du CITAC, le choix de la solution retenue pour transmettre les messages dans les deux sens est explicitée.

Le fonctionnement du système est décrit dans les diverses conditions d'utilisation en se référant au schéma logique. Le lecteur trouvera en particulier des indications sur le codage utilisé pour la protection des messages et sur le degré de sécurité obtenu.

Enfin, la réalisation particulière du matériel qui a été faite dans un but de démonstration est décrite et les diverses utilisations du calculateur CITAC muni de ce moyen de transmission sont mentionnées.

SYSTÈMES DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION UTILISANT LES TRANSMISSIONS NUMÉRIQUES A GRANDE DISTANCE, par A. DESBLACHE, *Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur à la Compagnie IBM-France*. L'Onde Electrique de février 1963 (pages 243 à 250).

La transmission des informations à distance ouvre de nouvelles possibilités à la technique du traitement des informations et l'article analyse quelles sont les réalisations déjà effectuées dans ce domaine : systèmes de transfert simple des données d'un point à un autre, systèmes collecteurs de données, systèmes à entrée directe sur ordinateur et enfin les échangeurs de messages.

Chaque appareillage est analysé principalement à l'aide des critères suivants : vitesse ou efficacité, sécurité ou nombre d'erreurs transmises non détectées.

La conclusion souligne que cette technique est en pleine évolution et que des développements importants en sont à prévoir dans les années à venir.

SUMMARIES OF THE PAPERS (continued)

AN APPLICATION OF DATA TRANSMISSION IN THE FIELD OF TELECOMMUNICATIONS : CENTRALIZED TAXATION AND ACCOUNTING IN TELEPHONE EXCHANGES, by R. LEGARE, J. DONDOUX and J.C. LAVENIR, *Ingénieurs des Télécommunications à la Direction Générale des Télécommunications et au Centre National d'Etudes des Télécommunications*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 214 to 219).

Important studies are being carried out by the French Telecommunications Direction to make the telecommunication accounting automatic. The authors describe within this framework some data transmission problems raised by the automatic charging of telephone calls.

MECHANOGRAPHY BY WIRE, by L. DURAND, *Ingénieur d'étude à la Compagnie des Machines Bull, Chef de Section, « Gestion en Temps Réel »*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 220 to 230).

After placing « electrical transmission » among the various possible methods of transmitting coded information, the author describes some mechanographic applications of this process.

The problem of determining the best network configuration is touched upon and some criteria outlined. In the more limited framework of telephone channels, the author underlines the limitations of a straightforward link which gives rise to a loss of transmission efficiency.

Concluding, the author points out this happy union of two great techniques : Mechanography and Telecommunications.

THE CITAC COMPUTER SOLVES PROBLEMS REMOTELY, by P. BODEZ, A. AMEAU and P. BIZET, *Compagnie Industrielle des Téléphones*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 231 to 242).

The article describes a data transmission system specially designed to work between the CITAC computer and a number of remote stations, the distance between them being in many cases several hundred kilometers.

After briefly recapitulating the characteristics of CITAC, the choice of the solution adopted to transmit the messages in both directions is explained.

The action of the system working under various conditions is described by reference to the diagram. The reader will find in particular some details of the coding adopted to protect the messages and of the reliability achieved.

Lastly, a particular demonstration equipment set-up is described, giving details of the various ways of using the CITAC computer in conjunction with this transmission system.

DATA TREATMENT USING NUMERICAL TRANSMISSION OVER LONG DISTANCES, by A. DESBLACHE, *Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur à la Compagnie IBM-France*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 243 to 250).

The long distance transmission of intelligence opens new possibilities in the technique for treating such intelligence and the article examines the designs already available in this field : systems for the simple conveyance of data from one point to another, data collecting systems, systems suitable for direct use and finally message exchangers.

Each equipment is examined in particular in the light of all the various criteria, namely — speed of efficiency, reliability or number of undetected transmitted errors.

The conclusion emphasises that this technique is still very much in evolution and that important developments can be expected in the years to come.

PHASING INVERTING MODULATOR/DEMODULATOR FOR THE TRANSMISSION OF DATA ON TELEPHONIC CIRCUITS, by J.M. PIERRET, *Compagnie IBM-France*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 177 to 185).

The high transmission speed made necessary by the development of devices for dealing with the treatment of incoming information justifies the development of methods different from those which have been applicable at telegraphic speeds.

Among these possibilities, that using inversion modulation seems to be the most satisfactory for the transmission of binary data. The present article is concerned with the description of a modulator/demodulator developed for examination of data transmission on telephone circuits using this kind of modulation.

« THE RAPIDATA S » SYNCHRONOUS SYSTEM FOR THE HIGH SPEED TRANSMISSION OF INTELLIGENCE, by A. GIRINSKY and P. ROUSSEL, *Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 186 to 198).

This method of transmission is a synchronous type using frequency modulation. It is suitable for use on telephonic circuits. Its characteristics are in line with the latest recommendations of C.C.I.T.T. as concerns the frequencies used, the modulation rate and the junction circuits with equipment for the treatment of data. Reliability of transmission is ensured by an automatic device for the detection of errors which transmits the intelligence in block form and obtains the repetition of any among them which are disturbed. Auxiliary equipment makes it possible to check the operation of the device and to extract the statistical information on errors. The final portion of this article is concerned with the applications which are arising for transmission systems of this kind and the advantages which may be obtained by their use.

HIGH SPEED DATA TRANSMISSION, by H. COHN, *Ingénieur au Groupe Electronique de la Compagnie Française Thomson-Houston*. L'Onde Electrique, February 1963 (pages 199 to 206).

After outlining the different considerations which determine the choice and the make-up of a telephone line data transmission system, the author describes a multiplex telegraphic device « TOR » which gives automatic correction of transmission errors, and « DIGITRAN », a device for medium and high speed data transmission.

A summary follows of the test results obtained over a looped link of a total length of 1800 kms.

TESTS ON HIGH SPEED TRANSMISSION OF CODED INFORMATION OVER AN EXPERIMENTAL LINK BETWEEN FRANCE AND HOLLAND, by J. TOUCHARD, L'Onde Electrique, February 1963 (pages 207 to 213).

Tests on high speed transmission of coded informations have been carried out between Paris and Hilversum (Holland).

The telegraphic speed was 1000 Bauds.

The circuit was a normal telephone channel.

The terminal equipment consisted of simplified versions of that supplied by the Philips Telecommunication Industry to the American airline company « United Air Lines » for its seat reservation system.

This simplified equipment was installed in Paris at the telegraphic centre of the International Society of Aeronautic Telecommunications.

The go and return circuits were looped at Hilversum.

The information was therefore both transmitted and received in Paris over the double link.

The results obtained lead to the belief that high speed data transmission should be possible over high quality telephone channels.

LA TRANSMISSION DE DONNÉES NUMÉRIQUES

PAR
R. SUEUR

*Ingénieur Général des Télécommunications
au Centre National d'Etudes des Télécommunications*

La conversation téléphonique est maintenant passée dans la vie courante des hommes et ses limites géographiques sont chaque jour reculées par les progrès scientifiques et techniques.

La conversation télégraphique est, elle, un système postal accéléré.

Ces deux systèmes d'échange d'information, leur rapidité de débit, sont à la mesure des sens humains qui les emploient ; leurs imperfections sont aussi à la mesure des possibilités de correction et de rétablissement de ces sens.

Il en va autrement des machines électroniques, leur conversation plus rapide mais moins intelligente que celle des hommes ne s'accommode guère des imperfections de la transmission.

Quelles sont ces imperfections ?

Comment peut-on les surmonter ?

Comment employer au mieux, malgré elles, la capacité de transmission des circuits utilisés ?

Ce numéro de l'Onde électrique consacré aux transmissions de données fournit de premières réponses à ces questions.

Mais ce qui est en jeu se rapporte au rendement maximal de la transmission et non à la technique même des systèmes ; celle-ci s'adaptera par les codes employés, par les dispositifs de détection, de correction d'erreurs, à l'exactitude à atteindre, toujours d'ailleurs aux dépens du rendement.

Il est donc de la plus grande importance d'abord de déceler les défauts des liaisons qui limitent la quantité d'informations transmises dans un temps déterminé, ensuite d'en définir la cause et d'y remédier enfin dans la mesure du possible.

Si l'on tient compte de la grande diversité des types techniques de liaisons en présence, une étude statistique de longue haleine est nécessaire ; le C.N.E.T. l'a entreprise et l'un des articles en donne déjà des résultats.

Les liaisons non commutées des réseaux téléphoniques donnent des taux d'erreurs très faibles mais

non nuls ; les liaisons commutées actuelles introduisent par contre des bruits qui accroissent les taux d'erreurs.

Les modes de modulation, les systèmes de correction d'erreurs doivent dépendre étroitement de la nature des défauts des liaisons et c'est pourquoi, à l'heure actuelle où ces défauts ne sont pas encore parfaitement classés, de nombreux systèmes restent en présence sans qu'il soit possible de se bien prononcer sur leur valeur respective.

Les transmissions de données apporteront un accroissement important du trafic des réseaux téléphoniques ; en contrepartie ces derniers doivent présenter la qualité requise pour l'acheminement des données numériques ; le C.C.I.T.T. s'en préoccupe, les Administrations des Téléphones également et prennent des dispositions pour adapter du mieux possible les paramètres de transmission des équipements et des lignes à de nouvelles exigences plus sévères que celles de la téléphonie.

Lentement mais sûrement le monde du traitement et de la transmission des informations se transforme, les données numériques se présentent pour les Ingénieurs comme un excellent préalable d'entraînement à la conception de réseaux complexes où la conversation des hommes sera aussi digitalisée, par nécessité technique et économique issue de la nature des composants de l'électronique disponibles et des possibilités présentées par les futures lignes spatiales et terrestres de transmission, conjointement aux systèmes de commutation électronique.

Dans l'espace déjà, un résultat intéressant a été obtenu sur la liaison spatiale établie entre Pleumeur-Bodou en France et Andover aux Etats-Unis, via le satellite Telstar. Une analyse de la liaison, effectuée durant 20 minutes à la vitesse de 875 000 bits/seconde a donné 1 erreur seulement.

Faut-il en conclure que la qualité de transmission des données numériques est une conséquence directe de la fiabilité des systèmes de transmission ? Pour notre part nous répondrons affirmativement à cette question.

RÉSULTATS D'ESSAIS DE TRANSMISSION DE DONNÉES SUR LIAISONS TÉLÉPHONIQUES

PAR

J. LABEYRIE

*Ingénieur en Chef des Télécommunications
au département Transmission
du Centre National d'Etudes des Télécommunications*

1. — Introduction

Cet article s'efforce de rassembler sous une forme condensée et relativement homogène les résultats des nombreux essais de transmission de données qui ont été effectués sous la direction ou avec la collaboration du CENTRE NATIONAL d'ETUDES DES TÉLÉCOMMUNICATIONS, tant sur le réseau général commuté que sur liaisons spécialisées point à point. Il n'a trait toutefois qu'aux essais sur liaisons téléphoniques et n'envisage pas le cas des transmissions sur réseau télex ou lignes télégraphiques point à point.

L'indice de qualité utilisé est un taux d'erreurs soit sur des chiffres binaires, soit sur des blocs de longueur déterminée. Ce choix relève d'une pratique courante.

Il conviendrait de rassurer d'emblée le lecteur non averti. Ces taux d'erreurs sont des taux bruts qui caractérisent le fonctionnement de la voie de transmission ; ils ne peuvent en aucune manière être interprétés comme un indice de qualité du système de transmission de données considéré dans son ensemble. Tout système de ce genre comporte, en effet, de puissants dispositifs de protection contre les erreurs de telle sorte que le taux d'erreurs résiduel du système sera toujours d'un ordre de grandeur incomparablement plus faible que les taux bruts mentionnés dans cet article.

Quel est dans ces conditions l'intérêt pratique de ces essais et de ces mesures de taux d'erreurs bruts ?

Plaçons-nous dans le cas, de loin le plus fréquent, d'un système comportant à la réception des circuits logiques de détection d'erreurs. L'information à transmettre est scindée en blocs (ensembles de n chiffres binaires) de longueur fixe ou variable auxquels l'équipement d'émission adjoint une certaine redondance. Celle-ci permet à la réception de détecter, dans la plupart des cas à bon escient, la présence ou l'absence d'erreurs dans les différents blocs reçus et de demander la retransmission des blocs détectés faux. Dans

ces conditions, le taux d'erreurs sur les blocs de la voie d'aller ne représente pas une perte d'information, simplement la perte de temps occasionnée par la retransmission des blocs faux. Il permet de se faire une idée de l'efficacité pratique du système (c'est-à-dire du pourcentage de répétitions nécessaires) lorsqu'il fonctionnera sur un réseau de télécommunication déterminé. Cette efficacité doit rester supérieure à une certaine valeur limite (par exemple 90%) pour que le système ait un rendement acceptable.

Dans certains cas, le programme d'essais comportait en plus l'enregistrement de la position exacte des erreurs dans le bloc. L'étude statistique de ces résultats a permis de définir les codes détecteurs (ou correcteurs) d'erreurs qui semblent les plus appropriés pour se protéger contre les erreurs dues à la transmission sur liaisons téléphoniques.

2. — Essais de transmission de données sur le réseau téléphonique général

Des essais de transmission de données ont été effectués de juillet 1960 à juillet 1961, sur un grand nombre de liaisons téléphoniques, obtenues par voie automatique sur le réseau général de l'Administration française des P.T.T. Le programme de ces essais avait été fixé par le département Transmission du C.N.E.T. conformément aux recommandations du Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (C.C.I.T.T.). Les systèmes à faible vitesse (transmission série à 200 bauds ou parallèle à 20 caractères/seconde) n'ont pas été pris en considération. Le programme était entièrement orienté vers la recherche des possibilités offertes par le réseau téléphonique général dans le domaine des vitesses moyennes ; on s'était proposé d'utiliser, dans cette première série d'expériences, des procédés de modulation relativement simples tels que les divers types

de modulation bivalente à deux bandes latérales. Le C.C.I.T.T. recommandait d'effectuer les essais dans les deux gammes de vitesse : 500-750 bauds, 1 000-1 500 bauds, la rapidité de modulation maximale que l'on puisse atteindre sur le réseau général, sans complication excessive des équipements de modulation et de démodulation, devant se situer, en première approximation, dans la gamme supérieure envisagée.

Trois sociétés pouvaient se prévaloir en juillet 1960 de réalisations industrielles dans ce domaine. Les modems (modulateurs-démodulateurs) qu'elles présentaient ont tous été retenus pour les essais. Très brièvement résumées, les caractéristiques de ces modems étaient les suivantes : deux modems utilisaient la modulation de fréquence (ils répondaient aux clauses d'un même cahier des charges et étaient compatibles), le troisième modem faisait appel à des techniques de modulation de phase. Mais alors que les deux premiers avaient été étudiés pour assurer des transmissions sur liaisons spécialisées point à point, comportant éventuellement des correcteurs de phase, le troisième avait été conçu pour travailler aussi bien sur réseau général que sur liaisons spécialisées.

Dans ces conditions, il n'est pas très étonnant que ce soit le troisième modem qui ait donné, pour chaque liaison, les meilleurs résultats. On ne saurait, en toute objectivité, en déduire que la modulation de phase en tant que technique de modulation surclasse la modulation de fréquence. Si la modulation de phase marque quelques points lorsque le signal perturbateur est un bruit blanc gaussien, il n'est pas certain que cet avantage subsiste face aux redoutables obstacles que sont les coupures brèves, les bruits impulsifs et les perturbations diverses que l'on peut rencontrer sur un réseau téléphonique. Tout ce que l'on peut conclure de cette série d'expériences, c'est la supériorité très nette du modem à modulation de phase, utilisé lors de ces essais, sur les deux modems à modulation de fréquence, du point de vue d'une transmission sur réseau général sans adjonction de correcteurs de phase.

Le lecteur pourra trouver dans la contribution de l'Administration Française des P.T.T. à la Commission Spéciale A du C.C.I.T.T. [1] un compte-rendu d'ensemble des résultats de ces essais. Afin d'illustrer les possibilités offertes par le réseau général, il nous a paru utile de nous limiter dans cet article aux résultats obtenus avec le modem à modulation de phase.

2.1. CHOIX ET CARACTÉRISTIQUES DES LIAISONS TYPES

Il avait été pris pour règle de n'utiliser que des liaisons obtenues par voie entièrement automatique et de ne pas effectuer d'essais sur des liaisons établies, en tout ou partie, par commutation manuelle.

Ce choix ne préjuge en rien des règles d'exploitation du réseau téléphonique général pour la transmission des données. C'était uniquement pour simplifier le relevé des erreurs qu'il avait paru souhaitable de se limiter aux circuits obtenus par voie entièrement automatique. Dans le cas, en effet, des circuits établis manuellement, les rentrées en lignes des opératrices et les coupures accidentelles de la communication

auraient provoqué l'apparition de longues suites d'erreurs qu'en bonne logique on aurait dû distinguer des erreurs normales, ce qui eut compliqué exagérément la conduite des essais.

Pour des raisons semblables, il avait été décidé de débrancher le taxeur pour tous les essais interurbains, ce qui supprimait l'envoi à intervalles réguliers du préavis de taxation.

Le tableau I indique sommairement la constitution des liaisons qui avaient été choisies. Il est supposé que l'une des extrémités de la liaison est un abonné d'un central urbain de Paris (à l'exception de l'essai 16). Les paramètres pris en considération sont d'une part la nature des réseaux de commutation à l'arrivée et au départ, et d'autre part la constitution du circuit interurbain (ou de la chaîne urbaine pour les essais 14, 15 et 16). Tous les cas susceptibles d'être rencontrés en pratique avaient été retenus.

Il est à remarquer que des constitutions de circuit plus complexes peuvent intervenir dans une communication établie par voie automatique entre deux abonnés de province mais il n'avait pas été possible dans cette première série d'expériences de prendre ces cas en considération.

Il faut signaler d'autre part que le récepteur de données était toujours situé à Paris, ce qui correspondait au schéma de transmission le plus sévère, le réseau automatique de Paris, plus étendu et plus complexe que ceux des villes de province, étant dans ce cas traversé à bas niveau. Deux essais, tels que Lille-Paris ou Paris-Lille, se distinguaient uniquement par le sens de transmission de l'appel (Lille dans le premier cas, Paris dans le second étant demandeur) et en conséquence par la structure des chaînes urbaines automatiques de départ et d'arrivée.

2.2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'ÉQUIPEMENT UTILISÉ

Rapidité de modulation : 600 et 1 200 bauds.

Type de modulation : modulation de phase.

Émetteur : du type cohérent.

Une onde sinusoïdale de fréquence 1 800 Hz synchronisée sur la rapidité de modulation est modulée par inversion de phase aux instants caractéristiques lesquels correspondent à des passages par zéro de l'onde porteuse. Par convention, l'émission du chiffre 0 se traduit par un saut de phase de π et celle du chiffre 1 par la continuité de la phase de la porteuse. Ainsi ce sont les changements de phase et non la valeur instantanée de la phase qui servent de support à l'information (le codage utilisé est un codage par transition et non un codage par état).

Niveau d'émission : 0 dBm au départ de la ligne d'abonné.

Récepteur

La porteuse est reconstituée à l'extrémité réceptrice, compte tenu éventuellement du déplacement de fréquence introduit par le système à courants porteurs mais avec une incertitude de phase de π . On effectue

TABLEAU I

Essai	Liaison	Réseau de commutation Départ	Circuit interurbain (y compris éventuellement les organes de transit)	Réseau de commutation Arrivée
1	Paris-Marseille	ROTARY	800	ROTARY
2	Paris-Lille	ROTARY	800	type R 6
3	Lille-Paris	type R 6	800	ROTARY
4	Paris-Lille	ROTARY	800 (faisceau hertzien)	type R 6
5	Paris-Beauvais	ROTARY	800	type CROSSBAR
6	Beauvais-Paris	type CROSSBAR	800	ROTARY
7	Paris-St-Quentin	ROTARY	200	type R 6
8	St-Quentin-Paris	type R 6	200	ROTARY
9	Paris-Beauvais	ROTARY	200	type CROSSBAR
10	Beauvais-Paris	type CROSSBAR	200	ROTARY
11	Paris-Albi	ROTARY	800 + CT (R 6) + 800	type CROSSBAR
12	Paris-Montauban	ROTARY	800 + CT (R 6) + 200	type R 6
13	Paris-Mazamet	ROTARY	800 + CT (R 6) + 200	type CROSSBAR
14	Paris Liaison directe de central à central			
15	Paris Liaison comportant 1 centre de transit			
16	Paris Liaison comportant 2 centres de transit			

type R 6 : R 6, R 6N, R 6N2, L 43, SRCT
type Crossbar : CP 400, Pentaconta
800 : circuit HF sur paire symétrique ou coaxiale (à l'exception de l'essai 4) appartenant à une liaison en groupe primaire
200 : circuit BF 2 fils amplifié sur câble chargé H 88 ou H 177
CT : centre de transit

ensuite la démodulation synchrone de l'onde reçue. La convention choisie pour caractériser les chiffres 1 et 0 permet de faire abstraction de l'ambiguïté de phase sur la porteuse reconstituée.

Générateur de fréquence d'échantillonnage (f_e)

Une base de temps, pilotée par quartz, fournit une fréquence approximativement égale à $n \times f_e$. En l'absence de tout signal, cette fréquence est divisée par n . Chaque mutation, suivant qu'elle se produit en avance ou en retard par rapport à l'instant caractéristique fourni par la base de temps locale, provoque la division par $n + 1$ ou $n - 1$ pendant un cycle de division.

Un dispositif analogue est prévu à l'extrémité émettrice pour permettre une exploitation à l'alternat et un signal de synchronisation est émis avant chaque message.

Bloc

- 1 caractère de 8 chiffres binaires (indiquant le début du bloc).
- 30 caractères de 8 chiffres binaires du type 4/8 choisis au hasard.
- 1 caractère de 8 chiffres binaires de parité longitudinale.

Comptage des erreurs

Le premier bloc transmis est enregistré dans une mémoire située dans l'équipement de réception et comparé successivement à tous les blocs reçus. Cette comparaison n'est effectuée que sur les 240 chiffres binaires qui représentent l'information à transmettre. Des compteurs affichent le nombre de chiffres transmis, le nombre de chiffres reçus de façon erronée, le nombre de blocs contenant des chiffres faux, etc.

2.3. RÉSULTATS DES ESSAIS

Seul l'essai 15 a été effectué aux deux vitesses. Pour tous les autres essais, la rapidité de modulation de 1 200 bauds a seule été utilisée.

Par suite de la valeur relativement élevée de la porteuse, les essais 9 et 10 sur câble chargé H 177 ont dû être abandonnés. Toutefois des essais complémentaires effectués en juillet 1961 avec un équipement modifié, utilisant notamment une fréquence porteuse de 1 500 Hz, ont donné sur ces liaisons des résultats tout à fait analogues à ceux qui sont présentés dans cet article.

Pour chaque liaison type, le tableau II indique :

- le nombre de chiffres binaires transmis,
- le taux d'erreurs sur les chiffres,
- le taux d'erreurs sur les blocs,
- le nombre moyen de chiffres faux par blocs faux.

TABLEAU II
— RAPIDITÉ DE MODULATION : 600 ou 1 200 bauds
— NOMBRE DE CHIFFRES PAR BLOC : 256 (240)

Essai N°	Rapid. de mod. (bauds)	Chiffres binaires		Blocs	Nombre moyen de chiffres faux par bloc faux
		Transmis ($\times 10^7$)	Taux d'erreur ($\times 10^{-4}$)	Taux d'erreur ($\times 10^{-3}$)	
1	1 200	8,64	0,085	0,66	3,1
2	1 200	11,47	0,547	4,6	2,86
3	1 200	9,03	0,316	2,52	3
4	1 200	9,45	0,46	4,5	2,46
5	1 200	8,55	0,36	2,96	2,92
6	1 200	9,02	0,187	1,39	3,22
7	1 200	8,66	0,292	2,9	2,42
8	1 200	7,67	0,109	0,69	3,83
11	1 200	8,44	0,44	4,07	2,6
12	1 200	9,02	0,428	2,84	3,6
13	1 200	8,86	0,695	5,2	3,2
14	1 200	10,66	0,043	0,25	4,2
15	600	4,67	0,078	0,55	3,4
	1 200	11,63	0,096	0,55	4,23
16	1 200	8,4	0,059	0,35	4,05

Alors que le taux d'erreurs sur les chiffres peut être considéré comme un indice de qualité assez sommaire mais significatif par lui-même, le taux d'erreurs sur les blocs ne peut être indiqué sans faire mention de la longueur des blocs, étant donné qu'il est, en première approximation, proportionnel à cette longueur. Dans le cas présent, ces résultats se réfèrent à une longueur de bloc de 240 chiffres binaires (comme il a été dit en 2.2).

Compte tenu de la procédure choisie pour effectuer les essais, les effets du paramètre «réseau de commutation» n'ont pu être mis en lumière, le réseau Rotary de Paris, situé à la réception, intervenant de façon prépondérante dans le processus de création des erreurs. On peut noter toutefois que les liaisons province-Paris (telle que par exemple Lille-Paris) sont systématiquement meilleures que leur homologue Paris-province (par exemple Paris-Lille). Il semble que l'explication de ce résultat, absolument général, réside dans la moins bonne qualité du point de contact du chercheur Rotary par rapport à celle des sélecteurs et connecteurs Rotary.

Les différentes liaisons peuvent être classées par ordre de mérite décroissant en trois groupes :

- 1° liaisons urbaines,
- 2° liaisons interurbaines comportant un seul circuit,
- 3° liaisons interurbaines comportant deux circuits commutés.

Mais il n'y a pas de solution de continuité entre ces trois groupes, il y a même recouvrement partiel du deuxième et du troisième groupe.

On peut noter par ailleurs (comparaison des essais 2 et 4) qu'un circuit interurbain à courants porteurs utilisant comme support un faisceau hertzien à visibilité directe a une qualité de transmission tout à fait comparable à celle d'un circuit interurbain établi sur paire coaxiale ; ce résultat, qu'il conviendrait de confirmer par des essais plus systématiques, vient s'inscrire en faux contre certaines idées couramment admises.

Le tableau II donne une analyse des résultats liaison par liaison ; il est possible également de présenter une analyse des résultats heure par heure pour l'ensemble des liaisons étudiées. La figure 1 indique de la sorte la variation du taux d'erreurs sur les blocs aux différentes heures de la journée.

Le phénomène le plus significatif est la baisse sensible du taux d'erreurs de 12 à 14 heures en relation

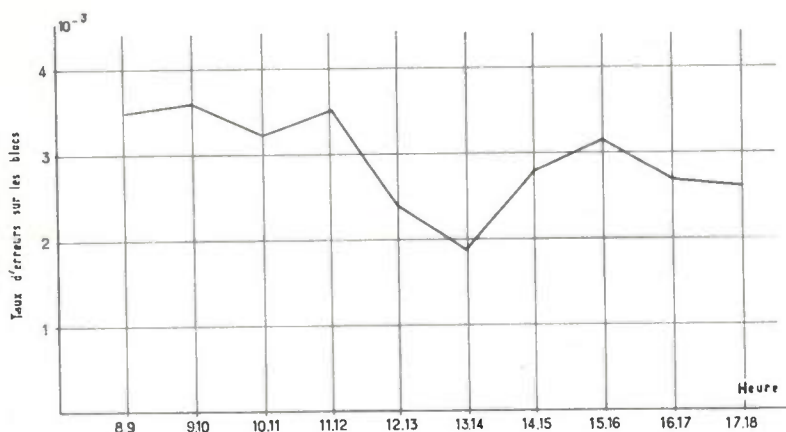


FIG. 1 — Variation en fonction de l'heure de l'essai du taux d'erreurs sur les blocs.

avec la diminution du trafic et la moindre activité à ces heures des équipes de maintenance du réseau.

En résumé, on peut conclure de ces essais, qui portaient sur un ensemble de $1,34 \cdot 10^9$ chiffres binaires, que les taux d'erreurs bruts sur des blocs de 240 chiffres, susceptibles d'être rencontrés en pratique sur le réseau général téléphonique, sont de l'ordre de quelques pour dix mille à quelques pour mille suivant la nature de la liaison et l'heure à laquelle la communication a été demandée. Ce résultat est extrêmement encourageant et permet d'envisager l'ouverture d'un service général de transmission de données par l'intermédiaire du réseau téléphonique commuté.

On doit insister toutefois sur le fait que les perturbations apportées par le système de taxation avaient été éliminées. Ces perturbations sont de deux ordres : d'une part un préavis de taxation est émis en ligne toutes les trois minutes sous forme d'une tonalité audible ; dans certains réseaux urbains de province, d'autre part, les impulsions de taxation, au lieu d'être transmises sur un troisième fil comme dans le réseau Rotary de Paris, sont envoyées en parallèle sur les deux fils de ligne. Il en résulte en général, du fait de déséquilibres à peu près inévitables, des perturbations à fort niveau. L'augmentation du taux d'erreurs précédemment mentionné (blocs de 240 chiffres) pourrait atteindre 10^{-2} dans le cas où ces deux perturbations interviennent conjointement, c'est dire l'importance primordiale de ces phénomènes. La mise en œuvre du nouveau système de taxation continue, en supprimant l'envoi à intervalles réguliers du préavis de taxation, fera disparaître progressivement la première cause de perturbation. L'Administration s'efforcera par ailleurs de remédier aux défauts liés à la transmission en parallèle sur les deux fils de ligne des impulsions de taxation.

2.4. ÉTUDE STATISTIQUE DE LA DISTRIBUTION DES ERREURS

Outre les comptages habituels (chiffres transmis, chiffres faux, blocs faux, etc.), il a été procédé avec cet équipement à l'enregistrement sur bande magnétique de la position exacte des erreurs. Ces renseignements ont été ensuite transférés sur cartes perforées et traités sur ordinateur.

Chaque essai a donné lieu à une étude distincte. Il n'est pas fait mention dans cet article des résultats

particuliers à tel ou tel essai mais un certain nombre de courbes caractéristiques, valables pour l'ensemble des essais, sont reproduites. Ces courbes ne sont pas à proprement parler des courbes moyennes mais plutôt des courbes « médianes » divisant le plan en deux régions telles que chaque région contienne la moitié des courbes caractéristiques de chaque essai. Dans certains cas, des courbes extrêmes sont indiquées.

Pour faciliter la compréhension de ce qui suit, il paraît nécessaire de donner quelques définitions et de préciser l'acception de certains termes.

Intervalle entre erreurs

Nombre de chiffres binaires exacts séparant deux chiffres faux successifs.

Intervalle entre blocs erronés

Nombre de blocs sans erreurs séparant deux blocs erronés successifs.

Paquet d'erreurs

Série de chiffres binaires dans laquelle le nombre de chiffres corrects séparant deux chiffres erronés successifs est toujours inférieur à un nombre donné N ($N = 10$ par exemple).

Longueur d'un paquet d'erreurs

Nombre total des chiffres exacts ou faux qui composent le paquet d'erreurs ; celui-ci débute au premier et se termine au dernier chiffre faux.

Les figures 2 et 3 indiquent la distribution des intervalles entre erreurs. La figure 2 est relative aux essais réellement effectués, les chiffres transmis étant, comme il a été dit en 2.2, codés par transition. La figure 3 se rapporte aux mêmes essais, tels qu'ils auraient été interprétés par un équipement de réception comportant des organes de décision différents et analysant les signaux reçus comme des messages codés par état.

Bien que ce point soit un peu en marge des préoccupations qui font l'objet de cet article, précisons brièvement de quoi il s'agit. La figure 4 représente un signal bivalent en courant continu fourni par le démodulateur. Ce signal est échantillonné à des instants récurrents t_1, t_2, t_3 , etc. Si l'organe de décision applique les règles du codage par état, l'interprétation à donner aux valeurs d'échantillonnage est immédiate ; à une

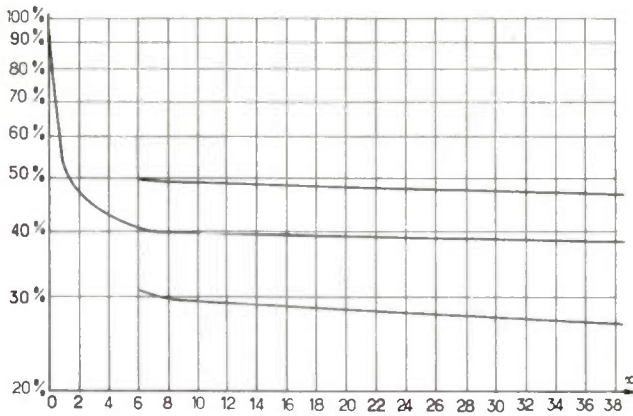


FIG. 2 — Pourcentage des intervalles entre erreurs comportant un nombre de chiffres binaires égal ou supérieur à celui indiqué en abscisse.

Courbe médiane et courbes extrêmes.
Codage par transition.

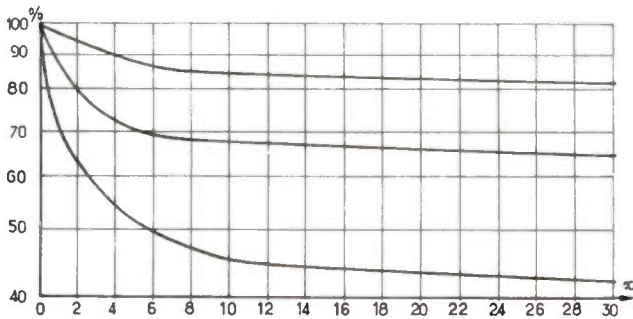


FIG. 3 — Pourcentage des intervalles entre erreurs comportant un nombre de chiffres binaires égal ou supérieur à celui indiqué en abscisse.

Courbe médiane et courbes extrêmes.
Codage par état.

valeur d'échantillonnage déterminée (+ a ou - a) correspond un chiffre déterminé (1 ou 0). Pour le codage par transition par contre, l'organe de décision est obligé de confronter deux valeurs d'échantillonnage successives ; si ces valeurs diffèrent, la décision est 0, si elles sont identiques, la décision est 1.

Suivant que l'on applique à un signal déterminé l'une ou l'autre de ces règles du jeu, la distribution des intervalles entre erreurs varie considérablement comme il ressort, de façon immédiate de la comparaison des figures 2 et 3. En fait cette différence est plus apparente que réelle. Elle tient aux conséquences différentes que peut avoir une erreur isolée dans la suite des valeurs d'échantillonnage. Dans le cas du codage par état, l'erreur isolée correspond à un chiffre binaire faux alors que pour un codage par transition cette même erreur isolée provoque l'apparition de deux chiffres faux consécutifs c'est-à-dire d'un intervalle de longueur nulle entre erreurs. La chute brutale de la courbe représentée figure 2 entre $x = 0$ et $x = 1$ résulte du pourcentage élevé d'erreurs isolées au niveau du signal échantillonné. Au-delà de $x = 1$, l'allure générale des deux courbes diffère peu.

Mais il convient surtout de tirer les conséquences de la non linéarité des courbes des figures 2 et 3. Si, en effet, les erreurs apparaissaient suivant un processus de Poisson, ces courbes seraient des droites

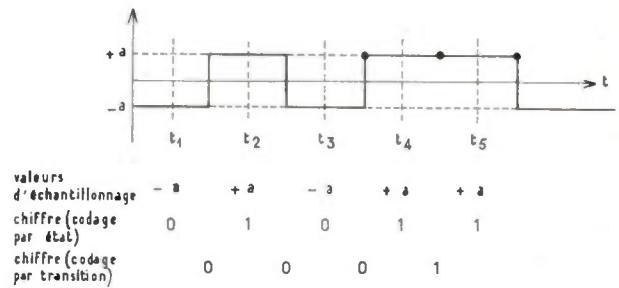


FIG. 4 — Codage par état et codage par transition.

issues du point (0, 100 %), la pente de chaque droite étant fonction du taux d'erreurs moyen sur les chiffres. La décroissance rapide de ces courbes pour les faibles valeurs de x traduit l'existence des paquets d'erreurs et infirme l'hypothèse d'une distribution de Poisson. Le raccord entre cette portion de la courbe et la droite qui la prolonge, qui se situe vers $x = 8$, donne une idée approximative de l'intervalle maximal N entre erreurs à l'intérieur d'un paquet d'erreurs.

Si l'on adopte la définition du paquet d'erreurs, qui a été présentée et qui correspond du reste à un projet de définition proposé par le C.C.I.T.T., et si l'on fixe $N = 10$, valeur en bon accord avec les résultats expérimentaux obtenus sur le réseau téléphonique français, on peut faire l'inventaire de tous les paquets d'erreurs qui ont été rencontrés et tracer la courbe de distribution de ces paquets d'erreurs en fonction de leur longueur. Une courbe médiane est présentée figure 5 qui indique le pourcentage de paquets d'erreurs dont la longueur est au moins égale au nombre x indiqué en abscisse.

La décroissance de cette courbe (à partir de $x = 2$ pour le codage par état et $x = 3$ pour le codage par transition) est approximativement linéaire, si l'on adopte, comme sur la figure 5, une échelle linéaire pour les abscisses et logarithmique pour les ordonnées. Pour le codage par état, une loi de distribution s'en déduit, de forme exponentielle :

$$F = K_1/K_2^x \quad x \geq 2$$

où F représente le pourcentage de paquets d'erreurs dont la longueur est égale ou supérieure à x . Dans le

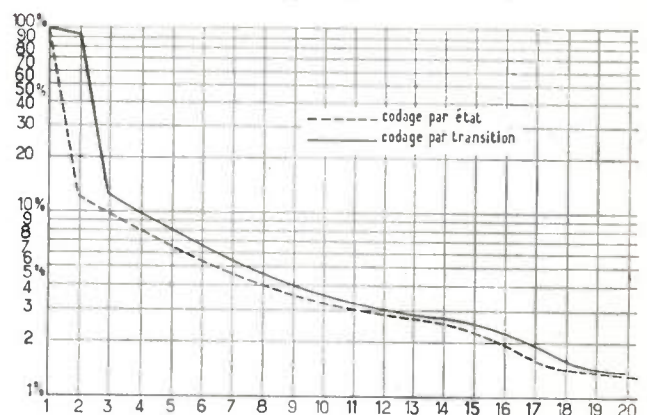


FIG. 5 — Pourcentage de paquets d'erreurs dont la longueur est au moins égale au nombre indiqué en abscisse.

cas du codage par transition, la loi de distribution s'écrit :

$$F = K_1/K_2^{x-1} \quad x \geq 3$$

avec les mêmes coefficients K_1 et K_2 . Un raisonnement simple prouve, en effet, qu'un paquet d'erreurs de

La figure 6 complète le modèle probabiliste du paquet d'erreurs. Elle montre qu'à l'intérieur d'un paquet d'erreurs la probabilité qu'un chiffre binaire soit reçu de façon incorrecte est très voisine de 0,5, ceci quelle que soit la position du chiffre à l'intérieur du paquet.

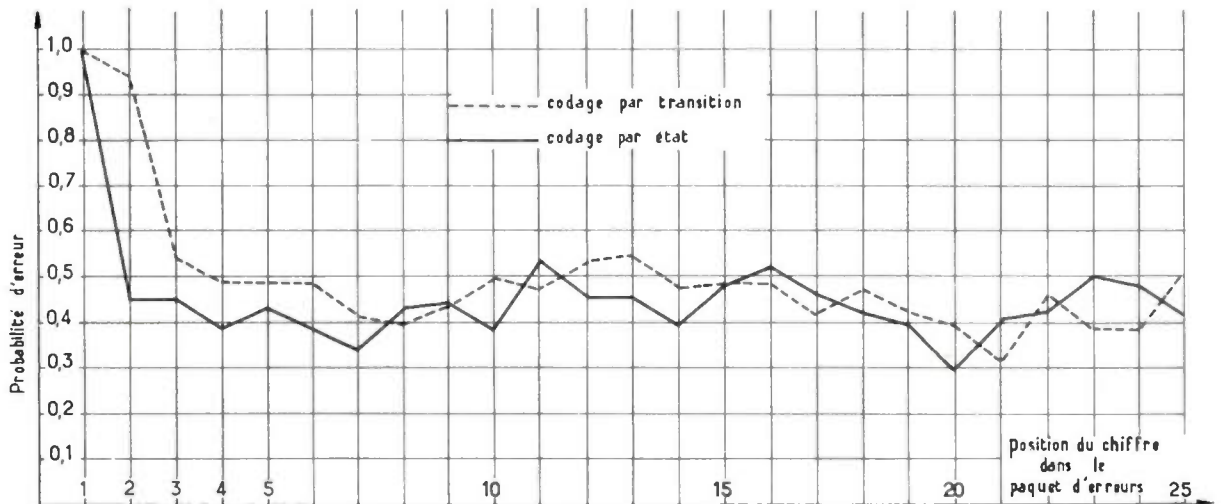


FIG. 6 — Probabilité qu'un chiffre binaire soit erroné en fonction de la position de ce chiffre dans le paquet d'erreurs.

longueur x sur les valeurs d'échantillonnage (ou les chiffres, en codage par état) se transforme en un paquet de longueur $x + 1$ lorsque l'on utilise un codage par transition.

Le tableau III indique pour chacune des liaisons types les valeurs de K_1 et K_2 qui semblent le plus en accord avec les résultats des essais, ainsi que le pourcentage des paquets d'erreurs de longueur 1 (en codage par état) ou 2 (en codage par transition) lesquels sont en relation avec des erreurs isolées sur les valeurs d'échantillonnage.

TABEAU III

LOI DE DISTRIBUTION DES PAQUETS D'ERREURS
EN FONCTION DE LEUR LONGUEUR

Essais	K_1	K_2	$1 - K_1/K_2^2$
1	0,15	1,10	0,88
2	0,22	1,42	0,89
3	0,14	1,11	0,89
4	0,23	1,20	0,84
5	0,21	1,13	0,84
6	0,11	1,12	0,91
7	0,15	1,13	0,88
8	0,33	1,15	0,75
11	0,07	1,11	0,94
12	0,32	1,16	0,76
13	0,23	1,11	0,81
15	0,16	1,08	0,86
16	0,30	1,10	0,75

La figure 7 donne la distribution des intervalles entre blocs erronés. La non-linéarité de la courbe pour les faibles valeurs de x infirme l'hypothèse d'une distribution poissonnienne des blocs en erreur. Les paquets d'erreurs ont eux-mêmes tendance à se grouper en paquets de paquets. La probabilité qu'un bloc transmis à la suite d'un bloc erroné comporte lui-même des erreurs est plus élevée que ne l'indiquerait le taux moyen d'erreurs sur les blocs.

C'est en s'appuyant sur des analyses statistiques de ce genre qu'il est possible de faire choix d'une méthode de protection contre les erreurs et de définir les caractéristiques des codes détecteurs ou correcteurs d'erreurs qu'il convient d'utiliser en pratique mais ces développements sortiraient du cadre de cet article.

3. — Essais sur liaisons téléphoniques spécialisées

En marge des essais sur réseau général, un certain nombre de liaisons téléphoniques spécialisées non commutées ont été utilisées pour réaliser des transmissions de données expérimentales. Nous distinguons deux types de liaisons spécialisées :

1° les liaisons téléphoniques établies à demeure entre deux abonnés déterminés qui mettent en œuvre un circuit interurbain de constitution plus ou moins complexe et les lignes urbaines habituelles telles que lignes d'abonnés, lignes auxiliaires, etc.

2° les liaisons téléphoniques entre stations LGD comportant seulement un circuit interurbain.

3.1. ESSAIS SUR LIAISONS TÉLÉPHONIQUES SPÉCIALISÉES ABONNÉ-ABONNÉ

La Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques (S.I.T.A.) a exécuté un vaste programme

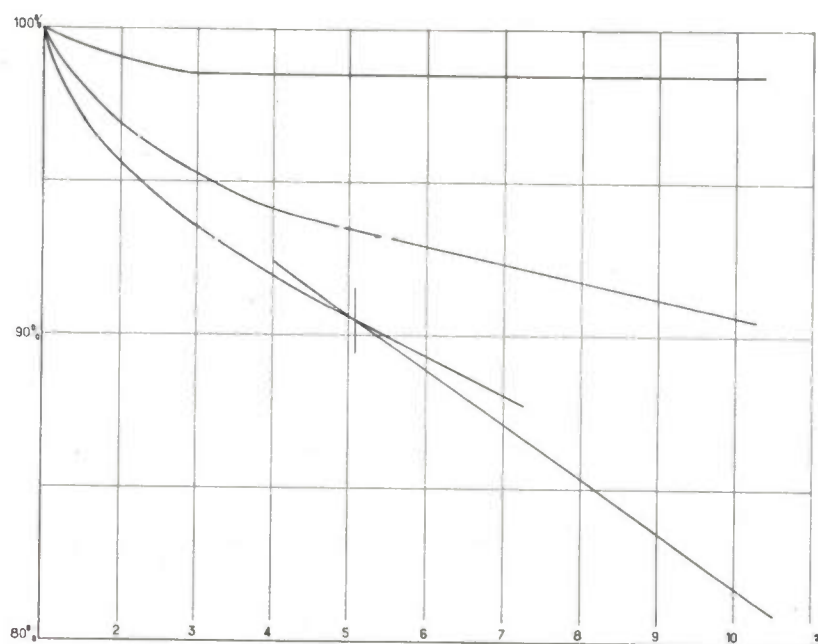


FIG. 7 — Pourcentage des intervalles entre blocs erronés comportant un nombre de blocs égal ou supérieur à celui indiqué en abscisse.

Courbe médiane et courbes extrêmes.

d'essais sur liaisons téléphoniques spécialisées avec le concours d'un certain nombre de constructeurs et en collaboration avec le département « Transmission » du C.N.E.T.

Très brièvement résumées, les caractéristiques des équipements et des liaisons utilisées étaient les suivantes pour les quatre séries d'essais.

1. Essais Harlow-Paris-Harlow

Modem à modulation de fréquence

Rapidités de modulation : 800 et 1 000 Bd

Fréquences caractéristiques : 1 100, 1 900 Hz (la modulation et la discrimination, de type classique, sont effectuées dans une bande de fréquences centrée sur 18 kHz).

La liaison était constituée par un circuit HF 4 fils Londres-Paris prolongé en 4 fils à ses deux extrémités. Les essais ont été effectués en boucle, l'émetteur et le récepteur de données étant toujours placés à Harlow et les deux voies de transmission étant aboutées l'une à l'autre soit dans la station LGD de Paris Archives (essais à 800 Bd) soit à l'extrémité de la ligne urbaine 4 fils de Paris (essais à 1 000 Bd).

Dans ces conditions, la boucle comportait deux voies à courants porteurs en tandem.

Niveau en ligne : — 13 dBm 0.

2. Essais Hilversum-Paris-Hilversum et Paris-Hilversum-Paris [2]

Modem à modulation de phase du type cohérent

Rapidité de modulation : 1 000 Bd

Fréquence porteuse : 1 500 Hz

Codage par état

Démodulation synchrone des signaux reçus, la fréquence porteuse étant reconstituée dans le démodulateur par un dispositif à boucle, avec une incertitude de phase de π .

Un signal pilote de fréquence 500 Hz est émis en ligne en même temps que le signal modulé. Après démodulation par la porteuse reconstituée, ce signal pilote donne la fréquence d'échantillonnage 1 000 Hz.

La phase de ce signal à 1 000 Hz sert de référence pour interpréter les signaux en courant continu fournis par le démodulateur qui sont, comme nous l'avons dit, codés par état.

La liaison comportait essentiellement un circuit 4 fils Paris-Hilversum de constitution complexe qui avait été obtenu en aboutant :

— un circuit HF Paris-La Haye (espacement entre voies : 4 kHz)

— un circuit HF La Haye-Utrecht (espacement entre voies : 6 kHz)

— un circuit BF Utrecht-Hilversum.

Ce circuit Paris-Hilversum était prolongé en 4 fils à ses deux extrémités. Les essais ont été effectués en boucle ; l'émetteur et le récepteur de données étaient placés, pour une première série d'essais, à Hilversum, les deux voies de transmission étant aboutées à Paris ; pour la deuxième série d'essais, la disposition était inverse (bouclage à Hilversum, appareils à Paris).

La boucle comportait dans tous les cas quatre voies à courants porteurs en tandem (deux voies normales et deux voies à espacement 6 kHz).

Un égaliseur d'amplitude et un correcteur de phase, ce dernier réglable, étaient utilisés dans l'équipement de réception.

Niveau en ligne : — 10 dBm 0.

3. Essais Paris-Nice-Paris [3]

Modem à modulation de fréquence

Rapidité de modulation : 1 500 Bd

Fréquences caractéristiques : 1 500 et 2 250 Hz (indice 0,5).

La liaison était constituée par un circuit HF 4 fils Paris-Nice prolongé en 4 fils à ses deux extrémités. Les essais ont été effectués en boucle, les deux voies de transmission étant aboutées à Nice et les appareils placés à Paris.

La boucle comportait deux voies à courants porteurs en tandem.

Un égaliseur d'amplitude a été utilisé à la réception.

Niveau d'émission : — 6 dBm.

4. Essais Rome-Paris

Modem à modulation de phase du type non cohérent

Rapidité de modulation : 1 200 Bd

Fréquence porteuse : 1 800 Hz (non synchronisée sur la rapidité de modulation)

Codage par transition.

Démodulation synchrone des signaux reçus, la fréquence porteuse étant reconstituée par un circuit doubleur de fréquence à caractéristique quadratique avec une incertitude de phase de π .

La liaison était constituée par un circuit HF 4 fils Paris-Rome prolongé en 4 fils à ses deux extrémités. Les essais ont été effectués sur la voie de transmission Rome-Paris (une seule voie à courants porteurs).

Niveau d'émission : 0 dBm

Le tableau IV indique pour chaque série d'essais :

- la rapidité de modulation utilisée,
- le nombre de chiffres binaires transmis,
- le taux d'erreurs sur les chiffres,
- le taux d'erreurs sur des blocs de 240 chiffres.

nous avons admis que le taux d'erreurs sur les blocs était proportionnel à la longueur des blocs (1).

Il est toujours hasardeux de vouloir comparer différents systèmes de transmission de données par des essais sur réseau téléphonique, même si des règles strictes ont été édictées pour la conduite des essais. Dans le cas présent, il convient d'écarter résolument la tentation, que pourrait susciter cette présentation unifiée, de comparer hâtivement les mérites respectifs de chaque modem. Les différences entre séries d'essais portent en effet sur des paramètres aussi importants que :

— la mesure des erreurs (certains des taux d'erreurs sur les blocs sont relatifs à l'ensemble des erreurs, d'autres ont trait uniquement aux erreurs détectées par le code).

— la constitution de la liaison (en particulier le nombre de voies à courants porteurs en tandem qui a une influence très directe sur la distorsion du temps de propagation de groupe dans la bande de fréquences effectivement utilisée pour la transmission).

— le niveau en ligne, et

— la rapidité de modulation.

Si, par contre, l'on rapproche ces résultats de ceux obtenus sur réseau commuté (résumés au paragraphe 2.3), on constate que les taux d'erreurs sur des blocs de 240 chiffres sont en moyenne dix fois plus faibles en dépit de la grande complexité des voies en boucle utilisées pour les essais 1, 2 et 3. Pour ce qui est de la série d'essais 4, qui a été effectuée avec un modem de caractéristiques très voisines de celui utilisé lors des essais sur réseau commuté, il est intéressant de rapprocher le taux d'erreurs sur les blocs, indiqué au tableau IV, de ceux des essais 1 à 6 sur réseau général, la constitution de la liaison étant très proche, mis à part

TABEAU IV

Essais	Rapidité de modulation en Bd	Chiffres binaires		Blocs de 240 chiffres Taux d'erreurs ($\times 10^{-4}$)
		Transmis ($\times 10^7$)	Taux d'erreurs ($\times 10^{-6}$)	
1	800 1 000	27,2 8,55	13 32,2	— 10,6
2	1 000	10	—	4,15
3	1 500	18,6	—	6,85
4	1 200	6,7	0,37	0,35

Il importe de préciser que les taux d'erreurs sur les blocs qui étaient mentionnés dans les différents rapports de mesures étaient afférents à des longueurs de bloc très variables (de 50 à 511 chiffres). Dans le souci d'uniformiser la présentation des résultats, nous avons calculé dans chaque cas le taux d'erreurs qui en résulterait pour les blocs de 240 chiffres, cette longueur de bloc ayant été utilisée lors des essais sur le réseau téléphonique général. Pour effectuer ce calcul,

(1) Cette loi simple paraît constituer, compte tenu des taux d'erreurs effectivement relevés et des longueurs de blocs utilisées, une excellente approximation de la loi de variation du taux d'erreurs sur les blocs en fonction de leur longueur. Pour s'en convaincre, on peut raisonner de la sorte. Désignons par p_R la probabilité qu'un chiffre déterminé soit la première erreur d'un paquet d'erreurs. La probabilité qu'un bloc de n chiffres ne comporte aucune erreur s'écrit :

$$(1 - p_R)^n \approx 1 - np_R$$

Le taux d'erreurs sur les blocs, en tant que mesure d'une probabilité d'erreur, doit varier comme np_R .

naturellement l'absence d'organes de commutation dans l'essai Rome-Paris. Sous réserve de confirmation par des essais de plus longue durée, on pourrait estimer que le taux d'erreurs sur les blocs est environ 100 fois plus faible sur liaison spécialisée que sur réseau commuté, toutes choses égales par ailleurs (constitution de la liaison, niveau en ligne, rapidité de modulation, modem).

3.2. ESSAIS SUR CIRCUITS INTERURBAINS

Divers essais ont été effectués sur liaisons spécialisées qui mettaient en œuvre un circuit interurbain sans prolongement par lignes urbaines.

3.2.1. Essais Marseille-Paris

Dans le cadre de l'étude du système de transmission d'adresses du C.E.L.T.I.C., des essais de longue durée ont été entrepris par le département Transmission du C.N.E.T. sur un circuit HF 4 fils Marseille-Paris d'une liaison en groupe primaire. L'émetteur de données était placé dans la station LGD de Marseille et le récepteur à Saint-Amand.

Deux modems ont été essayés successivement qui fonctionnaient tous deux à la rapidité de modulation de 1 200 Bd ; l'un faisait appel à la technique classique de la modulation d'amplitude, l'autre utilisait la modulation de fréquence. Leurs caractéristiques respectives étaient les suivantes :

1° modulation d'amplitude, porteur transmis :

fréquence porteuse : 1 500 Hz

taux de modulation : 80 %

détection d'enveloppe.

2° modulation de fréquence :

fréquences caractéristiques : $1\,500 \pm 600$ Hz

indice de modulation : 1

discriminateur à comptage.

Sur une liaison de ce type, réalisée sur paire coaxiale, l'incident majeur que l'on peut craindre est la coupure brève de transmission. Ces coupures semblent être en relation soit avec l'activité des équipes de maintenance du réseau soit avec l'alimentation en énergie des amplificateurs de lignes.

Il est vain d'espérer que la modulation de fréquence résiste mieux que la modulation d'amplitude à des incidents aussi graves. L'effet dépend de la durée de la coupure. Des coupures n'excédant pas une dizaine d'éléments binaires ont provoqué l'apparition de paquets d'erreurs. Les incidents plus longs ont entraîné des désynchronisations entre les générateurs de messages situés à l'émission et à la réception (ce dernier pour fin de comparaison). Ceci était en rapport avec les caractéristiques de l'horloge (générateur de fréquence d'échantillonnage à 1 200 Hz) utilisée dans l'équipement de réception qui fonctionnait par simple effet de volant.

Les résultats de ces essais se résument ainsi :

1° modulation d'amplitude

Nombre de chiffres émis : $64,4 \cdot 10^7$

Taux d'erreurs sur les chiffres : $1,15 \cdot 10^{-6}$

Nombre de pertes de synchronisation
Nombre de chiffres émis = $13,5 \cdot 10^{-8}$

2° modulation de fréquence

Nombre de chiffres émis : $101 \cdot 10^7$

Taux d'erreurs sur les chiffres : $2,44 \cdot 10^{-6}$

Nombre de pertes de synchronisation
Nombre de chiffres émis = $7,3 \cdot 10^{-8}$

Comme il était prévisible, les taux d'erreurs sont un peu plus faibles que ceux des liaisons spécialisées dotées de prolongements urbains.

3.2.2. Essais sur le faisceau hertzien à diffusion troposphérique Paris-Nançay

Il n'entre pas dans le propos de cet article de donner un compte rendu détaillé des résultats de ces essais. Le lecteur intéressé pourrait demander communication du rapport de mesures [4], non publié, qui traite de ces problèmes.

Les caractéristiques principales du faisceau expérimental Paris-Nançay sont les suivantes :

— émetteur modulé en fréquence

— puissance émise : 1,8 kW

— 1 antenne d'émission de 10 m de diamètre (gain 37 dB)

— trajet radioélectrique : 180 km

— 2 antennes de réception de 10 m de diamètre réalisant une diversité double d'espace

— seuil du récepteur : — 90 dBm.

Divers équipements de transmission de données ont été utilisés sur différentes voies à courants porteurs des groupes primaires A et B.

La figure 8 est relative à l'équipement à modulation de phase décrit en 2.2. Elle représente la variation du taux d'erreurs sur des blocs de 240 chiffres en fonction du niveau HF en prenant comme paramètre le niveau en ligne du signal de données.

En raison du caractère constamment variable du niveau HF de réception, il était nécessaire d'enregistrer le niveau du champ reçu et de fractionner les essais en essais élémentaires de 12 minutes pour lesquels on pouvait négliger les variations du niveau HF et caractériser les conditions momentanées de la propagation par la valeur médiane du champ. C'est cette valeur qui est portée en abscisse.

La courbe de la figure 8 a été tracée à partir des résultats bruts de l'expérience. Les irrégularités du tracé sont en rapport avec la relative imprécision de la mesure du champ HF et la durée souvent trop courte du comptage d'erreurs (certains points correspondent à un seul essai élémentaire soit seulement 12 minutes d'observation) on peut noter toutefois que la variation du taux d'erreurs en fonction du niveau BF est bien conforme au bon sens.

Une valeur typique du taux d'erreurs (sur des blocs de 240 chiffres) pour des niveaux de réception supérieurs au seuil du récepteur est 5×10^{-3} .

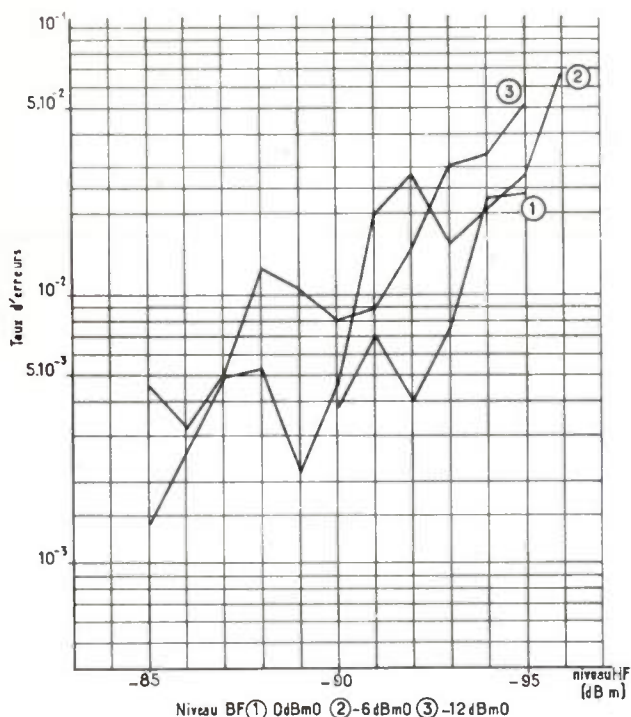


FIG. 8 — Taux d'erreurs sur les blocs en fonction des niveaux HF et BF.

Il a été procédé avec ce même équipement à l'enregistrement de la position exacte des erreurs à l'intérieur des blocs. L'analyse statistique détaillée de ces échantillons d'erreurs a donné des résultats analogues à ceux décrits en 2.4.

Notons toutefois que pour l'ensemble des essais soumis à l'analyse statistique, 60 % des paquets d'erreurs avaient une longueur supérieure à deux, c'est-à-dire correspondaient à plusieurs erreurs successives au niveau du signal échantillonné. Pour les essais sur le réseau commuté, ce pourcentage variait de 6 à 25 % suivant la constitution de la liaison étudiée (cf. tableau III). Ce fait pourrait être en relation avec la nature point à point de la liaison qui ne comportait aucune traversée d'organes de commutation ni parcours urbain et était, en conséquence, peu perturbée par des bruits impulsifs de courte durée.

Par contre la longueur moyenne des paquets d'erreurs de longueur supérieure à deux ne différait pas sensiblement de celle qui avait été observée lors des essais sur le réseau général. Il semble que les évanouissements du signal radioélectrique ne soient pas, en moyenne, notablement plus longs que les coupures de ligne observées sur le réseau commuté en relation avec les opérations de maintenance et les incidents d'énergie.

3.2.3. Essais via Telstar

Des essais de transmissions de données de courte durée ont pu être effectués durant plusieurs passages du satellite Telstar en septembre 1962. La liaison radioélectrique comportait un trajet aller station-satellite et un trajet retour satellite-station. La longueur de ces trajets variait dans de notables propor-

tions d'un instant à l'autre d'un même passage. L'effet Doppler qui en résultait était bien plus important que sur liaison transcontinentale réelle.

Ces transmissions expérimentales ont été réalisées dans différentes voies téléphoniques du système à courants porteurs avec un équipement de transmission de données analogue à celui qui a été utilisé pour les essais Rome-Paris (voir 3.1.).

Rapidité de modulation : 2 400 Bd (un correcteur de phase réglable compensait partiellement la distorsion du temps de propagation de groupe de la voie à courants porteurs).

Niveau en ligne : — 10 dBm0 et — 23 dBm0.

Taux d'erreurs sur les chiffres :

0 à — 10 dBm0

$2,5 \cdot 10^{-6}$ à — 23 dBm0

La difficulté de l'expérience découlait de l'importance de l'effet Doppler qui dans les voies les plus élevées du système à courants porteurs et à certaines périodes défavorables, principalement en début de passage, pouvait atteindre plus de 50 Hz. Le modem utilisé pour ces essais ne pouvait tolérer des décalages de fréquence supérieurs à 30 Hz (en raison de la largeur d'accord du circuit résonnant à 1 800 Hz pour la reconstitution de l'onde porteuse) et il fallut renoncer, dans les cas les plus défavorables, à transmettre sur les voies des groupes secondaires de rang élevé.

Il convient toutefois de souligner l'importance exagérée de l'effet Doppler pour des liaisons bouclées sur satellite ; d'autre part les inconvénients mentionnés ci-dessus sont relatifs à un type de modem bien particulier. Un équipement à modulation de fréquence comportant à la réception un discriminateur à comptage a certainement, vis à vis des décalages de fréquence introduits par le système de transmission, une tolérance bien supérieure à celle d'un modem à modulation de phase et démodulation synchrone.

4. — Conclusion

Un programme d'essais complémentaires est actuellement à l'étude qui tend à apprécier les possibilités offertes par le réseau téléphonique commuté en matière de transmission de données à grande vitesse (1 800 et 2 400 chiffres/seconde). Dans ce cas, il est nécessaire de compenser en partie la distorsion du temps de groupe introduite par les voies à courants porteurs ou de faire appel à des techniques de modulation plus avancées que celles décrites précédemment : par exemple des modulations quadrivalentes ou des modulations bivalentes à bande résiduelle.

On peut d'ores et déjà affirmer, à la suite des essais qui ont été effectués non seulement en France mais dans de nombreux autres pays, que le réseau téléphonique général peut servir de support à des transmissions de données dans la gamme de vitesses 200-1 200 bauds avec une efficacité acceptable et, compte tenu des progrès spectaculaires accomplis dans le domaine des codes détecteurs d'erreurs, avec une sécurité qui pourra sans doute satisfaire les exigences, si grandes soient-elles, de tous les utilisateurs. Cette

conclusion s'applique a fortiori aux liaisons téléphoniques spécialisées dont la qualité de transmission est supérieure à celle du réseau commuté.

Nous tenons à remercier, à la fin de cet article, toutes les Sociétés privées dont l'active collaboration a permis à l'Administration des P. T. T. de mener à sa fin un programme d'essais particulièrement long et complexe. Nous sommes également obligés à la Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques d'avoir bien voulu nous autoriser à publier un compte rendu d'ensemble des résultats de ses essais.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Contribution de l'Administration française des Postes et Télécommunications à la Commission Spéciale A du CCITT. Document Sp A-11 ; période 1961-1964.
- [2] TOUCHARD J. — Essai de transmission rapide d'informations codées sur liaison expérimentale entre la France et les Pays-Bas, *Onde Electrique*, ce numéro.
- [3] COHN H. — Transmission de données à grande vitesse sur lignes téléphoniques, *Onde Electrique*, ce numéro.
- [4] LABEYRIE J. et GONNET G. — Essais de transmission de données sur le faisceau hertzien à diffusion troposphérique Paris-Nançay (non publié). — Rapport de mesures 79, CNET, Département Transmission.

TRANSMISSION D'INFORMATIONS NUMÉRIQUES

PAR

M. POLIET

*Chef de Service " Asservissements-Calculateurs " au
groupement " G " de la Compagnie Générale de
Télégraphie sans Fil*

1. — But des transmissions numériques ou digitales

Il est un fait que les systèmes de Transmission d'informations codées numériquement tendent à s'imposer de plus en plus.

En effet, ils permettent d'acheminer :

a) une quantité pratiquement illimitée de types de signaux, que ce soit des mesures, des ordres ou des contrôles.

b) sur un même canal (porteuse radioélectrique, par exemple) des messages différents destinés à un grand nombre de correspondants, chacun de ces derniers recevant son message, à l'exclusion de tout autre.

c) des informations dont la précision peut être rendue aussi grande que l'on veut, ce qui n'était pas le cas avec les procédés anciens dits « analogiques » (variation de fréquence, variation de largeur d'impulsion, variation de tension, etc.) où il était difficilement concevable d'envisager mieux que le millième.

2. — Nature des informations

Dans les systèmes de transmission d'informations codées numériquement les grandeurs à transmettre peuvent être :

a) soit par « tout ou rien » (ordre de mise en route par exemple).

b) soit « quantifiées » (tension électrique, rotation d'arbre, etc.).

c) soit « chiffrées » (heure, numéro de code ou d'adresse, etc.).

DÉFINITIONS

Dans ces systèmes de transmission d'informations numériques (codées, digitales ou Data Link en anglais), les chiffres utilisés ou « digits » peuvent prendre deux valeurs possibles :

0 ; 1

On les appelle de ce fait des « digits binaires » ou « digits » tout court. C'est le terme que nous emploierons dans la suite de cet exposé, lorsqu'il n'y aura pas d'ambiguïté possible dans le texte avec « digits décimaux » par exemple. (La traduction en anglais de « digit binaire » étant « binary digit », les anglo-Saxons utilisent volontiers une contraction correspondante : bit).

2.1. INFORMATION PAR « TOUT OU RIEN »

L'information par « tout ou rien » nécessite, pour sa représentation, un digit qui sera « 0 » (contacteur ouvert — ou à ouvrir — par exemple) soit « 1 » (donc contacteur fermé — ou à fermer).

2.2. INFORMATION « QUANTIFIÉE »

L'information « quantifiée » nécessite un nombre « n » de digits qui dépend de la finesse et ou de la précision souhaitée. En effet, le nombre de valeurs discrètes que peut prendre l'information considérée est :

$$2^n$$

Ainsi, si l'on veut transmettre une tension électrique avec une précision égale au millième, il faut employer au moins 10 digits. En effet, puisque :

$$2^{10} = 1024$$

la finesse de la quantification est alors de :

$$1/1024$$

Si maintenant on veut transmettre un angle avec une précision de la minute d'arc, et puisqu'il y a $360 \times 60 = 21\,600$ minutes par tour, il faut utiliser au moins 15 digits puisque :

$$2^{14} = 16\,384 < 21\,600$$

$$2^{15} = 32\,768 > 21\,600$$

2.3. INFORMATION « CHIFFRÉE »

Un nombre décimal *A* de *d* chiffres (on peut dire digits décimaux), nécessite pour sa transmission en binaire un nombre de *b* chiffres (ce sont nos digits binaires, ou digits), tel que :

$$10^d = 2^b$$

d'où

$$d \log 10 = b \log 2$$

soit

$$b = 3,32 \, d$$

On peut aussi, pour faciliter le codage et le décodage, utiliser le code « binaire décimal » (par opposition au code binaire normal, ou « binaire pur »).

Ainsi, du point de vue de l'information, le code binaire pur est le plus économique, mais le code binaire décimal est plus facile à interpréter, comme on peut le voir dans le tableau ci-après. Nous y indiquons, à titre d'exemple, codés respectivement en binaire pur et binaire décimal, les nombres décimaux 0, 1963, et 9999 (à la 1^{re} ligne du tableau figure la valeur numérique de chaque digit, sous forme d'une puissance de 2 dans le cas du binaire pur et du binaire décimal, et d'une puissance de 10 dans le cas du décimal).

Remarque : Les « adresses » et les numéros de code qui permettent d'aiguiller les messages là où il faut sont en fait exprimés par un nombre ; donc, ce qui est dit au paragraphe 2.2. leur est applicable.

Décimal	Binaire pur	Binaire décimal
10 ³ 10 ² 10 ¹ 10 ⁰	2 ¹³ 2 ¹² 2 ¹¹ 2 ¹⁰ 2 ⁹ 2 ⁸ 2 ⁷ 2 ⁶ 2 ⁵ 2 ⁴ 2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰	2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰ 2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰ 2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰ 2 ³ 2 ² 2 ¹ 2 ⁰
0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 9 6 3	0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1	0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 1 1
9 9 9 9	1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1	1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1

Alors que dans le binaire pur, on remplace l'ensemble du nombre *A* de *d* chiffres décimaux globalement par un nombre de *b* digits, en binaire décimal, on remplace indépendamment chacun des *d* chiffres du nombre décimal *A* par un nombre binaire indépendant.

Pour cela, il faut, pour chacun des *d* chiffres décimaux, 4 digits binaires (3 digits sont insuffisants car ils ne définissent que 2³ = 8 valeurs possibles, alors que 4 digits, qui en définissent 2⁴ = 16 permettent bien d'exprimer (et au-delà d'ailleurs) les 10 possibilités décimales.

Donc, le nombre *c* de digits, qui permet le codage binaire décimal du nombre *A*, a pour valeur :

$$c = 4 \, d$$

Comme il faut 2 positions (0 et 1) pour représenter un chiffre binaire, et 10 positions (0 à 9) pour représenter un chiffre décimal, et si on considère pour coder le nombre *A* la quantité totale de positions nécessaires, on constate qu'il faut :

- dans le cas du binaire pur :

$$2 \times b = 2 \times 3,32 \, d = 6,64 \, d \text{ positions}$$

— dans le cas du binaire décimal :

$$2 \times c = 2 \times 4 \, d = 8 \, d \text{ positions}$$

— dans le cas du décimal :

$$10 \times d = 10 \, d \text{ positions}$$

3. — Méthode de transmission des digits

Les mesures, ordres ou contrôles que nous avons à transmettre sont donc codés grâce à l'utilisation de digits, que nous matérialisons en fait par des impulsions envoyées les unes à la suite des autres (nous disons en « série »).

Pour un digit « 1 », nous aurons une impulsion de largeur τ , et pour un digit « 0 », un silence, également de largeur τ .

Les impulsions étant accolées, si par exemple 3 digits « 1 » se suivent, l'impulsion correspondante aura une largeur 3 τ .

L'ensemble de ces impulsions constitue ce qu'on appelle le « signal télégraphique », qui peut soit être envoyé tel que si la ligne le permet, ou être utilisé pour moduler une porteuse radio-électrique par le procédé qui convient le mieux à la liaison (AM ; FM ; FSK ; FSK-AM, etc.).

4. — Mise en série des impulsions

La valeur (0 ou 1) de chacun des digits est concrétisée à l'émission (comme nous le verrons en détail au paragraphe 9), par autant d'interrupteurs qui sont soit ouverts, soit fermés.

Les impulsions « série », qui représentent à leur tour les digits, doivent occuper chacune une position connue dans le message. Par exemple, la 19^e peut être

celle qui est affectée à la rotation d'un moteur (impulsion absente : digit = 0, d'où arrêt ou confirmation de l'arrêt ; impulsion présente : digit = 1, d'où mise en route ou confirmation du fonctionnement) ; ou encore la tranche des 8 digits 27 à 34 peut représenter une altitude quantifiée par tranches de 100 m, de 0 à 25 500 m, comme indiqué ci-dessous :

Nombre binaire pur	Altitude en mètres
0 0 0 0 0 0 0 0	0
0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0
0 0 0 0 0 0 1 0	2 0 0
.....	
1 1 1 1 1 1 0 1	2 5 3 0 0
1 1 1 1 1 1 1 0	2 5 4 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1	2 5 5 0 0

Etat des entrées		Etat des diodes		Valeur de S	
X	Y	D ₁	D ₂	Tension	Binaire
0	0	conductrice	conductrice	V ₁	0
0	1	conductrice	bloquée	V ₁	0
1	0	bloquée	conductrice	V ₁	0
1	1	conductrice	conductrice	V ₂	1

Pour placer ces impulsions en série, on pourrait utiliser un commutateur comme celui de gauche de la figure 1. Ce dernier avancerait pas à pas, grâce à une « horloge » (oscillateur à quartz).

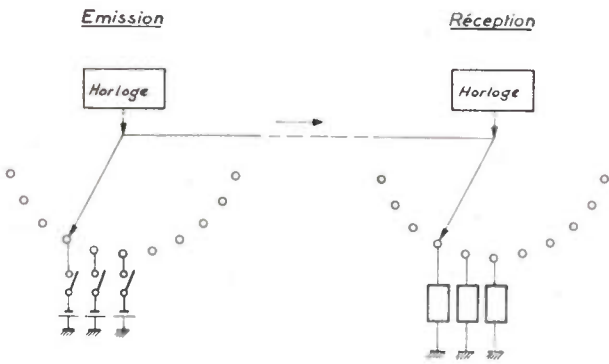


FIG. 1 — Commutateur des digits

En fait, on utilise un équivalent électronique. Pour en faire mieux comprendre le fonctionnement, rappelons rapidement le principe des deux circuits logiques de base :

- « et » ou « à coïncidence »
- « ou » ou « d'addition »

4.1. CIRCUIT « ET »

Le schéma élémentaire du circuit « et » (ou « à coïncidence ») est donné figure 2.

Deux digits X et Y sont appliqués respectivement aux diodes D₁ et D₂.

- La valeur « 0 » correspond au potentiel V₁
- La valeur « 1 » correspond au potentiel V₂

avec $V_2 < V_1$

En examinant le schéma de la figure 2, on constate immédiatement que la tension de sortie S prend la valeur « 1 » lorsque X et Y ont simultanément la valeur « 1 ». Dans tous les autres cas, S est égal à « 0 ».

En effet, si par exemple X = 0 et Y = 1, la diode D₁ conduit, et sa cathode est sensiblement au potentiel V₁ ; la diode D₂, dont la cathode est aussi au potentiel V₁, se trouve, elle, bloquée.

Le tableau ci-dessous résume les 4 cas possibles :

Le schéma de la figure 2 s'extrapole à un nombre quelconque d'entrées.

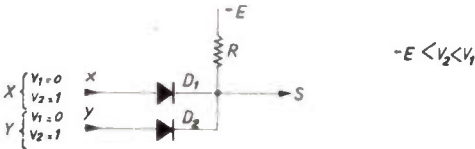


FIG. 2 — Circuit « et »

Remarque : Nous avons vu que dans le circuit « et », S = 1 lorsque toutes les entrées sont simultanément — en « coïncidence » — égales à « 1 » ; mais cela n'est vrai que si la tension -E est appliquée à l'extrémité de la résistance R. Nous disposons là d'une entrée supplémentaire à notre circuit « et », entrée que nous utiliserons.

4.2. CIRCUIT « OU »

Le schéma élémentaire du circuit « ou » (ou « d'addition ») est donné figure 3.

En considérant les mêmes polarités et en faisant le même type de raisonnement qu'au paragraphe 4.1.,

on constate immédiatement que la sortie S prend la valeur « 1 » lorsque :

X ou Y

est égal à 1. Les 4 états possibles sont précisés dans le tableau ci-dessous :

4.3. MATRICE DE SÉLECTION DES DIGITS

Revenons maintenant à notre commutateur électronique, dont nous allons décrire un mode de réalisation possible.

Etat des entrées		Etat des diodes		Valeur de S	
X	Y	D_1	D_2	Tension	Binaire
0	0	conductrice	conductrice	V_1	0
0	1	bloquée	conductrice	V_2	1
1	0	conductrice	bloquée	V_2	1
1	1	conductrice	conductrice	V_2	1

Comme dans le cas du circuit « et », le circuit « ou » de la figure 3 peut s'extrapoler à un nombre quelconque d'entrées.

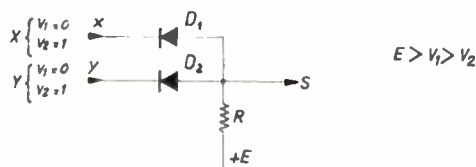


FIG. 3 — Circuit « ou »

Ce commutateur électronique est constitué par :
— un compteur (bascules alimentées par une horloge).
— des circuits « et ».

Le fonctionnement en est le suivant (Voir figure 4) :
A un instant « t_i », les bascules sont dans un état qui caractérise cet instant.

On réalise un circuit « et » entre :
— d'une part, les sorties des bascules qui sont dans

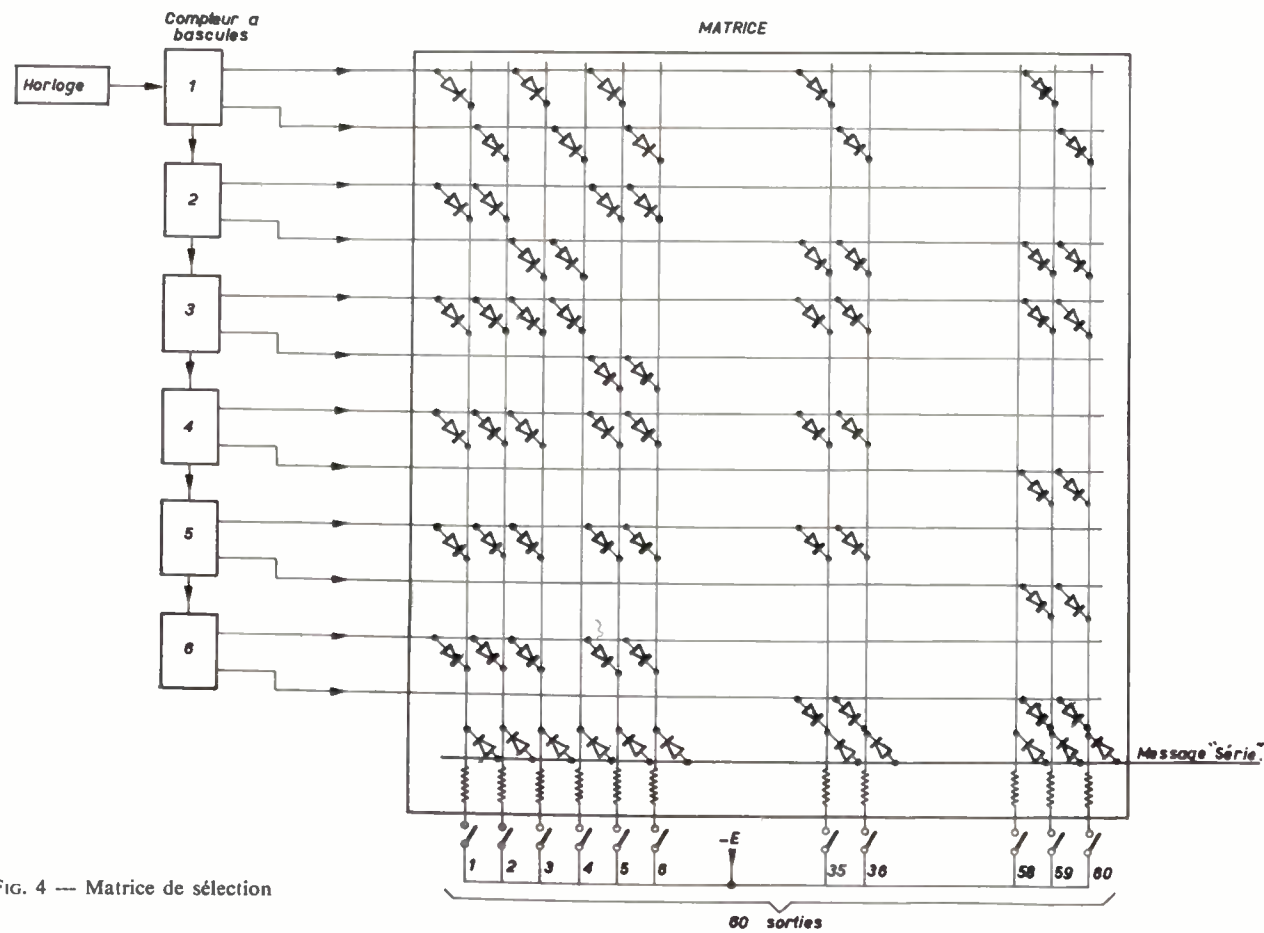


FIG. 4 — Matrice de sélection

l'état « 1 » à l'instant « t_i » (entrées du type X , c'est-à-dire sur diodes de la figure 2).

— d'autre part, l'interrupteur correspondant au digit de rang i (interrupteur coupant la tension — E de la figure 2).

Ainsi, à l'instant « t_i » on aura une impulsion sur la sortie i du commutateur électronique si l'interrupteur qui matérialise ce digit i est fermé c'est-à-dire si ce digit est égal à « 1 ».

Comme on peut le voir sur la figure 4, grâce à un circuit « ou » (dernière ligne de diodes en bas du schéma), on additionne toutes les sorties du commutateur électronique : le message constitué par les impulsions successives (message « série ») apparaît alors sur le fil de sortie.

Remarque : A cause de la forme de son schéma, l'ensemble de ces circuits « et » et « ou » que nous venons d'examiner, s'appelle une « matrice ».

4.4. SOUS-MATRICE

Sur la figure 4 est représenté à titre d'exemple un commutateur électronique à 60 sorties. Le compteur doit donc pouvoir compter au moins jusqu'à 60 ; pour cela il doit avoir un nombre p de bascules tel que :

$$\begin{aligned} 2^{(p-1)} &< 60 \leq 2^p \\ p &= 6 \end{aligned}$$

Dans notre exemple, la matrice comprend :

$$7 \times 60 = 420 \text{ diodes}$$

Pour l'utilisation de deux ou plusieurs « sous-matrices » associées à la matrice principale, on opère une présélection des états du compteur, ce qui permet d'économiser des diodes dans la matrice principale.

Nous indiquons figure 5 (page ci-contre) une solution possible avec 2 sous-matrices, ce qui permet de ramener le nombre total de diodes de 420 à 228 (24 diodes par sous-matrice, et $3 \times 60 = 180$ pour la matrice principale).

5. — Classement des impulsions

A la réception, il faut faire l'opération inverse de celle décrite au paragraphe précédent.

Evidemment, pas plus qu'à l'émission, nous n'utiliserons le commutateur électromécanique de la figure 1, mais son équivalent électronique de la figure 5 (page ci-contre).

A l'instant « t_i », le commutateur étant sur la position de rang « i », il y a deux possibilités : une impulsion est présente ou non sur le fil « message série ».

Si oui, une tension — résultat de l'opération logique « et » — apparaît sur le $i^{\text{ème}}$ fil, ce qui met la $i^{\text{ème}}$

bascule dans l'état « 1 ». (L'ensemble de ces bascules constitue un « registre »).

Si non, cette bascule restera dans l'état « 0 ».

On remarquera que ces bascules de sortie sont les homologues — au point de vue rang des digits — des interrupteurs de la partie émission.

6. — Contrôle de parité

Des contrôles de parité sont généralement prévus par tranche de message (tous les 10 digits par exemple). Ils permettent d'indiquer que le nombre de la tranche considérée doit être pair (cas de la parité dite « paire ») ou impair (cas de la parité dite « impaire »). A la réception, on pourra contrôler cette parité, et rejeter le message si elle n'est pas reconnue correcte.

On peut aussi, pour du matériel plus important, prévoir, grâce à des digits supplémentaires, une certaine redondance dans le but de réaliser une correction automatique d'erreur.

L'introduction des digits de parité à l'émission est simple. Dans une bascule, on envoie successivement les digits « 1 » de la tranche considérée. On peut donc savoir si le nombre de digits de cette tranche est pair (bascule finalement dans l'état « 0 ») ou impair (bascule finalement dans l'état « 1 »). Suivant le résultat de l'addition, un digit « de parité » « 1 » ou « 0 » est introduit à la bonne place dans le message.

A la réception, on retrouve la même bascule d'addition, mais l'exploitation du contrôle de parité nécessite une seconde mémoire. En effet, dans la première mémoire est placé le message au fur et à mesure de sa réception. On vérifie, comme indiqué ci-dessus, que la somme des digits « 1 » de la tranche — et de son digit de parité — est paire (ou impaire, selon le cas).

Si les contrôles de parité sont reconnus bons, on peut verser le contenu du message de la première mémoire dans la seconde. Dans celle-ci, on conserve la dernière information jusqu'au moment où une nouvelle, reconnue de parité correcte, aura été reçue.

7. — Synchronisation

Pour mieux comprendre le but de l'opération dite de « synchronisation », revenons à la figure 1 :

Pour faire avancer pas à pas le commutateur de l'émission et celui de la réception, on utilise pour chacun une « horloge locale » (oscillateur à quartz par exemple) ; les commutateurs avanceront chacun d'un pas, à chaque impulsion de leur horloge.

Pour synchroniser les états des commutateurs, c'est-à-dire des compteurs, il faut prévoir dès le début du message une particularité qui distinguera cette partie de celle affectée aux digits d'information proprement dits. Cette particularité, dite séquence de synchronisation, permet d'amener les deux commutateurs sur leur position N° 1, à l'instant « t_1 ». La séquence de synchronisation peut être constituée, par exemple, par des impulsions de largeur différente de celles utilisées dans le message proprement dit.

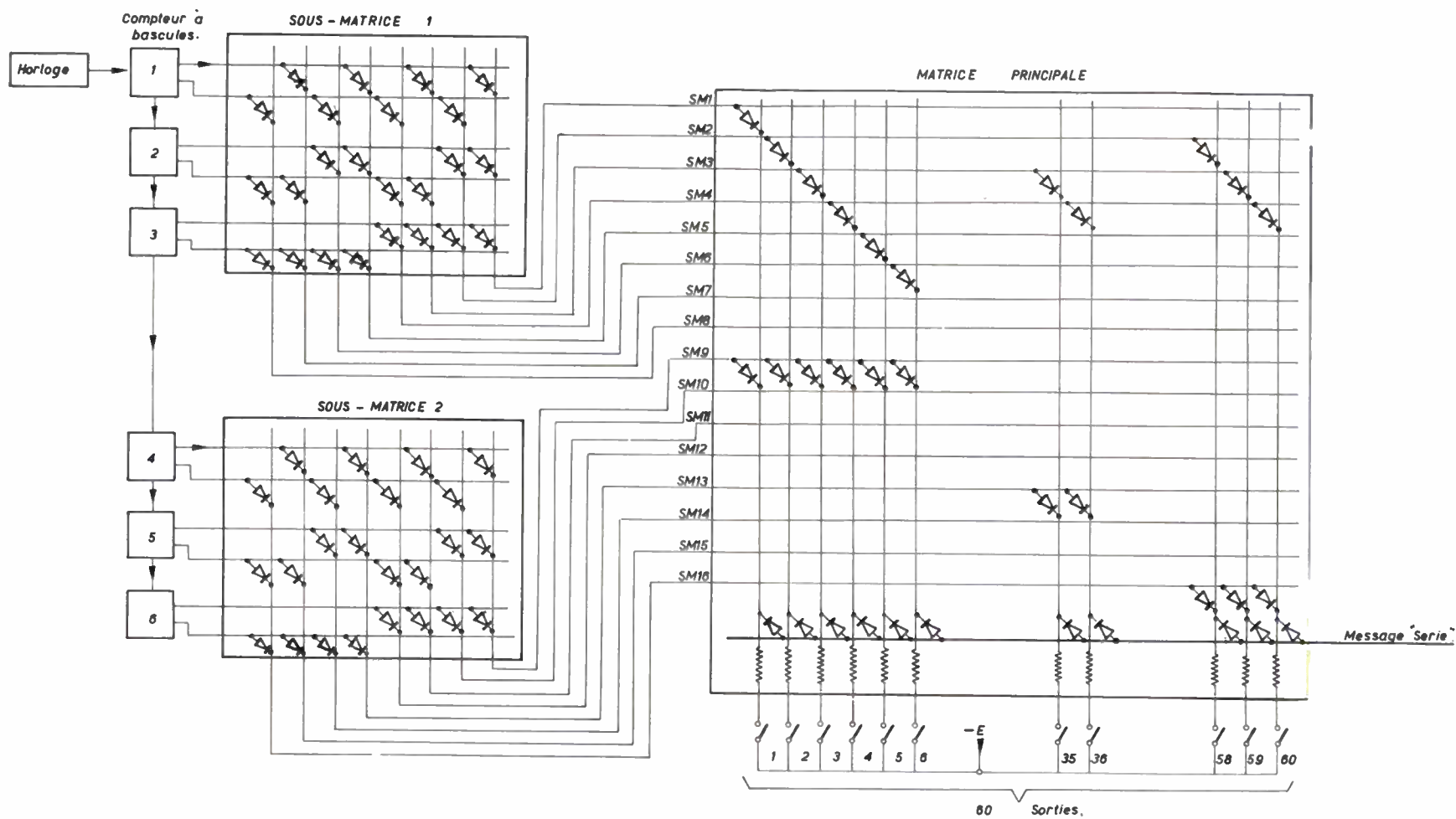


FIG. 5 — Matrice et sous-matrices de sélection

8. — Constitution des messages

En fonction de ce que nous avons dit, un message est constitué essentiellement par :

1. — une séquence de synchronisation (1 à 15 digits).
2. — une définition du type de message (3 à 5 digits).
3. — une adresse (5 à 15 digits).
4. — le message proprement dit (10 à 500 digits).
5. — des contrôles de parité et de correction d'erreur (3 à 20 digits).

Remarque : Le nombre de digits indiqué ci-dessus à titre d'exemple est celui qui correspond à la plupart des applications, mais cela ne constitue en aucune façon une limitation quelconque.

9. — Codage

Le codage ne présente pas de difficulté particulière, aussi n'en parlerons-nous que brièvement.

9.1. INFORMATION PAR TOUT OU RIEN

Le signal « 0 » ou « 1 » qui apparaît à la sortie de l'interrupteur électromécanique ou électrique correspondant est directement appliqué à l'entrée du commutateur des digits (voir figure 5).

9.2. INFORMATION QUANTIFIÉE

9.2.1. Tension électrique

La tension proportionnelle à la donnée considérée est appliquée à un voltmètre digital, dans le registre de sortie duquel apparaît le signal codé binaire. Les éléments de ce registre remplacent dans ce cas la partie correspondante des interrupteurs du commutateur des digits de la figure 5.

9.2.2. Rotation d'arbre

Pour coder une rotation d'arbre, on utilise un « codeur analogique digital », dont chacun des « n » digits est en fait un interrupteur (électromécanique ou électronique, selon le type de codeur). Ces « n » interrupteurs sont connectés toujours de la même façon au commutateur des digits (fig. 5).

Selon les besoins, on emploiera un codeur :

soit binaire-naturel, soit binaire-réflex, soit binaire-octal, soit binaire-décimal, etc.

9.3. INFORMATION CHIFFRÉE

Pour introduire des nombres, tels que des adresses par exemple, et suivant que ces nombres sont à afficher dans un code ou dans un autre, on utilisera :

pour le code binaire : des interrupteurs à 2 positions

pour le code octal : des commutateurs à 8 positions

pour le code décimal : des codeurs analogiques-digitaux

10. — Décodage

10.1. INFORMATION PAR TOUT OU RIEN

À la bascule considérée du registre de sortie (cf paragraphe 5) il suffit d'associer un transistor de puissance ou un relais électromécanique, pour restituer l'information.

10.2. INFORMATION QUANTIFIÉE

10.2.1. Tension électrique

Les bascules du registre de sortie, relatives à cette mesure, sont connectées à un décodeur à résistances.

On sait qu'un tel décodeur peut être réalisé en utilisant des résistances dont les valeurs sont respectivement proportionnelles aux puissances successives de 2, à savoir :

$$2^0 R ; 2^1 R ; 2^2 R \dots 2^{n-1} R ; 2^n R$$

10.2.2. Rotation d'arbre

Les asservissements qui assurent la transformation des informations codées binaires en une rotation d'arbre S sont la partie la plus délicate de l'appareil.

Pour réaliser ces asservissements, deux possibilités nous sont offertes :

a) fermer leur boucle en « digital » (fig. 6).

b) fermer leur boucle en « analogique » (fig. 7 et 8).

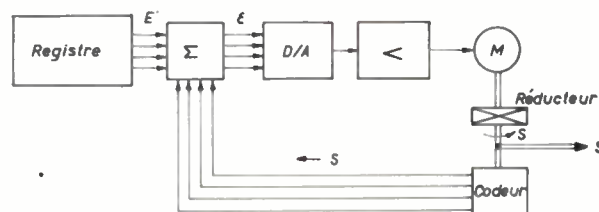


FIG. 6 — Asservissement « bouclé en digital »

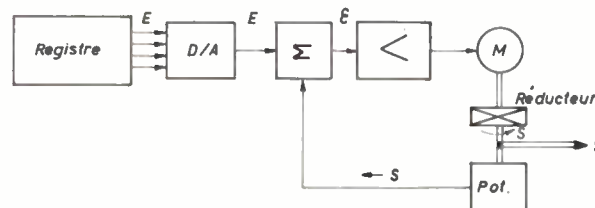


FIG. 7 — Asservissement « bouclé en analogique » par potentiomètre

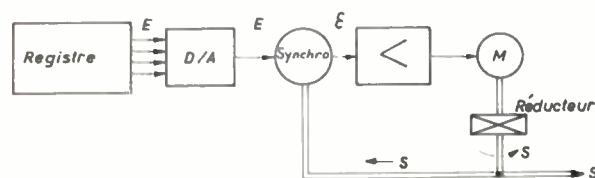


FIG. 8 — Asservissement « bouclé en analogique » par synchro.

10.2.2.1. Asservissement bouclé en « digital »

Dans cette solution (fig. 6), le moteur entraîne à travers un réducteur à engrenages approprié, un codeur analogique-digital. Ce dernier délivre un nombre binaire, qui est soustrait de celui contenu dans le registre. La différence ε est transformée en « analogique » dans un convertisseur digital-analogique D/A (cf. paragraphe 10.2.1.) ; ce dernier n'a d'ailleurs pas besoin d'être très précis, puisqu'il travaille justement sur l'erreur ; c'est l'avantage de la solution.

Par contre, l'erreur ε est quantifiée avec un « quantum » égal au poids du digit le moins significatif ; l'asservissement est donc difficile à stabiliser.

Si la différence binaire $\varepsilon = S - E$ est calculée en « parallèle », le matériel est volumineux.

Si la différence binaire entre S et E est effectuée en « série », le matériel est plus simple, mais l'erreur de l'asservissement est, non seulement quantifiée, mais aussi échantillonnée, c'est-à-dire que la valeur n'en est correcte qu'à des instants déterminés. Cet échantillonnage, dont la fréquence dépend du temps de calcul de ε , complique encore évidemment le problème de stabilisation de l'asservissement.

Remarque : Si, compte tenu de la précision recherchée, on est amené à utiliser 2 (ou 3) codeurs tournant à 2 (ou 3) échelles différentes, il faut prendre garde à bien « synchroniser » entre elles les informations issues de ces codeurs ; sinon, pour certaines positions relatives des codeurs, ceux-ci pourraient délivrer un nombre binaire tout à fait incorrect ; ceci est un peu l'équivalent du problème que pose la lecture non ambiguë d'un codeur binaire pur, mais extrapolé à plusieurs machines (il faut considérer le jeu et l'erreur des engrenages)

10.2.2.2. Asservissement bouclé en « analogique »

Dans ce cas, l'asservissement est classique, car l'erreur n'est ni quantifiée, ni échantillonnée, et la stabilisation ne pose pas de problèmes particuliers : l'erreur est correctement définie en permanence.

Si la rotation de l'asservissement n'est pas continue, mais varie de 0 à un maximum (cas de l'altitude d'un avion par exemple) et si la précision désirée est, au mieux, de l'ordre du millième (10 à 11 digits) le problème est simple à résoudre : on décode comme indiqué au paragraphe. 10.2.1. ; la tension ainsi obtenue est recopiée par un asservissement dont la boucle est fermée par un potentiomètre (fig. 7).

Si la rotation d'arbre est continue et peut prendre n'importe quelle valeur de 0 à 360° (cas du cap d'un

avion par exemple) la solution du potentiomètre — qui a une zone morte — ne convient plus.

Nous avons réalisé des asservissements qui utilisent des potentiomètres à bobinage continu, alimentés en 4 points à $\pi/2$ (on peut utiliser un potentiomètre en dégrossissage, un autre en précision si nécessaire). Cette solution nécessite l'adoption d'un schéma assez complexe.

Dans ce cas, pour fermer la boucle des asservissements, nous utilisons des résolveurs.

Pour mieux faire comprendre le fonctionnement du système, nous reprendrons depuis le début l'idée qui nous a amenés à sa conception.

Considérons un asservissement à synchro-détecteur SD (fig. 9). A chaque angle d'entrée E , affiché sur le synchro-transmetteur T.S correspondant 3 tensions appliquées au stator du synchro-détecteur. Si, pour le nombre binaire relatif à l'angle E , on peut réaliser un « circuit logique » tel qu'on ait sur le stator du synchro-détecteur les mêmes tensions que celles délivrées par le synchro-transmetteur pour ce même angle E , on aura résolu le problème.

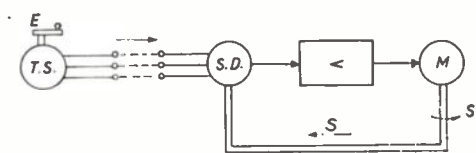


FIG 9 — Asservissement à synchro.

En cherchant à établir ce circuit logique (l'Algèbre de BOOLE facilite beaucoup ce travail) on arrive rapidement à la conclusion qu'il ne faut pas utiliser une machine triphasée comme l'est un synchro-détecteur, mais une machine biphasée, appelée résolveur (R).

Si nous considérons l'effet que doit produire sur l'asservissement le passage de 0 à 1 (ou vice versa) de chacun des digits, nous constatons que :

— pour le digit le plus significatif (N° 1), l'asservissement doit tourner de 180° ; ce digit doit donc agir sur le sens de la tension de référence (fig. 11).

— pour le digit N° 2, l'asservissement doit tourner de 90° ; ce digit doit donc assurer la permutation entre elles des deux phases statoriques du résolveur.

Ainsi les deux premiers digits définissent le choix du cadran.

Les deux digits suivants doivent permettre de diviser le cadran ainsi choisi en quatre tranches de 22,5 degrés chacune ; pour cela, l'idéal serait d'appliquer aux entrées du résolveur les tensions U_x et U_y suivantes :

E (degrés)	U_x	U_y	$\frac{U_y}{U_x} = \text{tg } E$	ρ
0°	$U \sin 0^\circ = 0$	$U \cos 0^\circ = 1$	0	1
22,5°	$U \sin 22,5^\circ = 0,383 \, U$	$U \cos 22,5^\circ = 0,924 \, U$	0,414	1
45°	$U \sin 45^\circ = 0,707 \, U$	$U \cos 45^\circ = 0,707 \, U$	1	1
67,5°	$U \sin 67,5^\circ = 0,924 \, U$	$U \cos 67,5^\circ = 0,383 \, U$	2,414	1

Dans cette solution où :

$$U_x^2 + U_y^2 = U^2$$

la raideur ρ de l'asservissement, qui a pour valeur :

$$\rho = \frac{U_x^2 + U_y^2}{U}$$

est constante (égale à 1 pour toutes les valeurs de E) mais la commutation est complexe, puisqu'il faut un décodeur pour élaborer U_x , et un autre pour élaborer U_y .

Si, par contre, on peut réaliser :

$$U_x + U_y = 1$$

il suffira d'un seul décodeur pour U_x ;

U_y sera obtenu en prenant le complément de U_x à U (voir figure 10).

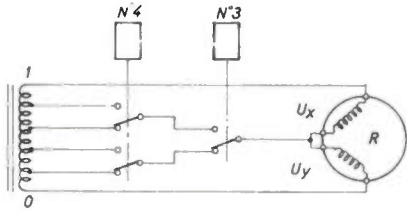


FIG. 10 — Décodage des digits n° 3 et n° 4

Il est évident qu'on doit conserver :

$$\frac{U_y}{U_x} = \text{tg } E$$

Nous obtenons alors, pour U_x et U_y les valeurs suivantes :

E (degrés)	U_x	U_y	$\frac{U_x}{U_y} = \text{tg } E$	ρ
0°	0	1	0	1
22,5°	0,293 U	0,707 U	0,414	0,765
45°	0,5 U	0,5 U	1	0,707
67,5°	0,707 U	0,293 U	2,414	0,765

Ici la raideur ρ de l'asservissement n'est plus constante, mais varie au total de 3 dB, ce qui ne gêne aucunement le fonctionnement de ce genre d'asservissement.

Le schéma relatif à la commutation des 4 premiers digits est donné figure 11.

Le 5^e digit doit nous permettre de diviser l'intervalle de 22,5 degrés en 2 tranches, le 6^e en 4 tranches, le 7^e en 8 tranches, etc.

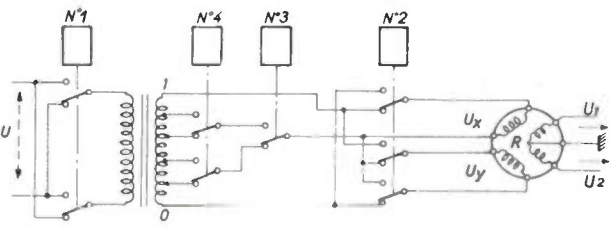


FIG. 11 — Décodage des digits n° 1 à n° 4

Mais pour éviter d'avoir un trop grand nombre de prises au transformateur, donc un grand nombre de contacts, nous avons préféré utiliser les digits N° 5 et suivants pour effectuer une interpolation à partir des tensions rotoriques du résolveur ; pour cela, nous employons un décodeur à résistances, comme on peut le voir à la figure 12.

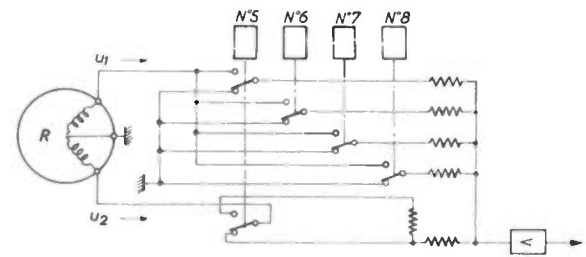


FIG. 12 — Décodage des digits n° 5 et suivants

Le schéma complet de l'asservissement est donné figure 13.

Remarque : Nous avons vu que dans ce type d'asservissement, le résolveur était l'équivalent d'un synchro-détecteur. Nous pouvons donc, là aussi, et en utilisant les schémas de commutation classiques entre machines,

prévoir, si nécessaire, 2 ou 3 échelles afin d'améliorer la finesse et la précision du système.

Ainsi, dans nos matériels, nous utilisons :

- 1 résolveur jusqu'à 9 digits (soit 42')
- 2 résolveurs de 10 à 15 digits (soit 21' à 40")
- 3 résolveurs de 16 à 21 digits (soit 20" à 0,6").

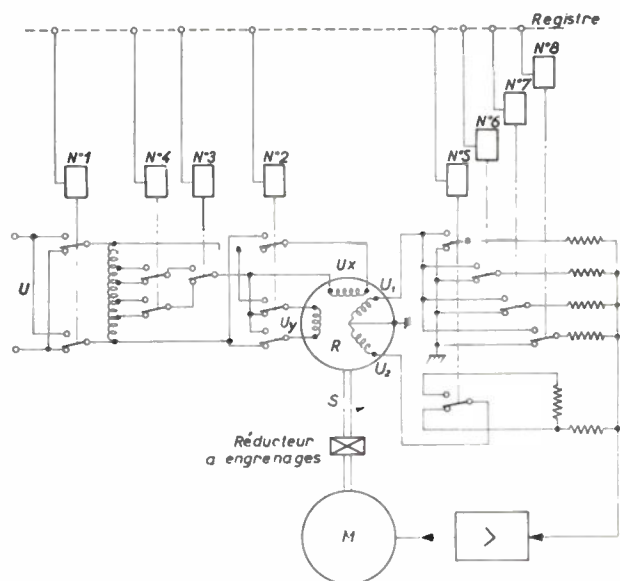


FIG. 13 — Schéma de l'asservissement digital/analogique

11. — Exemple de réalisation

Pour conclure, nous allons donner un aperçu sur la réalisation d'un matériel du type décrit précédemment :

Il s'agit d'une liaison sol-air qui permet essentiellement :

a) de transmettre des ordres au pilote d'un avion (cap, angle de montée, vitesse...).

b) de télécommander directement du sol l'antenne du radar de bord pour la diriger dans une direction déterminée et cela, sans l'intervention du pilote.

Sur un seul canal radio-électrique (UHF), les messages sont envoyés en séquence les uns à la suite des autres, d'abord pour l'avion A, puis pour l'avion B, puis pour l'avion C, etc. puis de nouveau pour l'avion A, puis pour l'avion B, et ainsi de suite.

Comme nous l'avons expliqué plus haut, chaque avion reçoit son message à l'exclusion de tout autre puis, si les contrôles de parité sont reconnus bons, l'enregistre et le décode.



FIG. 14 — Partie sol

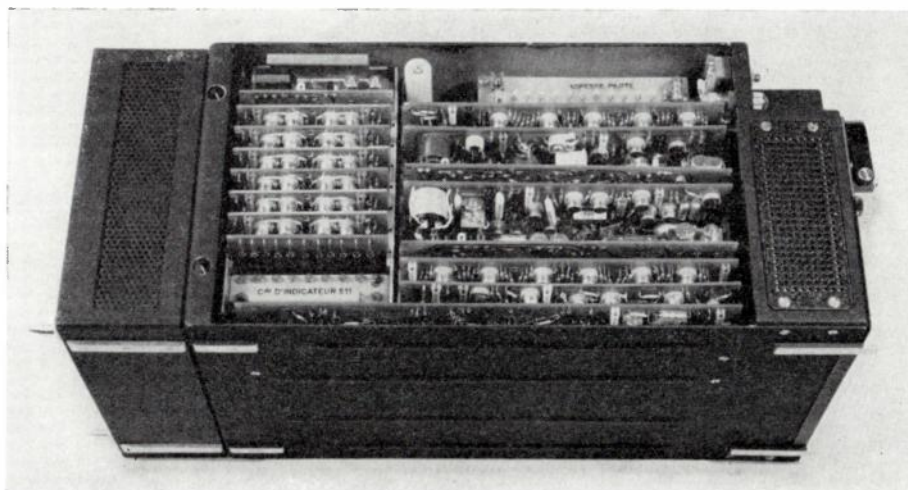


FIG. 15 — Partie bord

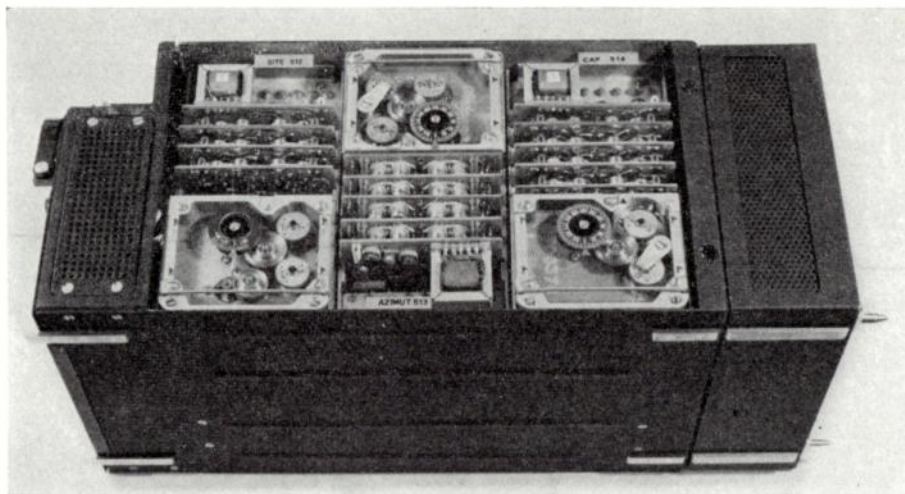


FIG. 16 — Partie bord

La figure 14 représente la partie sol ou « codeur » (au centre de la photo) et 3 des pupitres qui permettent de communiquer chacun avec un avion (ces pupitres peuvent être remplacés par un calculateur).

Les figures 15 et 16 représentent respectivement les deux faces du matériel de bord (capots ouverts).

On remarquera la construction modulaire qui permet une maintenance très aisée. D'ailleurs, l'expérience montre que dans ce genre de matériel, où la plupart des transistors fonctionnent par tout ou rien (saturés-bloqués) l'entretien est réduit au minimum.

Remarque : Si cela avait été nécessaire, ce dispositif de transmission d'informations aurait pu aisément être complété de façon à ce que chaque avion, dès réception de son message, puisse répondre automatiquement en transmettant à son tour des informations telles que :

vitesse
cap
altitude

réserve de carburant
position
etc.

12. — Conclusion

Ce tour rapide d'horizon aura permis de montrer, nous l'espérons, la souplesse et les possibilités multiples de ces systèmes de Transmission d'Informations codées ou digitales, dont les qualités devraient expliquer la vogue croissante.

Mais, en toute justice, il faut reconnaître que les transistors ne sont sûrement pas totalement étrangers à ce succès

En effet, de par leur taille et leurs caractéristiques, ils ont permis de construire de petits matériels, légers, robustes, sûrs, et ne consommant qu'une très faible puissance.

Nous ne voudrions pas terminer sans adresser nos remerciements au S.T.T.A. qui a bien voulu nous confier cette étude, et nous éclairer de ses précieux conseils pendant nos travaux.

LES CODES CAPABLES D'ASSURER UNE SÉCURITÉ CONTRE LES ERREURS DANS LA TRANSMISSION DE DONNÉES

PAR

F. CORR ET E. GOROG

Compagnie IBM - France

1. — Application des codes à la structure des erreurs

Pour un système classique de transmission de données binaires utilisant un réseau à commutation, l'ordre de grandeur du taux moyen d'erreurs, dues aux perturbations de la ligne, est compris, en général entre 10^{-4} et 10^{-5} .

Lorsque la ligne de transmission est utilisée comme moyen d'entrée-sortie d'un ordinateur quelconque ce taux d'erreurs est inacceptable tel quel. Une sélection suffisamment astucieuse de codes correcteurs d'erreurs et de codes détecteurs d'erreurs peut assurer la sécurité requise par de tels systèmes.

Ces erreurs n'interviennent pas de façon indépendante au cours de la transmission mais se présentent plutôt sous forme de petits groupes d'erreurs ou paquets d'erreurs. Afin d'avoir des notions plus nettes sur la structure statistique des erreurs, une série de tests a été faite sur des lignes de transmission réelles.

Après avoir choisi les codes les plus appropriés à corriger et à détecter ces modèles d'erreurs, leur efficacité a été analysée.

Notre étude comportera donc :

— La description statistique des modèles d'erreurs prédominantes.

— La sélection des meilleurs codes propres à la correction et à la détection de ces modèles d'erreurs.

— Les essais sur des codes choisis qui établissent, de façon précise, leur efficacité réelle.

2. — Conditions dans lesquelles les tests sont réalisés

Une description quantitative des modèles d'erreurs est donnée grâce à des tests correspondants à peu près à 300 heures de transmission continue de données binaires.

13 connections différentes du réseau à commutation sont utilisées et la vitesse de transmission est de 1 200 bauds. Un système à modulation de phase est employé dont le niveau de transmission est 1 milliwatt.

Chaque message envoyé comprend la même séquence de 240 digits binaires. Les tests sont réalisés de telle sorte que le processus ordinaire d'une machine de gestion quelconque est conservé, à savoir : détection puis retransmission des messages erronés.

La position de chaque erreur dans chaque message est notée et l'ensemble de ces données, mises sous forme de cartes perforées, est analysé par un ordinateur 7090.

3. — Structure des erreurs

Un simple coup d'œil sur la liste des erreurs permet de constater, sans ambiguïté, que leur répartition fait apparaître des erreurs groupées.

Afin d'étudier quantitativement ce phénomène un paquet d'erreurs est défini de la façon suivante :

— 2 séquences en erreurs correspondent à des paquets séparés s'il existe au moins entre ces deux séquences 10 digits binaires consécutifs non erronés.

— pour une séquence d'erreurs correspondant à un seul paquet, la largeur du paquet d est le nombre de positions binaires qui constituent cette séquence.

La figure 1 donne la distribution des paquets d'erreurs en fonction de leur largeur et concerne la ligne n° 1.

Cette distribution est géométrique sauf pour les paquets de largeur 1 (erreurs isolées) qui apparaissent en grand nombre.

Une telle distribution peut être décrite par l'expression suivante :

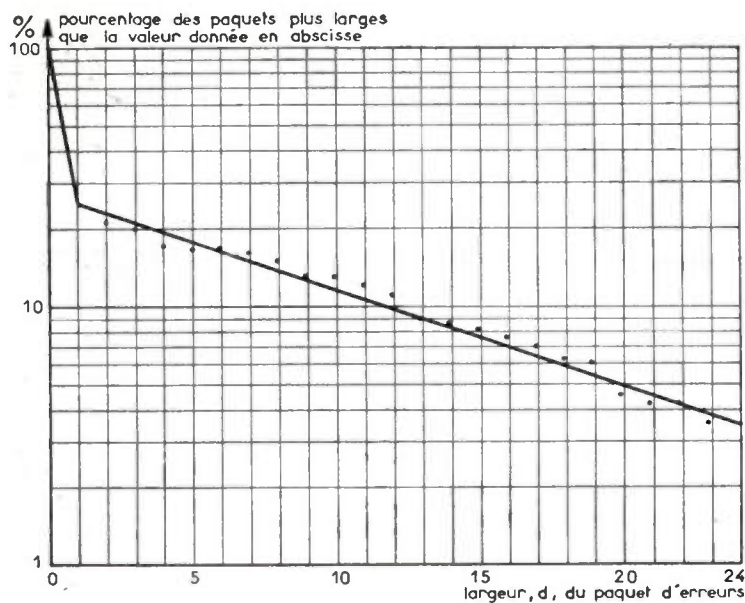


FIG. 1. — Répartition des paquets en fonction de leur longueur pour la ligne numéro 1.

$$F = K_1 K_2^{-b} + \left(1 - \frac{K_1}{K_2}\right) \delta_{1b} \tag{1}$$

où F est le rapport du nombre de paquets de largeur supérieure ou égale à b sur le nombre de tous les paquets d'erreurs.

$$\delta_{1b} = \begin{matrix} 1 & \text{si } b = 1 \\ 0 & \text{si } b \neq 1 \end{matrix}$$

Toutes les lignes n'ont pas une distribution aussi nette que celles de la ligne n° 1 mais l'expression (1) reste une très bonne approximation de leur distribution.

Pour chaque ligne testée les valeurs correspondantes K_1 et K_2 sont notées dans le tableau 1.

TABLEAU 1

ESTIMATIONS DES PARAMÈTRES DES PAQUETS

LIGNE	K_1	K_2
1	0,30	1,10
2	0,14	1,11
3	0,15	1,10
4	0,22	1,42
5	0,23	1,20
6	0,21	1,13
7	0,11	1,12
8	0,15	1,13
9	0,33	1,15
10	0,07	1,11
11	0,32	1,16
12	0,23	1,11
13	0,16	1,08

La distribution des erreurs à l'intérieur d'un paquet est donnée par la figure 2 pour la ligne n° 2 prise comme exemple ; on constate qu'un paquet d'erreurs, intervenant pendant la transmission, peut être considéré comme une période pendant laquelle la probabilité pour chaque digit binaire d'être en erreur est légèrement inférieure à $\frac{1}{2}$.

Une étude de la longueur des intervalles qui séparent 2 paquets d'erreurs quelconques montre que ces paquets ne sont pas indépendants et que les erreurs tendent à se produire sous forme de groupes de paquets d'erreurs.

Ce dernier phénomène est particulièrement explicite dans les résultats du tableau 2 qui concerne le nombre

TABLEAU 2

NOMBRE MOYEN DE PAQUETS D'ERREURS PAR MESSAGE ERRONÉ

LIGNE	Nombre moyen de paquets d'erreurs par message erroné	Moyenne théorique lorsque les paquets d'erreurs sont supposés indépendants
1	1,14	1,00 +
2	1,07	1,00 +
3	1,03	1,00 +
4	1,11	1,00 +
5	1,13	1,00 +
6	1,11	1,00 +
7	1,10	1,00 +
8	1,07	1,00 +
9	1,09	1,00 +
10	1,08	1,00 +
11	1,48	1,00 +
12	1,19	1,00 +
13	1,10	1,00 +

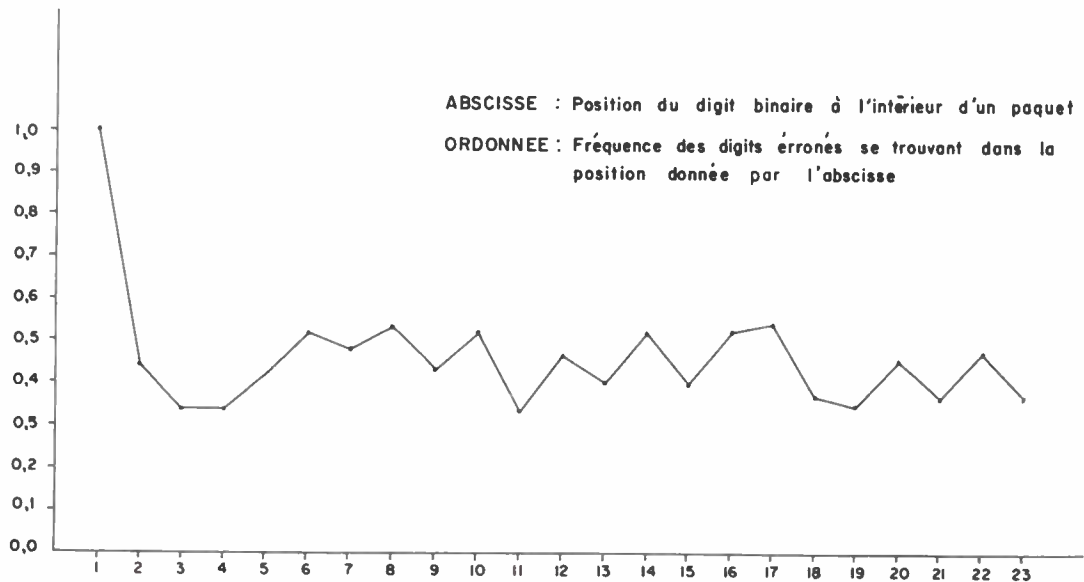


FIG. 2. — Rapport des erreurs en fonction de leur position à l'intérieur d'un paquet pour la ligne numéro 2.

moyen de paquets par message erroné : ce nombre est toujours légèrement plus grand qu'il ne devrait l'être dans l'hypothèse des paquets d'erreurs indépendants.

4. — Le choix des codes pour la correction d'un paquet d'erreurs

La grande proportion des messages erronés dont les erreurs forment un seul paquet suggère l'utilisation d'un code correcteur d'un paquet d'erreurs. De plus, l'existence de certaines techniques permettant la réalisation pratique des codes cycliques, nous conduit à étudier, pour la correction d'un paquet d'erreurs, la famille des codes cycliques. Le coût de réalisation de

ces codes n'est pas négligeable mais leur capacité est souvent telle qu'une utilisation pratique est parfaitement concevable.

Les propriétés d'un code cyclique dépendent essentiellement de leur polynôme générateur.

Dans le choix de ces polynômes pour la correction d'un paquet d'erreurs, des contributions significatives furent apportées par FIRE [5], MELAS [11], ZETTERBERG [15], ELSPAS and SHORT [4]. Dans un même ordre d'idée d'autres classes de codes, de formations totalement différentes, peuvent être décrites [9] mais une étude plus générale a été entreprise [8].

Utilisant une théorie de la structure cyclique et

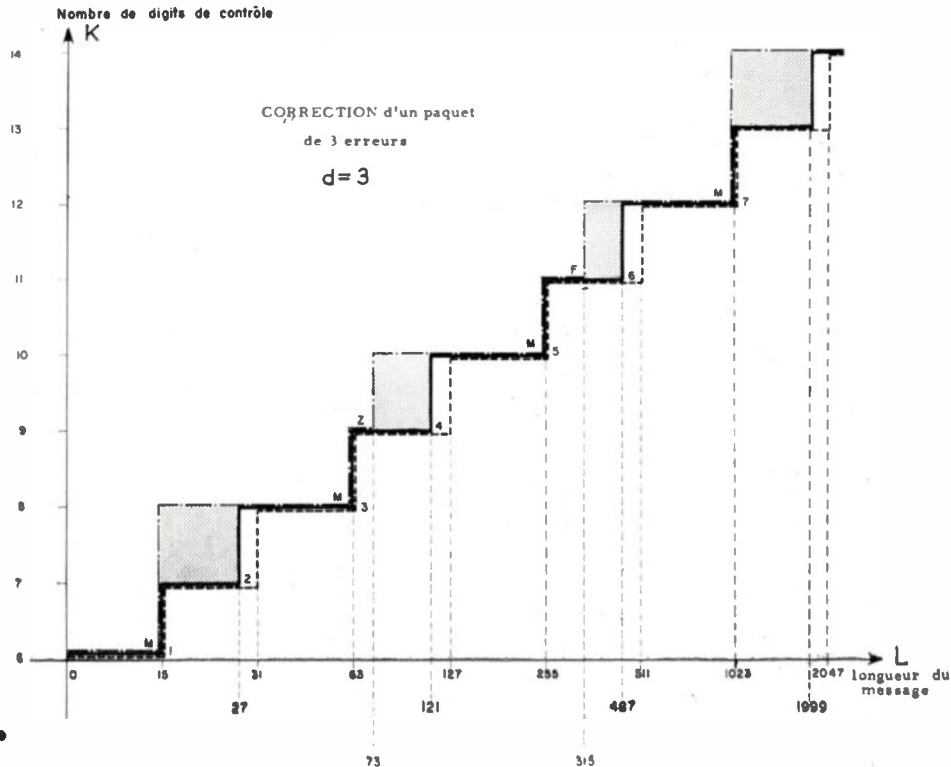


FIG. 3. — Comparaison de codes cycliques ($M = 1, d = 3$).

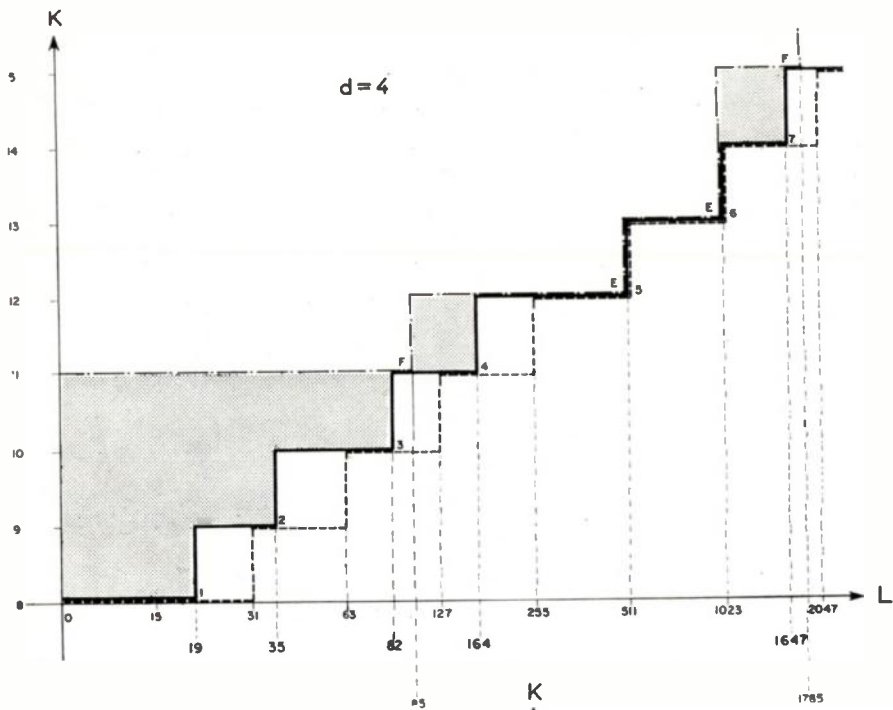


FIG. 4. — Comparaison de codes cycliques ($M = 1, d = 4$).

FIG. 5. — Comparaison de codes cycliques ($M = 1, d = 5$).

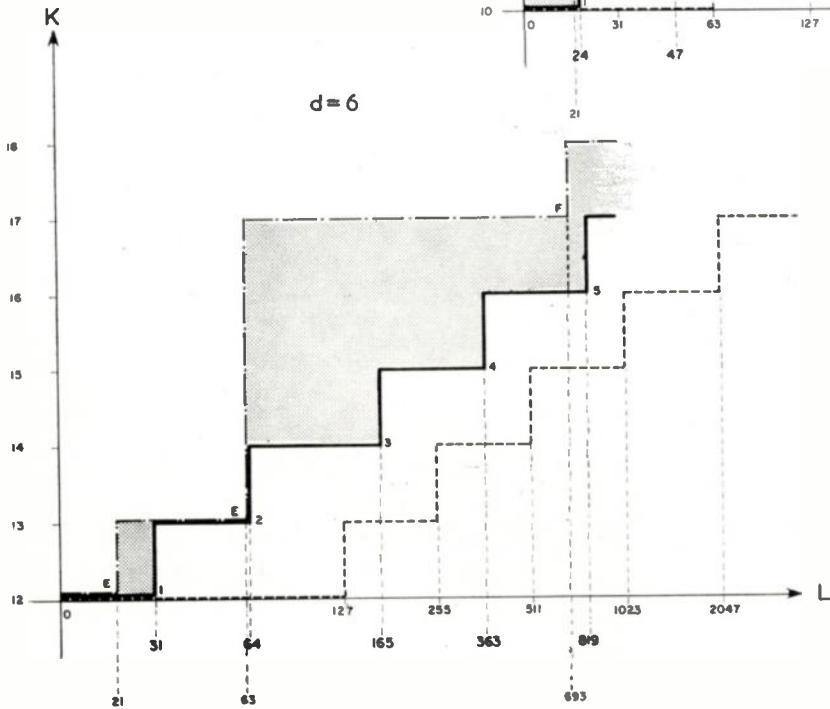
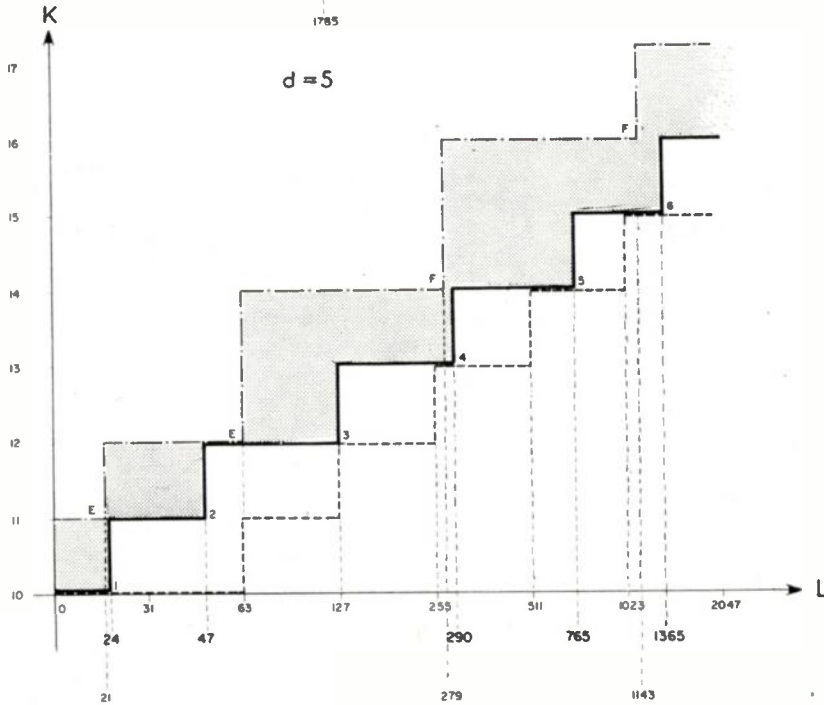
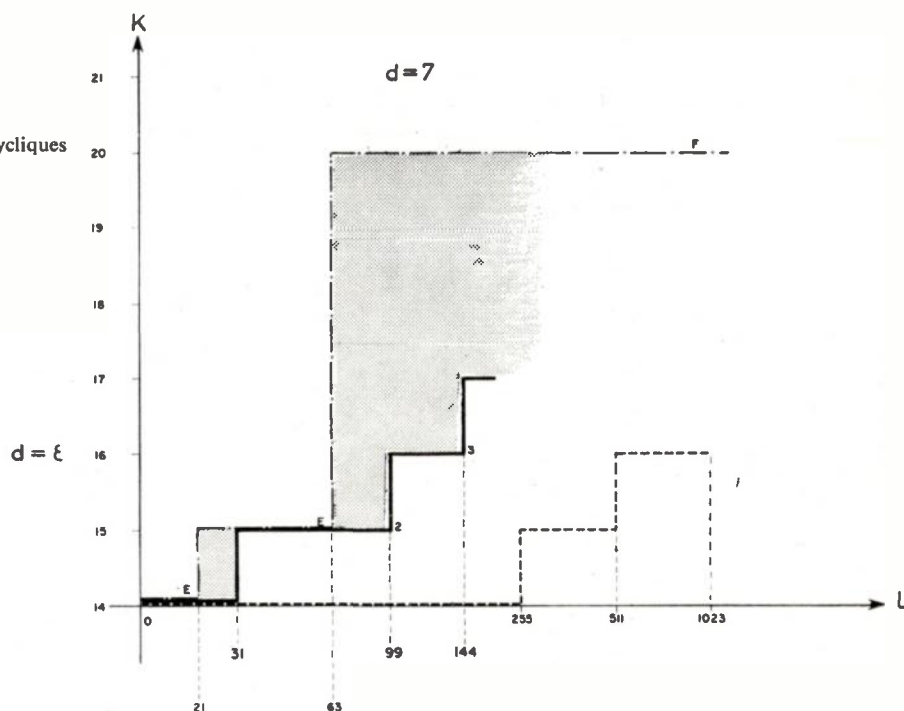
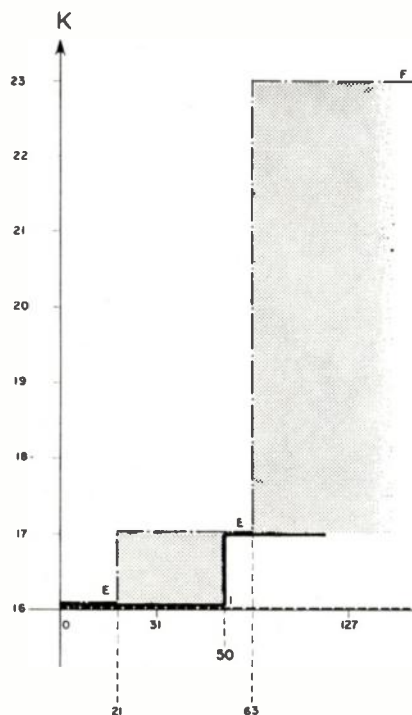


FIG. 6. — Comparaison de codes cycliques ($M = 1, d = 6$).

FIG. 7. — Comparaison de codes cycliques
($M = 1, d = 7$).FIG. 8. — Comparaison de codes cycliques
($M = 1, d = 8$).

interne de tout polynôme l'étude permet l'application de cette théorie à la correction d'un paquet d'erreurs. Les calculs ont été réalisés grâce à un ordinateur IBM 7090.

La liste des polynômes ⁽¹⁾ qui figurent dans le tableau 3 représente le résultat de cette étude et les figures 3, 4, 5, 6, 7, 8 permettent de situer ces résultats obtenus par rapport aux résultats antérieurs et par rapport aux limites de capacité de tout code.

Pour une largeur de paquet d'erreurs donnée d et pour une longueur de message donnée L , les polynômes du tableau 3 représentent les meilleurs codes cycliques existants capables de corriger un paquet de d erreurs (ou moins de d erreurs) dans un message de longueur L .

Ces codes nécessitent K digits binaires de contrôle. Ils sont les meilleurs car il n'existe aucun code cyclique, utilisant moins de K digits binaires de contrôle, capable de corriger un paquet de d erreurs dans un message de longueur L .

L'information proprement dite est contenue dans $L - K$ positions du message.

Tout code correspondant à un couple (d, L) est naturellement valable pour un couple (d, L') avec $L' \leq L$.

(1) Les polynômes sont notés de la façon suivante : $x^7 + x^4 + x + 1$ est représenté par (7, 4, 1, 0).

S'il n'est pas valable pour (d, L') avec $L' > L$, nous appelons L la « longueur véritable » du code.

Parmi tous les codes équivalents qui ont même degré et même « longueur véritable » pour une valeur de d donnée, nous présentons l'un de ceux dont le poids est minimal : c'est-à-dire dont la réalisation technique nécessite le minimum de logique. Ils sont notés 1, 2, 3,...

Lorsque, pour un code obtenu, 2 paquets différents de d erreurs ne correspondent jamais à 2 éléments appartenant à un même cycle, la structure est dite parfaitement cyclique du point de vue de l'erreur. Ces codes sont alors notés C .

La courbe — . . . — . . . — correspond aux meilleurs codes publiés, connus avant cette étude.

M est le code trouvé par MELAS

Z est le code trouvé par ZETTERBURG

F est le code trouvé par FIRE

E est le code trouvé par ELSPAS and SHORT.

La courbe ———— correspond aux meilleurs codes cycliques existants. Ils sont tous obtenus.

La courbe - - - - - est la limite théorique pour tout code.

TABLEAU 3
LES MEILLEURS CODES CYCLIQUES EXISTANTS CORRECTEURS D'UN PAQUET DE *d* ERREURS

<i>d</i>	Longueur véritable	n°	Code cyclique (<i>M</i> = 1)	
3	15	1	(6, 3, 2, 1, 0)	C
	27	2	(7, 4, 1, 0)	
	63	3	(8, 5, 2, 1, 0)	C
	121	4	(9, 6, 1, 0)	
	255	5	(10, 7, 4, 2, 0)	C
	487	6	(11, 9, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0)	
	1023	7	(12, 5, 4, 3, 0)	C
	1999	8	(13, 12, 11, 9, 8, 7, 6, 4, 3, 2, 0)	
4	19	1	(8, 6, 4, 1, 0)	
	35	2	(9, 6, 4, 3, 0)	
	82	3	(10, 7, 5, 3, 2, 0)	
	164	4	(11, 10, 7, 5, 3, 2, 0)	
	511	5	(12, 8, 5, 3, 0)	C
	1023	6	(13, 12, 6, 3, 1, 0)	C
	1647	7	(14, 13, 10, 9, 8, 6, 5, 4, 3, 0)	
5	24	1	(10, 7, 6, 5, 3, 2, 0)	
	47	2	(11, 9, 7, 5, 4, 3, 2, 1, 0)	
	127	3	(12, 11, 8, 7, 6, 3, 1, 0)	
	290	4	(13, 10, 7, 6, 5, 2, 0)	
	765	5	(14, 9, 8, 2, 0)	C
6	31	1	(12, 11, 9, 6, 5, 4, 3, 1, 0)	
	64	2	(13, 11, 8, 7, 6, 3, 1, 0)	
	165	3	(14, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 5, 3, 0)	
	363	4	(15, 14, 13, 12, 8, 7, 6, 5, 4, 2, 1, 0)	
	819	5	(16, 15, 14, 12, 11, 10, 9, 7, 4, 3, 2, 0)	C
7	31	1	(14, 11, 9, 8, 7, 3, 0)	
	99	2	(15, 11, 10, 9, 8, 4, 3, 0)	
	144	3	(16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 4, 2, 1, 0)	
8	50	1	(16, 13, 11, 8, 6, 4, 3, 0)	

Lorsque dans le graphique ces deux dernières courbes se rejoignent le code cyclique atteint l'optimalité.

La partie hachurée dans le graphique représente le gain sur ce qui était connu avant cette étude.

Remarque : Tout code correcteur peut être utilisé uniquement comme détecteur d'erreurs.

En particulier pour les codes du tableau 3 toute séquence d'erreurs, comprenant 2 paquets de *d* erreurs dans un message de longueur *L*, fait partie, notamment, de l'ensemble des erreurs détectées.

5. — Efficacité réelle d'un système utilisant des codes cycliques correcteurs d'un paquet d'erreurs

1° CORRECTION DES ERREURS

La figure 9 montre qu'un code peut, en corrigeant un paquet d'erreurs, réduire le taux des messages

erronés de 90 % à peu près. Ce taux décroît très lentement avec la largeur du paquet d'erreurs corrigé.

L'amélioration obtenue est nettement plus faible que celle prévue lorsque les paquets sont supposés indépendants et que la distribution de la largeur de ces paquets est celle du tableau 1. Le bénéfice apporté par les codes correcteurs d'un paquet d'erreurs est limité : le rapport du nombre de messages erronés non corrigés par rapport au nombre total de messages erronés reste de l'ordre de 1/10. Ceci correspond, pour le réseau à commutation étudiée, à un temps moyen de 15 minutes entre des messages erronés non corrigés.

2° DÉTECTION DES ERREURS

Il s'agit en fait d'une autre forme de correction qui consiste à détecter les erreurs par le code puis à retransmettre les messages erronés.

TABLEAU 4
EFFICACITÉ DES POLYNÔMES DE LA TABLE 3 DANS LA DÉTECTION DES ERREURS
($M = 1 \ d \geq 3$)

Code cyclique	Temps moyen entre des messages erronés non détectés
(6, 3, 2, 1, 0)	3 heures
(7, 4, 1, 0)	41 —
(8, 5, 2, 1, 0)	29 —
(9, 6, 1, 0)	> 287 —
(10, 7, 4, 2, 0)	> 287 —
(11, 9, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0)	> 287 —
(12, 5, 4, 3, 0)	> 287 —
(13, 12, 11, 9, 8, 7, 6, 4, 3, 2, 0)	> 287 —
(8, 6, 4, 1, 0)	143 —
(9, 6, 4, 3, 0)	143 —
(10, 7, 5, 3, 2, 0)	> 287 —
(11, 10, 7, 5, 3, 2, 0)	> 287 —
(12, 8, 5, 3, 0)	> 287 —
(13, 12, 6, 3, 1, 0)	> 287 —
(14, 13, 10, 9, 8, 6, 5, 4, 3, 0)	> 287 —
(10, 7, 6, 5, 3, 2, 0)	287 —
(11, 9, 7, 5, 4, 3, 2, 1, 0)	> 287 —
(12, 11, 8, 7, 6, 3, 1, 0)	> 287 —
(13, 10, 7, 6, 5, 2, 0)	> 287 —
(14, 9, 8, 2, 0)	> 287 —
(12, 11, 9, 6, 5, 4, 3, 1, 0)	58 —
(13, 11, 8, 7, 6, 3, 1, 0)	> 287 —
(14, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 5, 3, 0)	> 287 —
(15, 14, 13, 12, 8, 7, 6, 5, 4, 2, 1, 0)	> 287 —
(16, 15, 14, 12, 11, 10, 9, 7, 4, 3, 2, 0)	> 287 —
(14, 11, 9, 8, 7, 3, 0)	> 287 —
(15, 11, 10, 9, 8, 4, 3, 0)	> 287 —
(16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 4, 2, 1, 0)	> 287 —
(16, 13, 11, 8, 6, 4, 3, 0)	> 287 —

Les codes, représentés par les polynômes du tableau 3 ont été utilisés, uniquement, pour détecter les messages erronés. Les résultats de ce test apparaissent dans le tableau 4. Le signe > 287 indique que pendant les 287 heures de test toute erreur a été effectivement détectée par le code (en ce cas il n'y a pas d'erreur non détectée).

3° CORRECTION ET DÉTECTION DES ERREURS

Dans certains systèmes une bonne stratégie peut consister à corriger d'abord un paquet d'erreurs dans le message, puis à détecter un certain nombre d'erreurs de types différents. Ceci peut être réalisé soit par un seul code, soit par deux codes, l'un correcteur uniquement, l'autre détecteur.

6. — Efficacité d'un système utilisant d'autres types de codes

1° CORRECTION DES ERREURS

Puisque 10 % à peu près des messages erronés ne sont pas corrigés par les codes étudiés précédemment, envisageons à présent l'utilisation de codes corrigeant plusieurs erreurs séparées, ou même plusieurs paquets d'erreurs.

Les résultats d'un code capable de corriger un maximum de M paquets d'erreurs différents, chaque paquet ayant une largeur maximum de d erreurs, apparaissent dans le tableau 5.

— le cas spécial $M = 1 \ d \geq 1$ concerne le chapitre précédent.

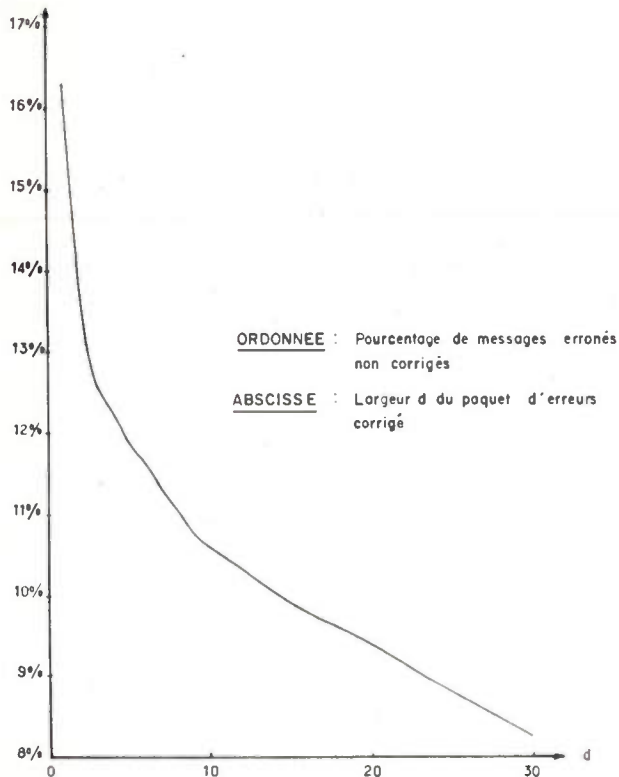


FIG. 9. — Efficacité d'un code corrigeant un paquet de d erreurs dans un message.

— la figure 10 correspond au cas $M \geq 1$ $d = 1$

Pour corriger 99 % des messages erronés il est nécessaire d'utiliser un code correcteur d'au moins 12 erreurs séparées. (K est de l'ordre de 80). Si l'on tient compte de la très grande complexité des machines corrigeant des erreurs multiples, comparée à celles corrigeant un paquet d'erreurs, l'amélioration relative obtenue ne justifierait probablement pas leur emploi en pratique.

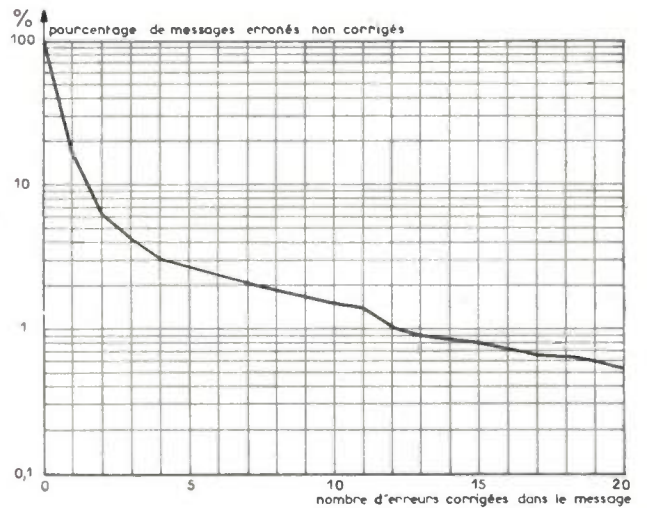


FIG. 10. — Efficacité d'un code corrigeant plusieurs erreurs dans un message.

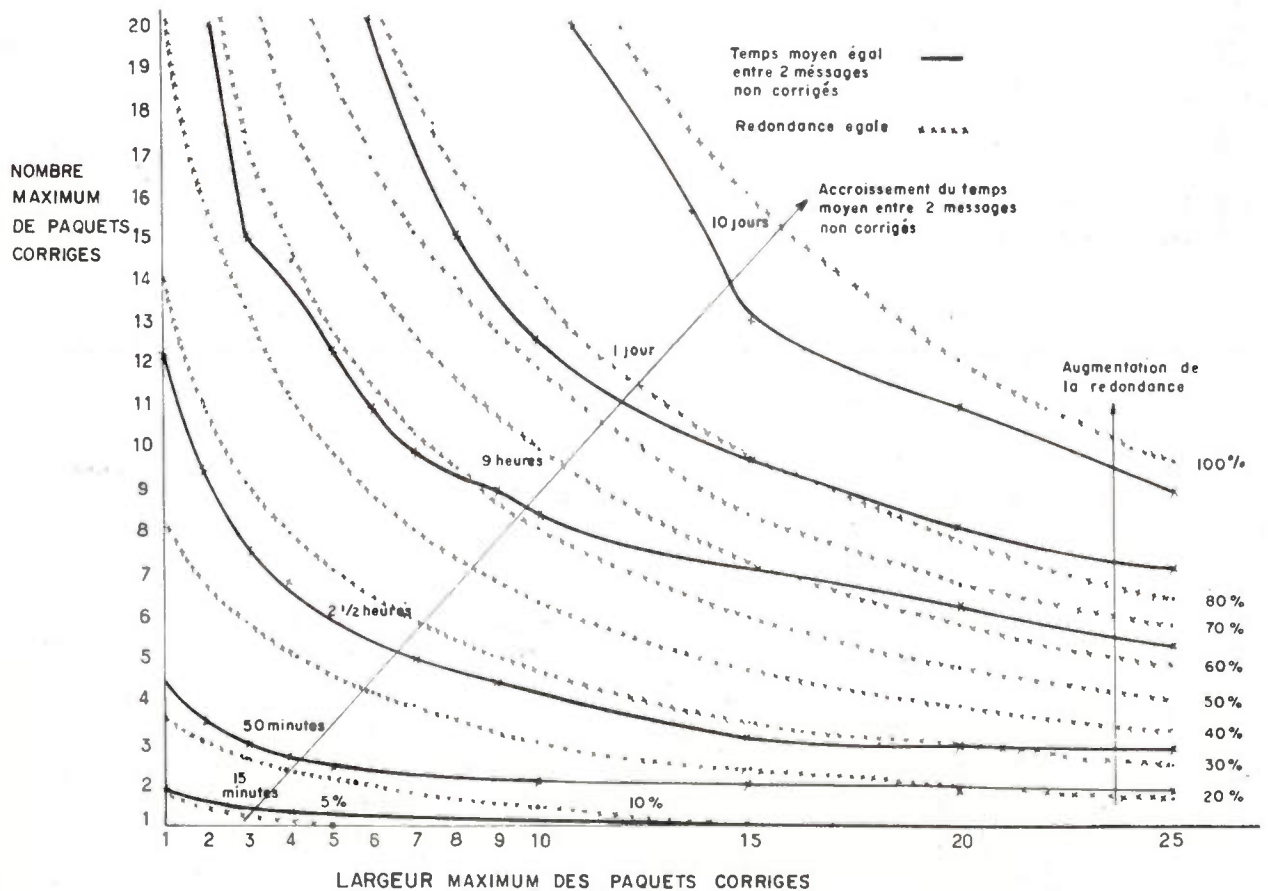


FIG. 11. — Comparaison de différents types de codes correcteurs d'erreurs.

TABEAU 5

POURCENTAGE DES MESSAGES NON-CORRIGÉS PAR UN CODE CAPABLE DE CORRIGER *M* PAQUETS D'ERREURS
DE LARGEUR MAXIMUM *d*

<i>d</i> \ <i>M</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
1	16,31	14,04	12,61	12,28	11,85	11,57	11,27	11,06	10,74	10,62	9,92	9,39	8,81	8,25
2	6,38	4,97	4,42	4,10	3,79	3,60	3,45	3,35	3,26	3,08	2,58	2,25	1,99	1,73
3	4,03	3,24	2,89	2,73	2,09	1,98	1,83	1,75	1,65	1,51	1,13	0,91	0,74	0,61
4	3,14	2,65	2,24	2,16	1,57	1,47	1,30	1,19	1,05	1,03	0,75	0,58	0,43	0,40
5	2,64	2,23	1,90	1,78	1,20	1,05	0,95	0,89	0,85	0,82	0,60	0,42	0,31	0,20
6	2,37	1,91	1,32	1,16	0,99	0,86	0,75	0,69	0,60	0,57	0,40	0,33	0,17	0,089
7	2,11	1,75	1,12	0,96	0,81	0,69	0,59	0,54	0,47	0,43	0,30	0,16	0,061	0,088
8	1,91	1,57	0,90	0,80	0,63	0,53	0,45	0,41	0,38	0,34	0,21	0,10	0,035	0
9	1,74	1,07	0,73	0,65	0,50	0,43	0,36	0,34	0,29	0,27	0,14	0,06	0	0
10	1,57	0,90	0,60	0,54	0,43	0,36	0,28	0,24	0,22	0,22	0,11	0,0088	0	0
11	1,46	0,80	0,52	0,45	0,37	0,31	0,25	0,21	0,17	0,16	0,061	0	0	0
12	1,03	0,71	0,45	0,44	0,32	0,24	0,18	0,16	0,13	0,11	0,026	0	0	0
13	0,92	0,60	0,38	0,37	0,27	0,21	0,15	0,12	0,10	0,088	0,0088	0	0	0
14	0,85	0,50	0,36	0,32	0,22	0,17	0,12	0,10	0,097	0,070	0	0	0	0
15	0,81	0,48	0,30	0,28	0,19	0,15	0,097	0,097	0,079	0,061	0	0	0	0
16	0,72	0,43	0,27	0,23	0,16	0,15	0,088	0,079	0,070	0,061	0	0	0	0
17	0,68	0,40	0,25	0,19	0,15	0,11	0,979	0,061	0,061	0,061	0	0	0	0
18	0,65	0,35	0,22	0,18	0,14	0,10	0,070	0,061	0,061	0,043	0	0	0	0
19	0,60	0,33	0,22	0,16	0,12	0,09	0,070	0,061	0,052	0,017	0	0	0	0
20	0,53	0,31	0,19	0,14	0,12	0,09	0,070	0,061	0,044	0,017	0	0	0	0

— Dans le cas général $M \geq 1, d \geq 1$ la redondance du message devient naturellement importante. Le nombre de positions *K* réservées aux digits de contrôle peut être approximativement borné par la formule suivante :

$$K \geq M (d - 1) + \log_2 C_M^{240}$$

Dans la figure 11 les lignes avec les croix sont obtenues grâce à cette approximation ; les lignes en trait plein représentent des points où le temps moyen entre des messages erronés non corrigés est le même ; elles sont dues aux analyses statistiques du tableau 5. La similitude qui existe entre ces différents types de trajectoire indique que, pour une valeur de *K* donnée, l'efficacité de correction ne varie pas beaucoup avec *M* et *d*. La seule exception est celle des codes $M = 1$ dont l'efficacité est légèrement plus faible lorsque *d* est grand.

Il est intéressant de noter que si l'on désire réduire le taux des messages erronés non corrigés à une par jour, 75 % des messages de 240 digits binaires doivent être des digits de contrôle.

2° DÉTECTION DES ERREURS

— Nous nous proposons tout d'abord de comparer la puissance de détection des codes cycliques du

tableau 4 avec les codes actuellement utilisés dans de nombreux systèmes.

Pour un simple contrôle de parité par caractère, le temps moyen *t* entre des caractères erronés non détectés est de 10 minutes. (Nous rappelons que ces caractères de 8 digits binaires comprennent 7 digits d'information et 1 digit de contrôle).

Lorsque le message est envoyé sous forme de bloc de 30 caractères (la longueur du message est alors 240 et $K = 30$) le code devient plus efficace : si l'un quelconque des 30 caractères contient une erreur détectée le message est retransmis et le temps moyen entre des messages erronés non détectés, est alors de 38 minutes.

Un contrôle longitudinal (*LRC*) est souvent employé dans des systèmes qui requièrent une protection plus grande. Ce code est équivalent au code cyclique le plus faible, à savoir

$$1 + x^n.$$

On constate que la loi empirique de ce code, suivie avec une régularité statistique remarquable est :

$$\bar{t} = \frac{K}{4} \text{ heures.}$$

L'efficacité de ces codes, qui augmente de façon arithmétique avec *K*, comparée à celle des codes les

plus puissants du tableau 4 qui augmente, elle, de façon géométrique montre la supériorité incontestable de ces derniers.

— La comparaison de la puissance de détection des codes du tableau 4 avec des codes correcteurs de M paquets de d erreurs est plus difficile à établir.

Parmi tous les types d'erreurs détectés par ces codes nous savons que $2 M$ paquets de d erreurs sont détectés si, et seulement si, la longueur véritable du code est supérieure ou égale à celle du message.

La méthode de FONTAINE et GALLAGER [6] permet, en utilisant le tableau 5, de montrer que dans la détection des erreurs l'efficacité de tous les codes de même redondance $M \geq 1, d \geq 1$ est sensiblement la même lorsque la condition sur la longueur du message est vérifiée.

La règle empirique $\bar{t} = 2^{K-1}$ heures est à peu près valable pour des grandes valeurs de K . Il n'est plus possible de tester directement cette formule lorsque K est supérieur à 9 car la durée des essais est limitée à 287 heures.

Il faut naturellement prendre beaucoup de précautions si on désire généraliser ce résultat pour des systèmes quelconques. En effet certaines conditions peuvent provoquer des types d'erreurs tels que coupure de ligne, perte de synchronisme, mauvaises interprétations des caractères de contrôle. Nous n'avons pas, dans notre étude, tenu compte de ces sources d'erreurs spéciales qui nécessitent un mécanisme supplémentaire de détection (indépendant en fait du code), mais, abstraction faite de ces phénomènes, pour un code cyclique suffisamment bien choisi, utilisant 21 chiffres binaires de contrôle, la valeur de $\bar{t}$ dépasse 1 million d'heures.

Dans les systèmes de transmission similaires à celui étudié la sécurité requise ne dépasse jamais celle d'un code cyclique suffisamment bien choisi de 15 digits binaires de contrôle.

Les longueurs de message optimales [14] peuvent être calculées et se situent pour un temps d'attente de 600 ms entre deux messages émis et pour les différentes lignes entre 4 000 et 10 000 digits binaires. Seuls les codes ($M = 1, d \geq 1$) ont alors à la fois une longueur véritable supérieure à celle du message et un nombre de digits de contrôle raisonnable.

Il arrive souvent qu'aucun code ($M \geq 1, d \geq 1$) n'ait une longueur véritable assez grande. Il est facile de constater alors la supériorité nette de la classe ($M = 1, d \geq 1$) sur la classe ($d = 1, M \geq 1$). Voir tableau 6.

Conclusions

1. Indépendamment de l'étude statistique sur les erreurs et sur l'efficacité de tel ou tel code, il est intéressant de noter que pour certaines valeurs du couple (L, d) les meilleurs codes cycliques, corrigeant un paquet de d erreurs dans un message de longueur L , n'atteignent pas l'optimalité théorique.

TABLEAU 6

EFFICACITÉ DE 3 POLYNOMES CORRESPONDANTS AUX CODES DE BOSE CHAUDHURI HOCQUENGHEIM. ($M = 2, d = 1$) DANS LA DÉTECTION DES ERREURS

Polynome	Longueur véritable en digits binaires	Temps moyen entre les messages erronés non détectés
8, 7, 5, 4, 3, 1, 0)	15	2,9 heures
(10, 9, 8, 6, 5, 3, 0)	31	24 heures
(12, 10, 8, 5, 4, 3, 0)	63	41 heures

2. La plupart des systèmes de transmission de données utilisent et continueront à utiliser des codes détecteurs d'erreurs ; après avoir détecté un message erroné celui-ci est retransmis.

3. Dans la détection des erreurs les codes cycliques offrent une protection quasi parfaite contre les erreurs non détectées.

Pour un code de 15 digits binaires de contrôle suffisamment bien choisi la valeur de $\bar{t}$ dépasse un an. Nous recommandons l'emploi des codes cycliques du tableau 3 qui indépendamment de leur propriété de correction donnent les meilleurs résultats à cet effet.

4. En général, dans les systèmes actuels de transmission de données, la correction d'erreurs seulement n'est pas conseillée pour assurer une sécurité suffisante et une détection d'erreurs semble indispensable.

Cependant il peut exister des systèmes qui utilisent une détection et une correction afin de réduire le nombre des transmissions.

Pour la plupart des systèmes utilisant un réseau à commutation cette dernière technique mentionnée est économiquement difficilement justifiable malgré un accroissement relatif d'efficacité.

5. Il est facile d'imaginer des systèmes de transmission de données qui dans le futur nécessiteront un code correcteur d'erreurs. Dès à présent on trouve certains systèmes où la retransmission n'est pas possible.

Dans cet ordre d'idée la correction de plusieurs erreurs est légèrement plus efficace que la correction d'un paquet d'erreurs mais la complexité de l'équipement de la première solution entraîne une réalisation incomparablement plus coûteuse que celle de la seconde solution.

6. On doit évidemment prendre un certain nombre de précautions pour généraliser les résultats obtenus.

Les tests sont réalisés sur un réseau à commutation, les messages ont 240 digits binaires et la transmission est faite par modulation de phase. Cependant

FONTAINE et GALLAGER [6] ont fait une étude statistique sur des lignes non commutées avec des équipements modulateurs totalement différents. Plusieurs de leurs résultats sont numériquement proches de ceux obtenus et présentés dans les tableaux et figures ci-joints.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ABRAMSON N. — A Class of Systematic Codes for non-independent Errors. — *Trans. PGIT IRE*, IT-5, 150 (1959).
- [2] BOSE R. and RAY-CHAUDHURI. — On a class of error-correcting binary group codes. *Inf. and Cont.*, 3, (1960).
- [3] ELSPAS B. — The theory of autonomous linear sequential networks. *Trans. PGCT IRE*, CT-6, 1, (1959).
- [4] ELSPAS B. and SHORT R. — A note on Optimum Burst-Error Correcting Codes. — *Trans. IRE PGIT*, IT-8, 1, (Jan. 1962).
- [5] FIRE P. — A class of multiple error correcting binary codes for non-independent errors. Stanford Electronics Laboratories (1959).
- [6] FONTAINE A. and GALLAGER R. — Error statistics and coding for binary transmission over telephone circuits, *Proc. IRE*, 49, 6 (1961).
- [7] GOROG. — Les codes cycliques détecteurs et correcteurs. — Communication au second congrès de l'AFCALT1, Paris, (Oct. 1961).
- [8] GOROG. — Les meilleurs codes cycliques correcteurs d'un paquet d'erreurs dans un message de longueur donnée, présenté au congrès de l'IFIP à Munich, (1962).
- [9] GOROG. — Some new classes of cyclic codes used for burst error correction, *IBM Journal* 4 (1963)
- [10] HOCQUENGEN A. — Codes correcteurs d'erreurs, *Chiffres*, 3 (1959). !
- [11] MELAS M. — A new group of codes for correction of dependent errors in data transmission. *IBM journal of Research and Development*, 1, (1960).
- [12] PETERSON W. — Error correcting and error detecting codes. Wiley and Sons (1961).
- [13] PETERSON W. and BROWN D. — Cyclic codes for error detection, *Proc. IRE*, 1, (1961).
- [14] WOOD F. — Optimum block length for data transmission with error checking. *AIEE Comm. and Elec.*, 1, (1959).
- [15] ZETTERBERG L. — Cyclic codes from irreducible polynomials for correction of multiple errors, *Trans. PGIT IRE*, IT-8, 1, (1962).

LES CODES CYCLIQUES ET LES TRANSMISSIONS DE DONNÉES

PAR

S. FONTANES

Compagnie Française Thomson-Houston

1. — Généralités

1.1. DÉTECTION DES ERREURS

L'article qui précède a fait apparaître la nécessité, pour tout système de transmission de données, d'utiliser :

- un principe de modulation et de démodulation des informations adapté, le mieux possible, au milieu de transmission ;

- un codage convenable des informations permettant de détecter les erreurs et éventuellement de les corriger.

On notera que si la détection d'erreurs est généralement essentielle, la correction ne l'est pas et peut recevoir maintes solutions.

On peut en effet :

- *Savoir* seulement qu'un mot est faux sans préciser par quel digit. Dans ce cas l'organe utilisateur ne fera pas d'opération sur ce mot.

- *Demander que l'on répète immédiatement* le mot erroné avant de transmettre le suivant.

- *Demander qu'on le répète plus tard*, regroupé avec d'autres mots en fin de programme.

- *Corriger le mot sur place* à la réception sans demande de répétition.

Cette dernière exigence entraîne l'emploi de codes dits « auto-correcteurs ».

La détection d'erreurs, par contre, demande l'emploi de codes essentiellement différents dont l'ambition est de permettre de déceler une ou plusieurs fautes dans un même mot sans les identifier et sans en assurer la correction.

Il existe donc deux types de codes utiles à la transmission de données :

- les codes auto-correcteurs ;

- les codes de détection d'erreurs.

Ce dernier type de codes présente un intérêt particulier parce que, comme nous l'avons vu, la détection d'erreurs est à la fois préalable à la correction et plus essentielle. Par ailleurs, l'auto-correction exige un nombre de digits de redondance voisin du nombre de digits utiles et entraîne par conséquent une réduction très sensible de la vitesse de transmission et, par voie de conséquence, une augmentation du coût d'exploitation des liaisons de transmission de données. L'auto-correction est, en outre, très complexe et en définitive, elle n'a d'intérêt que dans des cas particuliers : nécessité de correction instantanée, absence de circuit de retour.

1.2. GÉNÉRALITÉS SUR LES CODES DE DÉTECTION D'ERREURS

Les codes de détection d'erreurs consistent tous dans l'introduction d'un certain nombre de digits supplémentaires dits de redondance dans un mot ou un caractère. Dans certains cas, les digits utiles sont transmis d'abord, les digits supplémentaires ensuite. Dans d'autres, le codage implique une transformation complexe de la suite des digits constituant un mot en une autre suite plus longue dans laquelle le mot utile n'est pas directement reconnaissable.

Dans tous les cas, ceci revient à introduire des éléments d'informations complémentaires sur le signal utile. Par exemple : en raisonnant sur des transmissions de nombres, ceci consistera à indiquer, outre la valeur du nombre, que celui-ci est pair ou multiple de 4, ou qu'il est de même parité que le précédent, etc.

A la réception, le décodage fournit le nombre utile et les indications complémentaires sur ce nombre dont on vérifie la cohérence.

On voit immédiatement que quelle que soit la

quantité d'informations supplémentaires données sur ce nombre, on n'est jamais absolument sûr d'identifier l'erreur. Même si, à la limite, ceci revient à identifier parfaitement le nombre dans la redondance ou encore à le répéter. Dans ce dernier cas, en effet, comme la même erreur peut encore se reproduire au même endroit, la détection d'erreurs ne peut pas être parfaite. Il n'y a donc pas théoriquement de codage qui permette une détection de 100 % des erreurs.

Un code sera seulement supérieur à un autre lorsqu'une probabilité d'erreurs résiduelles non détectées, pour un taux de redondance donné, (rapport du nombre de digits de redondance au nombre de digits utiles) sera moins élevée.

On pourrait penser caractériser la qualité d'un code de détection d'erreurs par le rapport de cette probabilité au taux de redondance ; les choses ne sont malheureusement pas si simples, car ce rapport dépend évidemment du taux d'erreurs brut produit par la ligne et il est également fonction du nombre de digits composant le mot sur lequel on effectue le codage. Néanmoins, ce rapport donne au moins une idée de la qualité d'un code.

L'étude des codes de détection d'erreurs a fait au cours des dernières années et fait à l'heure actuelle des progrès considérables très spécialement dans la famille des codes dits « cycliques », ainsi nommés parce que les caractères de ces codes peuvent se déduire les uns des autres par des permutations circulaires. Le but de l'étude suivante est de montrer les caractéristiques particulières de ces codes, et leur possibilité d'utilisation dans les équipements terminaux des systèmes de transmission de données.

2. — Les codes cycliques

2.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

La différence essentielle entre les codes cycliques et les autres codes est une différence de structure,

- dans la succession des vecteurs de code,
- dans la façon de grouper ces vecteurs de code.

Prenons, par exemple, tous les vecteurs non nuls d'un code à 3 moments et classons-les comme ci-dessous en colonnes :

1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0
0	0	1	0	1	1	1

Nous constatons que nous passons de l'une des lignes à une autre par un certain nombre de décalages de la ligne et en ramenant au fur et à mesure les symboles finaux au début de la ligne. La succession de ces termes peut être matérialisée sur des circuits qui donneront chacun des termes du code dans l'ordre indiqué.

On peut de même ne prendre qu'un certain nombre de vecteurs d'un code à n moments et les grouper de façon à les obtenir cycliquement.

Soit par exemple, un code à 4 moments dont nous avons groupé les termes dans l'ordre indiqué. Nous constaterons exactement le même phénomène :

1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1

La théorie de ces codes est donnée par l'Algèbre des polynômes dont on verra plus loin les principes nécessaires à la compréhension.

Les principaux avantages sont :

- permettre une détection de l'erreur avec une probabilité d'erreur non détectée plus adaptée aux moyens de transmission ;
- permettre une correction d'erreur pouvant s'appliquer :
 - à une erreur simple ou double (code de HAMMING).
 - à un groupe d'erreurs (BOSE CHANDHURI).
 - à une coupure (FIRE CODE).
- la réalisation des circuits :
 - codeur
 - détecteur d'erreur
 - correcteur d'erreur

est aisée et peut permettre une standardisation des éléments car elle n'utilise que deux sortes d'éléments différents.

2.2. NOTIONS SUCCINCTES SUR L'ALGÈBRE UTILISÉE

2.2.1. Vecteur de code et polynôme associé

Pour faire les différents calculs concernant les codes cycliques, il est plus commode, au lieu d'utiliser seulement l'Algèbre de BOOLE comme on le fait couramment dans les autres codes, de prendre une représentation plus adaptée qui facilitera la réalisation de codeurs-calculateurs d'erreur.

Pour ce faire, on attribue à chaque partie d'un vecteur de code (digit) une certaine puissance de X dans l'ordre croissant des puissances.

Exemple : le mot de code

fin du mot	1 0 1 1 0 1 1	début du mot
------------	---------------	--------------

pourra être remplacé par :

$$1 + X^2 + X^3 + X^5 + X^6$$

la puissance la plus grande étant attribuée au symbole de début du vecteur, la puissance nulle au symbole de fin.

Le polynôme caractérisant un mot de code de n digits à un degré égal à $n - 1$ et comporte n termes.

Les coefficients attribués à chacune des puissances de X correspondent à chacun des symboles. Ils ne peuvent avoir comme valeur que 0 ou 1.

Remarque. — On emploiera quelquefois le signe — dans un polynôme. Dans tous les cas, le signe + et le signe — auront le même sens.

2.2.2. Règles d'opérations

2.2.2.1. *Sur les coefficients.* Ce sont les règles appliquées en Arithmétique modulo 2, le résultat de toute opération ne pouvant donner que les 2 chiffres 0 ou 1. Elles sont régies par l'Algèbre de BOOLE. Ce sont :

$$\begin{array}{l} \text{— l'intersection} \\ \begin{array}{c|c} a & 0 & 1 \\ b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{array} \quad a \cdot b \\ \\ \text{— la réunion} \\ \begin{array}{c|c} a & 0 & 1 \\ b & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{array} \quad a \vee b \end{array}$$

Au moyen de ces deux opérations on peut déduire :

— l'addition Modulo 2

$$\begin{array}{c|c} a & 0 & 1 \\ b & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{array}$$

C'est l'addition binaire sans retenue dont l'opération logique peut s'écrire :

$$a + b = a \cdot \bar{b} \vee \bar{a} \cdot b$$

ou encore

$$a + b = (a \vee b) \cdot (\bar{a} \vee \bar{b})$$

Cette opération sera largement utilisée dans les codeurs à code cyclique.

— la multiplication correspond à l'opération d'intersection

$$a \times b = a \cdot b$$

— la division n'a de sens que lorsque $b = 1$ et elle correspond aussi à une intersection.

2.2.2.2. *Règles d'opérations.* Les règles appliquées aux Polynômes classiques se retrouvent pour ceux-ci. Ce sont :

— l'addition de polynômes où l'on additionne les coefficients des termes de même degré :

Exemple :

$$\begin{aligned} (1 + X^3 + X^5 + X^6) + (X + X^2 + X^3 + X^5 + X^6) \\ = 1 + X + X^2 \end{aligned}$$

— la multiplication des polynômes où l'on multiplie

terme à terme les coefficients et l'on additionne les exposants :

Exemple :

$$\begin{aligned} (1 + X + X^3)(1 + X^2 + X^4 + X^5) = \\ 1 + X + X^2 + X^4 + X^5 + X^6 + X^7 + X^8 \end{aligned}$$

— La division de polynômes

Elle est assimilable à la division des nombres en ce sens qu'il existe, comme dans la division des nombres, un quotient et un reste :

$$D(X) = d(X)q(X) + r(X)$$

Exemple :

$$\begin{array}{r} X^9 + X^8 + X^4 + 1 \quad | \quad X^3 + X + 1 \\ - X^9 - X^7 - X^6 \quad \quad X^6 + X^5 - X^4 \\ \hline X^8 - X^7 - X^6 + X^4 + 1 \\ - X^8 \quad \quad - X^6 - X^5 \\ \hline - X^7 - X^5 + X^4 + 1 \\ + X^7 + X^5 + X^4 \\ \hline 1 \end{array}$$

$$\text{Donc } q(X) = X^6 + X^5 - X^4$$

$$(r(X) = 1$$

$$\text{Degré de } q(X) = \text{Degré de } D(X) - \text{Degré de } d(X)$$

$$\text{Degré de } r(X) < \text{Degré de } q(X)$$

$$\text{Degré de } r(X) < \text{Degré de } d(X)$$

2.2.3. *Réalizations des diverses opérations.* L'addition et la soustraction étant deux opérations absolument identiques, elles seront réalisées exactement de la même façon, par un additionneur modulo 2, le degré de X étant caractérisé par l'instant où se fait l'addition.

2.2.3.1. Additionneur modulo 2 (fig. 1)

$$S = (a \cdot \bar{b}) \vee (\bar{a} \cdot b)$$

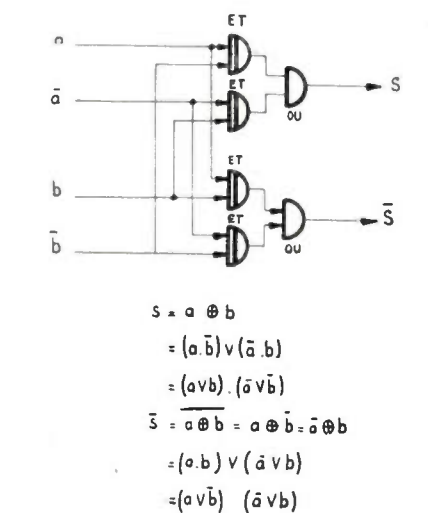
$$\bar{S} = (a \cdot b) \vee (\bar{a} \cdot \bar{b})$$

Comme on le voit, il n'est pas question de retenue.

2.2.3.2. *Multiplicateur de polynômes* (fig. 2). Le polynôme multiplicateur est caractérisé par un montage comportant des étages de registre à décalage et des additionneurs modulo 2.

Pour un polynôme multiplicateur :

$$\begin{aligned} h(X) = h_0 + h_1 X + h_2 X^2 + \dots + h_{r-1} X^{r-1} \\ + h_r X^r \end{aligned}$$



$$S = a \oplus b$$
$$= (a \cdot b) \vee (\bar{a} \cdot \bar{b})$$
$$= (a \vee b) \cdot (\bar{a} \vee \bar{b})$$
$$\bar{S} = a \oplus \bar{b} = a \oplus b = \bar{a} \oplus b$$
$$= (a \cdot b) \vee (\bar{a} \vee \bar{b})$$
$$= (a \vee \bar{b}) \cdot (\bar{a} \vee b)$$

NOTA : Un circuit analogue pourrait être obtenu avec :

- 4 portes OU
- 2 portes ET

Représentation $\oplus$

FIG. 1.

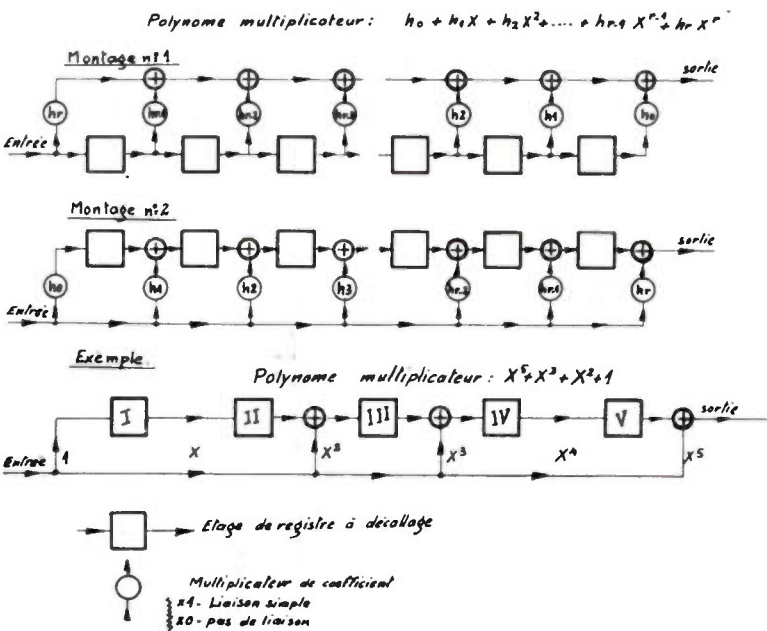


FIG. 2.

Les montages possibles sont représentés en figure 2.

Un exemple a été fait pour un polynôme multipli-

$$X^5 + X^3 + X^2 + 1$$

et un polynôme entrant :

$$1 + X + X^5 + X^6 + X^{10}$$

soit :

$$1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1$$

Nous obtenons bien :

$$(1 + X + X^5 + X^6 + X^{10})(1 + X^2 + X^3 + X^5)$$
$$= 1 + X + X^2 + X^4 + X^7 + X^9 + X^{11} + X^{12} +$$
$$X^{13} + X^{15}$$

Remarque : On peut faire des multiplieurs à plusieurs entrées, à condition de faire des additionneurs à plusieurs entrées.

2.2.3.3. Diviseur de polynômes (fig. 3). Ce sont les plus utilisés dans la génération des codes cycliques et dans le calcul de l'erreur.

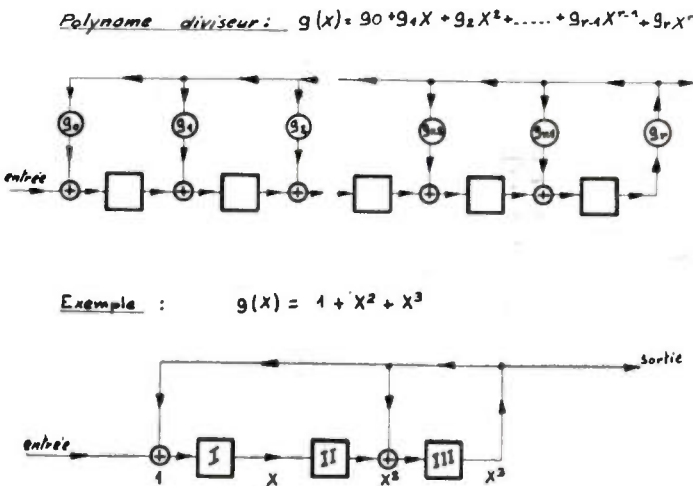


FIG. 3.

C'est l'inverse d'un multiplicateur.

Le diviseur est inscrit dans le montage de la figure 3.

$$g(X) = g_0 + g_1 X + \dots + g_r X^r$$

Un exemple a été fait pour un polynôme entrant :

$$1 + X + X^2 + X^4 + X^7 + X^9 + X^{11} + X^{13} + X^{15}$$

soit :

$$1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1$$

à diviser par $1 + X_2 + X_3$

Nous obtenons bien :

le résultat :

$$Q(X) = X + X^3 + X^5 + X^6 + X^{11} + X^{12}$$

et le reste :

$$r(X) = 1 + X^2$$

Remarque : C'est ainsi que sera constitué le calcul de l'erreur. Le vecteur de code d'un code cyclique devant être divisible (sans reste) par un certain polynôme $g(X)$, les étages sont dans la position 0 lorsque le mot de code est rentré.

2.2.4. Algèbre modulo un polynôme

Lorsqu'on parle d'Arithmétique modulo 2, on sous-entend que lorsqu'à la suite d'une opération quelconque on trouve le chiffre 2, on identifie ce chiffre à 0. En effet, les opérations de base de l'Arithmétique modulo 2 sont :

$$1 + 1 = 0 \quad 1 + 0 = 0 + 1 = 1 \quad 0 + 0 = 0$$

Dans l'Algèbre modulo un polynôme, lorsqu'à la suite d'une opération on trouvera ce polynôme, dans la transcription de ce polynôme en vecteur de code, on identifiera ce polynôme à 0 —

Les polynômes modulo les plus utilisés sont les polynômes de la forme :

$$X^n - 1$$

On peut démontrer que toutes les autres algèbres modulo un polynôme différent de $(X^n - 1)$ peuvent se ramener à l'une de ces algèbres et ne constituent que des sous-ensembles de ces algèbres de base, car étant donné un polynôme quelconque, on peut toujours trouver un polynôme de la forme $(X^n - 1)$ multiple de celui-là.

Pour matérialiser tout ceci, prenons un polynôme quelconque de degré $(n - 1)$.

$$f(X) = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_{n-1} X^{n-1}$$

Multiplions ce polynôme par X :

$$\begin{aligned} Xf(X) &= a_0 X + a_1 X^2 + \dots + a_{n-2} X^{n-1} \\ &+ a_{n-1} X^n = a_{n-1} + a_0 X + a_1 X^2 \\ &+ \dots + a_{n-2} X^{n-1} + a_{n-1} (X^n - 1) \end{aligned}$$

Le polynôme $f(X)$ correspond au vecteur de code :

$$(a_0 \quad a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_{n-2} \quad a_{n-1})$$

Le polynôme $Xf(X)$ correspondra au vecteur de code :

$$(a_{n-1} \quad \dots \quad a_{n-3} \quad a_{n-2})$$

On voit bien que la multiplication d'un polynôme par X dans l'algèbre des polynômes modulo $X^n - 1$ correspond à un simple décalage.

Remarque : En généralisant, tous les vecteurs d'un code pourront donc être déduits à partir d'un polynôme de degré $(n - 1)$ par multiplication de ce polynôme par n'importe quel polynôme.

2.2.5. Racine d'un polynôme. Généralisation de la notion de racine simple à celle d'un élément.

Si nous effectuons la division d'un polynôme $F(X)$ par un autre polynôme $d(X)$ de plus bas degré que $F(X)$, nous obtenons :

$$F(X) = d(X) q(X) + r(X)$$

Prenons par exemple un diviseur du 1^{er} degré :

$$(X - b)$$

dans lequel b peut être un élément quelconque :

$$F(X) = (X - b) q(X) + r$$

r a donc le degré 0.

Si nous remplaçons X par b , nous obtenons :

$r = F(b)$ résultat qui nous est familier, et $(X - b)$ est alors un facteur de $F(X)$ dans le cas où $F(b) = 0$.

Au lieu de donner à b l'une des deux valeurs 0 ou 1, nous pourrions réduire le polynôme $F(X)$ en facteurs du 1^{er} degré (même s'il est irréductible) en donnant à b la valeur d'un vecteur d'un code. Pour bien montrer les propriétés de ces racines, prenons un polynôme irréductible quelconque :

$$X^4 + X + 1 \quad \text{que nous allons diviser par } (X - b)$$

$$\begin{array}{r} X^4 + X + 1 \quad | \quad X - b \\ - X^4 + b + X^3 \quad | \\ \hline b X^3 + X + 1 \\ - b X^3 + b^2 X^2 \quad | \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 + b^2 X^2 + X + 1 \\
 - b^2 X^2 + b^3 X \\
 \hline
 (1 + b^3) X + 1 \\
 - (1 + b^3) X + b(1 + b^3) \\
 \hline
 1 + b(1 + b^3)
 \end{array}$$

Si nous assujettissons b à être un vecteur à 4 moments, l'on appellera élément du code, le vecteur d'ordre n de ce code pouvant être déduit de b en élevant celui-ci à la puissance n pour que, $X^4 + X + 1$ soit divisible par $X - b$, il faudra que nous ayons $b^4 + b + 1 = 0$

$$\begin{array}{lcl}
 \text{soit } b^4 = - (1 + b) = 1 + b \\
 b^0 \text{ s'écrit } (1000) \\
 \text{si } b \quad \gg (0100) \\
 b^2 \quad \gg (0010) \\
 b^3 \quad \gg (0001)
 \end{array}$$

la multiplication par b correspondant à 1 décalage simple, il faudra que :

$$b^4 = 1 + b = (1000) + (0100) = (1100)$$

On aura donc :

$$\begin{array}{lcl}
 b^5 = b + b^2 = (0110) \\
 b^6 = b^2 + b^3 = (0011) \\
 b^7 = b^3 + b^4 = 1 + b + b^3 = (1101) \\
 b^8 = b + b^2 + b^4 = 1 + b^2 = (1010) \\
 b^9 = b + b^3 = (0101) \\
 b^{10} = b^2 + b^4 = 1 + b + b^2 = (1110) \\
 b^{11} = b + b^2 + b^3 = (0111) \\
 b^{12} = b^2 + b^3 + b^4 = 1 + b + b^2 + b^3 = (1111) \\
 b^{13} = b + b^2 + b^3 + b^4 = 1 + b^2 + b^3 = (1011) \\
 b^{14} = b + b^3 + b^4 = 1 + b^3 = (1001) \\
 b^{15} = b + b^4 = 1 = (1000)
 \end{array}$$

Ceci correspond bien au remplacement de X par b dans laquelle :

$$b^4 + b + 1 = 0$$

Remplaçons maintenant successivement X par 1, b , b^2 ...

Remarque : b est un *élément primitif* car à partir de b et par multiplications successives par b , on reconstitue tous les vecteurs du code à 4 moments. Par contre b^3 n'est pas primitif.

$$\begin{array}{lcl}
 1 : & 1 + 1 + 1 = 1 & 1 \text{ n'est pas racine.} \\
 b & b^4 + b + 1 = 0 & b \text{ est racine} \\
 b^2 & b^8 + b^2 + 1 = 1 + b^2 + b^2 + 1 = 0 & b^2 \text{ est racine} \\
 b^3 & b^{12} + b^3 + 1 = 1 + b + b^2 + b^3 + b^3 + 1 = b + b^2 & b^3 \text{ n'est pas racine} \\
 b^4 & b^{16} + b^4 + 1 = 0 & b^4 \text{ est racine} \\
 b^5 & b^{20} + b^5 + 1 = 1 & b^5 \text{ n'est pas racine} \\
 b^6 & b^{24} + b^6 + 1 = b^9 + b^2 + b^3 + 1 \\
 & = b + b^3 + b^2 + b^3 + 1 \\
 & = 1 + b + b^2 + b^{10} & b^6 \text{ n'est pas racine} \\
 b^7 & b^{28} + b^7 + 1 = b + b^2 + 1 = b^{10} & b^7 \text{ n'est pas racine} \\
 b^8 & b^{32} + b^8 + 1 = b^2 + 1 + b^2 + 1 = 0 & b^8 \text{ est racine} \\
 b^9 & b^{36} + b^9 + 1 = b + b^2 + 1 = b^{10} & b^9 \text{ n'est pas racine} \\
 b^{10} & b^{40} + b^{10} + 1 = 1 & b^{10} \text{ n'est pas racine} \\
 b^{11} & b^{44} + b^{11} + 1 = b + b^2 = b^5 & b^{11} \text{ n'est pas racine} \\
 b^{12} & b^{48} + b^{12} + 1 = b + b^2 = b^5 & b^{12} \text{ n'est pas racine} \\
 b^{13} & b^{52} + b^{13} + 1 = 1 + b + b^2 = b^{10} & b^{13} \text{ n'est pas racine} \\
 b^{14} & b^{56} + b^{14} + 1 = b + b^2 = b^5 & b^{14} \text{ n'est pas racine}
 \end{array}$$

On voit que $X^4 + X + 1$ peut se mettre sous la forme =

$$(X - b)(X - b^2)(X - b^4)(X - b^8)$$

En effet, effectuons le produit :

$$\begin{array}{l}
 X^4 - X^3(b + b^2 + b^4 + b^8) \\
 + X^2(b^3 + b^5 + b^9 + b^6 + b^{10} + b^{12}) \\
 - X(b^7 + b^{11} + b^{13} + b^{14}) + b^{15}
 \end{array}$$

Or :

$$\begin{array}{l}
 b + b^2 + b^4 + b^8 = b + b^2 + 1 + b + 1 + b^2 = 0 \\
 b^3 + b^5 + b^9 + b^6 + b^{10} + b^{12} = b^3 + b + b^2 + b + b^3 + b^2
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 &+b^3+1+b+b^2+1+b+b^2+b^3=0 \\
 &b^7+b^{11}+b^{13}+b^{14} \\
 &=1+b+b^3+b+b^2+b^3+1+b^2+b^3+1+b^3=1
 \end{aligned}$$

et $b^{15} = 1$

ce qui reconstitue bien le polynôme :

$$X^4 + X + 1$$

qui est un polynôme irréductible, car il ne peut pas être reconstitué à partir de polynômes de plus faible degré, et qui de plus est primitif, car il a comme racine un élément primitif que l'on notera b .

On voit que le degré d'un polynôme irréductible peut être obtenu par le nombre de racines calculées en multipliant l'exposant de l'une d'elles par 2 jusqu'à ce que l'on retrouve la première racine. Ainsi, si b est racine, on saura que pour obtenir les autres, il faut calculer :

$$b^2 - b^4 - b^8 - b^{16} - b^{32} \dots$$

comme $b^{16} = b$, le cycle s'arrête là, et le polynôme cherché n'a que 4 racines et est de degré 4.

On appelle *polynôme minimum* d'un élément donné β le polynôme de plus bas degré dont β est une racine.

c'est un polynôme irréductible
c'est un polynôme primitif

2.3. DÉFINITION ET EMPLOI DES CODES CYCLIQUES

2.3.1. Définition générale

Un sous-espace C de n moments est un sous-espace cyclique (ou code cyclique) si pour chaque vecteur $V = (a_0 a_1 \dots a_{n-1})$ dans C , le vecteur

$$V' = (a_{n-1} a_0 a_1 a_{n-2})$$

obtenu par décalage des composants de V de façon cyclique d'une unité vers la droite est aussi dans C .

Comme nous l'avons vu plus haut, nous pouvons remplacer le vecteur V par un polynôme et nous écrivons :

$$\begin{aligned}
 V &= \{f(X)\} \\
 V' &= \{f'(X)\} \quad (\text{classe résiduelle de } f(X))
 \end{aligned}$$

Nous pouvons écrire (paragraphe 1.4)

$$f'(X) = X \cdot f(X) + a_{n-1}(X^n - 1)$$

Ce qui nous donne dans l'algèbre des polynômes modulo $(X^n - 1)$

$$\{f'(X)\} = \{Xf(X)\} = X\{f(X)\}$$

2.3.2. Polynôme générateur — Matrice génératrice — Matrice H

En généralisant cette propriété fondamentale des codes cycliques, on peut démontrer que tous les vecteurs de code d'un code cyclique bien déterminé peuvent être déduits par multiplication simple par un polynôme $g(X)$ (polynôme générateur), qui divise le polynôme modulo.

Exemple : dans l'algèbre des polynômes modulo $(1 - X^7)$:

$$1 - X^7 = (1 - X)(1 + X + X^3)(1 + X^2 + X^3)$$

le polynôme $g(X) = 1 + X^2 + X^3$ génère un code cyclique (7, 4) c'est-à-dire comprenant 7 digits dont 4 digits d'information.

Les vecteurs :

$$\begin{aligned}
 \{g(X)\} &: (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0) \\
 \{Xg(X)\} &: (0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0) \\
 \{X^2g(X)\} &: (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0) \\
 \{X^3g(X)\} &: (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)
 \end{aligned}$$

peuvent être pris comme vecteurs de base et constituent ce que l'on appelle la *matrice génératrice* :

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Si l'on considère le polynôme $h(X)$ tel que :

$$\begin{aligned}
 h(X) &= \frac{1-X^7}{g(X)} = (1-X)(1+X+X^3) \\
 &= (1+X^2+X^3+X^4)
 \end{aligned}$$

et les vecteurs

$$\begin{aligned}
 \{h(X)\} &= (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0) \\
 \{Xh(X)\} &= (0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0) \\
 \{X^2h(X)\} &= (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1)
 \end{aligned}$$

le code est l'espace nul de la matrice H constituée des vecteurs inversés :

$$\{h(X)\} \{Xh(X)\} \{X^2h(X)\} :$$

$$\text{soit } H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Ceci signifie simplement que si l'on fait le produit

$G H^T$ (transposée de H) on trouve 0.

$$G \cdot H^T = 0$$

2.3.3. Un code cyclique peut être défini en termes de racines. Un vecteur $\{f(X)\}$ sera un vecteur de code si, et seulement si, le polynôme $f(X)$ a pour racines :

$$a_1 a_2 a_3 \dots a_t \dots a_r$$

Si on appelle $m_1(X) m_2(X) \dots m_r(X)$, les polynômes minimum des racines $a_1 a_2 \dots a_r$, le polynôme générateur sera le plus petit commun multiple des polynômes $m_1(X) m_2(X) \dots m_r(X)$:

$$g(X) = P P C M m_1(X) \dots m_r(X)$$

On démontre qu'un tel code est l'espace nul de la matrice H formée avec les racines a_i du polynôme donnant le vecteur de code (par conséquent du polynôme générateur) et les diverses puissances inférieures à n de ces racines.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & a_1 & a_1^2 & \dots & a_1^{n-1} \\ 1 & a_2 & a_2^2 & \dots & a_2^{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & a_r & a_r^2 & \dots & a_r^{n-1} \end{bmatrix}$$

En résumé un code cyclique peut être défini :

1. à partir du polynôme générateur (ce sera le cas le plus courant) dans l'algèbre modulo un polynôme.

2. à partir de sa matrice génératrice dont on peut déduire facilement le polynôme générateur.

3. à partir de la matrice H constituée des racines de $g(X)$ et de leurs puissances inférieures à n (degré du polynôme modulo).

2.3.4. Détection des erreurs

La constitution de ces codes se prête particulièrement bien à la *détection des erreurs* et pour certains codes à l'*auto-correction de certaines erreurs*.

Pour élaborer cette détection, on utilise des vecteurs d'un code cyclique à n symboles calculés à partir de k symboles d'information ($n > k$) qui peuvent être pris dans un code absolument quelconque, à partir d'un alphabet absolument quelconque.

Deux cas peuvent se présenter :

a) A partir des k symboles d'information, on calcule les n symboles du vecteur. Dans ce cas-là, les k symboles d'information sont altérés et il est nécessaire d'avoir à la réception un dispositif qui les restitue.

b) On laisse les k symboles d'information absolument inaltérés et on calcule $(n - k)$ symboles de redondance de façon à ce que les n symboles forment un vecteur de code.

Remarque : Ceci apparaîtra de façon plus explicite lorsque l'on parlera de la réalisation des divers montages. Dans tous les cas, on élabore un vecteur de code $f(X)$ tel que :

$$\boxed{f(X) = g(X) q(X)} \quad \begin{array}{l} f(X) : \text{degré } n-1 \\ g(X) : \text{degré } n-k \\ q(X) : \text{degré } k-1 \end{array}$$

2.3.4.1. La *détection d'erreur* intervient comme le calcul du reste de la division de $f(X)$ par $g(X)$, ce reste devant être nul, s'il n'y a pas d'erreur.

2.3.4.2. La *correction d'erreur* pourra être vue plus facilement sur les montages, la valeur du reste trouvé pouvant dans certains codes être caractéristique de la position d'un symbole erroné dans le vecteur.

2.3.5. Probabilité d'erreur non détectée

2.3.5.1. *Détection de coupure*. Les codes cycliques permettent la détection à 100 % de coupures de longueur égale ou inférieure à celle des redondances. (Il faut entendre par coupure de longueur d , un groupement de d digits comprenant e digits erronés, le premier et le dernier pouvant être erronés).

En effet une coupure peut être caractérisée par le polynôme :

$$A(X) = X^j A_0(X)$$

j étant l'ordre du 1^{er} terme sur lequel intervient la coupure.

$A_0(X)$ étant un polynôme quelconque de degré b de la forme :

$$1 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_{b-1} X^{b-1} + X^b$$

b étant la longueur de la coupure.

En admettant que $A(X)$ constitue un vecteur que l'on introduit dans le détecteur d'erreur, pour que le détecteur calcule un reste nul il faudrait que $A(X)$ soit divisible par $g(X)$.

Or X^j n'est pas divisible par $g(X)$,

et si $b < n - k$, le degré de $A_0(X)$ étant inférieur à celui de $g(X)$, il ne peut pas être divisible par $g(X)$.

Le détecteur d'erreur indiquera donc une erreur.

Si cette coupure est introduite sur un vecteur de code cyclique quelconque, cela revient à faire une addition de polynômes. Aucune mise en facteur n'étant possible si $b < n - k$, l'erreur sera dans tous les cas, détectée.

On démontrerait par un raisonnement analogue les résultats inscrits ci-dessous.

Fraction de coupure non détectée de longueur b :

$$\text{si } b = n - k + 1 : 2^{-(n-k-1)}$$

$$\text{si } b > n - k + 1 : 2^{-(n-k)}$$

2.4. Réalisation des circuits

Tous les circuits sont réalisés sur la base des additionneurs modulo 2, multiplicateurs et diviseurs de polynômes vus au chapitre 21. Nous allons voir successivement les différents circuits permettant :

- le codage
- le décodage
- la détection d'erreur
- la correction d'erreur

2.4.1. Le codage

Suivant les deux cas vus au paragraphe 2.3.4. le codage se fera différemment :

2.4.1.1. *Codeur à k étages* (fig. 4). — Si nous construisons un circuit caractéristique du polynôme :

$$h(X) = \frac{X^n - 1}{g(X)} \text{ de degré } k$$

dans lequel nous inscrivons par un système de portes les k symboles d'information en parallèle, et si nous effectuons ensuite n décalages, nous obtiendrons, à la sortie, un vecteur du code dont le polynôme générateur est $g(X)$.

Les k symboles d'information sont altérés et ne se trouvent pas en clair dans le vecteur.

Code de Hamming:

$$g(X) = 1 + X + X^3$$

$n = 7$
 $k = 4$

$$h(X) = (1 - X^7) / g(X) = 1 + X + X^2 + X^4$$

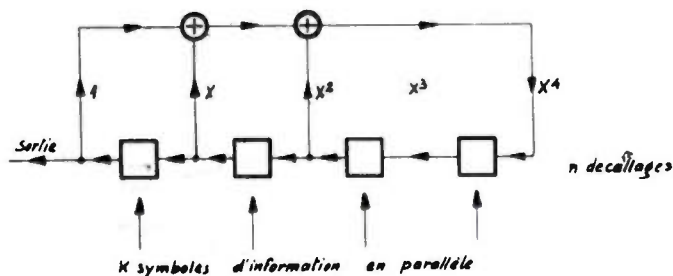


FIG. 4.

2.4.1.2. Codeurs à $(n - k)$ étages utilisant la multiplication (fig. 5)

Puisque pour obtenir un vecteur de code, il suffit d'effectuer une multiplication par $g(X)$, il suffira de disposer d'un circuit multiplicateur par $g(X)$ dans lequel on introduit les k symboles d'information en série. Nous obtiendrons à la sortie du montage les n symboles du vecteur.

Comme dans le cas précédent, les k symboles d'information sont altérés et cela nécessite un montage décodeur analogue au montage codeur.

CODE DE HAMMING

$$g(X) = 1 + X + X^3$$

$n = 7$
 $k = 4$

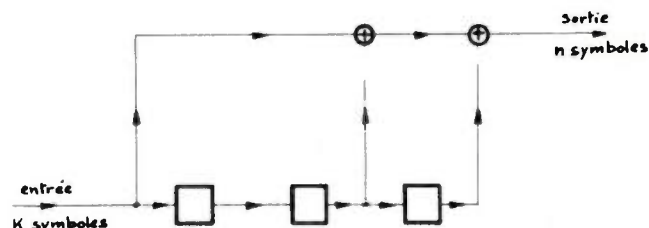


FIG. 5.

2.4.1.3. Codeur à $(n - k)$ étages utilisant la division (fig. 6)

Au lieu d'effectuer une multiplication, effectuons une division par $g(X)$. Nous aurons :

$$X^{n-k} f(X) = g(X) q(X) + r(X)$$

$$f(X) \text{ degré : } k - 1$$

$$g(X) \text{ degré : } n - k$$

$$q(X) \text{ degré : } k - 1$$

$$r(X) \text{ degré : } n - k$$

le vecteur $X^{n-k} f(X) - r(X)$ est un vecteur de code qui conserve les k symboles d'information initiaux et auxquels il suffit d'ajouter $(n - k)$ symboles de redondance. Le calcul de ces $(n - k)$ symboles est fait au moyen d'un simple diviseur à partir des k symboles d'information et ils sont introduits sur la ligne à la suite de ceux-ci.

Code de Hamming :

$$g(X) = 1 + X + X^3$$

$n = 7$
 $k = 4$

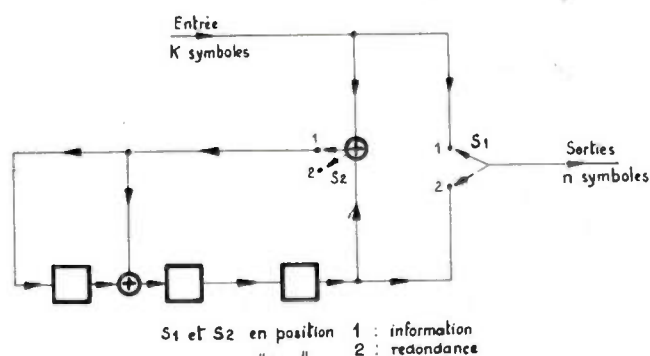


FIG. 6.

2.4.2. Le décodage

2.4.2.1. Dans le cas du codage à k étages le décodeur est constitué de la même façon et restitue en parallèle les k symboles d'information.

2.4.2.2. Dans le cas du codeur à $(n - k)$ étages du paragraphe (2.4.1.2.) le décodeur est constitué d'un diviseur par $g(X)$ qui peut servir en même temps de détecteur d'erreur.

2.4.2.3. Dans le cas le plus utilisé du codeur du paragraphe (2.4.1.3.), le décodage consiste simplement dans la séparation de l'information et de la redondance. Il peut être constitué d'une porte que l'on ferme à l'instant voulu.

2.4.3. La détection de l'erreur (fig. 7)

Comme nous l'avons vu plus haut, celle-ci est réalisée au moyen d'un diviseur de polynôme (à $(n - k)$ étages) caractéristique du polynôme générateur. Une erreur sera matérialisée par la présence d'un ou plusieurs 1 dans le registre du diviseur.

$$g(x) = 1 + x + x^3 \quad \begin{matrix} n = 7 \\ k = 4 \end{matrix}$$

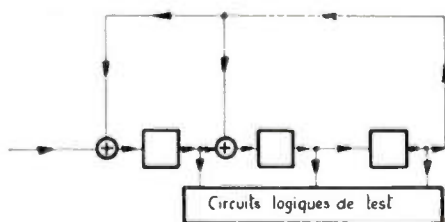


FIG. 7.

2.4.4. La correction de l'erreur (fig. 8)

Elle est basée sur le principe suivant :

Pour certains codes, les positions respectives des différents 1 formant le vecteur reste de la division (détection de l'erreur) caractérisent de façon très exacte l'emplacement de l'erreur. Le vecteur reçu est enregistré dans une mémoire en même temps qu'il est introduit dans le détecteur d'erreur. Lorsque l'opération est terminée, et qu'une combinaison de 1 et de 0 est inscrite dans le détecteur d'erreur, on continue à effectuer des décalages en même temps que les symboles commencent à sortir de la mémoire.

Lorsqu'une combinaison particulière (la plus utilisée est : (1 0 0 0...0 0 0)) apparaît sur le détecteur d'erreur, le symbole erroné sort de la mémoire et il suffit d'inverser sa polarité.

Ceci n'est pas valable pour tous les codes car pour cela, il faudrait que l'on soit sûr qu'il n'y ait qu'une seule erreur ou deux seules erreurs dans le vecteur reçu. En général, plusieurs erreurs s'étant produites on n'est capable de corriger que quelques-unes de ces erreurs. De plus, ce mode de correction exclut la de-

mande de répétition qui serait bien utile dans ces cas-là où l'erreur est surabondante.

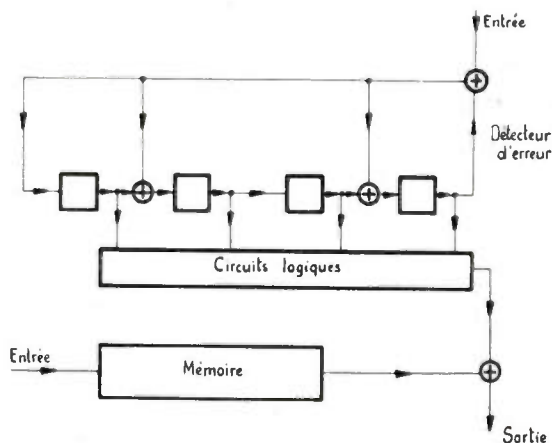


FIG. 8.

2.4.5. Correction de coupure (fig. 9)

Elle se fait de façon analogue sauf que les circuits logiques entraînent l'ouverture (ou la fermeture) de deux portes durant la présence de la coupure.

Les circuits logiques provoquent s'il y a erreur :

- l'ouverture de la porte 2;
- la fermeture de la porte 1.

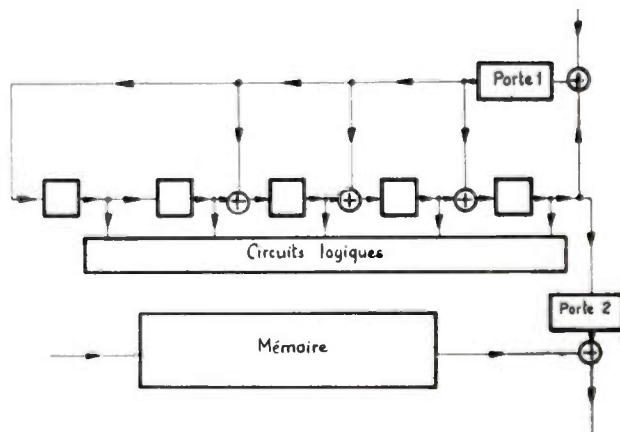


FIG. 9.

2.5. Différentes sortes de codes

Les principales sortes de codes expérimentés jusqu'à ce jour, sont :

— les Codes binaires de Hamming

simples — pouvant corriger 1 erreur simple dans un vecteur de code;

doubles — pouvant détecter 2 erreurs et corriger 1 erreur dans un vecteur de code.

— les Codes de Bose Chandhuri

— permettent de corriger toutes combinaisons de t ou moins d'erreurs.

— code simplifié de Reed-Salomon.

— les Codes de Fire

— permettent la détection de 2 coupures

— peuvent en corriger une.

2.5.1. Codes Binaires de Hamming

2.5.1.1. *Code de Hamming simple.* — Formé à partir d'un polynôme générateur primitif, leur matrice H est de la forme :

$$H = (1 \ a \ a^2 \ \dots \ a^{2^m-2})$$

où a est un élément primitif et $g(X) = p(X)$

C'est le cas du code dont les circuits sont représentés sur les figures 4, 5, 6 et 7.

Ils permettent d'effectuer la correction sur un seul symbole. Si plusieurs symboles sont erronés, la correction ne sera pas valable.

Dans ce mode, n est égal à $(2^m - 1)$.

2.5.1.2. *Code de Hamming double.* — Formé à partir du polynôme générateur :

$g(X) = (1 + X) p(X)$ où $p(X)$ est primitif.

Sa matrice H est donnée par :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & a_1 & a^2 & \dots & a^{2^m-2} \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Cela revient à ajouter un caractère de redondance et à supprimer un caractère d'information pour un bloc de longueur déterminée.

Ce code permet de détecter un deuxième symbole erroné par le moyen du polynôme $(X + 1)$ mais il ne permet pas de localiser ce deuxième symbole dans le vecteur.

2.5.2. Codes Binaires de Bose-Chandhuri

2.5.2.1. Les plus importants codes de BOSE-CHANDHURI sont obtenus :

— si a est un élément primitif, $f(X)$ sera un vecteur de code si :

$$a \ a^2 \ a^4 \ \dots \ a^{2^t}$$

sont racines du polynôme $f(X)$.

Or, si $m_1(X)$ est le polynôme minimum de a , $m_1(X)$ aura pour racines :

$$a \ a^2 \ a^4 \ a^8 \ \dots$$

— si $m_3(X)$ est le polynôme minimum de a^3 ,

$m_3(X)$ aura pour racines :

$$a^3 \ a^6 \ a^{12} \ a^{24} \ \dots$$

— si $m_5(X)$ est le polynôme minimum de a^5 , $m_5(X)$ aura pour racines :

$$a^5 \ a^{10} \ a^{20} \ a^{40} \ \dots$$

Le polynôme générateur du code sera donc :

$$g(X) = m_1(X) \cdot m_3(X) \cdot m_5(X) \cdot m_7(X) \cdot \dots \cdot m_{2^t-1}(X)$$

et :

la matrice H s'écrit :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 & a^4 & \dots & a^{n-1} \\ 1 & a^3 & a^6 & a^{12} & \dots & a^{3(n-1)} \\ 1 & a^5 & a^{10} & a^{20} & \dots & a^{5(n-1)} \\ 1 & a^{2^t-1} & a^{4^t-2} & a^{8^t-4} & \dots & a^{(2^t-1)(n-1)} \end{bmatrix}$$

Ce code peut corriger tout groupe de t erreurs.

Il contient :

$n = 2^m - 1$ symboles dont mt symboles de parité
--

2.5.2.2. En prenant un élément non primitif comme racine, par exemple :

$$B = a^q$$

$$B \text{ a alors l'ordre } \frac{2^m - 1}{q}$$

$$\text{et } n \text{ devient } = \frac{2^m - 1}{q}$$

Le calcul des symboles de parité dépend du degré du polynôme générateur calculé à partir des polynômes minimum. Ces codes peuvent corriger tout groupes de t erreurs simples.

2.5.2.3. Codes de Reed Salomon

Supposons que pour que $f(X)$ soit un vecteur de code, il soit nécessaire que :

$$a \ a^2 \ a^3 \ \dots \ a^{d-1} \text{ soient racine de } f(X)$$

On aura alors :

$g(X) = (X - a)(X - a^2) \cdot \dots \cdot (X - a^{d-1})$; et $g(X)$ aura le degré $d - 1$, a étant un élément quelconque d'un code de base q . Ce code aura

n symboles

$(d - 1)$ symboles de parité

avec : $n = q - 1$

Si a est primitif, nous avons affaire aux codes de REED SALOMON. Ces codes sont employés pour la correction des coupures.

2.5.3. Fire-Code

Dans le cas des corrections de coupure, on utilise des codes générés par un polynôme générateur de la forme :

$$g(X) = p(X) (X^e - 1)$$

$p(X)$ étant un polynôme irréductible de degré m dont les racines ont l'ordre e .

Nous avons : $n = c \times e$
et : $n - k = c + m$

L'ordre e d'une racine est défini par le fait que :

$$\beta^e = 1$$

Ces codes permettent la détection d'une coupure de longueur b inférieure à m , et d'une coupure de longueur d telle que la somme des deux longueurs est inférieure à $c + 1$ et la correction de l'une d'entre elle :

$$c \geq b + d - 1$$

En plus, il est évident que comme tout code cyclique ils peuvent détecter *une* coupure de longueur inférieure à : $n - k = c + m$.

Remarque : D'autres codes correcteurs de coupures peuvent être élaborés à partir de :

$$g(X) = (1 + X + X^2) p(X)$$

$$g(X) = \frac{p(X)(X^e - 1)}{X - 1}$$

3. — Conclusions

Le tableau suivant tiré d'une revue américaine donne quelques résultats expérimentaux qui permettent de se faire une idée de l'efficacité de ces codes.

Il s'agit de codes BOSE CHANDHURI élaborés à partir d'éléments primitifs.

Ces exemples montrent :

- que les codes cycliques permettent une détection quasi-parfaite des erreurs, beaucoup plus efficace que la simple répétition avec un rendement d'utilisation de la ligne très supérieur (groupement des erreurs).
- que ces codes sont d'autant plus efficaces que le découpage comporte des mots plus longs.
- que les nombres de digits constituant le mot ne

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX TIRÉS DE PROCEEDING OF THE IRE (Juin 1961)

Article : « ERROR STATISTICS AND CODING FOR BINARY TRANSMISSION OVER TELEPHONE CIRCUITS »,
par A.B. FONTAINE et R.G. GALLAGER

Nombre de symb. par vecteurs de code	Nombre de symb. de parité	Distance minimum (symb.)	Systèmes de Transmis. sion	Nombre de vecteurs de code transmis	Nombre d'erreurs reconnues par comparaison	Temps évalué entre 2 erreurs non détectées (année)	Nombre d'erreurs non détectées actuell. trouvées
511	18	5	CTDS	5,0 10 ⁶	1475	21	0
			MILGO	2,8 10 ⁶	693	97	0
			KINEPLEX	1,4 10 ⁶	1238	35	0
			A 1	4,8 10 ⁶	2979	9	0
255	16	5	CTDS	1,0 10 ⁷	1758	4	0
			MILGO	5,7 10 ⁶	806	20	0
			KINEPLEX	2,4 10 ⁶	1685	5	0
			A 1	9,5 10 ⁶	4284	1	0
127	14	5	CTDS	2,0 10 ⁷	2118	0,9	0
			MILGO	1,1 10 ⁷	908	4	0
			KINEPLEX	4,8 10 ⁶	2659	0,5	0
			A 1	1,9 10 ⁷	6405	0,2	1
127	7	3	CTDS	2,0 10 ⁷	2118	0,006	10

peuvent être n'importe quel nombre (ils sont ici de la forme $(2^n - 1)$).

D'autres valeurs sont utilisables, mais ne correspondent pas en général au découpage des bandes et des cartes, ce qui peut entraîner l'addition de quelques digits zéro à la lecture.

La recherche des codes les mieux adaptés aux perturbations et l'intérêt considérable que présentent ces codes par eux-mêmes ; malgré quelques contingences

dans leur exploitation, permettent de penser que les codes cycliques portent en eux l'espoir d'une transmission pratiquement dépourvue d'erreur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] PETERSON W.W.. — Error correcting codes. MIT Press and John WILEY.
- [2] FONTAINE A.B., GALLAGER R.G. — Error statistics and coding for binary transmission over telephone circuits. *Proceeding of the IRE*, (Juin 1961, pages 1059-1065).

UN SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES NUMÉRIQUES

PAR

M. COIRON, G. DUPIRE et B. LORIMY

*Société Télécommunications Radioélectriques et
Téléphoniques (T.R.T.)*

1. — Généralités

Par une évolution analogue à celle des calculateurs on constate que les systèmes de transmission de données numériques tendent à se spécialiser, en raison de la diversité des problèmes qu'ils sont appelés à résoudre : diversité dans les modes de présentation, de découpage, de restitution de l'information, degré variable de protection contre les erreurs, diversité dans les exigences d'exploitation...

Pour des classes très larges de problèmes, il serait superflu de faire appel à des systèmes plus ou moins « universels » dont le coût élevé n'entraîne pas nécessairement une adaptation parfaite à l'exploitation désirée.

Ainsi la Direction de la Recherche et des Moyens d'Essais à la Délégation Ministérielle à l'Armement nous a confié l'étude et la réalisation d'un certain nombre de systèmes de transmission de données, dont le rôle est de coordonner les différents appareils situés sur le Champ de Tir français en acheminant rapidement, à travers un vaste réseau, les informations qu'ils délivrent ou qu'ils reçoivent.

D'une manière plus générale, nous avons conçu un matériel particulièrement bien adapté au type de problèmes suivant : prélèvement de l'information délivrée par un appareillage « source de données », mise en forme de messages (bits de remplissage et bits de redondance), enregistrement éventuel en local sur bande magnétique, transmission à haute rapidité de modulation sur un circuit téléphonique unidirectionnel répondant aux spécifications C.C.I.T. ; restitution à un appareillage « utilisateur de données » des messages sans erreurs, enregistrement éventuel sur bande magnétique du côté réception, contrôles de transmission et de fonctionnement tout au long de la chaîne. Pour cette classe de problèmes, il n'est pas essentiel de disposer à la réception de tous les messages, ni de choisir un code de protection très redondant

pour réduire à l'extrême le taux d'erreurs non détectées, il est par contre fondamental que le fonctionnement de tous les circuits de l'équipement soit rigoureusement contrôlé.

Evidemment, ce matériel a bénéficié de l'expérience acquise par la réalisation d'ensembles adaptés à d'autres types de problèmes. Il s'agit notamment des études faites sur les équipements de modulation et de démodulation, sur les codes de protection, etc.

Le matériel que nous nous proposons de décrire ci-après présente une originalité particulièrement intéressante : la connexion, à chaque terminal, d'un enregistreur magnétique, obtenue par simple enfichage de quelques sous-ensembles, permet d'obtenir, sur le plan opérationnel, une grande souplesse d'exploitation.

Ce système, baptisé 7 KR 1020, se compose d'un terminal émetteur 7 KS 0071 et d'un terminal récepteur 7 KS 0072. Un terminal est considéré du type 1 ou 2 et porte l'indice /10 ou /20 suivant qu'on lui connecte ou non un enregistreur. Le type de modulation adoptée est une modulation de fréquence. La rapidité choisie est de 1 200 bauds conformément aux recommandations du C.C.I.T.

2. — Constitution des messages (voir fig. 1)

Chaque groupe d'informations délivré par la source de données est composé de quatre mots x, y, z, t, comportant chacun 23 bits au maximum, et constituant un bloc de 23 caractères de 4 bits.

A ces bits de données sont ajoutés des bits de redondance :

1. un caractère début de message composé de 4 bits « 1 » et placé en tête de message ;
2. un caractère de parité horizontale placé après les caractères de données, donc en 25^e position.

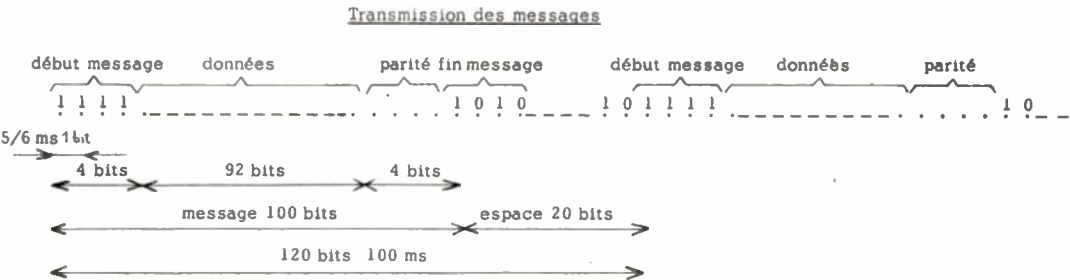
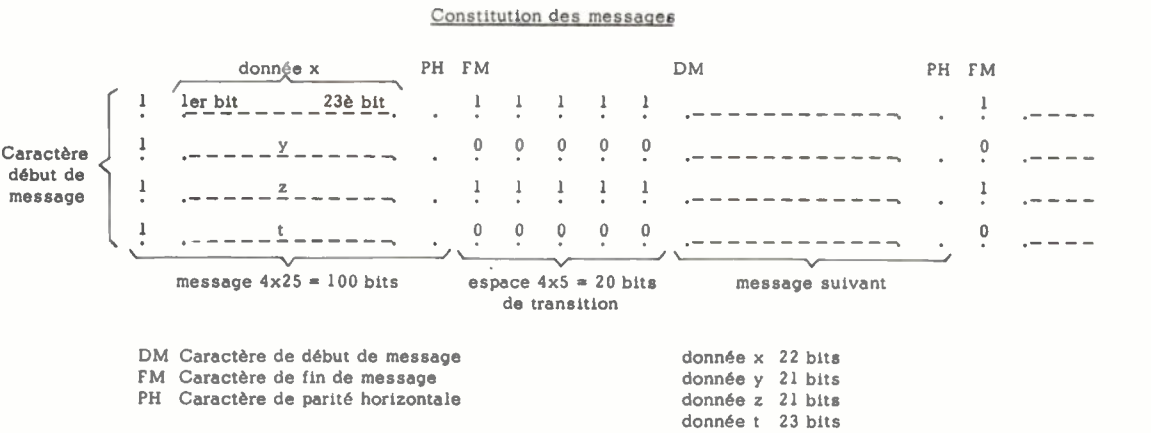


FIG. 1.

Chaque bit de parité propre à une ligne est tel que la somme des « 1 » compris dans les 25 bits soit paire.

Un message complet comporte donc 25 caractères de 4 bits, soit 100 bits.

3. comme on le verra plus loin, un message est transmis en ligne toutes les 100 ms. Comme la rapidité de la modulation est de 1 200 bauds, il reste entre deux messages consécutifs un espace correspondant en moyenne à 20 bits.

Cet espace est rempli par des bits de transition, codés alternativement « 1 » et « 0 », qui permettent d'assurer un minimum de transitions nécessaires à la synchronisation durant un espace de temps de 100 ms. Le premier caractère de bits de transition est le caractère fin de message.

Les messages sont transmis séquentiellement en ligne, caractère par caractère.

3. — Description de l'émetteur (voir fig. 2)

L'ensemble émetteur 7 KS 0071 comprend les circuits principaux suivants :

- une horloge centrale, pilotée par un oscillateur à quartz 57,6 kHz ;
- un distributeur d'impulsions de l'horloge qui délivre séquentiellement les impulsions de temps élémentaires ;
- les circuits d'adaptation de niveaux et d'impédances pour les différents fils de liaison à la source de données ;

- un générateur de parité horizontale qui élabore les bits de parité ;
 - une mémoire pour 24 caractères comprenant 96 amplificateurs à tores, dont l'écriture est effectuée par « coïncidence » ;
 - deux compteurs binaires à 24 positions permettant les commandes de la mémoire ;
 - un registre de sortie qui, associé au distributeur d'émission, effectue la transformation parallèle — série des informations ;
 - un circuit de sortie qui élabore les niveaux continus destinés à attaquer le modulateur ;
 - un générateur de transitions qui permet l'envoi de bits alternés pendant les intervalles entre messages ;
 - un modulateur de fréquence qui transforme les niveaux continus en signaux modulés en fréquence.
- Dans le cas où l'utilisation d'un enregistreur magnétique est envisagée, il y a lieu d'ajouter des circuits de commande spéciaux et des circuits d'adaptation d'entrée et de sortie.

4. — Fonctionnement de l'émetteur

Diverses possibilités d'exploitation sont possibles, suivant la période de présentation des messages par la source de données. Des signaux de base de temps extérieurs sont disponibles pour permettre à l'équipement de suivre l'un ou l'autre de ces modes d'exploitation.

La source de données peut présenter un message tous les 1/20 de seconde et, chaque fois, elle délivre

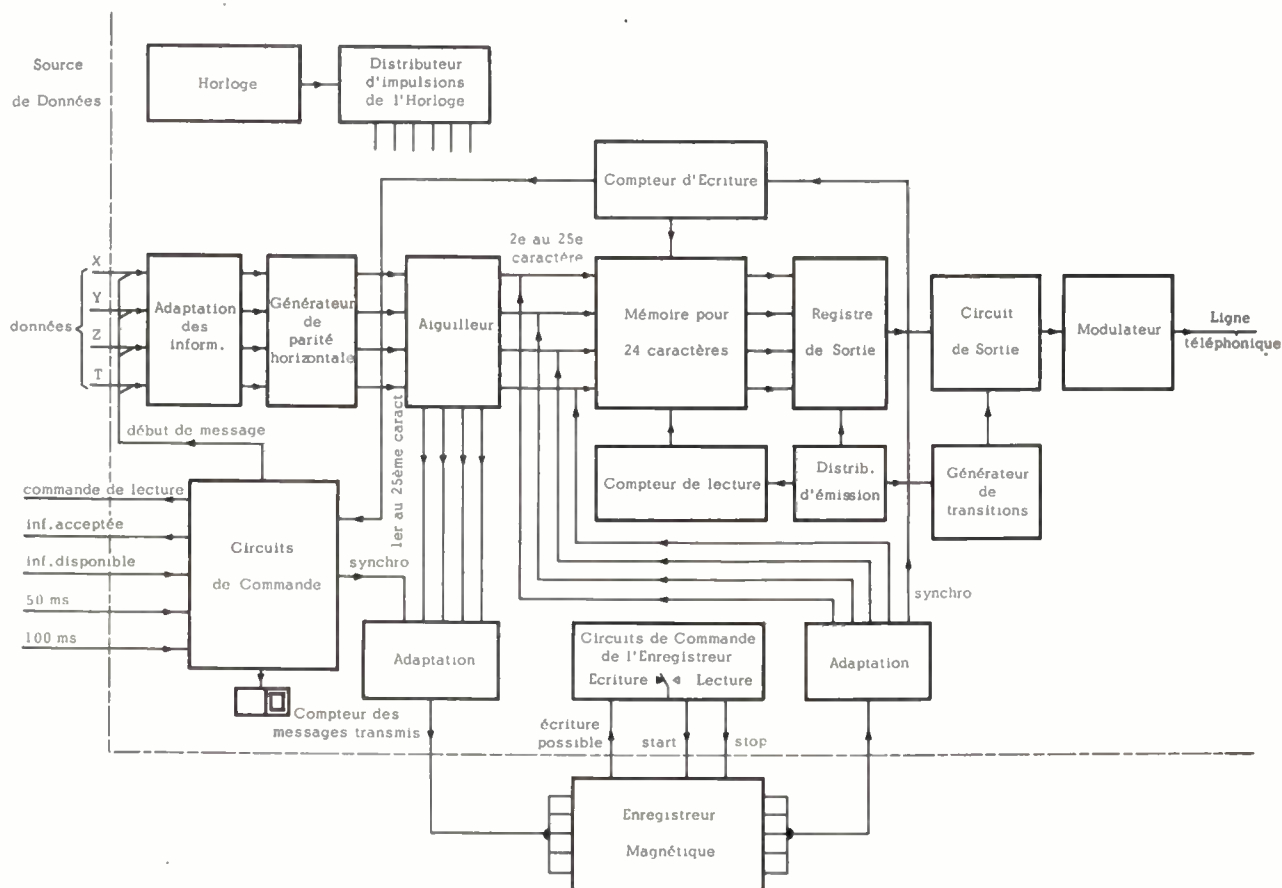


FIG. 2.

un signal « information disponible ». C'est le cas le plus fréquent et le plus complexe qui sera seul décrit ; tous les messages présentés sont enregistrés sur la bande magnétique (chaque mot sur une piste séparée) ; un message sur deux est envoyé en ligne.

A. — TRANSFERT D'UN MESSAGE EN RELATION AVEC LES SIGNAUX 50 ET 100 ms SIMULTANÉS

Lorsque le signal « information disponible » a été reçu, l'enregistreur est mis en marche ainsi que le compteur d'écriture, et la première commande de lecture est délivrée à la source de données qui présente alors le premier caractère aux entrées de données. Celui-ci passe par les circuits d'adaptation pour être ensuite transféré au générateur de parité horizontale puis, écrit par coïncidence dans la première colonne de la mémoire et envoyé à l'enregistreur. Chaque fois qu'un caractère est ainsi transféré à l'enregistreur, une impulsion de synchronisation est délivrée à une piste séparée, médiane par rapport aux quatre pistes de données.

Il en est de même pour tous les autres caractères de données. La 24^e commande de lecture remet à zéro les registres de la source de données. Le 25^e caractère est obtenu par lecture du générateur de parité horizontale et est transféré à la mémoire et à l'enregistreur.

Chaque bit de ce caractère est « 1 » si la somme des « 1 » des 23 bits est paire et « 0 » si la somme des « 1 » est impaire.

Le caractère « début de message » est appliqué par le circuit de commande directement à l'entrée des données avant la première commande de lecture. Il suit donc le même chemin que les autres caractères, est transféré à l'enregistreur mais n'est pas écrit dans la mémoire.

La lecture des registres de la source de données par les impulsions « commande de lecture », l'écriture de la mémoire et le transfert à l'enregistreur sont effectués à une rapidité de 4,8 kHz.

Un compteur mécanique compte les messages transférés de la source de données à l'émetteur.

B. TRANSFERT D'UN MESSAGE EN RELATION AVEC LES SIGNAUX 50 ms SEULS

Le processus est exactement le même ; cependant les informations ne sont pas transférées à la mémoire mais seulement à l'enregistreur.

C. TRANSMISSION EN LIGNE DES MESSAGES PROVENANT DE LA SOURCE DE DONNÉES

La phase transmission débute après que les quatre premiers caractères aient été écrits dans la mémoire.

Le distributeur d'émission fait progresser le compteur de lecture et pilote le registre de sortie de la mémoire à une rapidité de 1,2 kHz.

A chaque pas du compteur de lecture, un caractère est transféré au registre de sortie.

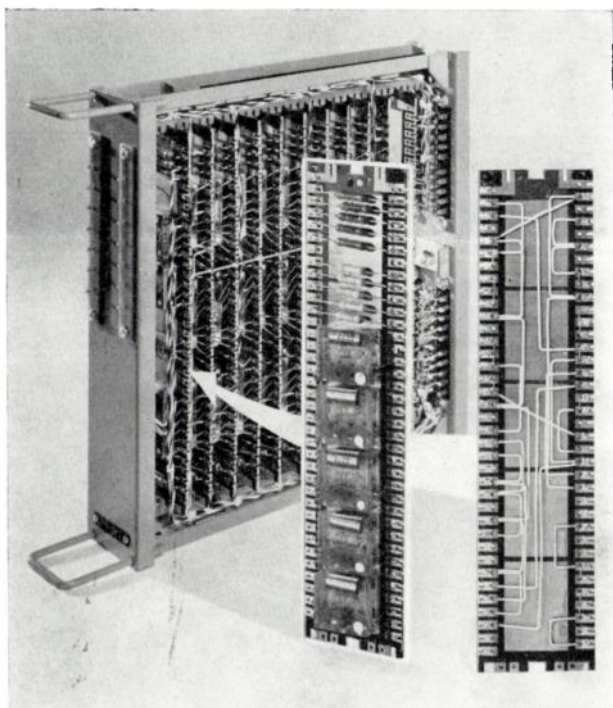


FIG. 4. — Transmission de données numériques 7 KR 1020. Vue d'un tiroir et des plaquettes qui le composent. (cliché T.R.T.).

- un circuit de synchronisation, qui effectue la régénération des signaux en niveaux et en temps ;
- un analyseur distributeur de réception, qui identifie les messages et effectue la transformation série-parallèle des informations ;
- un circuit de contrôle de parité 1, qui vérifie que les messages entrants sont conformes ;
- une mémoire pour 24 caractères, comprenant 96 amplificateurs à tores, dont l'écriture est effectuée par « coïncidence » ;
- deux compteurs binaires à 24 positions permettant les commandes de la mémoire ;
- un registre de sortie, qui reçoit les caractères transférés de la mémoire lors de la lecture ;
- les circuits d'adaptation en niveau et impédances, qui délivrent les informations à l'utilisateur de données ;
- un circuit de contrôle de parité 2, qui vérifie la validité des messages transférés à la sortie ;
- les circuits de commande et de contrôles généraux.

Dans le cas où l'utilisation d'un enregistreur magnétique est envisagée, il y a lieu d'ajouter des circuits de commande spéciaux et des circuits d'adaptation d'entrée et de sortie.

6. — Fonctionnement du récepteur

A. RÉCEPTION DES MESSAGES PROVENANT DE LA LIGNE- CONTRÔLE DE PARITÉ 1

Les informations modulées en fréquence sont reçues par le démodulateur qui les convertit en signaux de

courant continu $+ 10\text{ V}$ pour un bit « 0 » et $- 10\text{ V}$ pour un bit « 1 ».

En raison de la distorsion en ligne et d'un décalage possible des horloges des deux extrémités, il est nécessaire d'échantillonner ces niveaux continus en leur milieu théorique pour reconnaître les bits 0 et les bits 1.

Le circuit de synchronisation compare les transitions reçues de la ligne à l'horloge locale et effectue l'échantillonnage. Lorsqu'un certain nombre de décalages dans le même sens est détecté, le circuit de synchronisation effectue une correction d'échantillonnage et donne un ordre de correction au distributeur des impulsions d'horloge.

Les informations sont donc régénérées aussi bien en niveau qu'en temps. Une impulsion est délivrée pour chaque bit « 1 ».

Les informations entrent séquentiellement dans l'analyseur-distributeur de réception qui les retransmet caractère par caractère à partir du moment où il a reconnu le caractère spécial « début de message ».

Les caractères sont écrits tour à tour dans la mémoire et transférés au circuit de contrôle de parité 1 en relation avec la progression du compteur d'écriture, à une vitesse de 1,2 kHz.

Lorsque l'analyseur a vérifié que le 26^e caractère est bien le caractère « fin de message », le transfert est arrêté ; le message est alors entièrement écrit dans la mémoire.

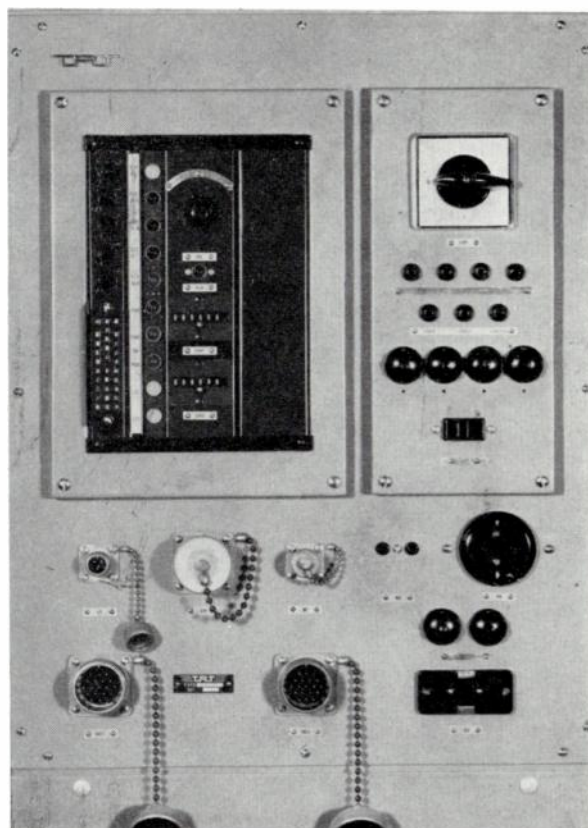


FIG. 5. — Transmission de données numériques 7 KR 1020. Cof-fret récepteur. Vue partielle de la face avant. (cliché T.R.T.).

Le circuit de contrôle de parité 1 vérifie qu'il y a compatibilité entre les bits de parité et les bits de données reçus, suivant la convention élaborée dans l'émetteur.

B. TRANSFERT DES MESSAGES A L'UTILISATEUR. ECRITURE DE L'ENREGISTREUR

Si la vérification est bonne, le circuit de contrôle délivre un signal « message bon » qui a pour effet de faire démarrer l'enregistrement et de commencer la lecture de la mémoire.

Les informations sont délivrées, caractère par caractère à une vitesse de 4,8 kHz, au registre de sortie, puis aiguillées de la façon suivante :

- tous les caractères, y compris le caractère « début de message », sont transférés à l'enregistreur. Sur une piste séparée, médiane par rapport aux quatre autres, une impulsion de synchronisation est délivrée à chaque transfert de caractère ;

- le 25^e caractère (parité horizontale) est transféré au circuit de contrôle de parité 2 ;

- les données (2^e au 24^e caractère) sont transférées à travers des circuits d'adaptation, à l'utilisateur de données en relation avec le signal de commande d'écriture (une impulsion par caractère) piloté par le compteur de lecture.

Les caractères de données sont renvoyés de la sortie vers le circuit de contrôle de parité 2 qui vérifie s'il y a toujours compatibilité entre le caractère de parité et les données délivrées. Le message est donc contrôlé jusqu'à la frontière de l'équipement.

Lorsque le message est complètement transféré, le signal « information délivrée » est donné et l'enregistreur est arrêté.

Un message est délivré toutes les 100 ms à l'utilisateur de données, si celui-ci a donné le signal « prêt ».

Si le contrôle de parité 1 a détecté une erreur dans un message, la mémoire est remise à zéro par une lecture normale mais le message n'est transféré ni à l'utilisateur de données ni à l'enregistreur qui n'est alors pas mis en marche. Le contrôle de parité 2 n'est évidemment pas effectué dans ce cas.

Un compteur mécanique permet de dénombrer les messages faux. Si trois messages consécutifs sont détectés faux une alarme est donnée.

Si le contrôle de parité 2 détecte une erreur dans un message transféré, une alarme est donnée et le transfert des messages à l'utilisateur de donnée est stoppé. Par contre le transfert à l'enregistreur n'est pas arrêté car la faute peut être imputable par exemple aux circuits d'adaptation à l'utilisateur de données.

Un compteur mécanique permet de vérifier le nombre de messages transférés à l'utilisateur de données.

C. LECTURE DE LA BANDE MAGNÉTIQUE

Pour ce genre d'exploitation le commutateur manuel est placé dans la position « lecture » et les informations provenant de la source de données ou de la ligne ne sont plus prises en considération.

L'enregistreur est mis en marche la première fois par une pression sur le bouton « start enregistreur ».

Les informations contenues sur la bande sont écrites dans la mémoire, caractère par caractère, suivant la progression du compteur d'écriture, piloté cette fois par les impulsions de synchronisation de la bande.

Lorsque la mémoire est pleine, l'enregistreur est arrêté et la lecture de la mémoire débute en relation avec une impulsion de base de temps 100 ms. Les informations sont alors transférées à l'utilisateur de données et au contrôle de parité 2 de la même façon qu'expliqué précédemment. Lorsque la lecture de la mémoire est achevée l'enregistreur est remis automatiquement en marche et le message suivant est transféré à la mémoire. Si au bout d'un certain temps, après un démarrage de l'enregistreur, aucune information n'est délivrée par la bande, l'enregistreur est arrêté et une indication visuelle est donnée.

Dans le cas où l'on recherche le premier message d'une bande ayant une assez longue amorce, la manœuvre d'un « bouton de recherche d'information » permet d'éliminer le stop et la signalisation précédente.

7. — Présentation du matériel

Chaque terminal se présente sous la forme d'un coffret métallique renfermant une alimentation stabilisée et au maximum, 24 tiroirs enfichables contenant les circuits électroniques.

Une face avant comporte les commutateurs, boutons, voyants, etc., ainsi que les prises de raccordement.

Le coffret est monté dans un berceau à l'aide d'amortisseurs.

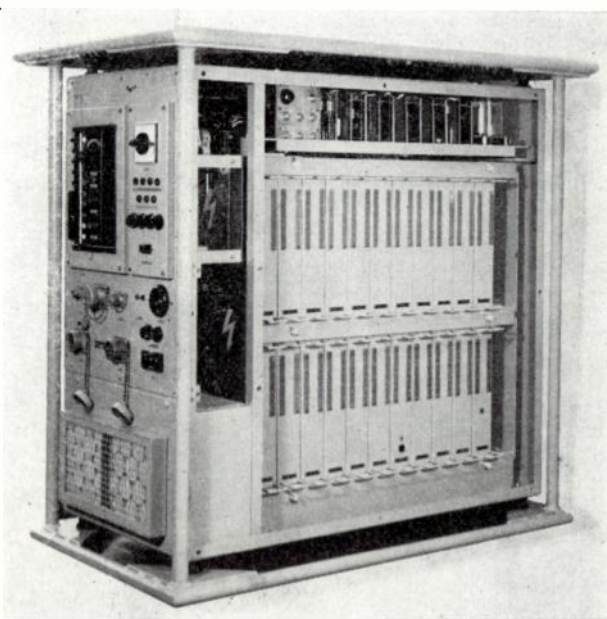


FIG. 6. — Transmission de données numériques 7 KR 1020. Coffret récepteur. Vue sur la face avant des tiroirs, après retrait des plaques de côté. (cliché T.R.T.).

L'ensemble est ventilé par aspiration afin qu'une température homogène règne dans l'enceinte.

Les tiroirs sont accessibles par la partie droite en regardant la face avant, et comportent les points de test nécessaires.

A l'intérieur des tiroirs se trouvent des plaquettes supportant les circuits. Ceux-ci sont composés exclusivement de semi-conducteurs, matériaux magnétiques et pièces détachées de haute qualité.

La majeure partie des circuits est réalisée sous forme de blocs moulés renfermant une association transistor-anneau magnétique, importés de la Société NV. Philips-Telecommunicatie Industrie.

8. — Facilités de maintenance

L'organisation du matériel a donc été étudiée pour assurer une très grande sécurité de fonctionnement. De plus, la maintenance est facilitée par des appareils spéciaux ou par certains dispositifs incorporés, sous les trois aspects : prévention des avaries, détection et localisation de celles-ci, et réparation.

En ce qui concerne le premier aspect, la maintenance préventive est non seulement assurée périodiquement mais aussi avant chaque opération. Dans ce cas, un générateur de messages est connecté à l'émetteur à la place de la source de données ; le récepteur comporte les organes de contrôle nécessaires.

Le deuxième aspect recouvre la détermination du groupe de tiroirs défectueux. En plus du générateur de messages, on utilise alors un appareil « indicateur d'impulsions » qui permet de prélever et de contrôler les signaux aux points de test.

Quant au troisième aspect, un équipement de test de tiroirs permet de localiser dans un tiroir la pièce défectueuse.

En cours de fonctionnement, des alarmes et des signalisations peuvent, en cas d'avarie, être fournies par l'équipement lui-même : trois par l'émetteur et sept par le récepteur. Ces alarmes sont différenciées de telle sorte que toute absence de signal sur un fil logique, toute erreur détectée par l'un ou l'autre des contrôles de parité, et d'une façon générale tout défaut dans l'une des parties de la chaîne ou dans une de ses fonctions essentielles est immédiatement décelable, sans arrêter le fonctionnement de façon intempestive.

Les dimensions réduites (environ $92 \times 52 \times 86$ cm par terminal), l'excellente accessibilité des sous-ensembles, la protection très soignée contre les erreurs et la haute sécurité de fonctionnement font de ce matériel un ensemble particulièrement adapté à de nombreux problèmes opérationnels dans des conditions d'exploitation même sévères. Cet équipement peut répondre également à des besoins logistiques, civils ou militaires, ses caractéristiques étant conformes aux recommandations du C.C.I.T.

SYSTÈME DE TRANSMISSION DE DONNÉES A MODULATION DIFFÉRENTIELLE PAR INVERSION DE PHASE

PAR
J. CLAISSE

Ingénieur à la Société Anonyme de Télécommunications

1. — Description du système de transmission

Les diagrammes fonctionnels de l'émetteur et du récepteur constituent respectivement les figures 1 et 2.

A l'émission, le signal constitué par les informations à transmettre est rendu symétrique, écrêté, puis, après passage dans un filtre passe-bas gaussien, module le courant porteur de fréquence F_1 (1 800 Hz par exemple).

Le signal ainsi modulé est filtré avant d'être trans-

mis en ligne. Ce filtre élimine les bandes latérales de modulation et atténue suffisamment les fréquences qui risqueraient de perturber les voies téléphoniques voisines dans le cas où la voie de transmission de données est introduite dans un système multiplex téléphonique.

A la réception, le signal est amplifié et écrêté.

Le démodulateur, dont le principe est représenté sur la figure 3 est constitué de deux bascules. Sur l'une de ces bascules est appliqué le signal écrêté, sur l'autre le courant porteur régénéré.

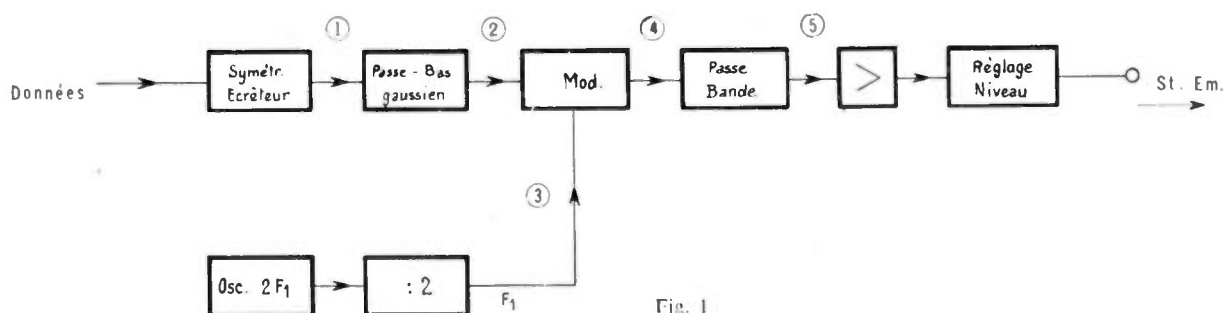


Fig. 1

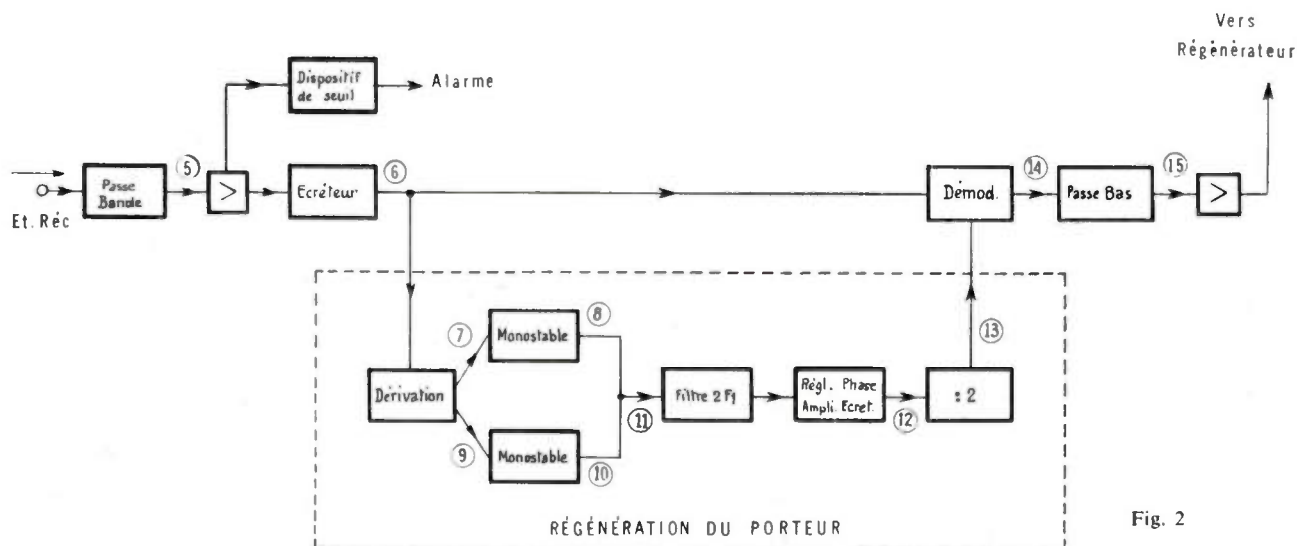


Fig. 2

Le tableau de la figure 3 indique le processus de la démodulation. Le signal démodulé après passage dans un filtre passe-bas est appliqué à un régénérateur de signaux de façon à éliminer la distorsion télégraphique dont il est affecté.

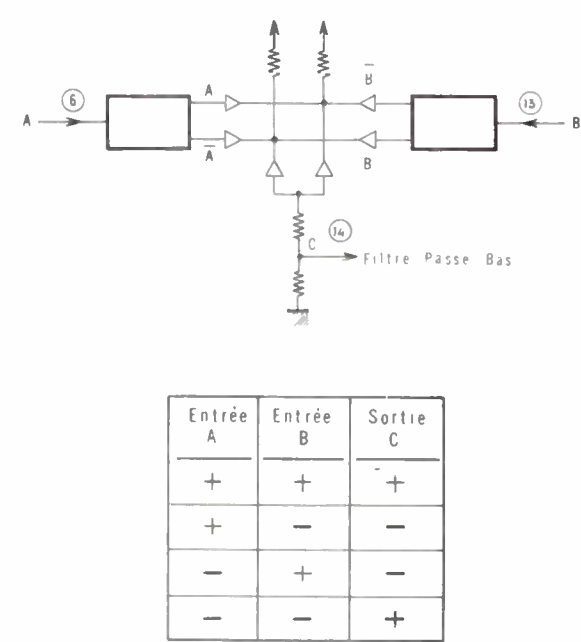


Fig. 3

La figure 4 représente la forme des signaux en différents points caractéristiques repérés sur les figures 1 et 2.

2. — Etude théorique de la transmission

Pour faciliter l'étude, le signal supportant les données à transmettre est supposé rythmique. Ce signal représenté sur la figure 5 peut être défini par la fonction

$$y_1 = 2\lambda - 1 + \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin n \lambda \pi \cos n \omega t$$

λ étant égal à $\frac{\theta}{T}$ et ω à $\frac{2\pi}{T}$

Ce signal traverse d'abord un filtre passe-bas dont l'affaiblissement en fonction de la pulsation est représenté par la fonction $A(\omega)$. Le déphasage du filtre étant supposé linéaire, le signal à la sortie de ce filtre est représenté par la fonction :

$$y_2 = (2\lambda - 1) A(0) + \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A(n\omega)}{n} \sin n \lambda \pi \cos n \omega t$$

Ce signal module ensuite un courant porteur de fréquence F_1 , représenté sur la figure 6 et correspondant à la fonction :

$$y_3 = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{n} \cos n \Omega_1 (t - t_1)$$

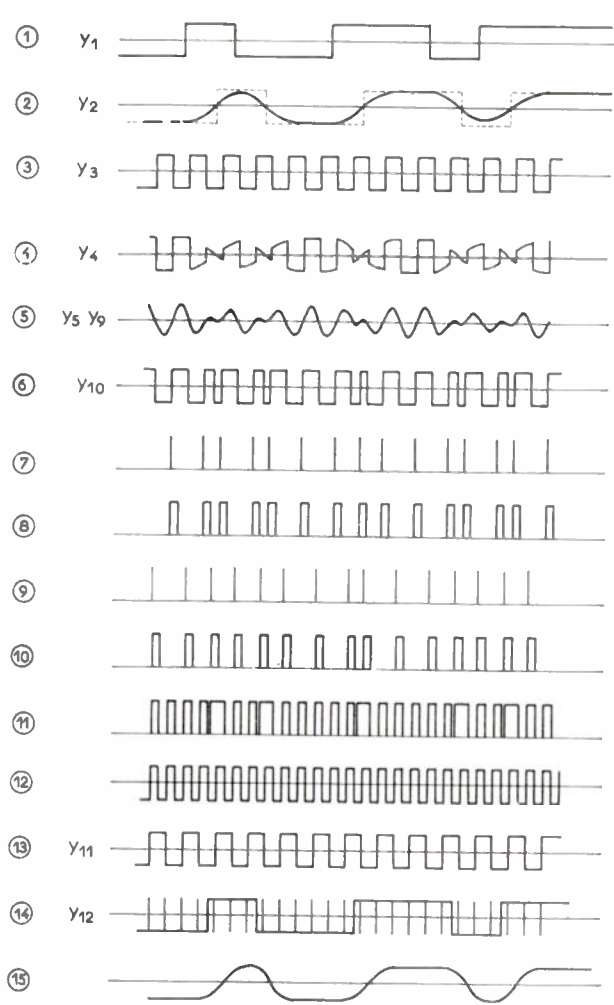


Fig. 4

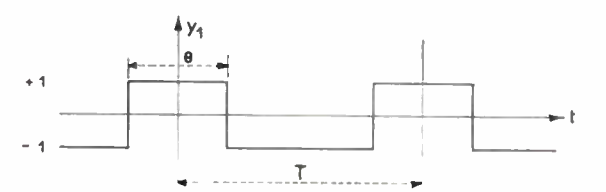


Fig. 5

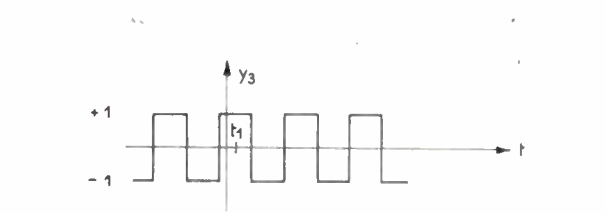


Fig. 6

n étant un nombre impair et t_1 égal à $\frac{\phi_1}{\Omega_1}$ avec $\Omega_1 = 2 \pi F_1$

$$y_3 = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{n} \cos n (\Omega_1 t - \phi_1)$$

L'affaiblissement du filtre passe-bas représenté par la fonction $A(\omega)$, est tel que les composantes de y_2 , dont la fréquence est égale à F_1 , sont pratiquement inexistantes à la sortie du filtre.

Le signal à la sortie du modulateur est représenté par la fonction : $y_4 = y_2 y_3$.

Ce signal, avant d'être transmis en ligne, traverse un filtre passe-bas dont la bande passante est limitée à la fréquence $2 F_1$; seule la composante de fréquence F_1 du porteur intervient dans la modulation et le signal de sortie de l'émetteur peut, à un facteur près, se mettre sous la forme :

$$y_5 = y_2 \cos(\Omega_1 t - \phi_1)$$

En réalité, le filtre de sortie de l'émetteur est un passe bande dont la bande passante centrée sur la fréquence F_1 est inférieure à $2 F_1$. Ce filtre passe bande élimine les fréquences susceptibles de perturber les voies voisines.

Dans la mesure où la courbe d'affaiblissement de ce filtre est symétrique par rapport à la fréquence F_1 et le déphasage linéaire en fonction de la fréquence, son affaiblissement s'ajoute à celui du filtre passe-bas placé à l'entrée de l'émetteur.

Nous supposons que la courbe d'affaiblissement $A(\omega)$ tient compte de ce filtre passe bande.

Lorsque la voie de transmission utilise un système à courants porteurs à bande latérale unique, il est intéressant de considérer l'influence du décalage de fréquence des porteurs entre les extrémités Émission et Réception. Le système est supposé ne pas apporter de distorsion d'amplitude et le déphasage est supposé linéaire en fonction de la fréquence.

Le signal y_5 délivré par l'émetteur de transmission de données module dans l'extrémité à courants porteurs, un porteur de fréquence F_2 .

Le résultat de cette modulation est représenté à un facteur près par la fonction :

$$y_6 = y_2 \cos(\Omega_1 t - \phi_1) \cos(\Omega_2 t - \phi_2)$$

et après filtrage ne laissant passer qu'une bande latérale :

$$y_7 = y_2 \cos[(\Omega_1 + \varepsilon \Omega_2) t - (\phi_1 + \varepsilon \phi_2)]$$

$$\varepsilon \text{ est égal à } \pm 1$$

A l'autre extrémité du système à courants porteurs, le signal y_7 module un porteur de fréquence :

$$F_3 = F_2 + \Delta F$$

et le résultat de la modulation est représenté à un facteur près par la fonction.

$$y_8 = y_7 \cos(\Omega_3 t - \phi_3)$$

$$\Omega_3 \text{ est égal à } \Omega_2 + \Delta \Omega$$

Après filtrage éliminant la bande de fréquences indésirable, le signal devient :

$$y_9 = y_2 \cos[(\Omega_1 + \varepsilon \Delta \Omega) t - (\phi_1 - \varepsilon \phi_2 + \varepsilon \phi_3)]$$

Ce signal est celui que l'on trouve à l'entrée du récepteur. Le décalage entre les courants porteurs téléphoniques aux deux extrémités du circuit a le même effet qu'un décalage de la fréquence F_1 du porteur à l'émission.

Le filtre passe-bande à l'entrée du Récepteur a pour rôle de sélectionner le signal y_9 de telle sorte que la réception de ce signal ne soit pas perturbée par les voies adjacentes.

En ce qui concerne l'étude du signal délivré par ce filtre on peut, comme pour le filtre passe bande émission, et dans la mesure où sa courbe d'affaiblissement est symétrique par rapport à la fréquence F_1 , et le déphasage linéaire en fonction de la fréquence, considérer que l'affaiblissement apporté par ce filtre est déjà compris dans l'affaiblissement du filtre passe-bas émission.

Le signal y_9 peut donc être considéré comme le signal délivré par le filtre passe bande réception. Ce signal est ensuite écrêté, ce qui assure une protection contre les bruits et permet le fonctionnement du récepteur pour une large gamme de niveaux d'entrée. Le signal obtenu par écrêtage peut être considéré comme le produit de deux signaux écrêtés séparément.

$$y_{10} = \overline{y_2} \cdot \cos[(\Omega_1 + \varepsilon \Delta \Omega) t - (\phi_1 - \varepsilon \phi_2 + \varepsilon \phi_3)]$$

Il peut être admis en première approximation que le signal résultant de l'écrêtage de y_2 n'est autre que le signal y_1 . Cette hypothèse est pratiquement justifiée si le filtre passe-bas émission (compte tenu de l'affaiblissement des filtres passe bande émission et réception) est un filtre gaussien.

$$y_{10} \div y_1 \cdot \cos[(\Omega_1 + \varepsilon \Delta \Omega) t - (\phi_1 - \varepsilon \phi_2 + \varepsilon \phi_3)]$$

Ce signal écrêté est d'une part directement appliqué à l'une des entrées du démodulateur et d'autre part utilisé pour régénérer le courant porteur de fréquence $F_1 + \varepsilon \Delta F$. A cet effet le signal écrêté est dérivé. Les impulsions de transition positives recueillies sur l'un des collecteurs de la bascule actionnent un monostable qui délivre des impulsions dont la durée correspond à celle d'une demi alternance du signal de fréquence F_1 .

Les impulsions de transition négatives recueillies sur l'autre collecteur de la bascule actionnent un deuxième monostable ayant les mêmes caractéristiques que le premier. Les impulsions issues de ces deux monostables sont couplées et le signal ainsi formé appliqué à l'entrée d'un filtre passe bande centré sur la fréquence $2 F_1$. Le signal recueilli à la sortie de ce filtre est amplifié et écrêté avant d'être appliqué à une bascule de démultiplication binaire.

Le signal délivré par cette bascule est le signal y_{11} ou tout au moins un signal tel que y_{11} en soit la composante principale.

$$y_{11} = \pm \cos [(\Omega_1 + \varepsilon \Delta \Omega)t - (\phi_1 - \varepsilon \phi_2 + \varepsilon \phi_3 + \phi_0)]$$

Ce problème de régénération du porteur est traité de façon détaillée au paragraphe suivant.

Les signaux y_{10} et y_{11} tous deux échantillonnés sont appliqués au dispositif démodulateur. Le signal résultant y_{12} également échantillonné est égal à $y_{10} \cdot y_{11}$; sa polarité est indiquée dans le tableau ci-dessous :

y_{10}	y_{11}	y_{12}
+	+	+
+	-	-
-	+	-
-	-	+

ϕ_0 caractérise le rendement du dispositif de démodulation. Le déphasage apporté par le filtre centré sur la fréquence $2F_1$ est ajusté de telle sorte que ϕ_0 soit égal à un multiple de π , ce qui correspond au rendement maximal du dispositif de démodulation.

Dans ces conditions : $y_{12} = \pm y_1$

Le signal de départ est ainsi reproduit avec toutefois une indétermination de phase de π .

Un filtre passe-bas gaussien de préférence, élimine les impulsions parasites dues aux phénomènes de second ordre par exemple au balancement du porteur ou à la non linéarité de déphasage du circuit de transmission et des filtres.

Le signal est ensuite régénéré de façon classique. L'indétermination de phase due à la régénération du porteur est levée du fait de l'existence de dispositifs de translation à l'entrée de l'émetteur et à la sortie du récepteur. Ces dispositifs de translation sont nécessaires par ailleurs, pour permettre le fonctionnement du système en modulation différentielle.

3. — Régénération du porteur

Le principe de régénération du porteur est indiqué sur la figure 2 et sur la figure 4 (dessins 7 à 13). Le signal obtenu à la sortie du filtre passe bande centré sur la fréquence $2F_1$ peut être affecté d'un certain taux de modulation à fréquence basse. Cette modulation est due à la présence dans le spectre relatif au signal de données, de fréquences voisines d'une fréquence sous multiple du porteur. Elle a pour effet de provoquer un léger balancement du signal restitué.

La nature de cette modulation dans le cas particulier d'un roulement 1/1 est étudiée ci-dessous :

Le signal appliqué à l'entrée du filtre peut être considéré comme obtenu de la façon suivante à partir des signaux z_1 et z_2 (voir figure 7).

z_1 représente le roulement 1/1 et z_2 le courant porteur.

Le signal échantillonné z_3 s'obtient par combinaison des deux signaux précédents.

Les transitoires de z_1 fournissent par l'intermédiaire des monostables les impulsions représentées par z_4 .

Les transitoires de z_2 fournissent par l'intermédiaire des monostables les impulsions représentées par z_5 .

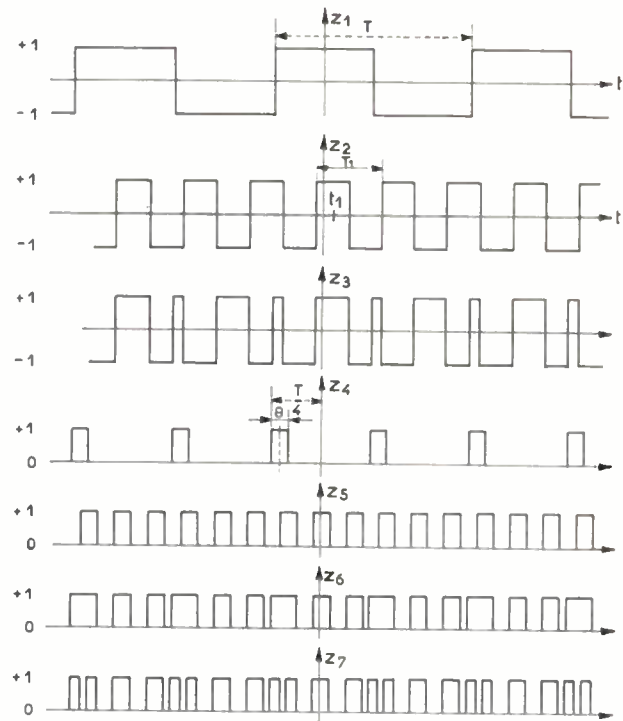


Fig. 7

Le signal z_6 appliqué à l'entrée du filtre de récupération de porteur s'obtient à partir des signaux z_4 et z_5 .

$$\bar{z}_6 = \bar{z}_4 \cdot \bar{z}_5 \quad (\bar{z} = 1 - z)$$

$$z_6 = z_4 + z_5 - z_4 z_5$$

$$z_4 = \lambda_1 + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n \lambda_1 \pi}{n} \cos 2n \omega_1 \left(t - \frac{\theta}{2} - \frac{T}{4} \right)$$

$$\text{avec } \omega_1 = \frac{2\pi}{T} \text{ et } \lambda_1 = \frac{2\theta}{T}$$

$$z_5 = \lambda_2 + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n \lambda_2 \pi}{n} \cos 2n \Omega_1 \left(t - t_1 - \frac{\theta}{2} - \frac{T_1}{4} \right)$$

$$\text{avec } \Omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} \text{ et } \lambda_2 = \frac{2\theta}{T_1}$$

$$\text{En posant : } t - \frac{\theta}{2} = t'$$

$$z_4 = \lambda_1 + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sin n \lambda_1 \pi}{n} \cos 2n \omega_1 t'$$

$$z_5 = \lambda_2 + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sin n \lambda_2 \pi}{n} \cos 2n \Omega_1 (t' - t_1)$$

Si $\Omega_1 = K_1 \omega_1$, K_1 étant voisin d'un nombre entier K , $\lambda_2 \sim K \lambda_1$.

Le signal z , obtenu à la sortie du filtre, se compose des différents signaux dont la fréquence est voisine de $2F_1$.

En négligeant les termes de second ordre :

$$z = -\frac{2}{\pi}(1 - \lambda_1) \sin \lambda_2 \pi$$

$$\left[\cos 2\Omega_1(t' - t_1) - \frac{(-1)^k}{K} \frac{1 - \lambda_2}{1 - \lambda_1} \cos 2K\omega_1 t' \right]$$

Si $K = 3$ et si les monostables sont réglées de telle façon que λ_2 soit égal à $1/2$:

$$z = -\frac{5}{3\pi} \left[\cos 2\Omega_1(t' - t_1) + \frac{1}{5} \cos 6\omega_1 t' \right]$$

A cette valeur de λ_2 correspond un taux de modulation de $1/5$.

Il est possible moyennant une légère complication du montage, de diminuer sensiblement le taux de modulation en formant le signal z_7 tel que :

$$z_7 = z_6 - z_4 z_5 = z_4 + z_5 - 2z_4 z_5$$

Le signal à la sortie du filtre devient dans ce cas en négligeant les termes de second ordre :

$$z = -\frac{2}{\pi}(1 - 2\lambda_1) \sin \lambda_2 \pi$$

$$\left[\cos 2\Omega_1(t' - t_1) - \frac{(-1)^k}{K} \frac{1 - 2\lambda_2}{1 - 2\lambda_1} \cos 2K\omega_1 t' \right]$$

La modulation disparaît ainsi pratiquement dans le cas du roulement $1/1$, lorsque $\lambda_2 = 1/2$.

Conclusion

Ce système de transmission de données réalisé par la Société Anonyme de Télécommunications, permet la transmission d'informations à grande vitesse sur des circuits téléphoniques dans le cadre des recommandations du C.C.I.T.T.

Il convient de noter que l'hypothèse formulée au début de cet article, à savoir la linéarité du déphasage en fonction de la fréquence des circuits et des filtres, ne correspond qu'à une première approximation valable pour la description du dispositif. En fait, la non-linéarité du déphasage peut limiter la rapidité de modulation et nécessiter dans certains cas l'utilisation de correcteurs de phase.

SYSTÈME ITT 7300 ADX POUR COMMUTATION TÉLÉGRAPHIQUE ET TRANSMISSION DE DONNÉES

PAR

P. OTTENHEIMER de GAIL et R. PAGEL
Ingénieurs à la Société Le Matériel Téléphonique

1. Généralités

1.1. INTRODUCTION

Avant d'aborder la description technique du système ADX 7300 mis au point par Information System Division, de l'International Telephone and Telegraph, on rappellera les deux méthodes fondamentales d'acheminement de l'information sous une forme écrite. On peut en effet parler de transmission directe par liaison point à point entre un émetteur et un récepteur de signaux télégraphiques ou données et de transmission indirecte, par envoi de messages acheminés d'un centre de commutation à un autre.

La première méthode a servi de base à l'établissement du réseau télex et exige l'établissement d'une communication directe entre les deux points désirant communiquer, par l'envoi d'un indicatif d'appel aiguillé de sélecteur en sélecteur vers le destinataire.

La deuxième méthode consiste à acheminer l'information du point origine au point destinataire par l'intermédiaire d'un centre de commutation, muni d'une mémoire pour emmagasinage de l'information tant que la ligne du destinataire n'est pas libre. On peut faire attendre les messages qui ne sont pas urgents et transmettre immédiatement les plus urgents ; on peut aussi recevoir et transmettre sur des lignes de transmission à vitesse de modulation différente ; d'une façon générale, on peut utiliser la discontinuité constituée par le relaiage du centre pour effectuer toute modification nécessitée par le réseau de télécommunication dans lequel il est intégré.

Toutes ces opérations peuvent être effectuées d'une façon manuelle, semi-automatique ou automatique. La réalisation la plus répandue de la commutation indirecte, ou à relais, est actuellement encore la méthode manuelle, avec emmagasinage de l'information sur des mémoires constituées par les bandes perforées des téléimprimeurs. Les opérateurs coupent ces bandes

à la fin du message — d'où le nom de centres « torn tape » — lisent l'adresse et placent la bande dans un lecteur couplé à la ligne sortante du destinataire. Ces centres permettent l'accès d'un nombre limité de lignes parce que l'encombrement dû notamment aux messages multi-adresses et à priorité élevée, crée des phénomènes d'engorgement lents à résorber. Par ailleurs, le temps de passage à travers le centre n'est pas négligeable et affecte sensiblement la durée de transmission des messages.

Sous la poussée des exigences opérationnelles, avec l'apparition de la transmission de données à vitesses moyenne et élevée, on a songé à automatiser les fonctions remplies par les opérateurs des centres manuels. Les premières réalisations n'ont pas été poussées jusqu'à une automatisation complète, et on a conservé des opérateurs desservant de 3 à 6 positions suivant le trafic, dont le rôle consiste seulement à prendre connaissance des adresses destinataires et à appuyer sur les boutons-poussoirs correspondants pour assurer le reacheminement. Ce sont les centres semi-automatiques.

Mais les progrès de l'électronique ont permis de passer au stade suivant du système entièrement automatique. Diverses solutions ont pu être données aux nombreux problèmes posés par la commutation télégraphique automatique, et cet article exposera comment le système ADX 7300 les résout, à la fois par une description technique de l'appareil, et par une description des possibilités opérationnelles offertes.

1.2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU TRAITEMENT D'UN MESSAGE PAR L'ADX

1.2.1. L'ADX est un dispositif de commutation télégraphique et de commutation de « données » entièrement électronique et transistorisé, basé sur la technique calculeur. Il est conçu pour permettre des communications entre lignes pouvant avoir des vitesses de

modulation, des codes, des alphabets et des formats semblables ou différents, et il acheminera les messages en tenant compte des priorités de chacun d'eux et des autres servitudes imposées par l'utilisateur.

1.2.2. Cependant, la machine ne commencera à fonctionner qu'à la condition de reconnaître une séquence valide de début de message sur le circuit des lignes d'entrée. Ce circuit est un dispositif de jonction (interface, suivant la définition C.C.I.T.T.) entre les lignes télégraphiques ou téléphoniques de transmission de données et le système ADX. Il reçoit des impulsions en série représentant la forme électronique de l'information et les enregistre, caractère par caractère, pour permettre leur transfert, en parallèle, dans un emplacement repéré de la mémoire du calculateur central.

Le calculateur, sous l'action des instructions d'un programme incorporé, examine et décode l'en-tête du message arrivant — par exemple, les quatre premières lignes téléimprimeur dans le cas de la procédure O.A.C.I. — Les renseignements fournis par cette analyse permettent, si le message est valable, de l'acheminer, conformément aux désirs de l'autorité origine, suivant la procédure adoptée pour le réseau : acheminement pré-déterminé, ou ségrégation de ligne. Simultanément, le message sera archivé sur le journal des entrées. Si la ligne sortante est libre, le message sera aussitôt envoyé dès que l'en-tête aura été décodée. On notera d'ailleurs que cette faculté de transmission immédiate n'est possible que si les vitesses de modulation sur lignes entrantes et sortantes sont identiques ; dans le cas où le circuit de sortie fonctionnerait à une vitesse supérieure, le message devra être reçu dans sa totalité et mis provisoirement en mémoire avant d'être retransmis. Si la ligne sortante est occupée, le message sera mis en mémoire et sera acheminé dès que la machine en aura reconnu la possibilité, grâce à un examen permanent de l'état des circuits de sortie.

La séquence de fin de message, reçue sur la ligne de transmission entrante, signale au programme de commande que le message est terminé. Ainsi, l'ADX s'accommode de toute forme de procédure, sous la condition, toutefois, de respecter un certain nombre de règles. Il lui en faut obligatoirement reconnaître :

- un indicateur de début de message,
- un ou des indicateurs d'acheminement, indiquant à l'appareil de commutation comment acheminer le message,
- un indicateur de fin d'en-tête, informant l'appareil de commutation qu'il n'y a plus de caractères de fonction à suivre,
- accessoirement, un indicateur de fin de message notifiant à l'appareil de commutation que le message est terminé.

1.2.3. Le système ADX peut recevoir et expédier du trafic simultanément sur un grand nombre de voies, selon le processus brièvement indiqué ci-dessus. Cette possibilité est obtenue grâce aux circuits logiques à grande vitesse, aux circuits de mémoire du calculateur et au système de séquences prioritaires, propre à l'ADX, consistant à recevoir des données sur les

circuits entrants et à effectuer des transferts de données internes suivant des ordres de priorité accordés à des cycles d'opération reconnus plus urgents. Pour les abonnés, cela signifie que leur trafic, arrivant de façon aléatoire sur le système ADX, sera accepté immédiatement quel que soit l'état interne du traitement de l'information à l'intérieur de la machine, par suite de la priorité accordée à la réception de l'information.

1.2.4. Le système ADX effectue bien d'autres opérations, notamment toutes celles qui sont réalisées dans les centres de commutation : vérification de l'identification de transmission de chaque message entrant (numéro du message et de voie), acheminement détourné du trafic suivant un programme pré-établi ou sous le contrôle du superviseur, comptage du nombre de messages et du nombre de caractères par message, réponses à toutes les demandes formulées par le superviseur, tant du point de vue de la connaissance de la situation du trafic à l'intérieur de la machine, que du point de vue vérification du fonctionnement des circuits de la machine.

1.2.5. Tous les messages entrant dans l'ADX, non conformes au format normalisé, seront envoyés sur le journal des entrées avec repérage de l'erreur reconnue par la machine. Le message sera alors, ou ne sera pas, acheminé tel quel, suivant la nature de cette erreur. Lorsque le message ne peut être acheminé, le message est rejeté sur une position spéciale à partir de laquelle le superviseur pourra prendre toutes les mesures nécessaires pour la correction et l'envoi du message rejeté. Cependant, ce rejet sur la position de superviseur n'est pas aussi strict qu'on pourrait l'imaginer, et la machine présente une certaine souplesse qui lui permet d'interpréter des fautes mineures ne compromettant pas la transmission du message.

2. Description fonctionnelle

2.1. INTRODUCTION

Le système ADX, dont les fonctions principales ont été examinées au chapitre précédent, est bâti autour d'une unité centrale qui fonctionne comme un calculateur à programme enregistré. Ce programme contrôle non seulement l'opération en cours dans l'unité centrale, mais aussi le fonctionnement des organes périphériques dont l'importance est liée au nombre de lignes connectées et au volume du trafic à traiter.

L'utilisation de programmes enregistrés et les multiples possibilités de raccordement à l'unité centrale qui caractérisent le système ADX sont particulièrement bien adaptées au problème des centres de commutation télégraphique et de transmission de données pour lesquels il existe un nombre important de paramètres déterminants. Par exemple, dans le cas d'un centre de commutation télégraphique, l'automatisation des fonctions suivantes :

- adressages multiples
- conversion de vitesse et de code

- traitement des priorités
 - acheminement détourné
 - archivage
 - établissement des journaux d'entrée et de sortie,
- se répercutera directement sur le programme enregistré au même titre que le volume de trafic à traiter, tandis que le nombre de lignes connectées déterminera l'importance des organes périphériques autour de l'unité centrale.

2.2. UNITÉ CENTRALE

L'unité centrale représentée sur la figure 1, est caractérisée par l'emploi d'une mémoire à ferrite dont le cycle conditionne toutes les opérations de logique et de transfert.

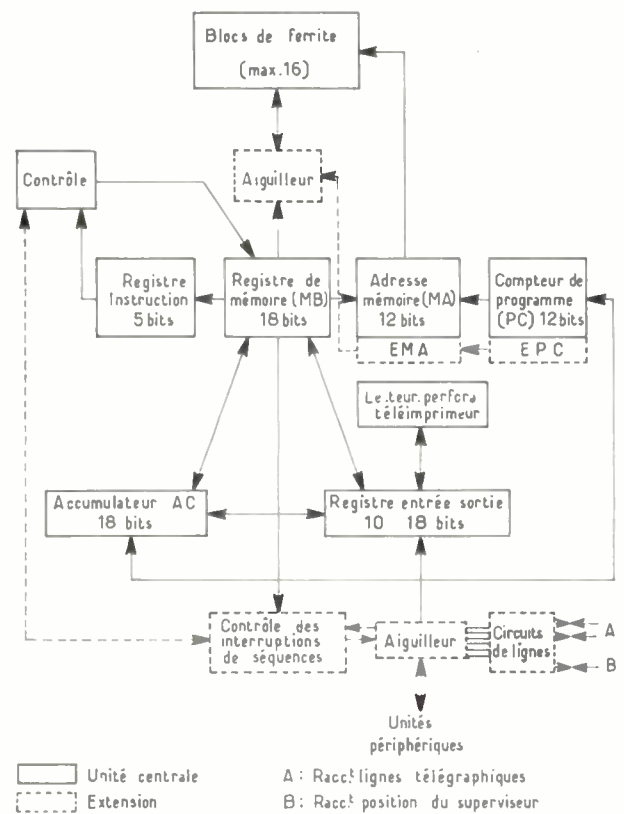


FIG. 1. — ADX — Diagramme général.

2.2.1. Caractéristiques générales

a) Utilisation du cycle de mémoire à ferrite

Toute opération initiée par le programme enregistré ou par l'opérateur à partir du pupitre de commande et de contrôle s'effectue en un ou plusieurs cycles de ferrite dont la durée est de 5 μ s.

Dans cet intervalle de 5 μ s, le calculateur effectue, d'une part, une opération de lecture et d'écriture en

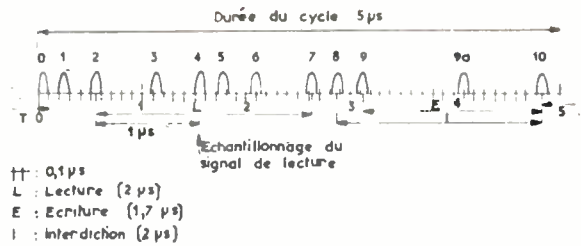


FIG. 2. — Train d'impulsions de commande.

mémoire, mais aussi toute une série d'opérations diverses en fonction de l'instruction exécutée.

A cet effet, une série de 12 impulsions (fig. 2) est définie à l'intérieur du cycle de 5 μ s. La durée de ces signaux est de 0,1 μ s et l'écartement entre deux impulsions voisines peut atteindre 0,2 μ s.

Le signal de début TO qui conditionne l'apparition des autres signaux est créé initialement dès la mise en service par l'opérateur. Il se reproduit ensuite toutes les 5 μ s et disparaît dès que l'ordre « arrêt programme » ou « arrêt manuel » est exécuté.

b) Longueur des mots

Le calculateur travaille avec des mots de longueur fixe de 18 bits. La mémoire à ferrite a une capacité de 4 096 mots. Elle est banalisée et peut indifféremment recevoir des données ou des instructions.

c) Utilisation du mot (fig. 3)

— Le mot représente une instruction avec adresse

Dans ce cas les bits 0 à 4 définissent l'opération à exécuter et les bits 6 à 17 l'adresse de mémoire à ferrite à laquelle s'applique cette opération.

Le bit 5 a une signification particulière que nous examinerons au paragraphe 2.2.2.

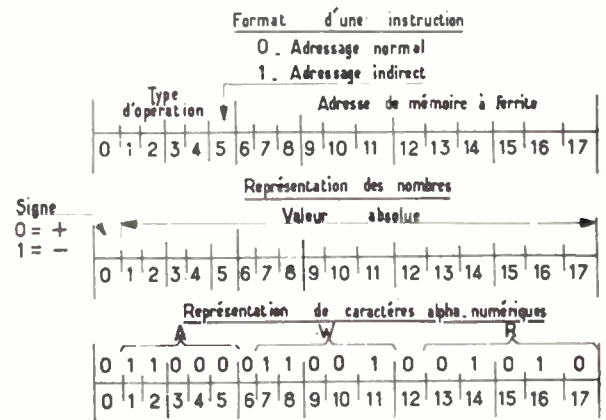


FIG. 3. — Utilisation du mot ADX.

— Le mot représente une instruction sans adresse

Le code opération utilise toujours les bits 0 à 4, mais la partie adresse du mot est employée pour compléter le sens de ce code.

— Le mot représente une donnée

Nous devons maintenant faire une distinction entre les valeurs numériques utilisées par la machine et des données en provenance de lignes télégraphiques par exemple.

— Valeurs numériques

Les 18 bits d'information représentent la valeur en code binaire pur de la donnée (bit 1 à 17) avec son signe (bit 0).

Les nombres négatifs sont obtenus en prenant le complément à 1 des nombres positifs.

Aussi nous pouvons définir :

le plus grand nombre positif :

0111111111111111 soit + 131071

et le plus grand nombre négatif :

1000000000000000 soit - 131071

inscrits dans un registre de 18 bits.

— Correspondance entre caractères télégraphiques et valeurs enregistrées dans la machine

Assimilons l'information « Marque » à la valeur binaire 1 et l'information « Espace » à la valeur binaire 0. Ainsi, nous aurons la correspondance suivante qui suppose l'utilisation du code C.C.I.T.T. 2 à 5 moments.

Code C.C.I.T.T. 2		Représentation binaire
Lettre	Chiffre	
A	—	011000
W	2	011001
R	4	001010

Un registre de 18 bits pourra donc contenir 3 caractères.

d) Vitesse d'opération

Toutes les opérations s'effectuent sur 18 bits en parallèle. A l'intérieur d'un cycle de 5 μ s, la machine exécute des opérations élémentaires à 10 MHz (transferts) et à 5 MHz (décalages).

Une instruction dure 5 ou 10 μ s. Il convient, dans certains cas, d'ajouter 5 μ s ou n fois 5 μ s (voir paragraphe 2.2.2.c). L'exécution complète d'une instruction pour le transfert de 18 bits en parallèle entre l'unité centrale et un organe périphérique s'effectue en 5 μ s. On peut donc transférer un maximum de 3,6 millions de bits par seconde.

2.2.2. Exécution des instructions

On définit 3 cycles principaux pour l'exécution des instructions. Le cycle 0 existe quel que soit le type d'instruction. Il est initié par le compteur de programme quand celui-ci spécifie un nouvel emplace-

ment de mémoire dans lequel se trouve une instruction à exécuter.

a) Cas d'une instruction sans adresse.

Elle s'exécute complètement au cours du cycle 0. Un nouveau cycle 0 est effectué, à la suite.

b) Cas d'une instruction avec adresse normale (le bit 5 de l'instruction est égal à 0).

Un cycle supplémentaire (cycle 1) doit suivre le cycle 0. Il permet, d'une part, de retrouver dans la mémoire la donnée à l'emplacement spécifié par l'instruction ; d'autre part, d'effectuer sur cette donnée l'opération précédemment décodée et conservée en mémoire par le registre instruction.

On remarquera que le registre d'adresse de mémoire a été rempli par le compteur du programme au cours du cycle 0 (avancement séquentiel du programme) puis par la partie adresse du registre de la mémoire à ferrite (bits 6 à 17) au cours du cycle 1.

c) Cas d'une instruction avec adresse différée (le bit 5 de l'instruction est égal à 1).

Un cycle supplémentaire est effectué pour trouver l'adresse qui donnera accès à la donnée. Si le bit 5 du mot trouvé à l'adresse spécifiée au cours de ce cycle est encore égal à 1, un nouveau cycle est nécessaire.

Cet adressage indirect ou différé peut éventuellement demander n cycles supplémentaires.

2.2.3. Utilisation des registres 18 bits

Le registre d'entrée et de sortie (I.O.) donne accès aux équipements périphériques.

Les registres accumulateurs (AC) et de mémoire (MB) sont utilisés conjointement pour les opérations arithmétiques. Dans le cas de la multiplication et de la division, le registre d'entrée et de sortie sert d'extension à l'accumulateur.

2.2.4. Organes périphériques

Un lecteur de bande perforée (200 lignes par seconde), un perforateur de bande (63 lignes par seconde) et un téléimprimeur sont toujours associés à l'unité centrale.

2.2.5. Pupitre de commande et de contrôle

Toutes les opérations en cours à l'intérieur du calculateur sont initiées et contrôlées à partir du pupitre représenté sur la figure 4.

a) Introduction des programmes

Nous verrons au paragraphe 2.2.6. que le lecteur de bande perforée fonctionnant à 200 lignes par seconde permet l'enregistrement du programme quand la clé « Mode lecture » est actionnée.

b) Adressage extérieur

Les clés « adresse » peuvent définir :

— l'origine du programme à exécuter.

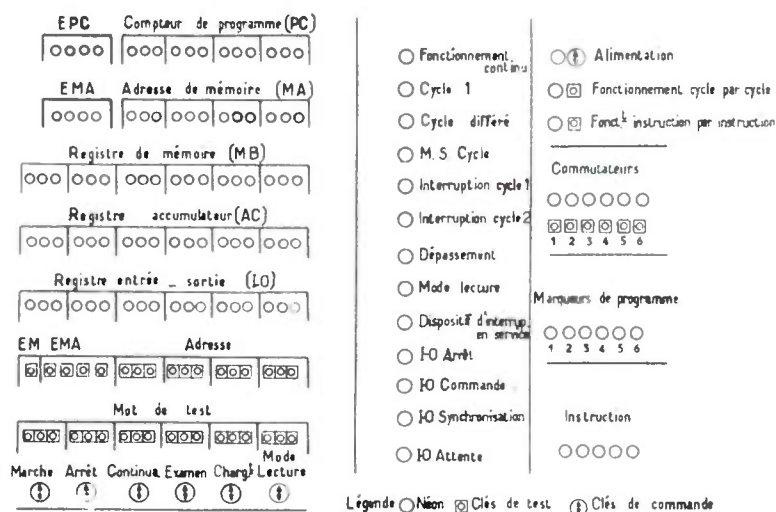


FIG. 4. — Unité centrale : panneau de commande et de contrôle.

— l'adresse d'un emplacement de mémoire dont le contenu peut être examiné (voyants du registre mémoire) ou modifié (à partir des informations définies par les clés du « mot de test »).

c) Introduction de constantes

Les clés de test permettent de définir un mot de 18 bits (mot de test). Lorsque la clé « Transfert » est actionnée, ce mot est mis dans la mémoire à ferrite à l'adresse spécifiée par les clés d'adressage extérieur.

Après cette opération, les contenus des registres accumulateur (AC) et de mémoire à ferrite (MB) doivent correspondre à l'information définie par le « mot de test ».

d) Option pour le programme en cours

Le positionnement des clés « marqueurs de programme » peut être interprété par certaines instructions de saut conditionnel.

e) Contrôle du fonctionnement

Pendant l'exécution d'un programme, la visualisation de l'état des principaux registres et circuits de commande donne des indications précieuses à l'opérateur. En cas d'arrêt manuel ou accidentel, les informations affichées correspondent à la dernière instruction exécutée.

f) Toutes les facilités fournies par le pupitre de commande et de contrôle sont particulièrement bien adaptées à l'utilisation des programmes de test et de diagnostic qui sont employés pour la maintenance préventive et la localisation des pannes électroniques éventuelles.

2.2.6. Programmation

a) Code machine et code programme

Le code binaire pur utilisé à l'intérieur de la machine sert aussi pour communiquer avec les différents organes extérieurs (lecteur de bandes, perforateur, téléimprimeur, visualisation).

Afin de faciliter son interprétation, les données à introduire ou les résultats sont exprimés en code octal. Des tables de conversion permettent, si nécessaire, de trouver la correspondance en code décimal.

Par exemple, le plus grand nombre positif défini précédemment s'écrit :

représentation binaire : 0 1111111111111111

représentation octale : + 3 7 7 7 7 7

représentation décimale : + 1 3 1 0 7 1

le passage binaire-octal, ou inversement, est immédiat. Chaque groupe de 3 bits (à partir du bit le moins significatif) définissant un nombre compris entre 0 et 7).

Pour éviter toute ambiguïté, entre codes octal et décimal dans l'écriture des programmes, les valeurs inscrites peuvent être suivies du symbole 8 ou 10 définissant le code utilisé.

Ainsi : $150_8 = 104_{10}$

$7777_8 = 4096_{10}$

Des repères sont utilisés sur le panneau de contrôle pour définir des groupes de 3 bits, et faciliter ainsi la compréhension des informations affichées (voyants ou clés positionnées).

b) Répertoire d'instruction

Les instructions définies précédemment (avec et sans adresse) sont au nombre d'une centaine.

c) Introduction des programmes

Les circuits de l'unité centrale peuvent entrer des programmes dans la mémoire à ferrite à partir d'une bande perforée préparée suivant un mode particulier. Ce processus démarre après le chargement du lecteur de bandes quand la clé « Mode lecture » est actionnée. Il se termine après la dernière instruction lue sur la bande.

2.2.7. Raccordement aux organes périphériques

Pour chacun des trois appareils connectés (voir par. 2.2.4), il existe un registre tampon associé qui assure des transferts d'information en parallèle avec le registre d'entrée et de sortie de l'unité centrale.

Dans tous les cas, ces transferts sont contrôlés par le programme.

2.3. EXTENSION DE L'UNITÉ CENTRALE

Le système central a été particulièrement étudié pour s'adapter à des extensions de mémoire à ferrite et de circuits périphériques divers.

2.3.1. Augmentation de la capacité de mémoire à ferrite

15 blocs de ferrite supplémentaires peuvent être utilisés pour porter la capacité totale du système à $4\,096 \times 16 = 65\,536$ mots de 18 bits.

Au cours d'un cycle machine, une seule mémoire à ferrite est utilisée et le fonctionnement décrit au paragraphe 2.2. reste valable.

a) Adressage des blocs

Il est rendu possible en augmentant les possibilités du registre d'adresse mémoire (MA) et du compteur de programme (PC) grâce à deux registres de capacités 4 bits que nous désignerons respectivement par les notations EMA (extension de l'adresse mémoire) et EPC (extension du compteur de programme).

b) Sélection d'un bloc

Au cours du déroulement d'un programme, le contenu du registre PC est normalement augmenté d'une unité à la fin de l'exécution d'une instruction. Au contraire, le registre EPC demeure inchangé. Au début de chaque cycle 0 les transferts du compteur de programmes dans le registre d'adresse mémoire sont complétés par un transfert du registre EPC dans EMA. Le bloc de ferrite qui se trouve ainsi défini est le seul à recevoir des impulsions de commande pour l'exécution du cycle de $5\ \mu\text{s}$. Les autres blocs sont totalement inactifs.

c) Changement de bloc (fig. 5)

Quand un programme s'exécute dans un bloc, il est possible de passer à n'importe quel autre bloc,

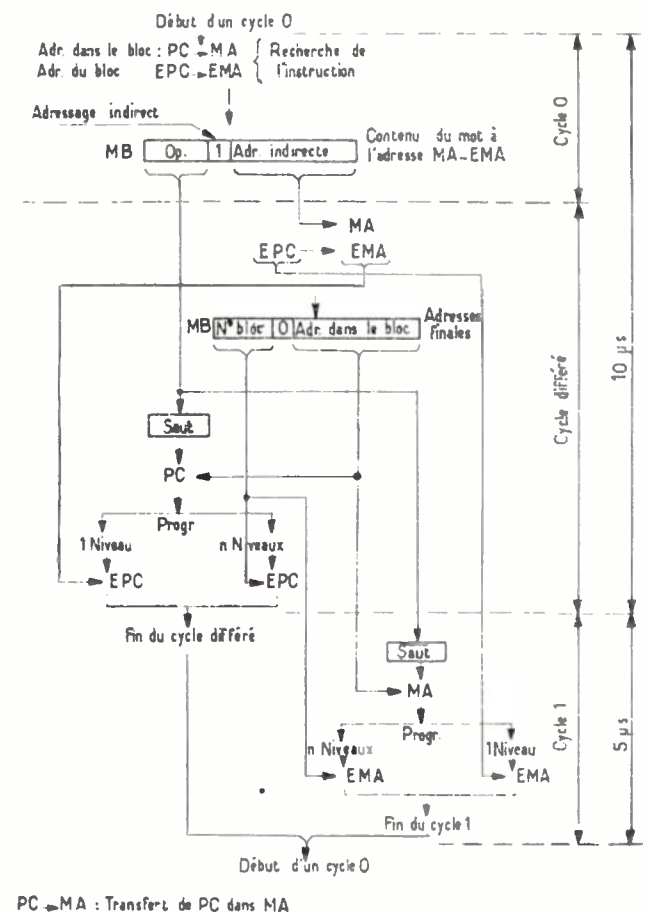
soit pour exécuter une seule instruction, soit pour y continuer le programme. Cette possibilité de programmation peut être initiée ou supprimée à l'aide de deux instructions particulières que nous désignerons en conséquence :

— instruction pour programmation à niveaux multiples (16 maximum)

— instruction pour programmation à un seul niveau.

Dans ce dernier cas, le niveau unique s'applique à l'un quelconque des 16 blocs de ferrite qui peuvent être utilisés.

D'une façon générale, toutes les instructions indirectement adressées permettent d'effectuer les changements de blocs désirés.



PC → MA : Transfert de PC dans MA

FIG. 5. — Changement de bloc ferrite.

c1) Programmation à niveaux multiples

— Cas d'une instruction de saut

Elle nécessite : un cycle 0
un cycle différé (voir par. 2.2.2.).

Au cours de ce dernier cycle, le contenu du registre de mémoire (MB) sert à modifier :

- le compteur de programme (PC)
- l'extension du compteur de programme (EPC).

Les instructions suivantes sont en conséquence exécutées dans le nouveau bloc spécifié par EPC à partir de l'adresse donnée par PC.

— *Cas des autres instructions*

Celles-ci nécessitent : 1 cycle 0
1 cycle différé
1 cycle 1.

Au cours de ce dernier cycle, le contenu du registre de mémoire MB sert à modifier :

- le registre d'adresse mémoire (MA)
- l'extension du registre adresse (EMA).

La donnée nécessaire à l'accomplissement de l'opération indiquée dans l'instruction est donc prise dans le bloc spécifié par l'adresse portée dans EMA.

Pour la suite du programme, EMA reprend la valeur indiquée par EPC qui n'a pas subi de modification.

Le changement de bloc a finalement porté sur une seule instruction du programme.

c2) *Programmation à un seul niveau*

Quel que soit le code opération de l'instruction indirectement adressée, les contenus des registres EMA et EPC demeurent inchangés, et le programme se déroule complètement à l'intérieur d'un bloc de ferrite.

d) *Aiguillage des informations*

L'ensemble des blocs n'utilise qu'un seul registre de mémoire (MB) et un seul registre d'adresse (MA). L'aiguillage des informations et des adresses s'effectue sous le contrôle du registre EMA.

Par contre, chaque bloc possède ses circuits particuliers de lecture et d'écriture.

Remarque : Un changement de bloc mémoire n'ajoute que 5 μ s au temps d'exécution du programme.

2.3.2. *Adjonction d'unités périphériques de très grande capacité*

Le système ADX peut utiliser :

- des tambours magnétiques
- des disques magnétiques
- des bandes magnétiques.

Afin d'illustrer le problème de la synchronisation, nous nous intéresserons principalement aux unités de bandes magnétiques qui permettent de répondre aux besoins du système ADX utilisé dans les centres de commutation télégraphique.

Les unités de bandes magnétiques ne travaillent pas directement avec le système central de l'ADX. Il est nécessaire de prévoir une baie de contrôle par groupe de huit unités.

Trois baies de contrôle peuvent être raccordées.

a) *Caractéristiques principales des unités de bande*

- densité d'enregistrement : 8 bits au millimètre
- nombre de traces : 7 dont 1 pour le contrôle de parité
- espacement entre deux blocs d'information : 20 millimètres
- vitesse : environ 1,8 mètre par seconde
- nombre de caractères transférés par seconde : 15 000
- temps de démarrage et d'arrêt : 3 millisecondes
- largeur de ruban : 12,5 millimètres
- longueur de ruban : 750 mètres.

b) *Raccordement des baies de contrôle au système central*

Chaque baie de contrôle possède un registre tampon pour 18 bits. Compte tenu de la vitesse de transfert de 15 000 caractères par seconde, ce registre peut être rempli ou vidé toutes les 200 μ s. Cette opération s'effectue par groupe de 6 bits d'information comme il est indiqué sur la figure 6.

Les opérations avec les bandes magnétiques sont initiées par le programme du système central qui transfère à la baie de contrôle sélectionnée :

- l'adresse de départ (adresse du bloc de ferrite et adresse dans le bloc).
- l'adresse finale (adresse du bloc de ferrite et adresse dans le bloc).
- le type d'opération (lecture, écriture...)
- l'unité de bande sélectionnée parmi 8.

Dès que ces informations sont transférées, la baie de contrôle peut travailler indépendamment du système central jusqu'à ce que l'adresse traitée devienne égale à l'adresse finale du transfert. Cependant, toutes les 200 μ s il est nécessaire d'effectuer une liaison entre le bloc de ferrite intéressé et le registre tampon de la baie de contrôle afin de suivre la cadence de lecture ou d'écriture sur la bande. On dispose ainsi, dans le cas le plus défavorable (3 baies de contrôle réclamant un transfert) d'un intervalle de 22 μ s (1) pour effectuer cette opération.

En conséquence, les trois registres tampon des baies de contrôle ont un accès direct au registre de la mémoire à ferrite à travers un aiguilleur contrôlé par un dispositif d'interruption de séquence dont les fonctions seront examinées au paragraphe 2.4.

2.3.3. *Adjonction de circuits de liaison à des lignes télégraphiques*

Le système ADX est prévu pour traiter les messages caractère par caractère. Dans le cas des lignes faibles vitesses, nous trouverons pour chacun des lignes connectées :

(1) A la vitesse de transfert de 15 000 caractères par seconde, on dispose de 66 μ s entre deux opérations de lecture ou d'écriture consécutives sur une bande. Cet intervalle se réduit à 22 μ s pour des opérations simultanées sur trois bandes.

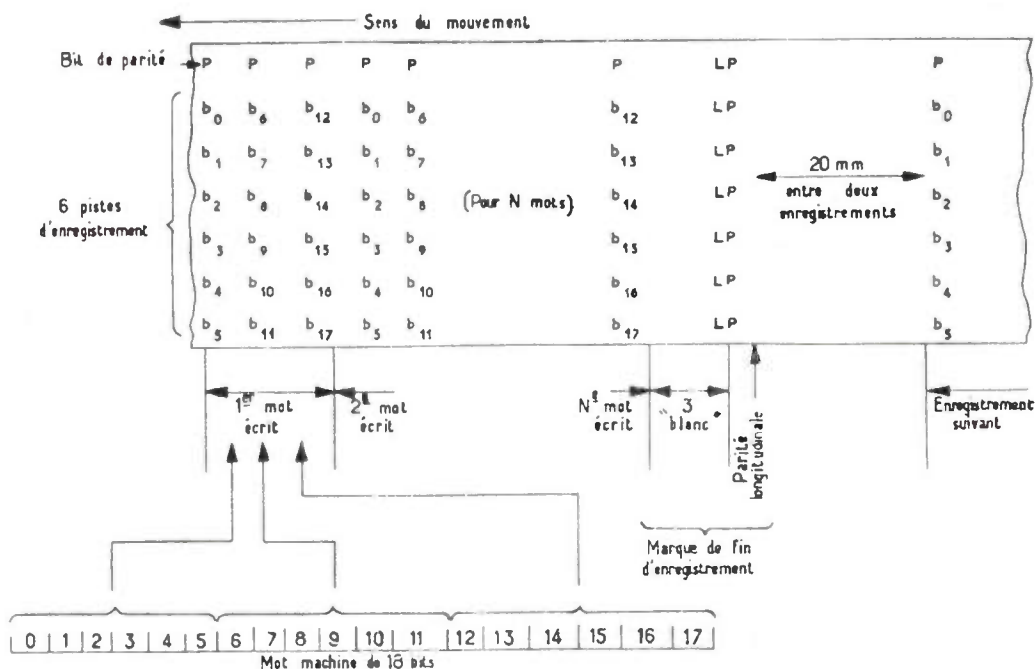


FIG. 6. — Inscription sur la bande magnétique.

— un convertisseur de niveau permettant d'effectuer la liaison entre les courants de ligne émission-réception et les signaux logiques de l'ADX.

— un registre un caractère (5 bits dans le cas du code télégraphique C.C.I.T.T. 2).

— un marqueur pour indiquer :

— la fin du remplissage en série du registre de ligne par un caractère reçu

ou

— la fin du transfert d'un caractère vers la ligne sortante.

Nous verrons au paragraphe 2.4. que cette information permet au programme enregistré d'intervenir pour assurer la continuité de la réception ou de l'émission sur les lignes intéressées.

On définit des groupes de 8 circuits entrants ou sortants qui correspondent à des lignes ayant des vitesses identiques et des priorités comparables.

Chacun de ces groupes possède un circuit d'horloge pour les opérations de transfert à 75 ou 50 bauds avec les lignes et un mélangeur commun aux 8 registres pour assurer des liaisons en parallèle à grande vitesse sur 5 fils avec le registre d'entrée et de sortie du système central (bits 13 à 17).

2.4. FONCTIONNEMENT DES ORGANES PÉRIPHÉRIQUES ET DÉROULEMENT DU PROGRAMME

2.4.1. Problème posé par le raccordement des unités périphériques

Nous avons vu que les opérations de transfert entre les unités de bandes magnétiques et le système central s'effectuaient périodiquement toutes les 200 μ s environ et devaient être complètement terminées dans

un intervalle de temps pouvant être limité à 22 μ s (voir paragraphe 2.3.2.).

Les organes périphériques lents (circuits de lignes télégraphiques, lecteur ou perforateur de bande, télé-imprimeur...) posent un problème sensiblement différent. Prenons, par exemple, le cas du lecteur rapide de bande perforée qui fonctionne à la vitesse de 200 lignes par seconde (1 ligne contient 6 bits d'information). Le remplissage du registre tampon 18 bits associé au lecteur nécessite par conséquent 15 millisecondes et son transfert vers le système central peut s'effectuer à l'intérieur d'un intervalle de 5 millisecondes correspondant au temps nécessaire pour lire un nouveau caractère sur la bande. De même, le registre associé à une ligne télégraphique 75 bauds peut nécessiter une opération de transfert toutes les 100 millisecondes, celui-ci devant s'effectuer avant l'arrivée d'un nouveau caractère ; c'est-à-dire dans un intervalle de 20 millisecondes.

Il est bien évident que la difficulté pour assurer correctement les opérations indiquées ci-dessus croît avec le nombre d'organes raccordés. Supposons connectés 200 registres de lignes télégraphiques 75 bauds, la répartition entre les lignes entrantes et sortantes correspondantes pouvant être quelconque. Dans le cas le plus défavorable, tous ces registres peuvent simultanément réclamer un transfert pour assurer la continuité de l'émission et de la réception. L'intervalle précédent de 20 millisecondes se réduit alors à 100 μ s. C'est-à-dire que le système central dispose de 100 μ s pour effectuer le sous-programme correspondant au transfert du caractère entre le registre de ligne et la mémoire à ferrite ou réciproquement.

Examinons maintenant la possibilité de demandes simultanées de transfert de tous les organes périphériques précédents, à savoir :

- 3 unités de contrôle de bandes magnétiques A, B, C
- 200 registres de lignes télégraphiques 75 bauds
- 1 lecteur de bande perforée

Il est logique de traiter les transferts des unités A, B, C en priorité puisque ces trois opérations doivent être effectuées dans un délai de $22 \times 3 = 66 \mu s$. Soit n ($n \leq 66 \mu s$) le temps machine qu'il faudra réserver toutes les $200 \mu s$ pour assurer des échanges entre les blocs de ferrite et les unités de contrôle de bande.

Les transferts de ligne seront insérés à la suite des précédents, chacun d'eux disposant d'un intervalle théorique de $\left(100 - \frac{n}{2}\right) \mu s$. Quand toutes les lignes

auront été servies, c'est-à-dire après 20 ms, il faudra attendre 80 ms pour retrouver une situation analogue.

Nous avons délibérément négligé la demande de transfert du lecteur de bande perforée en donnant la priorité aux circuits ayant des exigences impératives. En effet, il est possible d'arrêter le déroulement de la bande perforée pendant les périodes d'occupation intensive du programme sans risquer la perte d'information. Au contraire, un retard pour la prise en charge d'une demande de ligne entrante se traduirait par la perte d'un caractère.

Dans notre exemple, 20 % seulement du temps machine est utilisé pour traiter tous les transferts avec les organes périphériques travaillant en temps réel.

En divisant le programme enregistré en 3 parties :

- programme des entrées
- programme des sorties
- programme général,

on voit que le programme général peut occuper les 4/5 du temps machine. Ce programme traitera en particulier les fonctions énumérées au paragraphe 2.1.

En pratique, la répartition des appels de service en provenance des circuits périphériques est aléatoire et le programme enregistré doit pouvoir s'adapter rapidement à toutes les situations.

2.4.2. Dispositif d'interruption des séquences

Au cours du paragraphe précédent nous avons mis en évidence la notion de priorité en classant par ordre de priorité décroissante :

- les unités de bandes magnétiques
- les circuits de lignes
- le lecteur de bande perforée.

Dans le cas des circuits de ligne nous avons vu que le programme d'entrée ou de sortie ne pouvait traiter qu'un seul caractère à la fois dans le temps alloué de $100 - \frac{n}{2} \mu s$, précédemment défini. Par conséquent, nous avons implicitement attribué à chacune des lignes une priorité liée directement à l'ordre dans lequel le programme a examiné les demandes.

En réalité, cet ordre d'analyse n'est jamais quelconque. Il est nécessaire de tenir compte :

- de l'importance du circuit : par exemple une ligne raccordée à une liaison internationale aura priorité sur un circuit destiné à la position du superviseur (voir paragraphe 2.5.4.).
- de la vitesse télégraphique
- du sens de branchement. On traitera toujours en priorité les circuits entrants par rapport aux circuits sortants.

Le système ADX s'adapte aisément à tous les cas rencontrés en pratique grâce à son dispositif d'interruption des séquences dont une des possibilités a été signalée au paragraphe 2.3.2. b.

a) Condition pour l'interruption d'une séquence de programme

Une demande d'interruption ne peut jamais arrêter le déroulement de l'instruction en cours d'exécution. Ce n'est qu'à la fin du dernier cycle correspondant à cette instruction que la demande peut éventuellement modifier l'avance séquentielle du programme.

b) Interruption par une demande de transfert en provenance des baies de contrôle des unités de bandes magnétiques

Une telle demande a toujours priorité sur le programme en cours. Celui-ci est interrompu pendant $5 \mu s$ pour permettre le transfert en parallèle de 18 bits entre la baie de contrôle de bandes et l'un des blocs ferrite du système central. Pour cette opération, l'adresse (désignation du bloc et adresse dans le bloc) est fournie par la baie de contrôle de bandes. Les contenus des registres :

- programmes compteur (PC)
- extension du programme compteur (EPC)
- accumulateur (AC)
- instruction (I.R)
- d'entrée et de sortie (IO)

demeurent inchangés. Dès la fin du transfert, le programme reprend normalement. L'interruption peut atteindre $15 \mu s$ (3×5) quand 3 baies de contrôle effectuent des demandes pendant l'exécution d'une instruction.

c) Interruption pour l'exécution d'une nouvelle partie du programme

Il existe 256 possibilités d'interruptions réparties en 16 niveaux de priorité (repérés $i = 0 \dots i = 17$ (2) dans l'ordre décroissant) ayant chacun 16 niveaux de sous-priorités ($j = 0 \dots j = 17$ (2)).

La figure 7 montre la répartition des marqueurs associés au traitement des différents niveaux.

c1) Chacun des organes périphériques raccordés au dispositif d'interruption de séquence (circuits de

(2) En notation octale.

lignes télégraphiques, baies de contrôle de bandes magnétiques, lecteur ou perforateur de bande papier, téléimprimeur) possède son marqueur de sous-priorité j connecté à une ligne de priorité i .

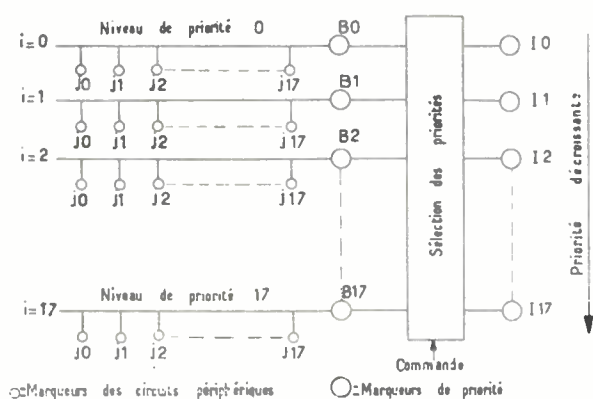


FIG. 7. — Arrangement des niveaux de priorité.

c2) Marquage des priorités

Une demande d'interruption du programme par un circuit extérieur de priorité i_n se traduit par le positionnement de la bascule B_n . Dès qu'une interruption de programme est possible (c'est-à-dire à la fin de l'exécution d'une instruction ou à la fin d'un transfert baie de contrôle de bande-mémoire à ferrite) un circuit analyse l'état des différentes bascules B_0 à B_{17} et sélectionne la priorité la plus élevée. Il en résulte :

- soit le maintien de la priorité affichée par l'un des marqueurs I,
- soit le positionnement d'un marqueur de priorité plus élevé et l'effacement du précédent.

Toute modification dans l'affichage des priorités (marqueurs I) se traduit par l'interruption du programme en cours en accord avec la condition énoncée au paragraphe 2.4.2.a.

c3) Conservation des informations permettant un retour ultérieur au programme interrompu

Trois emplacements de mémoire sont réservés dans le bloc numéro 0 à chacun des 16 niveaux de priorité. Les circuits du système central déterminent l'adresse de transfert en fonction de la priorité i ayant provoqué l'interruption. Les contenus de l'accumulateur (AC) du compteur de programme (PC) et de son extension (EPC), du registre d'entrée et de sortie (IO) sont respectivement transférés aux adresses $4i$, $4i + 1$, $4i + 2$.

c4) Adresse de début pour le nouveau programme

Les circuits de la machine calculent aussi la quantité $1\,000 + 20i + j$ (i et j désignant respectivement la

priorité et la sous priorité du circuit ayant provoqué l'interruption).

A partir de cette valeur, un programme câblé permet l'exécution d'un saut indirectement adressé. Comme l'adresse de départ du nouveau programme (numéro de bloc et adresse dans le bloc) se trouve à l'emplacement $1\,000 + 20i + j$, le changement de programme est terminé à la fin de l'exécution du saut (voir paragraphe 2.3.1.c).

Les opérations c3 et c4 nécessitent $20\ \mu\text{s}$.

c5) Instruction de retour

A la fin d'un programme initié par un circuit de priorité i et de sous priorité j , on trouve toujours 3 instructions pour permettre un retour au programme interrompu, soit :

- charge de l'accumulateur avec le contenu de l'emplacement $4i$
- charge du registre d'entrée et de sortie avec le contenu de l'emplacement $4i + 2$
- saut indirectement adressé à l'emplacement $4i + 1$.

c6) Effacement des marqueurs

La dernière instruction du paragraphe précédent provoque aussi une remise à 0 de la bascule B_i correspondant à la priorité du programme terminé à condition qu'il ne reste plus de marqueurs positionnés sur la ligne des sous-priorités j reliées à B_i .

Chacun de ces marqueurs est remis à zéro au cours du programme exécuté pour traiter une priorité i et une sous-priorité j . Les différentes sous-priorités attachées à la même priorité sont traitées dans l'ordre j_0 à j_{17} .

c7) Utilisation pratique du dispositif d'interruption de séquence

Il existe un groupe d'instructions permettant, au cours du déroulement d'un programme, de travailler avec ou sans le dispositif d'interruption de séquence.

Supposons que le programme enregistré comprenne :

— un programme général destiné à l'exécution des fonctions définies au paragraphe 2.1. et à l'articulation des sous-programmes.

— une série de sous-programmes pour traiter les transferts entre le système central et des lignes télégraphiques. Par exemple, les sous-programmes p_1 , p_6 , p_7 , correspondront aux lignes télégraphiques 1, 6, 7, ayant les priorités suivantes :

ligne 1	$i = 1$	$j = 1$
ligne 6	$i = 6$	$j = 3$
ligne 7	$i = 7$	$j = 0$

Le programme général auquel nous n'avons attribué aucune priorité doit être traité en partie dès le début des opérations afin de pouvoir être repris après chaque interruption, grâce aux adresses de retour définies au paragraphe 2.4.2. c5.

Ce début de programme est, en conséquence, encadré par une instruction d'arrêt et une instruction de mise en service du dispositif d'interruption de séquence.

La figure 8 illustre une série d'interruptions des différents sous-programmes pour lesquels nous avons supposé que les demandes d'interruptions intervenaient dans l'ordre p_7 , p_6 , p_1 .

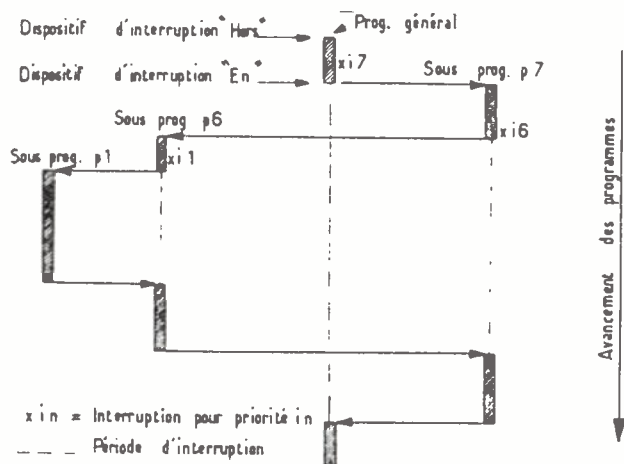


FIG. 8. — Interruption des séquences.

Nous voyons qu'après l'exécution de l'instruction qui met le dispositif d'interruption en service, la machine quitte le programme général au bénéfice du sous-programme p_7 . Ensuite p_7 est interrompu par p_6 qui est exécuté jusqu'à l'arrivée d'une demande pour la prise en charge de p_1 .

Nous avons supposé qu'il n'y avait pas d'autres circuits demandeurs. Ainsi le sous-programme p_1 s'exécute complètement et permet un retour à p_6 . La machine termine dans l'ordre les sous-programmes p_6 et p_7 , puis reprend en charge le programme général jusqu'à l'arrivée de nouvelles demandes de coupure.

Ce processus est valable pour 256 circuits périphériques, 16 sous-programmes pouvant être interrompus à un moment donné.

On remarquera que les instructions de blocage et de déblocage du dispositif d'interruption peuvent exister à l'intérieur d'un sous-programme.

Les demandes d'interruption du programme en provenance des unités de contrôle de bandes magnétiques se produisent quand une opération effectuée dans ces unités est complètement terminée (par exemple lorsque l'adresse du dernier transfert est égal à l'adresse finale comme il a été indiqué au paragraphe 2.3.2. b). Le sous-programme ainsi initié permet d'envoyer une série de nouvelles instructions à l'unité intéressée.

Ceci est encore valable pour les unités de contrôle de tambours ou de disques qui peuvent être raccordées à l'équipement ADX.

2.5. PRÉSENTATION DU MATÉRIEL

2.5.1. Généralités

Les circuits électroniques du système ADX sont entièrement transistorisés. Ils sont constitués à l'aide de plaquettes à circuits imprimés montées par groupes de 25 dans des casiers support à l'intérieur de baies ayant les dimensions suivantes :

- largeur 0,5 mètre
- profondeur 0,68 —
- hauteur 1,73 —

Chaque baie peut contenir jusqu'à 12 casiers de plaquettes imprimées amovibles. Des portes à double battant disposées sur les faces avant et arrière des baies procurent un accès aisé aux plaquettes (face avant) et au câblage (face arrière).

Des alimentations destinées aux circuits électroniques sont montées sur un panneau pivotant situé derrière la porte avant de chacune des baies.

Cette disposition est illustrée par la figure 10 montrant l'intérieur de la baie contenant les circuits du système d'interruption de séquence. On remarquera à la partie inférieure de la figure 9 le panneau support des connecteurs amovibles permettant les jonctions avec les autres baies du système.

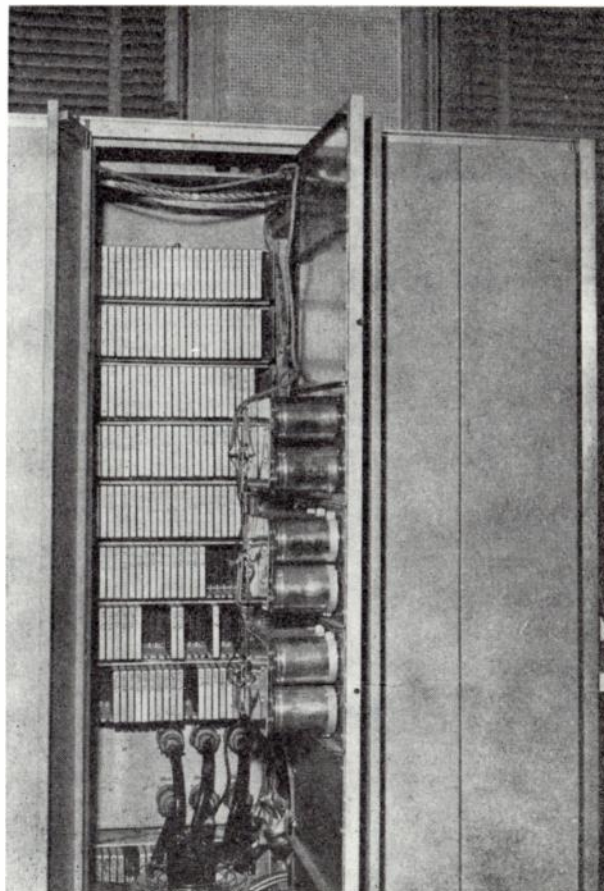


FIG. 9. — Intérieur d'une baie électronique.

2.5.2. Répartition des baies formant le système ADX

a) Unité centrale

Elle est constituée par un groupe de 5 baies assemblées dans le sens de la largeur comme le montre la figure 10. A l'une des extrémités, on trouve le pupitre de commande et de contrôle (fig. 11).

Cet ensemble est prévu pour contenir les circuits généraux nécessaires à des extensions du système ; dispositifs de commutation pour 15 mémoires à ferrite et d'interruption de séquence en particulier.

b) Augmentation de la capacité de mémoire à ferrite

Une baie standard peut contenir deux blocs de 4096 mots supplémentaires avec les circuits de lecture et d'écriture correspondants. Elle se fixe à la suite des cinq baies de l'unité centrale.

c) Unités de bande magnétique

Les baies comportant les systèmes mécaniques des bandes et les circuits de lecture et d'écriture associés sont groupées à la suite de l'unité de contrôle commune.

d) Circuits de lignes télégraphiques

Ils comprennent :

d1) Les convertisseurs de niveau montés par groupe de 24 dans une baie standard qui comporte en outre les circuits d'alimentation nécessaires pour fournir les

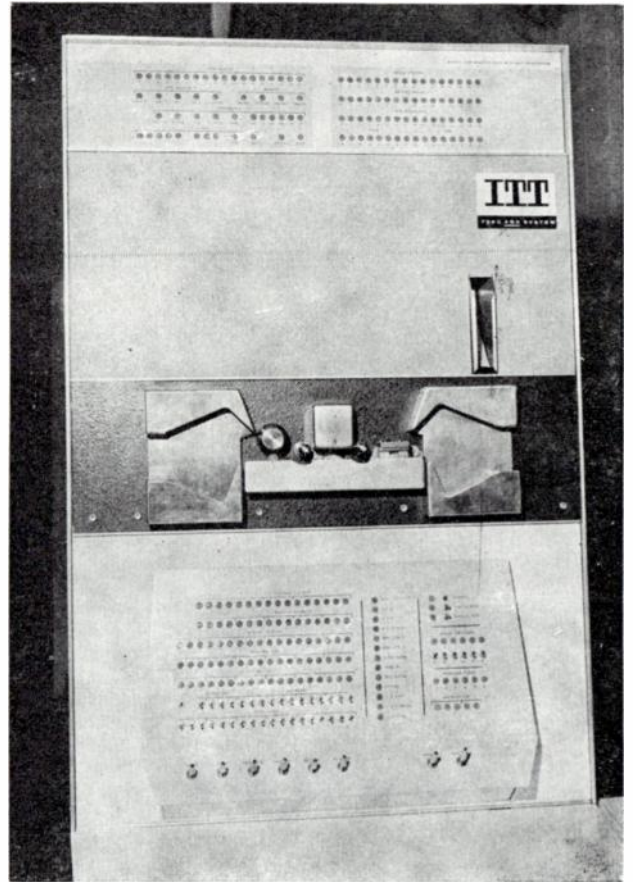


FIG. 11. — Pupitre de contrôle de l'unité centrale.

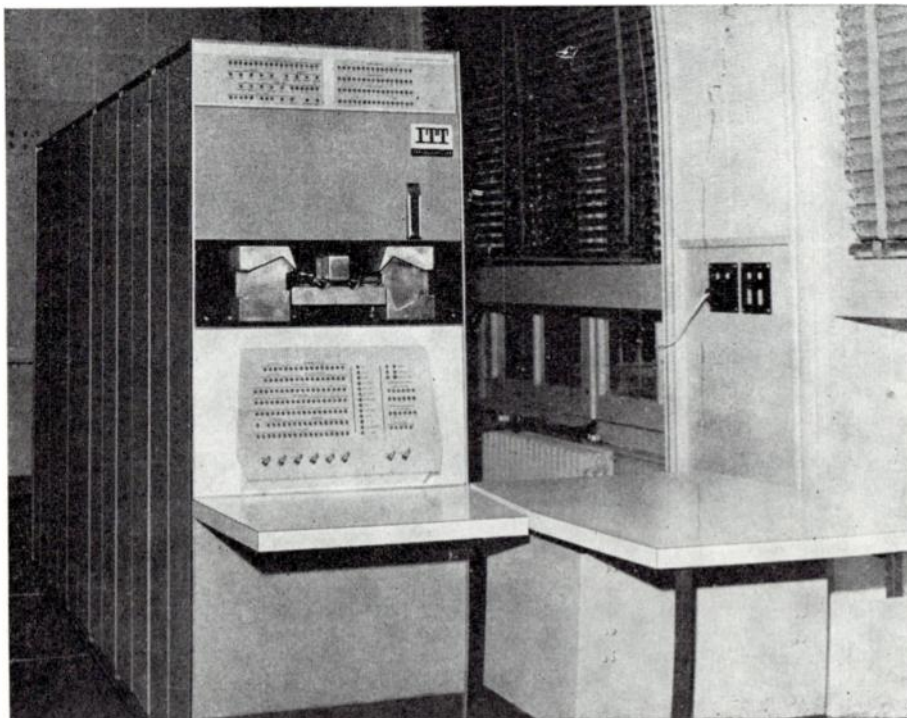


FIG. 10. — Ensemble des baies de l'unité centrale.

courants de ligne à l'émission. Les réglages et les contrôles des courants télégraphiques sont facilités par la présence d'un panneau de mesure situé à la partie supérieure de la baie (fig. 12).

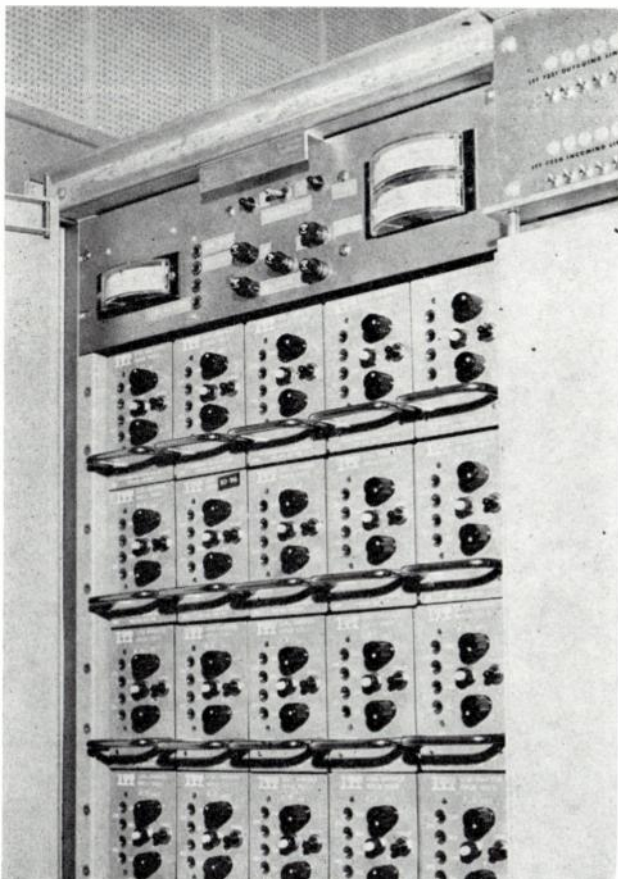


FIG. 12. — Baie des convertisseurs de niveau.

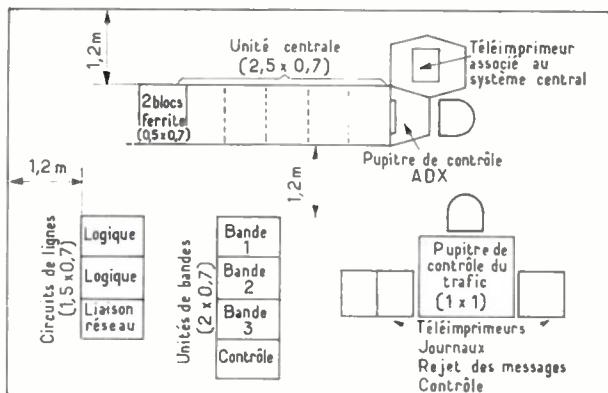


FIG. 14. — Exemple d'implantation d'un système ADX.

d2) *Les circuits électroniques* (registre 1 caractère par ligne — circuits logiques communs à 8 lignes).

Une baie rassemble le matériel pour deux groupes de 8 lignes. La figure 13 montre un groupement réalisé pour 24 lignes télégraphiques duplex. On trouve, de gauche à droite, la baie contenant les convertisseurs et les deux baies de circuits logiques dont une est équipée pour un seul groupe de lignes.

2.5.3. Installation

a) Surface nécessaire

Elle dépend de l'utilisation envisagée. La figure 14 donne une disposition possible pour un centre de commutation télégraphique d'importance moyenne. En tenant compte de l'équipement nécessaire à la position du superviseur (par. 2.5.4.) et des dégagements à prévoir pour permettre l'accès aux faces avant et arrière des baies, il faut prévoir une surface d'environ 40 mètres carrés. Un faux plancher est nécessaire pour le passage des câbles de liaison entre baies.

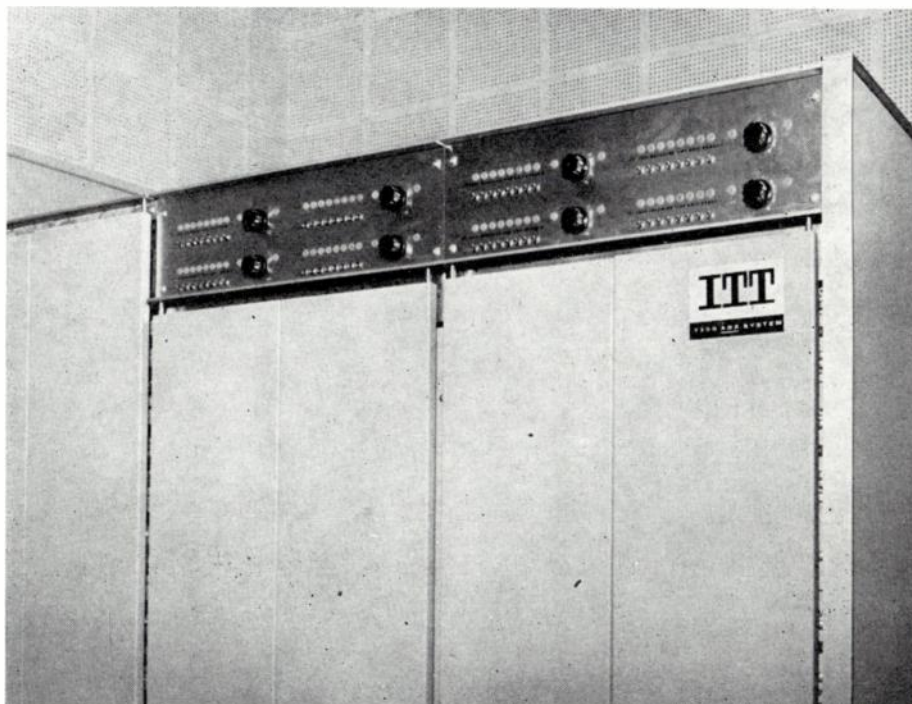


FIG. 13. — Ensemble des baies pour les circuits des lignes télégraphiques.

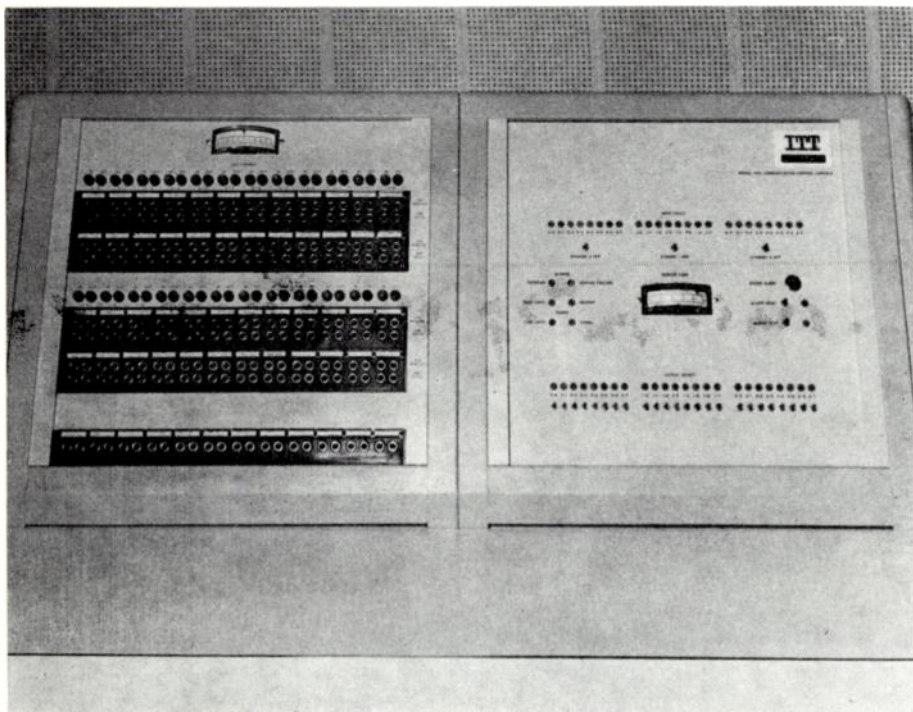


FIG. 15. — Pupitre de contrôle du trafic.

b) Alimentation

Les différentes baies du système ADX doivent être alimentées en tensions alternatives 115 volts $\pm 5\%$ à la fréquence de 50 Mz $\pm 1\%$. La consommation d'un système sans duplication ne peut jamais atteindre plus de 25 kVA. Dans l'exemple précédent, 10 kVA sont suffisants pour l'ensemble du matériel représenté.

c) Climatisation

Il est recommandé de maintenir une température d'environ 25 °C et une humidité relative inférieure à 50 % à l'intérieur du local réservé au système ADX. Chaque baie possède un ventilateur situé à la partie inférieure.

2.5.4. Position de contrôle du superviseur

Elle comporte :

- Des téléimprimeurs pour l'impression des journaux des entrées et des sorties nécessaires au contrôle du trafic et au rejet des messages erronés (voir paragraphe 1.2.5.).

- Des lecteurs de bandes perforées permettant au superviseur d'envoyer des messages de service sur les différentes lignes télégraphiques raccordées au centre.

- Un pupitre de commande et de contrôle représenté sur les figures 15 et 16.



FIG. 16. — Position du superviseur.

a) *Contrôle des lignes télégraphiques*

Toutes les facilités de contrôle fournies par la baie contenant les convertisseurs de niveau (paragraphe 2.5.2. d1) sont reportées sur la partie gauche du pupitre.

Il est possible de renvoyer le trafic de n'importe quelle ligne entrante ou sortante sur un téléimprimeur de contrôle sans perturber le fonctionnement de l'ADX.

Les indicateurs lumineux placés au-dessus de chaque groupe de jacks attribués à une ligne clignotent à la cadence des signaux reçus ou émis. Ils permettent d'avoir rapidement une idée du trafic à un instant donné.

b) *Contrôle des circuits électroniques (partie droite du pupitre).*

Il est nécessaire de fournir au superviseur certaines indications liées au fonctionnement du système ADX pour lui permettre en particulier d'interpréter des informations données par les journaux des entrées et des sorties.

b1) *Indicateur de charge*

Il apparaît au centre du panneau de contrôle des circuits électroniques. La position d'un index mobile indique à tout instant l'état d'occupation du système ADX. Quand la charge dépasse un niveau critique, préalablement affiché à l'aide d'un deuxième index, une alarme est déclenchée.

b2) *Indicateurs de ligne entrante et sortante*

Un voyant est associé à chacune des lignes entrantes et sortantes. Il doit normalement demeurer éteint. Un clignotement à la cadence télégraphique ou un allumage prolongé signifie que le système ADX ne prend pas en charge le trafic de la ligne.

b3) Un arrêt accidentel du programme, une panne des alimentations des baies électroniques provoquent l'allumage de voyants.

Les défauts signalés par les indicateurs ci-dessus déclenchent une alarme générale lumineuse et sonore.

3. — Caractéristiques opérationnelles de l'ADX

3.1. Le système ADX est donc conçu pour permettre le traitement, la commutation et la surveillance du trafic d'un réseau de télécommunications sur des lignes de transmission, sous le contrôle d'un programme. Ce système comporte, on l'a vu, tous les équipements permettant l'interconnexion de calculateurs et de dispositifs terminaux sur des lignes de transmission télégraphiques et téléphoniques conventionnelles ou de lignes de transmission à large bande. Dans ces conditions, il est difficile de faire un sommaire de toutes les possibilités opérationnelles offertes par la souplesse du système ADX, mais on peut cependant examiner les principales d'entre elles.

3.2. FONCTION COMMUTATION

On a vu que tous les messages arrivant avec une séquence correcte de début de message sont acceptés par la machine. Un journal des entrées enregistre leur en-tête ainsi que l'unité d'archivage affectée à cette fonction qui peut en outre, suivant la procédure d'exploitation adoptée par l'utilisateur, inscrire la totalité du message et y rajouter un groupe date-heure. Les messages sont envoyés immédiatement aux destinataires dès que l'en-tête a été décodé si la ligne de sortie est libre et si les vitesses de modulation sur les voies entrantes et sortantes sont les mêmes. Si les vitesses sont différentes, les messages restent en mémoire, de façon à avoir une transmission continue sans interruption. De même, si les voies sortantes sont occupées, les messages restent en mémoire jusqu'à ce que ces voies deviennent libres. Lorsque les messages sont à adresses multiples, à adresses groupées ou à adresses conférence, ils sont envoyés simultanément dans les mêmes conditions, dès que les lignes sortantes deviennent libres, jusqu'à ce que tous les destinataires soient servis. De cette façon, le message est retardé au minimum.

L'efficacité d'un réseau de télécommunications est renforcée par l'insertion des indicatifs de priorité. Le système ADX peut être programmé pour accorder pratiquement un nombre quelconque de priorités. Ces priorités ne sont pas seulement celles repérées par un signe de procédure dans l'en-tête du message, car les diverses lignes d'entrée ou de sortie peuvent recevoir, à la demande, une affectation prioritaire. Si deux ou plusieurs messages de priorité égale sont en attente sur une même ligne sortante, ils sont alors expédiés en fonction du temps d'arrivée au centre de commutation.

Enfin, bien que cette méthode soit peu pratiquée actuellement en Europe, le système ADX s'adapte aux différentes procédures d'exploitation de stations destinataires groupées sur une ligne partagée, avec appel sélectif ou non.

3.3. FONCTION MÉMOIRE

La définition d'un centre de transit dépend essentiellement de la charge du réseau : nombre moyen de caractères à traiter par jour, par ligne de transmission autant que possible et caractéristiques du trafic de pointe, moyen et instantané. Ces chiffres permettent de calculer une capacité minimale de mémoire. A cette capacité, il faudra ajouter celle que nécessite l'enregistrement du programme principal, des sous-programmes des tables de conversion, d'interruption de séquence et des fonctions de transfert.

On risque alors de s'apercevoir que la capacité de la mémoire à ferrite, cœur du système, est trop importante et que, par voie de conséquence, le prix en devienne trop onéreux. Dans ce but, on utilise des bandes ou des disques de débordement. L'envoi du trafic sur cette position de débordement est commandé automatiquement par le système ADX pour chaque voie et en fonction de chaque priorité. Il y a alors un échange constant d'information entre la mémoire

à ferrite et la mémoire à bande magnétique. Le système est conçu de façon à ce que l'envoi d'un message vers le circuit de ligne sortante ne prenne pas plus de temps, que ce message soit mis en mémoire dans la ferrite ou la bande magnétique. Ceci est possible grâce au principe de programmation adoptée, consistant à effectuer la recherche dans la mémoire de débordement en anticipation de la disponibilité du circuit de ligne sortante.

On notera que, sous ce jour, la mémoire de débordement n'est pas utilisée selon le concept classique abrité sous ce nom. Il est cependant évident qu'elle est également prévue pour mettre en mémoire le trafic qui ne peut s'écouler vers le destinataire intéressé, par suite d'un défaut quelconque, soit de la station destinataire, soit de la ligne de transmission, ou pour mettre en mémoire le trafic provenant d'une surcharge générale du réseau d'entrée comme peut le provoquer une situation d'urgence dans le cas d'un trafic militaire.

3.4. FONCTION TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Le système ADX permet une grande souplesse dans le traitement de l'information. Il peut être programmé pour accepter du trafic entrant à vitesse, code, alphabet, format déterminé et l'expédier sous des caractéristiques différentes.

3.4.1. Les circuits de lignes entrantes sont groupés par huit et n'ont, comme impératif, qu'à correspondre à des vitesses de modulation homogènes. A cette restriction près, la programmation peut être faite de façon à ce que la machine accepte du trafic ayant des caractéristiques opérationnelles différentes sur chaque ligne ou sur la même ligne. Ainsi, sur la même ligne de transmission, peut arriver du trafic à format différent, à code arithmétique à cinq moments ou à code machine à sept ou huit moments, par exemple. Des tables de conversion sont mises en mémoire et permettent la traduction nécessaire, suivant l'organisation prévue du réseau général de télécommunication dans le cahier des charges ayant servi à calculer le centre de transit.

3.4.2. Les circuits de ligne sortante sont groupés par huit, mais — c'est compréhensible — doivent correspondre, en plus d'une vitesse de modulation commune, à des caractéristiques similaires de code et de format.

3.4.3. Du point de vue chiffrement, la machine s'accommode de tout langage chiffré, sous réserve que l'en-tête soit émis en clair afin de permettre aux séquences de fonction d'effectuer leur travail, et notamment aux indications d'acheminement. Il faudra seulement modifier la programmation pour interdire l'apparition inopportune de certaines séquences telles que celles du début ou de fin de message, dans le cours du texte chiffré, qui perturberaient ou arrêteraient la transmission du message.

3.5. FONCTION ARCHIVAGE ET COMPTAGE

On peut programmer également la machine pour lui faire remplir des fonctions de comptage et d'analyse statistique, comme sous-produits des fonctions prin-

cipales de commutation. Lorsque la station origine a été détectée, un sous-programme de comptage compte les mots de ce message particulier et le nombre total de mots peut être mis en mémoire au profit soit de la station émission, soit du centre de transit, soit des stations destinataires. Chaque message entrant et sortant peut être automatiquement identifié par son numéro et son groupe date-heure. L'identification ne doit pas faire partie du message et n'apparaît que sur les dispositifs d'archivage du centre de commutation.

L'archivage des messages ou des données est effectué par un programme enregistré fonctionnant en liaison avec les autres programmes de traitement des messages. L'archivage commence dès que la séquence de fin d'en-tête est détectée et les blocs intermédiaires sont enregistrés sur bandes ou disques magnétiques dès qu'ils sont assemblés. Selon les nécessités opérationnelles, le trafic de la journée ou de plusieurs journées consécutives peut être enregistré sur la même bande ou le même disque magnétique. Une deuxième unité de bande ou de disque peut être affectée au trafic de la journée ou des journées précédentes avec possibilité de recherche et de retransmission, à la demande de l'une quelconque des stations du réseau. La capacité de mémoire requise pour cette fonction d'archivage sera fixée par le volume de trafic qu'on désire enregistrer. De plus, une fois établi le temps d'accès de recherche souhaité, on pourra fixer son choix entre les solutions à bandes ou à disques magnétiques et à définir le nombre de ces unités.

3.6. FONCTION ACHEMINEMENT DÉTOURNÉ

Cette fonction, apparemment secondaire, fait pourtant partie des caractéristiques opérationnelles fondamentales du système ADX. En effet, on peut considérer que l'un des buts essentiels recherchés par les exploitants est de réduire au maximum les temps de transmission de l'information entre deux ou plusieurs utilisateurs. Un système ADX équipant un centre de transit permet de réduire à rien le temps de transit interne, puisqu'il travaille en temps réel. Lorsqu'une ligne sortante devient indisponible, on a vu que le trafic correspondant s'accumulait sur une position de débordement jusqu'au rétablissement normal des conditions de transmission. Mais très souvent le destinataire « B » pourrait être touché par l'intermédiaire d'un autre centre ou d'une autre station « C » chargée d'assurer l'acheminement des messages en provenance d'une station ou d'un centre « D » vers le destinataire « B ». Il serait vraiment regrettable de ne pouvoir utiliser cette possibilité et il y aurait une rupture d'échelle de grandeur choquante entre les temps de transit négligeables du centre ADX et les délais dus à l'attente dans la position de débordement.

En réalité, le système ADX peut être programmé pour choisir automatiquement un itinéraire détourné, lorsque le circuit normal devient indisponible, si cet itinéraire détourné a été initialement prévu. Le choix du déroutement est effectué en explorant les tables d'acheminement aboutissant à la même destination au moyen d'autres circuits lorsque l'itinéraire direct devient indisponible. Le message est envoyé automatiquement avec le numéro d'identification propre du nouveau circuit.

Lorsque le système ADX est incorporé dans un réseau de centres de transit automatiques, il peut être programmé pour effectuer cet acheminement détourné dès que la charge en erlang d'une ligne devient trop élevée et il peut interroger les centres voisins par lesquels doit transiter un message pour leur demander quelle est la charge en erlang du circuit du véritable destinataire. Par exemple, lorsque la liaison directe AB est coupée ou trop chargée, l'ADX implanté en A, interroge les centres C et D sur les lignes AC et AD étant supposées libres et demande à C et D quelles sont les charges respectives en erlang des circuits CB et DB. Le système ADX choisit, en fonction des réponses fournies, s'il est préférable d'envoyer le message destiné à B par le centre C ou D.

On connaît aussi la difficulté d'éviter la répétition du même message dans les réseaux constitués par des boucles comportant plus de trois centres successifs, comme indiqué dans le schéma de la figure 17.

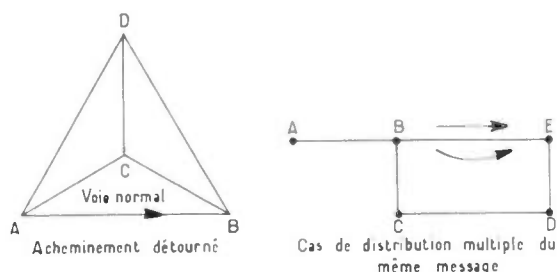


FIG. 17. — Acheminement détourné et distribution multiple.

En effet, un message arrivant en B où se trouve implanté un système ADX peut envoyer un message vers E, soit directement sur la ligne BE, soit par le chemin BC-CD. L'ADX peut être programmé pour inclure dans le format du message, la ligne d'adresse raccourcie, constituant l'une des solutions permettant d'éviter la répétition du même message pour la même station.

4. — Conclusion

Toute organisation administrative, industrielle ou militaire comportant l'emploi de télécommunications sur une large échelle, messages ou données, doit pouvoir résoudre la majeure partie des problèmes d'exploitation qu'elle rencontre avec un système ADX. La machine qui vient d'être décrite permet en effet :

- la distribution immédiate de l'information aux divers échelons de direction ou de commandement,

- un contrôle centralisé d'activités réparties sur un territoire très dispersé,

- amélioration considérable des temps de transmission sur le réseau tout en assurant une optimisation de l'occupation des lignes de transmission,

- une grande souplesse d'emploi, tant pour les modifications des procédures opérationnelles que pour l'expansion ultérieure possible,

- une mise en œuvre très étudiée répartissant les charges d'entretien de la machine à la fois sur du personnel très subalterne local et du personnel ingénieurs d'usine très compétent et les charges d'exploitation sur un superviseur chef de centre, éventuellement assisté d'un adjoint.

Le champ d'application non limitatif de cette machine s'étend du domaine militaire tant logistique qu'opérationnel, au domaine privé d'organisations telles que celles de l'industrie du transport pour tous les problèmes d'optimisation nécessitant une connaissance d'une situation instantanée, ou des organisations bancaires à structure centralisée utilisant des calculatrices électroniques très gourmandes de données, en passant par le domaine des Administrations d'Etat ayant leur propre réseau de télécommunications avec possibilité d'interconnecter plusieurs réseaux.

LE SYSTÈME DE TÉLÉTRANSMISSION MARATHON

PRINCIPE ET APPLICATIONS

PAR

J. FUZELLIER

*Ingénieur au Département des applications
Nucléaires et Industrielles de la CSF*

1. — Introduction

Le système de télétransmission MARATHON étudié et développé par la CSF est destiné à assurer dans les installations industrielles, la transmission des diverses informations nécessaires au fonctionnement de ces installations :

- commandes et signalisations
- mesures et affichages
- données numériques

avec un minimum de câbles de liaisons, ou même sans aucune liaison matérielle.

Ce système permet d'assurer aussi bien l'exploitation d'une liaison simple point à point que celle d'un réseau comportant un poste central et plusieurs stations périphériques.

2. — Principe du système Marathon

2.1. GÉNÉRALITÉS

Le principe général du système est celui de la conversion des informations en impulsions codées modulant en fréquence une sous-porteuse comprise dans la bande téléphonique 300-3 000 Hz.

Les signaux obtenus sont transmis directement sur ligne téléphonique ou modulent un émetteur VHF ou UHF à modulation de phase.

Les diverses informations sont transmises :

— soit cycliquement, avec un rythme d'autant plus lent que le nombre d'informations à transmettre est élevé, dans le cas des télésignalisations et des télémesures.

— soit au moment d'un changement d'information, dans le cas des télécommandes ou des données numériques (un dispositif de contrôle en retour est alors nécessaire pour s'assurer que la transmission est correcte).

Pour les télémesures fournies en général par un capteur sous forme d'un courant continu proportionnel, un codage est nécessaire, à l'émission. A la réception, le décodage peut s'effectuer de plusieurs façons permettant l'obtention de la mesure soit sous forme analogique, soit sous forme numérique (affichage lumineux ou impression sur machine à écrire), soit sous les deux formes.

2.2. STRUCTURE D'UN RÉSEAU — DIVERSES PARTIES

Pour exposer le fonctionnement du système avec toutes ses possibilités, nous allons considérer un réseau comportant une station centrale où doivent être recueillies les mesures et signalisations provenant de plusieurs stations satellites, et d'où une station doit être commandée.

Nous trouverons donc, dans ce réseau :

— à la station centrale : un émetteur d'interrogation, un récepteur de télésignalisation et de télémesure, un émetteur de télécommande et d'exécution d'ordres avec récepteur de contrôle.

— à chaque station satellite : un récepteur d'interrogation, un émetteur de télésignalisation et de télémesure.

— à la station commandée : un récepteur de télécommande et d'exécution d'ordres, avec émetteur de contrôle.

a) *Dispositif d'interrogation* : Ce dispositif comporte un émetteur à la station centrale et un récepteur à chacune des stations satellites.

A intervalle régulier, la station centrale envoie un message vers les stations satellites. Chaque message, constitué par un train d'impulsions positives et négatives (chaque impulsion négative représente l'état 1 en binaire, chaque impulsion positive l'état 0), comporte une impulsion de début de message positive, quatre impulsions représentant l'adresse (n° repère) d'une des stations (16 au maximum), une impulsion toujours positive (1) et une impulsion de contrôle de parité (fig. 1). Ce message n'est utilisé que par la station possédant le n° repère correspondant qui déclenche alors son émetteur de télésignalisation et de télémesure.

L'emploi d'un code trivalent permet de ne pas utiliser d'horloge synchronisée à la réception à condition de transmettre autant de « fronts » que le message comporte de moments.

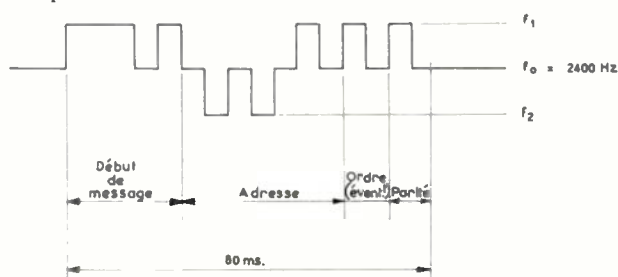


FIG. 1. — Message d'interrogation.

b) *Dispositif de télésignalisations et de télémesures* : Ce dispositif comporte un émetteur à chaque station satellite et un ou plusieurs récepteurs à la station centrale (suivant le nombre d'informations à recevoir).

Chaque station, lorsqu'elle est interrogée (v. ci-dessus § 2.2.a), déclenche son émission. Le message émis se compose de plusieurs groupes d'impulsions (8 au maximum) correspondant chacun à 10 télésignalisations ou 1 télémesure. Chaque groupe (message élémentaire) constitué d'impulsions positives et négatives, comporte : une impulsion de début de message négative, trois impulsions représentant l'adresse (n° d'ordre du groupe dans le message complet), dix impulsions représentant dix télésignalisations ou une télémesure et une impulsion de contrôle de parité (fig. 2).

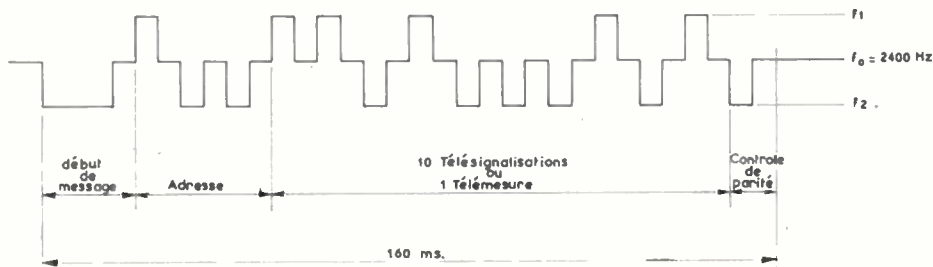


FIG. 2. — Message élémentaire.

c) *Dispositif de télécommandes ou de transmission de données numériques* : Ce dispositif comporte un

(1) Cette impulsion peut être utilisée pour la transmission d'un ordre vers la station correspondante : elle est alors positive ou négative.

émetteur de télécommande avec récepteur de contrôle à la station centrale (station de commande) et un récepteur de télécommande avec émetteur de contrôle à la station commandée.

Le message émis par la station de commande est analogue au message élémentaire de télésignalisations décrit au paragraphe précédent. La station commandée, après réception de ce message, renvoie ou non un signal vers la station de commande suivant que le message a été accepté ou rejeté par le circuit de contrôle de parité. Si la station de commande ne reçoit aucun signal, elle répète le message précédent. Dans le cas contraire, le message ayant été correctement reçu, n'est pas répété. Au cas où deux répétitions n'ont donné lieu à aucune réponse, la transmission est interrompue et le défaut signalé. Le signal de contrôle émis par la station commandée est une impulsion de fréquence musicale située au-dessous de la bande utilisée pour la transmission des messages codés ($f < 1\,800\text{ Hz}$).

Nous allons décrire, dans les paragraphes suivants, comment s'effectuent l'émission et la réception d'un message élémentaire (message d'interrogation ou message élémentaire de télésignalisations et de télémesures).

2.3. EMISSION D'UN MESSAGE ÉLÉMENTAIRE

L'émission d'un message élémentaire s'effectue à l'aide des circuits suivants :

- un *générateur d'impulsions*, déclenché soit par un signal extérieur (télécommandes, télésignalisations et télémesures), soit à intervalle régulier (interrogation) et délivrant, pendant la durée d'un message, des impulsions toutes d'égale durée (θ), d'égale amplitude (A) et de même polarité (négative) ; deux impulsions successives sont séparées par un temps θ égal à la durée d'une impulsion.

- un *compteur binaire*, attaqué par le générateur d'impulsions et comportant 3 ou 4 bascules permettant d'obtenir 8 ou 16 combinaisons distinctes.

- un *transformateur parallèle/série*, fournissant 8 ou 16 impulsions sélectionnées sur autant de fils et décalées dans le temps, au cours d'un message ; ces impulsions, comparées aux états des contacts de commande (télésignalisations ou télécommandes) ou au codage d'une mesure (v. § 5. Codage et décodage

d'une mesure) sont réunies pour former le message d'information (les deux premières impulsions forment une impulsion unique de largeur supérieure aux autres impulsions et indiquant le début d'un message).

- un *codeur trivalent*, permettant à partir du message précédent et en tenant compte de la parité ou de

l'imparité de ce message, de constituer le message codé à trois fréquences susceptible d'attaquer la ligne téléphonique ou l'émetteur VHF ou UHF à modulation de phase.

La figure 3 donne le schéma d'un émetteur de télétransmission.

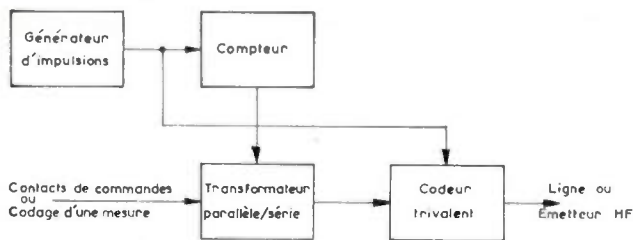


FIG. 3. — Emetteur de télétransmission.

2.4. RÉCEPTION D'UN MESSAGE ÉLÉMENTAIRE

La réception d'un message élémentaire s'effectue à l'aide des circuits suivants :

— un *ensemble détecteur*, permettant d'obtenir, à partir du signal modulé en fréquence provenant de la ligne téléphonique ou du récepteur UHF ou VHF :

d'une part, un train d'impulsions identique à celui fourni par le générateur de l'émetteur.

d'autre part, les impulsions positives et les impulsions négatives contenues dans le message d'information (l'impulsion large de début de message assure la mise en synchronisme du récepteur sur l'émetteur).

— un *compteur binaire*, identique à celui de l'émetteur.

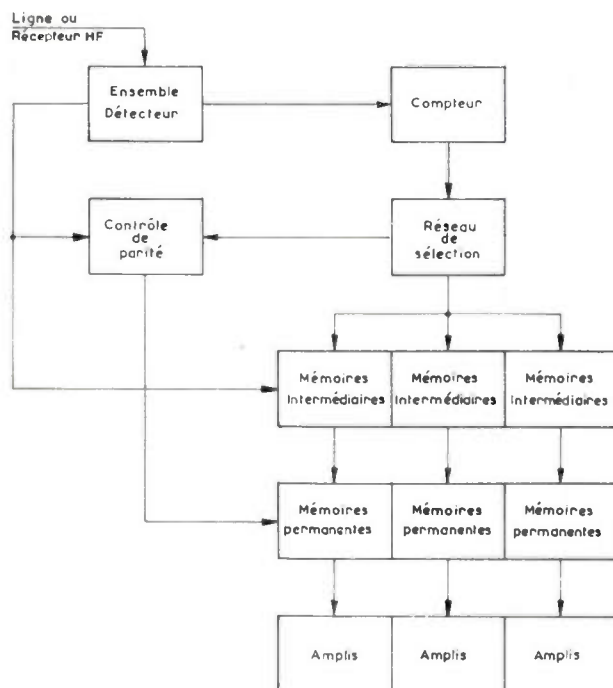


FIG. 4. — Récepteur de télétransmission.

— un *réseau de sélection*, attaqué par le compteur et permettant de reproduire les signaux émis correspondants aux divers ordres ou à un codage de mesure.

— des *mémoires intermédiaires*, permettant de reproduire l'état des contacts de commande ou du codage d'une mesure.

— un *circuit de contrôle de parité*, s'assurant que le message comporte bien un nombre pair (ou impair) d'impulsions de même sens, et autorisant le transfert des informations enregistrées dans les mémoires intermédiaires vers les mémoires permanentes.

— des *mémoires permanentes*, conservant les informations reçues, après contrôle.

— des *amplificateurs*, permettant l'alimentation de voyants (télésignalisations) ou de relais (télécommandes ou téléaffichages à chiffres).

Dans le cas d'une mesure, les mémoires permanentes alimentent un réseau de décodage (voir § 5 — Codage et décodage d'une mesure). La figure 4 donne le schéma d'un récepteur de télétransmission.

2.5. CODAGE ET DÉCODAGE D'UNE MESURE

a) *Choix du code* : Le codage utilisé pour la transmission d'une mesure est différent selon la forme sous laquelle l'information est fournie à l'entrée du dispositif de télétransmission, et selon la forme sous laquelle elle doit être exploitée, à la sortie.

L'information à l'entrée peut être fournie :

— soit sous forme analogique (divers capteurs, affichage par potentiomètre)

— soit sous forme codée :

en code binaire décimal (affichage à chiffres, ruban perforé)

en code binaire reflex ou binaire-décimal reflex (disque codeur)

L'information à la sortie peut être exploitée :

— soit sous forme analogique (indicateur à aiguilles, enregistreurs)

— soit sous forme décimale (indicateurs à chiffres, impression sur machines à écrire)

— soit simultanément sous les deux formes.

Le tableau ci-dessous résume les principaux codes employés, suivant les cas :

A analogique — B binaire pur — BD binaire décimal (chaque chiffre décimal codé en binaire) — D décimal.

(Le cas du disque codeur n'a pas été envisagé dans ce tableau : dans ce cas l'information est transmise sous la forme fournie à l'entrée et un changement de code doit être effectué à la réception avant le décodage proprement dit).

FORME DE L'INFORMATION		CODAGE	CODE	DÉCODAGE
à l'entrée	à la sortie			
analogique —	analogique décimal (ou décim. et analog.)	A.B A.BD	B BD	B.A BD.D (ou BD.D et BD.A)
binaire-décimal	analogique	sans	BD	BD.A
—	décimal (ou décim. et analog.)	sans	BD	BD.D (ou BD.D et BD.A)

b) *Codage analogique-binaire* : Le principe du codage à partir d'une grandeur analogique reste le même, que le code utilisé soit binaire pur ou binaire décimal.

Dans les deux cas, la transformation analogique-binaire utilise le principe du codage par rétroaction.

En effet, il est possible de faire correspondre à un nombre connu, exprimé sous forme binaire dans un compteur par l'intermédiaire d'un réseau de décodage un courant continu qui lui est proportionnel, en affectant à chacun des états possibles du compteur des sources de courant pondérées. En faisant « avancer » le compteur à l'aide d'un générateur d'impulsions, le courant continu issu du réseau de décodage varie, en restant proportionnel au nombre inscrit dans le compteur.

Ce courant continu attaque l'une des entrées d'un comparateur dont l'autre entrée est attaquée par le courant continu proportionnel à la mesure à coder. Lorsque les deux entrées du comparateur sont égales, le nombre enregistré dans le compteur correspond au nombre représentant la mesure. Les états des bascules du compteur fournissent alors le codage de la mesure.

La structure du codeur utilisé dans le système Marathon est représentée sur la figure 5.

Lorsque le système est au repos, la bascule B est à l'état 0, bloquant l'horloge H. Au moment où le codage doit être effectué (pendant les impulsions

d'adresse : voir Message élémentaire, figure 2), une impulsion attaque la remise à 0 du compteur (donc $I_2 = 0$). Puis, une 2^e impulsion déclenche la bascule B qui débloque l'horloge H. Les impulsions d'horloge attaquent le compteur et le courant I_2 sortant du réseau de décodage (v. § 2.5. c) croît proportionnellement au nombre inscrit dans le compteur. Dès que I_2 devient égal à I_1 , courant proportionnel à la grandeur à coder, le comparateur ramène la bascule B au repos. Les états des bascules du compteur fournissent le signal codé désiré.

Une alimentation régulée sert de source de référence pour la comparaison.

Dans le cas du code binaire pur, le compteur est constitué d'une suite de bascules (7 états ; $2^7 = 128$). Dans le cas du code binaire décimal, le compteur est constitué de 2 décades (8 états). (Dans le cas où plusieurs mesures sont à coder, un seul codeur est utilisé pour toutes les mesures, grâce à un dispositif de commutation).

c) *Décodage binaire-analogique* : Pour le décodage d'une mesure, les états binaires correspondant à cette mesure, restitués par le récepteur de télétransmission, attaquent un réseau de décodage.

Chaque mémoire correspondant à un état binaire joue le rôle d'un interrupteur ouvert ou fermé selon le codage et commute une source de courant pondéré du réseau de décodage.

Dans le cas du codage binaire pur, les interrupteurs commutent les courants successifs :

$$2^0 \times I_0, 2^1 \times I_0, 2^2 \times I_0, \dots, 2^6 \times I_0$$

Dans le cas du codage binaire décimal, les interrupteurs commutent les courants successifs :

$$2^0 \times I_0, 2^1 \times I_0, 2^2 \times I_0, 2^3 \times I_0, \\ 2^0 \times 10 I_0 \dots 2^3 \times 10 I_0$$

Le courant recueilli à la sortie du réseau de décodage est donc :

— dans le premier cas :

$$I = I_0 (2^0 S_1 + 2^1 S_2 + 2^2 S_3 + \dots 2^6 S_7)$$

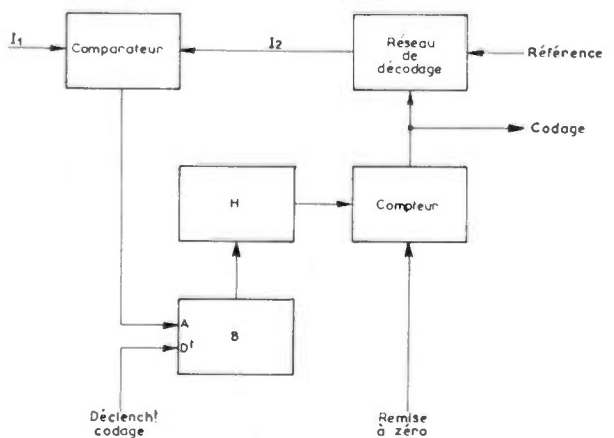


FIG. 5. — Codage d'une mesure.

— dans le 2^e cas :

$$I = I_0 [2^0 S_1 + \dots + 2^3 S_4 + 10 (2^0 S_5 + \dots + 2^3 S_8)]$$

$S_1, S_2, \dots$ sont les états 0 ou 1 de chaque mémoire.

Ce courant est proportionnel à la grandeur mesurée.

Par exemple : le codage binaire pur 0100110 donne :

$$I = I_0 (2^5 + 2^2 + 2^1) = 38 I_0$$

et le codage binaire décimal 00111000 donne :

$$I = I_0 [10 (2^1 + 2^0) + 2^3] = 38 I_0$$

2.6. DISPOSITIFS ANNEXES

Certains dispositifs ne sont utilisés que dans des cas particuliers d'application.

Nous avons déjà décrit le rôle du dispositif de contrôle.

Dans le cas où une seule paire téléphonique est affectée aux deux sens de liaison entre deux stations, un dispositif d'alternat téléphonique est utilisé, qui permet de bloquer et de débloquent alternativement les émetteurs de l'une ou de l'autre station.

De même, dans une liaison par voie hertzienne où les deux sens de liaison sont utilisés, un dispositif d'alternat HF permet de bloquer alternativement les émetteurs VHF ou UHF des stations (Ce dispositif permet de limiter le nombre de fréquences utilisées : nous donnerons plus loin un exemple d'application où ce dispositif est utilisé).

2.7. ALIMENTATIONS

Les circuits utilisés pour la réalisation des ensembles de télétransmission, système MARATHON, sont entièrement transistorisés et alimentés soit à partir du secteur alternatif monophasé 50 Hz, 127 ou 220 V, soit à partir de batteries 12 V =, à l'aide d'alimentations fournissant les tensions — 12 V = et + 12 V = nécessaires au fonctionnement des blocs fonctionnels transistorisés (fig. 7, 9 et 11 en bas).

2.8. LIAISONS HERTZIENNES

Dans le cas de liaisons par voie hertzienne, le système Marathon utilise des émetteurs-récepteurs VHF ou UHF à modulation de phase CSF (fig. 9 et 11 en haut).

3. — Réalisation

Le matériel de télétransmission, système Marathon, est composé de blocs fonctionnels enfichables.

Chaque bloc, dont la couleur indique la fonction, est constitué exclusivement d'éléments statiques (semi-conducteurs, résistances, condensateurs) disposés sur une plaquette imprimée. La figure 6 montre l'un de ces blocs (dont le capot a été enlevé, à gauche, pour laisser apparaître le support imprimé).

Les divers blocs d'un ensemble sont montés dans des bacs métalliques : 1 bac contient 13 blocs.

Les bacs peuvent être disposés, soit dans des coffrets (fig. 7), soit dans des armoires (fig. 10 et 11).

4. — Quelques applications

4.1. EXEMPLE D'UNE LIAISON BILATÉRALE SUR LIGNE TÉLÉPHONIQUE

L'équipement de télétransmission décrit ici est destiné à la télécommande et au télécontrôle d'une station de pompage à partir d'un poste central.

Il permet :

— d'une part, de commander à partir du poste central :

l'enclenchement ou le déclenchement d'un disjoncteur.

la mise en route ou l'arrêt d'un groupe moto-pompe.

l'ouverture ou la fermeture graduée de deux vannes.

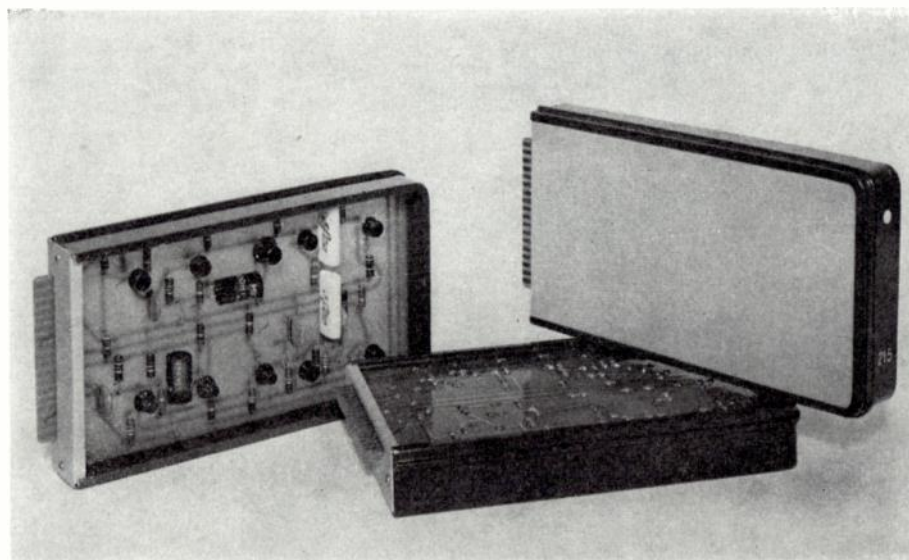


FIG. 6. — Bloc fonctionnel.

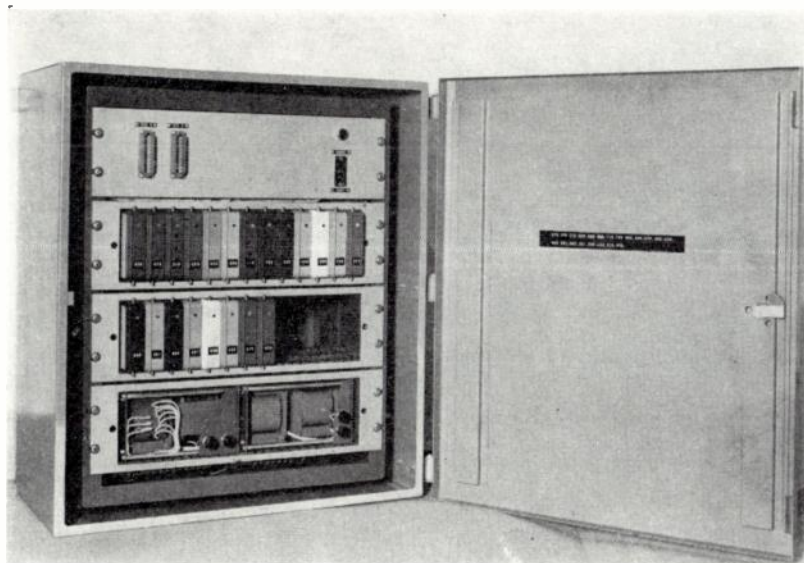


FIG. 7. — Liaison par ligne téléphonique : Coffret de l'une des stations.

— d'autre part, de recevoir au poste central :

- la mesure de niveau du réservoir.
- les mesures de positions des deux vannes.
- la signalisation d'enclenchement ou de déclenchement du disjoncteur.
- la signalisation de mise en route ou d'arrêt du groupe.

Les informations sont transmises cycliquement ; le cycle dure environ 1 s.

Le message de télécommandes comporte 1 message élémentaire ; le message de télésignalisations et télémesures comporte 4 messages élémentaires.

A chacune des deux stations, le matériel se présente sous la forme d'un coffret mural comportant :

- 1 panneau de commandes (à la partie supérieure).
- 2 bacs de blocs fonctionnels (au milieu).
- 1 bac d'alimentations (à la partie inférieure).

(fig. 7 : un des coffrets de l'installation).

4.2. EXEMPLE D'UNE LIAISON HERTZIENNE ENTRE UNE STATION CENTRALE ET DEUX STATIONS SATELLITES

Nous décrivons maintenant les équipements d'un réseau de distribution d'eau.

L'installation de télécontrôle et de télécommande de ce réseau permet :

— d'une part, de contrôler à la station centrale le niveau des réservoirs de deux châteaux d'eau et le fonctionnement de la station de pompage qui les alimente (niveaux des forages, fonctionnement des pompes et des dispositifs de chlorination).

— d'autre part, de commander, soit automatiquement en fonction du niveau des réservoirs, soit manuellement, à partir de la station centrale, la mise en route et l'arrêt des pompes.

Les liaisons entre la station centrale et les réservoirs (situés à 11 km) d'une part, et entre la station centrale et la station de pompage (située à 20 km) d'autre part, s'effectuent par voie hertzienne sur une fréquence radioélectrique unique (dans la bande 31,7 — 41 MHz).

Le schéma synoptique de l'ensemble du réseau est donné par la figure 8.

Les stations E et B sont interrogées cycliquement (durée d'un cycle : 2 s environ).

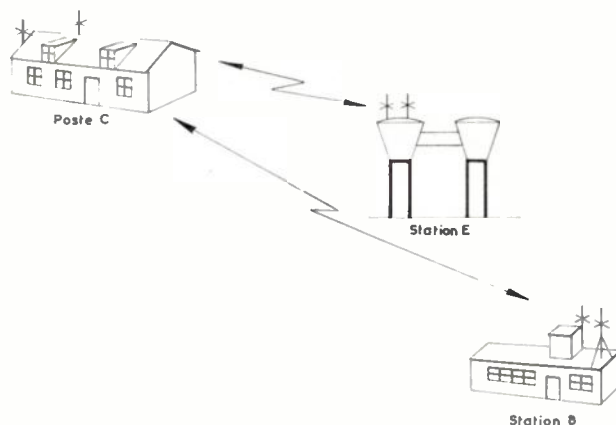


FIG. 8. — Schéma synoptique du réseau de distribution d'eau.

Au cours d'un cycle, le fonctionnement de l'équipement est le suivant :

1° le poste C interroge la station E.

2° la station E, ayant reçu le message d'interrogation venant de C, répond en envoyant ses informations (mesure de niveau, alarme haute ou basse éventuellement, commande de marche ou d'arrêt des pompes suivant le niveau).

3° après avoir enregistré les informations en provenance de E, le poste C interroge la station B en lui envoyant éventuellement la commande des pom-

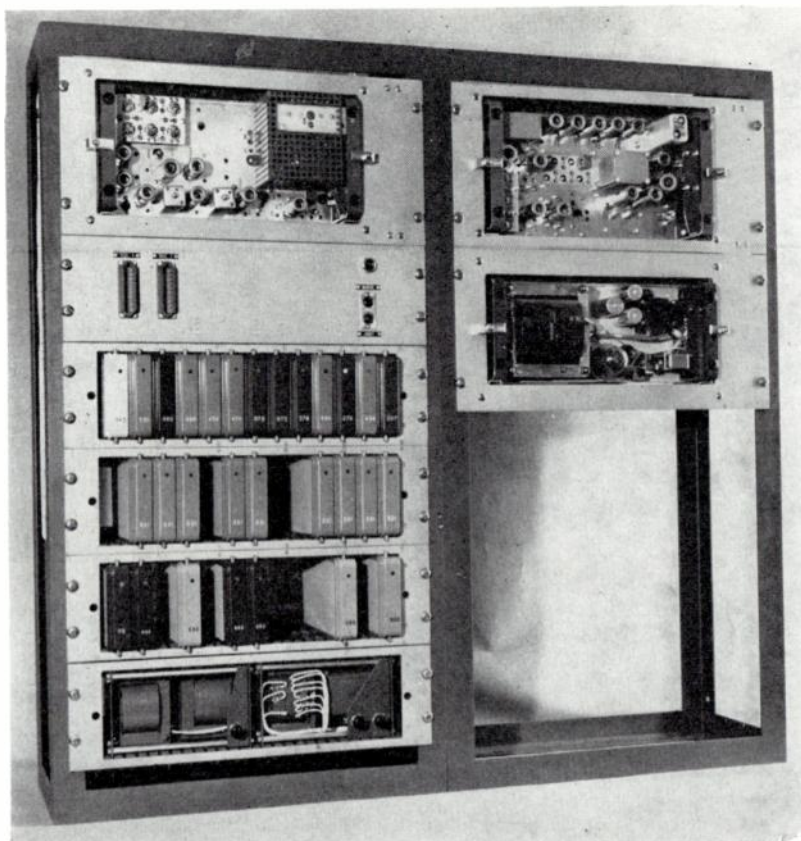


FIG. 9. — Liaison par voie hertzienne : Matériel du poste central.

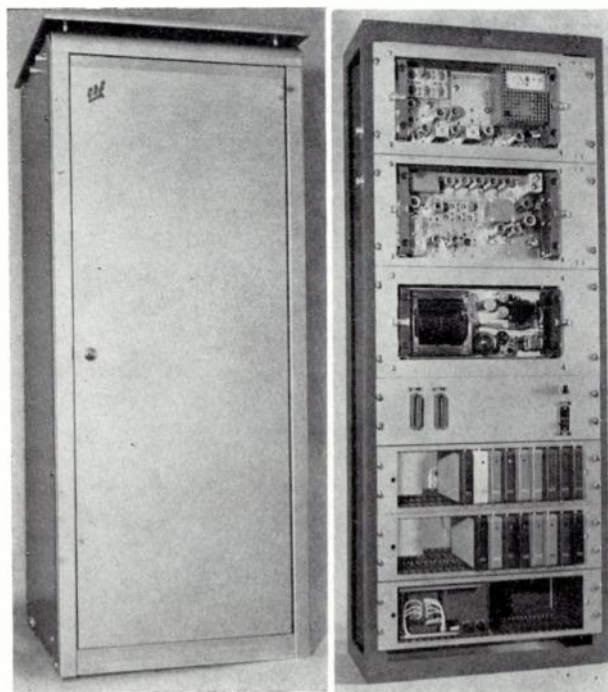


FIG. 10. à gauche : — Liaison par voie hertzienne : Armoire de la station E.

FIG. 11. à droite : — Liaison par voie hertzienne : Matériel de la station B.

pes (soit en provenance de E : fonctionnement automatique ; soit en provenance de C : fonctionnement manuel).

4^o la station B, ayant reçu le message venant de C, exécute ou non la commande des pompes, puis répond en envoyant ses informations (mesures de niveaux citerne et forages, indications de marche ou d'arrêt des diverses pompes, défauts des postes de chlorination, éventuellement).

Le message provenant de la station E comporte 2 messages élémentaires ; celui provenant de la station B comporte 4 messages élémentaires.

Le matériel situé au poste central est représenté sur la figure 9. La figure 10 représente l'armoire de la station E (château d'eau) comportant un toit qui la protège des chutes d'eau verticales possibles. Le matériel de la station B (station de pompage) est représenté sur la figure 11.

Ces deux exemples d'applications donnent un aperçu des possibilités du système de télétransmission décrit dans le présent article.

MODULATEUR-DÉMODULATEUR PAR INVERSION DE PHASE POUR LA TRANSMISSION DE DONNÉES SUR LIGNES TÉLÉPHONIQUES

PAR

J.-M. PIERRET

Compagnie I. B. M. - France

La plupart des problèmes posés par la transmission de données ne sont pas nouveaux. Des problèmes analogues ont apparu et ont été en grande partie résolus lors de l'étude et de la mise en place de la télégraphie harmonique. Le seul élément nouveau du problème est la recherche des rapidités de modulation aussi élevées que possible. Ces grandes vitesses de transmission sont rendues nécessaires aujourd'hui par le développement d'ensembles puissants de traitement de données mettant en jeu des volumes importants d'informations à transmettre et permettant la résolution en temps réel d'un grand nombre de problèmes.

Cet élément nouveau modifie suffisamment les conditions de la transmission pour justifier la recherche de solutions différentes de celles qui ont été retenues pour les vitesses télégraphiques.

Parmi ces solutions, celle qui paraît être la plus satisfaisante pour la transmission d'informations binaires à grande vitesse utilise la modulation par inversion de phase.

Le présent article est consacré à la description d'un modulateur-démodulateur destiné à l'étude de la transmission des données sur lignes téléphoniques et utilisant ce type de modulation.

Cet équipement a été entièrement étudié, réalisé et mis au point par la Compagnie IBM-FRANCE à son Centre d'Etudes et Recherches de La Gaude (Alpes-Maritimes).

Une petite série de ces appareils a été réalisée et a permis d'effectuer un grand nombre d'essais de transmission sur ligne téléphonique dans les conditions réelles d'exploitation, en collaboration avec les P.T.T., pour préparer l'utilisation des téléordinateurs IBM.

La modulation de phase a été adoptée de préférence aux autres types de modulation car elle procure une meilleure protection contre les bruits et permet une meilleure utilisation de la bande passante de la ligne.

Le modulateur a été réalisé de façon à ce qu'il ne soit pas nécessaire de maintenir un synchronisme entre la fréquence de la porteuse et la fréquence des signaux délivrés par l'horloge des équipements digitaux. De cette façon la rapidité de modulation peut varier de façon continue d'une valeur très faible jusqu'à 2 400 bauds, ce qui permet une très grande souplesse d'utilisation.

Principes de fonctionnement

Le signal sur la ligne correspond à l'émission d'une tension sinusoïdale dont la fréquence est celle de la porteuse et dont la phase peut prendre deux valeurs opposées.

Suivant le code utilisé, la correspondance entre le signal sur la ligne et sa signification binaire est établie de l'une des deux façons suivantes :

a) Le « 0 » du signal binaire correspond à une inversion de tension, c'est-à-dire à une inversion de la phase du signal en ligne.

Le « 1 » correspond alors à la non inversion de la phase.

b) Le « 1 » du signal binaire correspond à un état de tension, c'est-à-dire à un état de la phase du signal en ligne, appelé phase de référence et qui doit être définie au début de chaque message.

Le « 0 » correspond dans ce cas à l'état de phase inverse de celui de la phase de référence.

La modulation est réalisée au moyen d'un inverseur commandé au rythme de la fréquence porteuse et effectuant le produit du signal binaire par l'onde porteuse. Si le signal des données est $f(t)$ et si la fréquence de la porteuse est égale à $f = \frac{\omega}{2\pi}$, le signal à la sortie du modulateur est de la forme.

$$A \cdot f(t) \left[\cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3 \omega t + \frac{1}{5} \cos 5 \omega t \dots \right]$$

Par filtrage seul le premier terme est conservé et le signal émis est de la forme :

$$Af(t) \cos \omega t$$

Le signal est celui d'une onde modulée en amplitude par $f(t)$ sans transmission de l'onde porteuse. Il faut cependant remarquer que l'information, selon qu'elle est représentée par les changements de signe ou par le signe de $f(t)$, est bien transmise sous la forme, soit d'une inversion, soit de l'état de la phase du signal sur la ligne.

La démodulation est réalisée dans le récepteur en comparant la phase du signal reçu à la phase de la fréquence porteuse reconstituée à partir du signal reçu.

Le démodulateur identique au modulateur effectue le produit du signal reçu par l'onde porteuse, soit :

$$f(t) \cos \omega t \left[\cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3 \omega t + \dots \right]$$

qui peut se mettre sous la forme :

$$af(t) + bf(t) \cos 2 \omega t + cf(t) \cos 4 \omega t + \dots$$

Par filtrage dans un filtre passe bas le terme $af(t)$ est séparé des autres composants et permet de reconstituer les données.

La figure 1 donne le schéma de principe par éléments fonctionnels du modulateur.

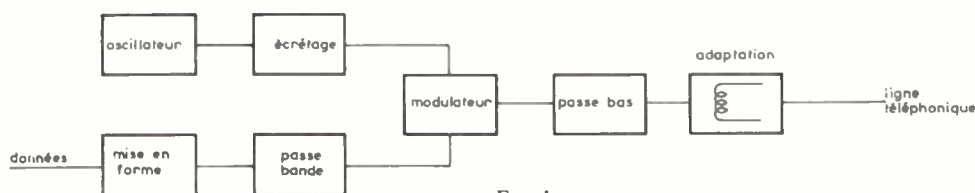


FIG. 1.

La méthode de reconstitution de la porteuse qui a été adoptée est basée sur la propriété suivante :

— Parmi les composantes du signal obtenu en appliquant le signal reçu à un réseau dont la caractéristique de transmission est une fonction quadratique, se trouve le deuxième harmonique de la fréquence porteuse. En effet le terme :

$$f^2(t) \cos^2 \omega t$$

peut s'écrire :

$$f^2(t) \times \frac{1 + \cos 2 \omega t}{2}$$

et $f^2(t)$ contient nécessairement une composante continue.

Le deuxième harmonique de la porteuse est obtenu par filtrage et l'onde porteuse est reconstituée par division.

Le circuit de mise en forme définit d'une part l'amplitude du signal d'attaque du modulateur et d'autre part une tension de référence par rapport à laquelle est défini le signe de $f(t)$, c'est-à-dire la phase du signal en ligne. Le spectre du signal est ensuite limité par un filtre passe-bas dont le rôle est étudié dans le paragraphe suivant. Le signal résultant est appliqué au modulateur, commandé par une onde porteuse obtenue à partir d'un oscillateur LC à haute stabilité. A la sortie du modulateur un filtre passe-bas élimine les composantes correspondant aux fréquences harmoniques impaires de la porteuse, pour ne conserver que les termes de la forme :

$$f(t) \cos \omega t$$

Un amplificateur séparateur et un transformateur symétriseur assurent l'adaptation de l'impédance de sortie de l'émetteur à la ligne téléphonique.

La figure 2 représente le schéma de principe du récepteur par éléments fonctionnels.

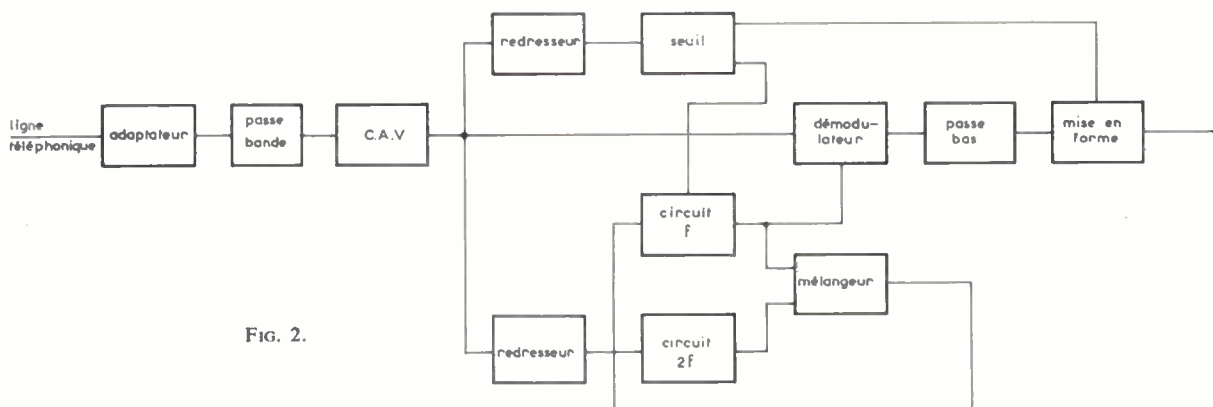


FIG. 2.

A l'entrée du récepteur la ligne téléphonique est couplée, à travers un transformateur et un amplificateur assurant l'adaptation des impédances, à un filtre passe bande. Celui-ci limite le spectre reçu pour éliminer autant que possible les bruits induits sur la ligne dont les composantes sont extérieures à la bande utile. Un amplificateur à réglage de gain automatique (C.A.V.) permet d'attaquer les circuits suivants avec une amplitude constante à $\pm 1,5$ dB pour des variations de l'amplitude du signal d'entrée de 40 dB. Cette régulation est nécessaire à cause des différences de niveau de réception selon la constitution des circuits empruntés par la liaison. A la sortie le signal attaque en parallèle : le démodulateur, le circuit de reconstitution de porteuse et le seuil.

Le circuit de reconstitution de la porteuse comprend un redresseur double alternance suivi d'un circuit accordé sur la fréquence $2f$ qui sélectionne le deuxième harmonique de la fréquence porteuse. La division par deux de cet harmonique est obtenue en synchronisant un oscillateur dont la fréquence propre est voisine de f par le signal résultant du mélange du signal de sortie du circuit $2f$ et de celui de l'oscillateur lui-même. Ce dernier est ainsi synchronisé à la fréquence f recherchée. Dans le cas où l'information est représentée par l'état de la phase, il est nécessaire de définir la phase de référence. Cette opération est effectuée au début du message en démarrant et en synchronisant l'oscillateur directement par un signal en ligne dont la phase correspond alors à la phase de référence.

Le but du circuit de seuil est de détecter la présence du signal à l'entrée du récepteur. Ainsi la sortie « données » du récepteur et l'oscillateur de reconstitution de la porteuse peuvent être bloqués lorsqu'il n'y a pas de signal en ligne. Le circuit d'entrée du seuil utilise le même principe que celui de la reconstitution de la porteuse, et l'amplitude du signal à la fréquence $2f$ ainsi recueilli permet de décider de la présence ou non du signal en ligne.

Un démodulateur identique au modulateur est commandé par l'onde porteuse rectangulaire obtenue par amplification et écrêtage de la tension de sortie de l'oscillateur de reconstitution de la porteuse.

Le signal de sortie du démodulateur est filtré dans un filtre passe bas dont le double rôle est d'éliminer les produits indésirables de démodulation ainsi que les bruits induits sur la ligne dont les fréquences après démodulation sont en dehors du spectre correspondant au signal des données. A la sortie du filtre un circuit de mise en forme permet de restituer les données sous leur forme binaire.

Rapidité de modulation

La fréquence de l'onde porteuse et la rapidité de modulation étant indépendantes, la seule limitation est la vitesse maximale définie par les caractéristiques des circuits de transmission. Pour qu'il ne soit pas nécessaire de synchroniser la fréquence porteuse et les données, l'émetteur doit satisfaire à la condition suivante : B étant la rapidité de modulation en bauds, le spectre des données doit être limité de façon à ce que le niveau des fréquences supérieures à F_1 telles que :

$$F_1 = 2f - \frac{B}{2}$$

soit négligeable par rapport au niveau des fréquences dans la bande :

$$0 - \frac{B}{2} \text{ Hz.}$$

Si cette condition n'est pas satisfaite, en effet, il existe dans le spectre du signal des données des couples de composantes dont les fréquences :

$$F_a < \frac{B}{2} \text{ et } F_b > 2f - \frac{B}{2}$$

sont telles que :

$$f - F_a = F_b - f > f - \frac{B}{2}$$

$$f + F_a = 3f - F_b < f + \frac{B}{2}$$

ce qui signifie qu'après modulation, certaines composantes du signal sur la ligne correspondent à un mélange de deux composantes distinctes du spectre avant modulation. Lorsqu'il n'y a pas de relation entre la fréquence de la porteuse et les données ces mélanges provoquent des battements et donc de la distorsion télégraphique sur le signal démodulé.

D'autre part il est connu d'après le théorème de Nyquist que la largeur de spectre minimale, pour transmettre un signal binaire à B bauds, est égal à $\frac{B}{2}$ Hz. Puisque les deux bandes de modulation sont transmises, la bande passante minimale est limitée aux fréquences $f - \frac{B}{2}$, $f + \frac{B}{2}$. La bande passante des circuits téléphoniques modernes s'étend de 300 à 3 400 Hz, mais la distorsion de phase aux fréquences extrêmes est telle que la largeur de bande utilisable ne s'étend que de 600 à 3 000 Hz. Dans ces conditions en utilisant 1 800 Hz comme fréquence porteuse, la vitesse maximale réalisable est égale à 2 400 bauds.

Effet des caractéristiques de la ligne sur le signal démodulé

Les principales caractéristiques des lignes téléphoniques affectant les transmissions de données sont les suivantes :

- les bruits impulsifs et thermiques
- les distorsions d'amplitude et de phase
- le glissement de fréquence introduit par les équipements de modulation et démodulation des systèmes téléphoniques à courants porteurs.

1) Les bruits thermiques ont toujours des niveaux assez faibles pour être sans influence sur la transmis-

sion des données qui est effectuée au niveau relatif — 10 dBm 0. Par contre les bruits impulsifs créés soit dans les circuits des autocommutateurs, soit par de très brèves coupures de ligne, sont une source importante d'erreurs. L'effet de ces bruits est réduit par l'emploi de filtres qui, à la réception, limitent le spectre reçu à la bande minimale indispensable.

2) L'effet des distorsions d'amplitude et de phase peut être analysé de la façon suivante :

— Le signal émis sur la ligne est une somme de termes analogues à :

$$C_n \cos(\omega \pm \Omega_n) t$$

$F_n = \frac{2\pi}{\Omega_n}$: fréquence avant modulation de la $n^{\text{ème}}$ composante du spectre des données.

A l'entrée du récepteur le signal, ayant subi les distorsions d'amplitude et de phase de la ligne, a la forme suivante :

$$A_n \cos[(\omega + \Omega_n)t - \phi_n] + A'_n \cos[(\omega - \Omega_n)t - \phi'_n]$$

avec :

$$A_n = C_n e^{-\alpha_n}$$

$$A'_n = C_n e^{-\alpha'_n}$$

α_n et ϕ_n étant l'affaiblissement et le déphasage de la ligne pour la fréquence $\omega + \Omega_n$.

α'_n et ϕ'_n étant l'affaiblissement et le déphasage de la ligne pour la fréquence $\omega - \Omega_n$.

Les composantes à partir desquelles la fréquence $2f$ est obtenue proviennent des termes :

$$\left[A_n \cos[(\omega + \Omega_n)t - \phi_n] + A'_n \cos[(\omega - \Omega_n)t - \phi'_n] \right]^2$$

parmi lesquels sont sélectionnés les termes :

$$2 A_n A'_n \cos[2\omega t - (\phi_n + \phi'_n)]$$

Cette expression permet de tirer les conclusions suivantes sur la reconstitution de la porteuse :

— la distorsion d'amplitude de la ligne n'intervient pas tant que les amplitudes A_n et A'_n des différentes composantes restent suffisantes.

— la phase du signal à la fréquence $2f$ dépend de $\phi_n + \phi'_n$. C'est-à-dire que si la courbe de déphasage de la ligne en fonction de la fréquence est symétrique par rapport au point correspondant à la fréquence porteuse, la porteuse reconstituée s'établit avec une phase fixe indépendante du signal. Si la courbe de déphasage n'est pas symétrique la phase du signal à la fréquence $2f$ varie suivant les composantes du spectre du signal des données. Si la caractéristique de la ligne est telle que la variation de $\phi_n + \phi'_n$ puisse atteindre 180° , il existe des séquences de données telles que la porteuse ne peut pas être reconstituée. Il faut noter que pour une liaison empruntant un équipement

téléphonique à courants porteurs la variation de $\phi_n + \phi'_n$ dans la bande de fréquence 600 - 3 000 Hz ne dépasse pas 25° sur la majorité des équipements jusqu'à présent en usage.

Ecrivons la porteuse de démodulation sous la forme :

$$\cos(\omega t + \phi_o)$$

l'onde démodulée est la somme de composantes telles que :

$$A_n \cos(\Omega_n t - \phi_n - \phi_o) + A'_n \cos(\Omega_n t + \phi_o + \phi'_n)$$

Il est intéressant de considérer cette expression dans deux cas particuliers.

a) la courbe de déphasage de la ligne en fonction de la fréquence est symétrique par rapport au point correspondant à la fréquence porteuse. Il a été vu que dans ce cas :

$$\phi_o = - \frac{\phi_n + \phi'_n}{2}$$

L'onde démodulée est alors la somme de termes :

$$(A_n + A'_n) \cos\left(\Omega_n t + \frac{\phi'_n - \phi_n}{2}\right)$$

L'amplitude de l'onde démodulée dépend seulement de l'amplitude des composantes du signal reçu.

La phase est égale à la différence :

$$\frac{\phi'_n - \phi_n}{2}$$

Il est possible de compenser le déphasage en ligne par un égaliseur introduit après la démodulation et dont la caractéristique est telle que :

$$\Phi_n + \frac{\phi'_n - \phi_n}{2} = T \times \Omega_n \quad T = C^{\text{te}}$$

Φ_n étant le déphasage introduit par l'égaliseur à la fréquence F_n .

b) la courbe d'affaiblissement de la ligne en fonction de la fréquence est telle que :

$$A_n = A'_n$$

L'onde démodulée est la somme de termes :

$$A_n [\cos(\Omega_n t - \phi_n - \phi_o) + \cos(\Omega_n t + \phi_o + \phi'_n)]$$

ou

$$2 A_n \cos\left(\phi_o + \frac{\phi_n + \phi'_n}{2}\right) \cos\left(\Omega_n t + \frac{\phi'_n - \phi_n}{2}\right)$$

L'amplitude de l'onde démodulée dépend de

l'amplitude A_n des composantes du signal reçu et du cosinus de l'angle :

$$\phi_o + \frac{\phi_n + \phi'_n}{2}$$

qui est la différence entre la phase instantanée de la porteuse et de la phase qu'elle aurait si elle suivait sans retard le signal de synchronisation à la fréquence $2f$. Le rapport signal sur bruit après démodulation est donc inférieur au rapport signal sur bruit à l'entrée du récepteur et cela d'autant plus que :

$$\phi_o + \frac{\phi_n + \phi'_n}{2}$$

s'approche de 90° .

Pour diminuer cet angle il faudrait que l'oscillateur en f puisse suivre sans retard la phase des impulsions de synchronisation. Malheureusement, pour que la porteuse reconstituée ne soit pas perturbée par les bruits, il est nécessaire d'utiliser des circuits accordés aux fréquences f et $2f$ assez sélectifs et dont la constante de temps ne soit pas négligeable.

Dans le cas général il est possible de définir des conditions de bon fonctionnement :

Les variations de $\phi_n + \phi'_n$ pour les fréquences de la bande utilisée doivent être inférieures à une valeur limite pour laquelle la porteuse est mal reconstituée.

Lorsque la condition précédente est réalisée la phase de l'onde démodulée, dépendant de la distorsion de phase et d'amplitude en ligne, doit être telle que ses variations soient inférieures à une valeur limite pour laquelle la distorsion télégraphique du signal reconstitué provoque des erreurs.

Il y a deux possibilités de compensation de la distorsion de la ligne :

Soit placer en série avec la ligne un égaliseur tel que la variation de la phase résultante soit linéaire en fonction de la fréquence dans la bande de fréquence occupée par le signal. Ces deux relations :

$$\phi_n + \phi'_n = C'e$$

et :

$$\frac{\phi'_n - \phi_n}{2\Omega_n} = C'e$$

sont alors vérifiées simultanément.

Soit placer en série avec la ligne un égaliseur tel que la relation :

$$\phi_n + \phi'_n = C'e$$

soit satisfaite,

et placer un égaliseur agissant sur le signal non modulé à l'émission (prédistorsion) ou à la réception tel que :

$$\frac{\phi'_n - \phi_n}{2\Omega_n} + \frac{\Phi_n}{\Omega_n} = C'e$$

C'est cette dernière solution qui a été adoptée car il a été vérifié que dans la grande majorité des cas rencontrés l'égaliseur en série avec la ligne n'est pas nécessaire. Dans ces conditions un égaliseur à la sortie du démodulateur permet de compenser les distorsions de phase de la ligne.

3) Le glissement de fréquence introduit par les équipements de modulation et démodulation téléphoniques est toujours inférieur à 10 Hz.

Le spectre des données étant limité avant la modulation, l'effet du glissement de fréquence est rigoureusement identique à une variation de la fréquence porteuse du modulateur. Dans ces conditions la démodulation n'est pas affectée si la bande passante du circuit de reconstitution de porteuse est assez large pour admettre des variations de la fréquence de la porteuse de ± 10 Hz sans introduire de déphasage supérieur à une dizaine de degrés.

Réalisation des circuits

Les circuits les plus particuliers sont décrits en détail ci-dessous.

1) EMETTEUR

La figure 3 représente les circuits de modulation. Les données sont introduites sous la forme d'une tension prenant une des deux valeurs 0 ou -12 V par rapport à la masse.

Le pont de résistance $R_4 R_5$ permet de définir au point B une tension de référence moyenne des tensions en A correspondant aux deux états du signal quelles que soient les variations de la tension -12 V. Le réseau $R_1 R_2 R_3 R_6, D_1 D_2$ assure l'adaptation du filtre indépendamment de l'état saturé ou bloqué du transistor Tr_1 .

Le filtre F_1 limitant le spectre des données est composé d'une cellule entière dont la fréquence de coupure est égale à 1 400 Hz. Il procure à 2 400 Hz un affaiblissement de 15 dB suffisant pour que l'amplitude des composantes supérieures à 2 400 Hz, qui après modulation de la porteuse à 1 800 Hz retombent dans la bande de fréquence utilisée sur la ligne, soit négligeable par rapport aux composantes utiles.

Le modulateur est composé des transistors Tr_2 et Tr_3 et d'un transformateur à point milieu T . Les transistors sont saturés ou bloqués suivant la polarisation de la porteuse appliquée en D . La tension ainsi recueillie au secondaire T est égale à la tension de sortie du filtre F_1 , mais inversée au rythme de la fréquence porteuse. Bien que les transistors Tr_1 et Tr_2 soient saturés en direct ou en inverse suivant la polarité de la tension de sortie du filtre F_1 , il n'est pas nécessaire d'utiliser des transistors à caractéristiques symétriques, tant que les courants débités restent faibles. En effet la résistance de saturation est alors suffisamment faible pour être négligeable devant la résistance de charge, et l'équilibrage du modulateur ne dépend pas des transistors.

L'équilibrage du modulateur vis-à-vis de l'onde porteuse est défini par la valeur de la tension en B par rapport aux deux valeurs de la tension en A . En

prévoyant un réglage de cette tension, ajustée une fois pour toutes au moment du montage, un écart de 40 dB entre le niveau de la porteuse non modulée émise en ligne et le niveau du signal peut être obtenu.

Le filtre F_2 est composé d'une cellule et demi dont la fréquence de coupure est égale à 3 800 Hz. Il a pour but de limiter le spectre émis en ligne pour ne pas perturber les voies voisines dans le cas où la liaison comprend des systèmes téléphoniques à courants porteurs. Le spectre émis répond aux conditions suivantes : P_{i-j} étant la puissance du signal dans la bande : $i - j$ kHz :

$$10 \log \frac{p_{0-4}}{p_{4-8}} > 17,4 \text{ dB}$$

$$10 \log \frac{p_{0-4}}{p_{8-12}} > 35 \text{ dB}$$

$$10 \log \frac{p_{0-4}}{p_{12-16}} > 52 \text{ dB}$$

Cette dernière condition est satisfaite pour les bandes situées au-delà de 16 kHz.

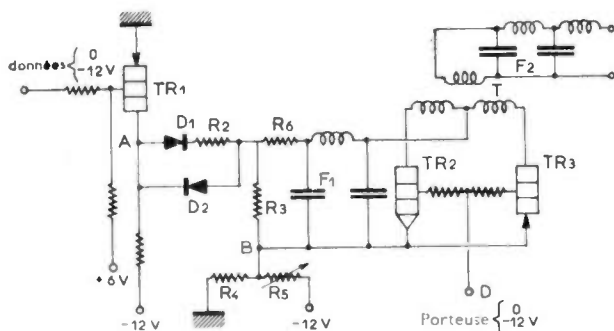


FIG. 3.

2) RÉCEPTEUR

a) Filtrage

— Les filtres du récepteur ont les caractéristiques suivantes : Le filtre passe bande d'entrée du récepteur est composé d'une demi cellule dont la fonction d'affaiblissement présente un pôle pour les fréquences : $f = 0$ et $f = \infty$

Selon la rapidité de modulation, les fréquences de coupure ont les valeurs suivantes : 600 Hz et 3 000 Hz pour les rapidités comprises entre 1 200 et 2 400 bauds, 900 et 2 400 Hz pour les rapidités inférieures ou égales à 1 200 bauds. Pour ces valeurs la fréquence de la porteuse peut être choisie égale à 1 500 ou 1 800 Hz.

Le filtre passe bas de démodulation, dont la structure et la fréquence de coupure varient selon la rapidité de modulation, procure un affaiblissement constamment croissant avec la fréquence.

Pour les rapidités inférieures ou égales à 600 bauds, il est composé d'une demi cellule dont la fréquence de coupure est égale à 300 Hz.

Pour les rapidités comprises entre 600 et 1 200 bauds,

il est composé d'une demi cellule dont la fréquence de coupure est égale à 600 Hz.

Pour les rapidités comprises entre 1 200 et 2 400 bauds, il est composé d'une demi cellule dont la fréquence de coupure est égale à 1 200 Hz.

Les éléments de ces filtres ont été déterminés de façon à réduire autant que possible la distorsion de phase introduite.

b) Reconstitution de la porteuse

La figure 4 représente le circuit de reconstitution de la porteuse.

La composante à la fréquence $2f$ contenue dans le signal redressé par les diodes $D_1 D_2$ est sélectionnée dans le circuit $L_1 C_1$ accordé à cette fréquence. L'onde ainsi obtenue synchronise l'oscillateur constitué par les transistors $Tr_4 Tr_5 Tr_6$ et le circuit $L_2 C_2$ accordé à la fréquence f . La synchronisation est assurée en utilisant en réaction pour l'entretien des oscillations, le signal résultant du mélange, sur le circuit commun des émetteurs de Tr_3 et Tr_4 , des tensions sélectionnées aux bornes de $L_1 C_1$ et $L_2 C_2$.

Le signal aux bornes de $L_2 C_2$ est amplifié et écrêté dans les transistors Tr_7 et Tr_8 avant de commander le démodulateur.

Le transistor Tr_9 bloqué en présence du signal et saturé dans le cas contraire permet d'obtenir le fonctionnement suivant.

Une fois amorcé, si le signal de synchronisation disparaît, l'oscillateur délivre sa fréquence propre tant que la tension sur le fil « seuil » reste négative, c'est-à-dire tant que les circuits du seuil détectent la présence d'un signal sur la ligne.

Au début du message Tr_9 étant saturé, l'oscillateur est amorcé et synchronisé par l'intermédiaire de Tr_1 , au moyen d'une courte séquence de porteuse non modulée, permettant de définir la phase de référence.

En fin de message, lorsque le signal reçu disparaît, la tension sur le fil « seuil » devient positive et bloque l'oscillateur par saturation de Tr_5 .

Ceci permet de définir la phase de la fréquence porteuse sans ambiguïté à condition d'émettre, avant le message, de la porteuse non modulée. Le temps nécessaire à cette opération de synchronisation est inférieur à 10 ms.

Les surtensions des circuits $L_1 C_1$ et $L_2 C_2$ ont été déterminées de telle sorte que le déphasage introduit par ces circuits est inférieur à 20° dans la plage de synchronisation définie de la façon suivante :

Cette plage doit recouvrir :

- a) les variations de fréquence de l'oscillateur et l'émetteur qui peuvent atteindre ± 5 Hz.
- b) le glissement de fréquence introduit par la ligne qui peut atteindre 10 Hz.
- c) les variations de la fréquence propre de l'oscillateur qui peuvent atteindre ± 5 Hz.

Le circuit présentant une surtension totale égale à 20 a donné entière satisfaction aux essais.

Le circuit ainsi réalisé a permis d'obtenir une por-

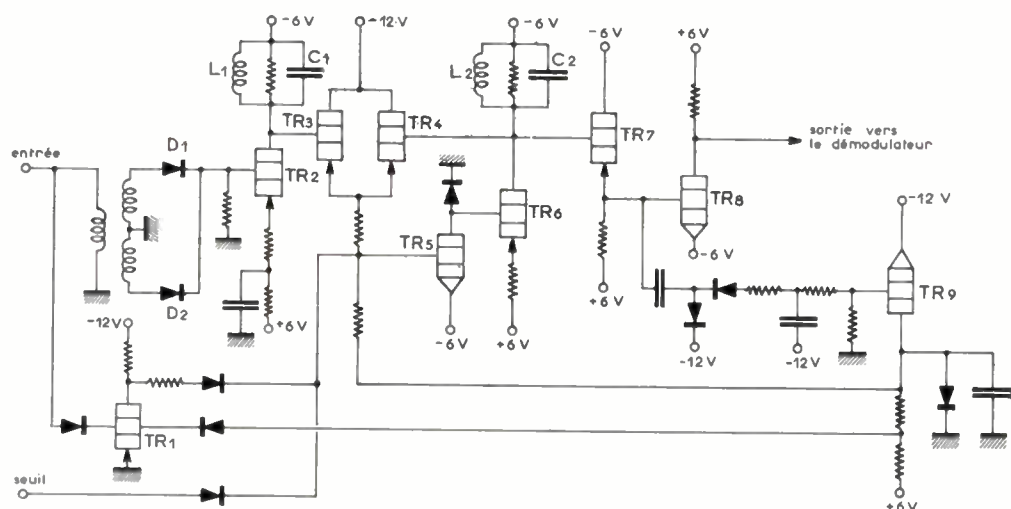


FIG. 4.

teuse de démodulation pratiquement insensible aux bruits normalement présents sur les lignes téléphoniques.

b) Egalisation de phase

Les essais effectués sur les différents types de ligne téléphonique rencontrés dans la pratique ont montré qu'à 1 200 bauds une égalisation n'était pas nécessaire.

Par contre pour travailler à 2 400 bauds, l'égalisation est obligatoire. Dans ce but un égaliseur réglable est inséré à la sortie du démodulateur entre le filtre et les circuits de mise en forme.

Il a été vu dans un paragraphe précédent consacré à l'effet des caractéristiques de la ligne sur la transmission, qu'une telle égalisation permet de compenser la distorsion de phase de la ligne, à la condition que la courbe de déphasage en fonction de la fréquence présente une certaine symétrie par rapport au point

correspondant à la fréquence porteuse. Le degré de symétrie rencontré dans la majeure partie des cas autorise à utiliser ce type d'égalisation, qui a l'avantage de permettre la réalisation d'un égaliseur ajustable par commutateur dont le réglage en exploitation ne présente pas de difficulté.

L'égaliseur utilisé est composé de trois sections pouvant être combinées en série de toutes les façons possibles ce qui permet d'obtenir les 7 courbes de la figure 5 représentant les différences $T_n - T_0$ en fonction de la fréquence. T_i étant le retard à la fréquence F_i :

$$T_n = \frac{\Phi_n}{\Omega_n}$$

Il est ainsi possible de compenser des distorsions de phase correspondant à des variations de retards de 700 μ s.

3) INTERCONNEXION AVEC LES ÉQUIPEMENTS DE TRAITEMENT DE DONNÉES

Les signaux d'interconnexion avec les équipements digitaux répondent aux normes RS-232 définies par l'E.I.A. et adoptées par le C.C.I.T.T. Ils permettent notamment dans le cas d'exploitation en semi-duplex sur ligne 2 fils, la commande par les équipements digitaux du sens de transmission.

4) CONNEXION A LA LIGNE TÉLÉPHONIQUE

La connexion à la ligne téléphonique permet l'utilisation d'un poste téléphonique ordinaire utilisé pour l'appel du correspondant et l'échange de conversation si nécessaire. La commutation de transmission de paroles à transmission de données est réalisée au moyen d'un crochet actionné par le combiné téléphonique.

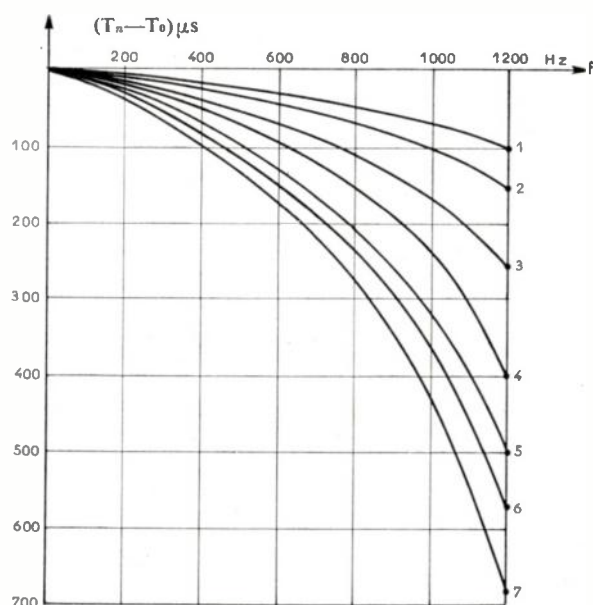


FIG. 5.

Performances réalisées

1) ESSAIS SUR LIGNES RÉELLES

Une série d'essais a été effectuée avec cet équipement pour établir les conditions de transmission sur le réseau commuté.

Les différents types de liaisons en service dans le réseau de télécommunication français ont été essayés et, à part le cas particulier très rare de liaison empruntant une longueur appréciable de câble à forte charge H 177, le taux de bits en erreur, pour une vitesse de transmission égale à 1 200 bauds, reste inférieur à 5×10^{-5} sans qu'il soit nécessaire de prévoir une égalisation de la ligne.

Sur lignes louées des essais ont été effectués à 2 400 bauds sur des liaisons comprenant soit un équipement de modulation et démodulation de système à courants porteurs (entre Paris et Rome) soit trois équipements de modulation et démodulation de système à courants porteurs en tandem (entre Londres et Rome avec démodulation à Francfort et Paris). L'égalisation était réalisée en utilisant l'égaliseur incorporé à l'équipement et décrit ci-dessus. Le taux d'erreur relevée au cours de ces essais a été inférieur à 10^{-5} .

2) ESSAIS EN LABORATOIRE

L'effet du bruit et de la distorsion de phase a été étudié expérimentalement et est représenté sur les figures 6 et 7 pour une vitesse de modulation égale à 1 200 bauds.

Les figures 6 et 7 représentent à taux d'erreur τ constant les courbes de variation du rapport signal sur bruit en fonction de la distorsion de phase. Les variations du rapport signal sur bruit sont obtenues en injectant du bruit blanc sur la ligne artificielle et en mesurant le bruit dans la bande 300 - 3 000 Hz.

Deux types de distorsion de phase ont été étudiés pour mettre en évidence l'effet des défauts affectant la porteuse reconstituée.

ϕ_n étant le déphasage de la ligne artificielle pour la fréquence $f + F_n$ et ϕ'_n le déphasage pour la fréquence $f - F_n$ les quantités portées en abscisse sont les

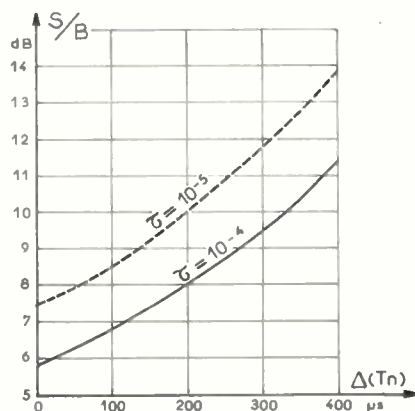


FIG. 6.

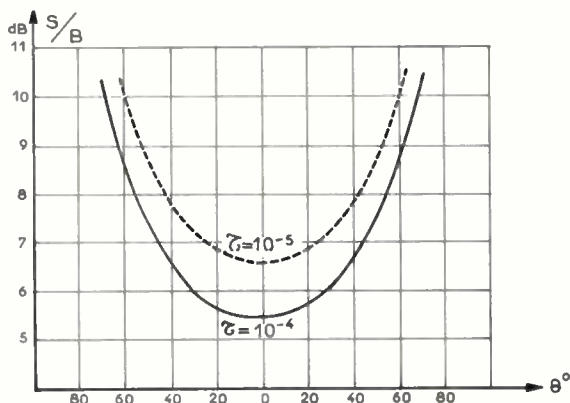


FIG. 7.

variations dans la bande 600 - 3 000 Hz des quantités.

$$\Delta(T_n) = \left(\frac{\phi'_n - \phi_n}{2\Omega_n} \right)^{\max} - \left(\frac{\phi'_n - \phi_n}{2\Omega_n} \right)^{\min} \quad (\text{figure 6})$$

$$\phi = \left(\frac{\phi'_n + \phi_n}{2} \right)^{\max} - \left(\frac{\phi'_n + \phi_n}{2} \right)^{\min} \quad (\text{figure 7})$$

Les résultats de la figure 6 ont été obtenus en utilisant une ligne artificielle telle la courbe $\phi_n = f(\Omega)$ soit symétrique par rapport au point correspondant à 1 800 Hz. De cette façon la porteuse reconstituée est indépendante de la distorsion de la ligne et les courbes font apparaître l'effet des variations du retard des composantes de l'onde démodulée.

Au contraire les résultats de la figure 7 font apparaître les défauts dus à la modulation de phase de la porteuse reconstituée créée par la distorsion de la ligne.

La figure 8 représente les variations du taux d'erreur en fonction du rapport signal sur bruit :

- sans ligne artificielle (courbe 1)
- avec une ligne artificielle reproduisant la distorsion de phase introduite par deux équipements de modulation et démodulation téléphonique, et égali-

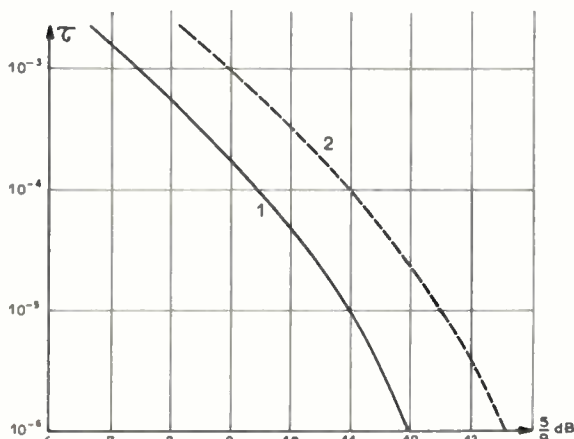


FIG. 8.

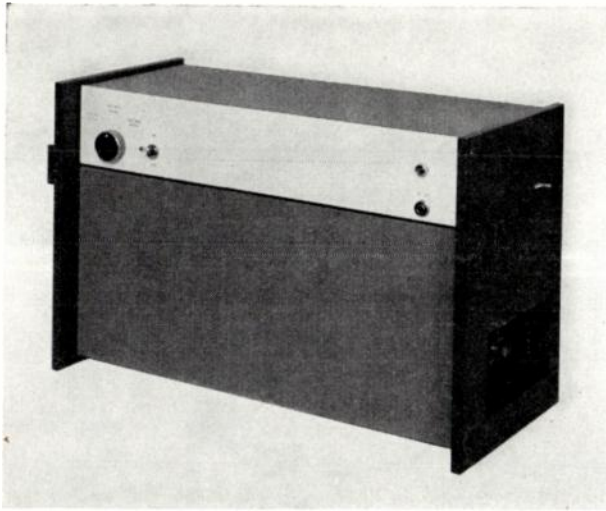


FIG. 9.

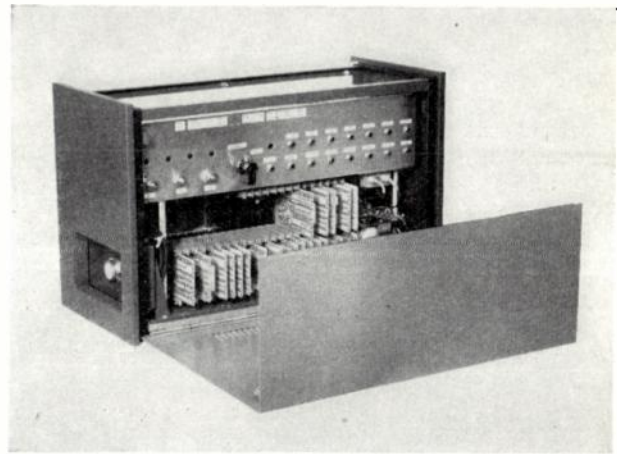


FIG. 10.

sation par l'égaliseur incorporé à l'équipement (courbe 2).

La comparaison des deux courbes montre que le défaut d'égalisation correspond à une perte de 1,5 dB sur le rapport signal sur bruit.

Conclusion

Les résultats obtenus avec cet équipement qui n'est pas un prototype de laboratoire, mais un appareil réalisé en petite série (fig. 9 et 10) pour permettre l'étude des lignes de transmission par des utilisateurs qui ne sont pas des spécialistes, démontrent les grandes possibilités de la modulation de phase dans le domaine de la transmission des données.

La rapidité de modulation de 2 400 bauds sur lignes égalisées peut être atteinte avec une très bonne sécurité, de même que la rapidité de 1 200 bauds sur le réseau commuté.

Les qualités de la modulation de phase ainsi confirmées expérimentalement ont conduit la Compagnie IBM-FRANCE pour la mise au point de transmission à grande efficacité, à étudier dans son Centre d'Etudes et Recherches à la Gaude un équipement à modulation de phase utilisant quatre états de phase au lieu de deux. Des résultats prometteurs ont été obtenus et la vitesse de transmission de 4 800 bits/s déjà atteinte sur ligne égalisée semble être un objectif réalisable dans le proche avenir pour des liaisons de bonne qualité.

LE SYSTÈME SYNCHRONE DE TRANSMISSION RAPIDE D'INFORMATIONS

PAR

A. GIRINSKY et P. ROUSSEL

Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques

1. — Introduction

L'utilisation de l'électronique dans les équipements automatiques modernes a permis d'atteindre des vitesses de fonctionnement qui n'auraient pu être envisagées par l'application d'autres techniques. Les possibilités de ces équipements s'en sont trouvées considérablement augmentées et leur emploi se généralise de plus en plus.

Les systèmes de transmission sont appelés à relier entre eux de tels équipements et à leur permettre d'échanger des informations à une cadence qui ne saurait être soutenue par les procédés classiques de signalisation ou de transmission télégraphique.

On peut distinguer deux catégories d'équipements automatiques et parallèlement les systèmes de transmission peuvent se partager en deux types selon qu'ils sont associés à des équipements de l'un ou de l'autre groupe.

D'une part, les équipements automatiques pour lesquels il est essentiel d'obtenir un résultat donné dans un minimum de temps, leur exploitation pouvant comporter des périodes de non-utilisation importantes. Ils sont associés à des systèmes de transmission pour lesquels l'information ne présente de l'intérêt que si elle est transmise très rapidement.

Parmi les applications de ce type, nous signalerons les transmissions de télécommandes, de télésignalisations et de télémesures ainsi que les transmissions utilisées pour desservir des complexes automatiques obtenus en groupant ces sortes d'équipements.

Il est fréquent, dans ce cas, d'avoir un équipement central qui reçoit les informations en provenance des équipements périphériques et retransmet vers ceux-ci des ordres ou des résultats.

Le réseau de transmission est alors constitué par un réseau étoilé convergent vers le poste central, ou par une seule voie de transmission aboutissant au poste central et sur laquelle les postes périphériques sont « embrochés ».

Des considérations économiques conduisent à ne disposer que d'un seul équipement d'émission et de réception au poste central. Celui-ci permet soit d'échanger des informations à tour de rôle avec chacun des postes secondaires, soit de diffuser des informations vers tous les postes secondaires. Les messages échangés sont relativement courts. Il en résulte que le système de transmission employé doit permettre l'établissement rapide de la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur et que la correction d'erreurs par contrôle et répétition éventuelle de blocs d'information de grande capacité ne peut être utilisée.

Un système de transmission de ce type, désigné sous le nom de « RAPIDATA D », a été développé par la Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques [1]. Il est basé sur l'emploi d'un code spécial par lequel chaque élément d'information est transmis en ligne par deux signaux élémentaires. En contre-partie de cette redondance, le système permet d'obtenir une synchronisation rigoureuse des bases de temps d'émission et de réception et d'établir cette synchronisation de façon pratiquement instantanée.

D'autre part, la deuxième catégorie comprend les équipements automatiques destinés à traiter un certain volume d'informations. Ils sont associés à des systèmes de transmission dont le but est d'acheminer les informations nécessaires avec une sécurité suffisante. Parmi les applications de ce type nous signalerons les transmissions de données comptables pour facturation, gestion de stocks, surveillance des marchés, réservation des places, opérations bancaires, etc. et les transmissions de messages télégraphiques à grande vitesse.

Dans ce cas, les équipements de transmission assurent des liaisons point à point soit permanentes, soit établies pour transmettre un volume d'informations important, donc pendant une durée notable. Le but essentiel est alors la sécurité et il n'y a aucune difficulté à répéter la transmission de certaines informations qui risqueraient d'avoir été perturbées.

Un système de transmission de ce second type a été développé également par la Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques et est désigné sous le nom de « RAPIDATA S ».

Il utilise une transmission du type synchrone qui permet une vitesse de transmission de l'information plus élevée que celle du système du premier type. Chaque élément d'information correspond à un seul élément de transmission au lieu de deux.

Il est possible de lui adjoindre un système de correction d'erreurs par contrôle des informations en blocs et répétition des blocs perturbés.

Par contre il nécessite un temps plus grand pour l'établissement de la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.

Nous nous proposons, dans cet article, de décrire ce système et son dispositif de correction d'erreurs.

2. — Constitution générale du système

Ce système est destiné à la transmission, par modulation de fréquence sur lignes téléphoniques, d'informations digitales à l'une des trois vitesses : 600 bauds — 1 200 bauds et 1 800 bauds. Il est prévu pour la transmission de caractères à 5, 6, 7 ou 8 éléments.

La modulation de fréquence a été choisie parce que c'est, avec la modulation de phase, les deux types de modulation qui offrent la meilleure protection contre les parasites. Comme les performances de ces deux types de modulation sont comparables [2], [3], nous avons préféré la modulation de fréquence en raison du fait qu'elle est d'une réalisation plus économique.

Les caractéristiques des circuits téléphoniques étant variables suivant leur constitution (aériens, câbles chargés ou non, courants porteurs, etc.) et la rapidité de transmission étant particulièrement dépendante de la largeur de la bande des fréquences convenablement transmises, il est prévu d'utiliser, parmi les

trois vitesses possibles, celle qui est la mieux adaptée à la voie de transmission.

Le diagramme général d'une liaison est représenté sur la figure 1.

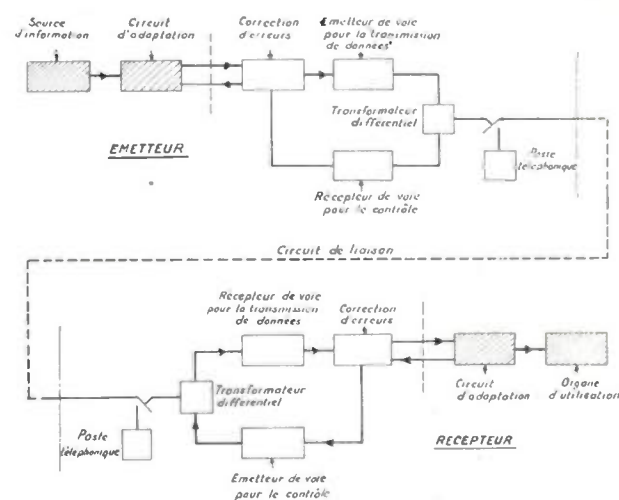


FIG. 1. — Diagramme général d'une liaison.

Le circuit téléphonique de liaison peut être établi de façon classique entre deux postes ou utilisé momentanément pour relier ces deux postes de service ; par une manœuvre de commutation il relie les équipements Émetteur et Récepteur de données.

À l'émission, l'équipement « RAPIDATA S » proprement dit comprend trois parties principales :

- L'émetteur de la voie pour la transmission de données.
- L'ensemble de correction d'erreurs.
- Le récepteur de la voie pour le contrôle.

(La voie pour le contrôle est utilisée pour transmettre, en cas d'erreurs détectées par l'ensemble de correction d'erreurs de l'extrémité réceptrice de données, les demandes de répétitions de blocs de transmission à l'ensemble de correction d'erreurs de l'extrémité émettrice de données).

Ces trois parties forment l'équipement « émetteur — convertisseur de signaux ». La source d'informations et le circuit d'adaptation, hachurés sur le diagramme, sont des éléments extérieurs au système. Ils constituent l'« équipement terminal de données » de l'extrémité émettrice. Le circuit d'adaptation fournit les impulsions, sous forme série, à partir des caractères à 5, 6, 7 ou 8 éléments présentés, sous forme parallèle, par la source d'informations.

À la réception, on retrouve une disposition analogue :

- Le récepteur de la voie pour la transmission de données.
- L'ensemble de correction d'erreurs.
- L'émetteur de la voie pour le contrôle.

Ces trois parties forment l'équipement « récepteur — convertisseur de signaux ». Le circuit d'adaptation et l'organe d'utilisation, hachurés sur le diagramme, sont des éléments extérieurs au système. Ils constituent l'« équipement terminal de données » de l'extrémité réceptrice. A partir des informations série fournies par l'équipement récepteur — convertisseur de signaux, le circuit d'adaptation restitue, à l'organe d'utilisation, les informations sous forme parallèle par caractères de 5, 6, 7 ou 8 éléments.

Sur le circuit de liaison, les informations sont transmises par la voie pour la transmission de données dans le sens extrémité émettrice vers extrémité réceptrice.

En sens inverse, la voie pour le contrôle assure la transmission alternative de deux fréquences, l'une correspond à la réception correcte des informations et l'autre à la demande de répétition des blocs d'information dans le cas d'erreurs détectées à l'extrémité réceptrice.

L'équipement possède un circuit d'adaptation de ligne qui permet de l'associer aux types de liaisons couramment utilisés — 4 fils ou 2 fils, avec ou sans boucle pour le courant continu.

3. — Principe de fonctionnement du système

La transmission est du type synchrone. Nous l'avons préférée à une transmission du type Start-Stop du fait qu'elle procure une meilleure immunité aux perturbations de toutes sortes et convient mieux au cas de la transmission continue des informations [3].

Le système de transmission utilisé consiste à produire en ligne des transitions fréquentes pour assurer en permanence une synchronisation rigoureuse entre l'émetteur et le récepteur. Ces derniers ont chacun leur base de temps propre, fournie à partir d'oscillateurs à quartz.

Les éléments d'information 0 et 1 sont transmis par des signaux ayant même durée. L'émetteur peut transmettre en ligne deux fréquences différentes (F_1 et F_2) qui n'ont, par elles-mêmes, aucune signification. En réception, chaque élément d'information est restitué sous le contrôle de la base de temps locale par examen des transitions successives des fréquences transmises en ligne.

La transmission d'un élément d'information 1 est assurée par le maintien, pendant l'intervalle de temps qui lui est affecté, de la fréquence (F_1 ou F_2) émise dans l'intervalle de temps précédent. Par contre, un élément d'information 0 est transmis par modification, au début de l'intervalle de temps correspondant, de la fréquence émise. (Passage de F_1 à F_2 ou de F_2 à F_1). De plus, chaque transition de la fréquence est utilisée par le récepteur pour assurer la synchronisation de la base de temps locale.

Le tableau ci-après représente, à titre d'exemple, la correspondance existant entre une suite déterminée d'éléments d'information et une émission de fréquence qui lui correspond.

Eléments d'information	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
Fréquence en ligne	F_1	F_2	F_2	F_1	F_2	F_2	F_2	F_1	F_1	F_1	F_2

A chaque élément de signal transmis en ligne correspond, suivant ce principe de modulation, un élément d'information et la vitesse de modulation est égale à celle de transmission.

Dans le cas où les éléments d'information se présentent sous forme d'une suite importante d'éléments 1, l'absence de transition dans le signal risque de permettre un déphasage notable de la base de temps locale. Pour l'éviter, à intervalles réguliers n'excédant pas 20 éléments d'information, on insère, dans la suite des éléments transmis, un zéro fictif servant uniquement à assurer le synchronisme.

Le principe utilisé pour le maintien de ce synchronisme est basé sur la comparaison des positions relatives dans le temps de deux groupes de transitions : celles produites par le signal détecté en ligne, d'une part, et celles produites par la base de temps locale, d'autre part. A chaque transition du signal détecté en ligne, on produit un déplacement de phase de l'oscillateur local, déplacement dont l'amplitude est toujours de $1/32^e$ du temps élémentaire affecté à la transmission d'un élément d'information et dont le sens est tel qu'il tende à réduire l'écart dans le temps entre cette transition et la transition la plus proche de l'autre groupe.

En pratique, l'oscillateur local fonctionne à une fréquence 32 fois supérieure à celle de succession des éléments d'information. Une chaîne de compteurs permet de diviser la fréquence de cette oscillation jusqu'à obtenir, sur le dernier étage de comptage, des transitions locales au même rythme que celui de transmission des éléments d'information.

4. — Caractéristiques générales

Les caractéristiques générales sont résumées dans le tableau ci-après.

Le passage de la vitesse 600 bauds à la vitesse 1 200 bauds s'effectue par modification de connexions. La vitesse 1 800 bauds s'obtient, à partir de la vitesse 1 200 bauds, par substitution de quartz.

L'introduction de réseaux correcteurs à l'émission et à la réception permet de compenser les distorsions d'affaiblissement produites par les lignes.

L'entrée émission du système « RAPIDATA S » reçoit les codes sous forme série. Les éléments d'information 0 et 1 sont caractérisés par les signes des polarités échangées. La sortie réception du système restitue les codes sous une forme identique. La structure de ces codes ainsi que celle des signaux échangés avec les équipements terminaux de données d'émission et de réception pour assurer leur fonctionnement synchrone, sont conformes aux recommandations du C.C.I.T.T. (Conférence de Genève — Octobre 1961).

	Voie de transmission de données			Voie pour le contrôle
	Vitesse 600 bauds	Vitesse 1 200 bauds	Vitesse 1 800 bauds	
Impédance d'entrée ou de sortie	600 ohms			
Type de modulation	Modulation de fréquence			
Bande de fréquence réellement utilisée (en Hertz)	1 000 à 2 000	1 000 à 2 400	800 à 2 900	380 à 460
Fréquence porteuse (en Hertz)	1 500 ± 200	1 700 ± 400	1 900 ± 600	420 ± 30
Niveau émis en ligne (en Néper par rapport au niveau 0)	Ajustable à 0,1 N près entre 0 et — 1,4 N			Ajustable à 0,1 N près entre 0 et — 3 N
Plage d'ajustement du niveau nominal de réception ramené en ligne (en Néper par rapport au niveau 0)	+ 0 à — 3,5			+ 0,3 à — 4,3
Marges de fonctionnement du récepteur de part et d'autre du niveau nominal (en Néper)	± 1,5			

5. — Diagramme de l'équipement et fonctionnement général

5.1. DIAGRAMME

Les figures 2 et 3 représentent respectivement les diagrammes d'un émetteur et d'un récepteur dans le cas où les données sont fournies par un lecteur de bande perforée, reçues sur un appareil genre perforateur rapide et transmises par une ligne deux fils.

5.2. FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL

5.2.1. Mode d'introduction et d'extraction des informations

Les informations, caractérisées par deux valeurs de tension différentes, doivent être fournies à l'entrée du système « RAPIDATA S » sous forme série au rythme imposé par l'équipement de transmission. Pour qu'il en soit ainsi, il est généralement nécessaire d'insérer, entre la source d'information et l'entrée du système de transmission, un circuit d'adaptation. Il est bien évident que ce circuit dépend essentiellement de la nature de la source d'information et du type d'application dans lequel le système est utilisé.

Nous décrivons ci-dessous, à titre d'exemple, un moyen de réaliser l'introduction des informations dans le cas de la transmission de messages enregistrés sur bande perforée, la source d'information étant alors constituée par un lecteur du type Start-Stop.

Le lecteur délivre les informations caractère par caractère sous la commande de son équipement d'adaptation contrôlé par la base de temps de l'équipement de transmission de données. Cet équipement d'adaptation transforme également les tensions caractéristiques

utilisées par le lecteur pour la transmission parallèle des divers éléments des caractères en celles utilisées par le reste de l'équipement.

Le code parallèle ainsi obtenu est transformé en code série par le translateur parallèle-série qui délivre les signaux d'information à la partie émission du système « RAPIDATA S ».

Côté réception, à la sortie du système « RAPIDATA S », les informations sont restituées sous forme série et caractérisées par deux valeurs de tension différentes. Il sera donc généralement nécessaire de placer, entre la sortie du système de transmission et l'organe d'utilisation, un circuit d'adaptation. Comme pour celui situé à l'émission, ce circuit dépendra du type d'application et de la nature de l'organe d'utilisation :

Perforateur rapide — Imprimante rapide — Enregistreur à bande magnétique, etc.

Ainsi, en correspondance avec l'exemple considéré à l'émission, nous trouvons à la réception :

1. Un translateur série-parallèle qui transforme les informations série, fournies suivant les normes de jonction définies par le C.C.I.T.T., en informations parallèle.
2. Un équipement d'adaptation qui, contrôlé par la base de temps du système de transmission, effectue les conversions nécessaires en temps et en tension pour l'attaque de l'organe d'extraction des informations.
3. L'organe d'extraction des informations.

5.2.2. Synchronisation des caractères

La transmission s'effectuant sous forme série, il est nécessaire d'introduire une disposition qui, à la réception, permet d'affecter à chaque élément d'infor-

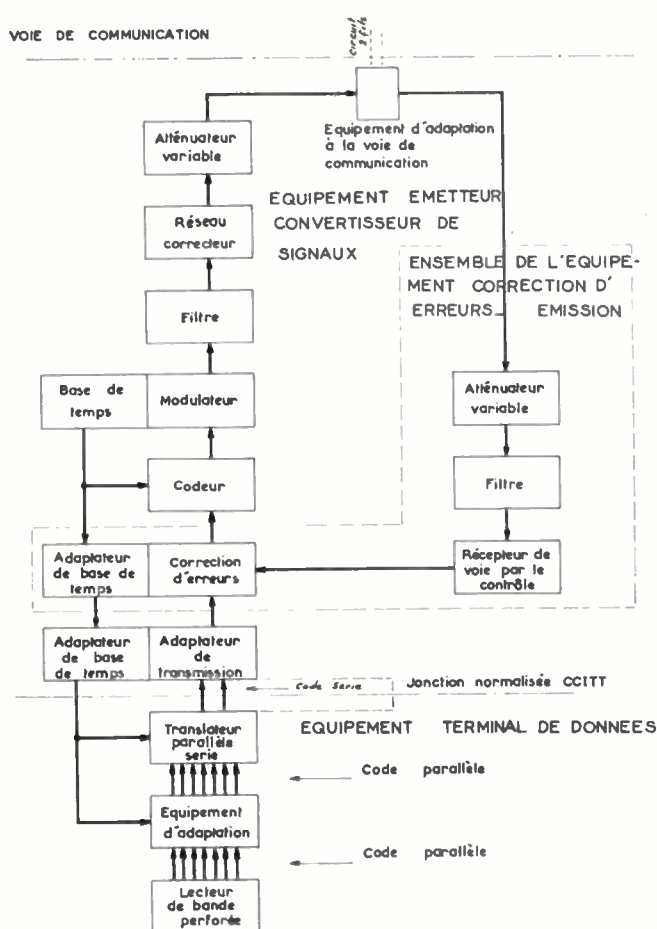


FIG. 2. — Diagramme de fonctionnement de l'émetteur.

mation reçu le rang qui lui convient dans le caractère auquel il appartient.

Cette opération est effectuée par un ensemble de deux circuits, l'un situé à l'émission et l'autre à la réception ; ce sont les adaptateurs de transmission. A la jonction d'entrée des informations, suivant les normes définies par le C.C.I.T.T., les éléments sont fournis en série et une liaison spéciale permet de transmettre une signalisation assurant la synchronisation des caractères, par exemple en marquant le premier élément de chacun d'eux.

L'adaptateur de transmission-émission a pour rôle de grouper les caractères par deux ou trois suivant le nombre d'éléments qui les composent (par trois pour les caractères de cinq ou six éléments, par deux pour les caractères de sept ou huit éléments) et d'insérer devant chacun des groupes ainsi constitués un signal start de signification 1 suivi d'un signal 0 destiné à assurer une transition dans la suite des signaux transmis en ligne.

D'autre part, tous les 16 groupes de caractères ainsi formés, l'adaptateur de transmission insère dans la suite série des éléments d'information un groupe formé de 19 éléments 0 dont l'utilisation sera indiquée plus loin.

Après transmission, le récepteur restitue à l'adaptateur de transmission-réception la suite série qui

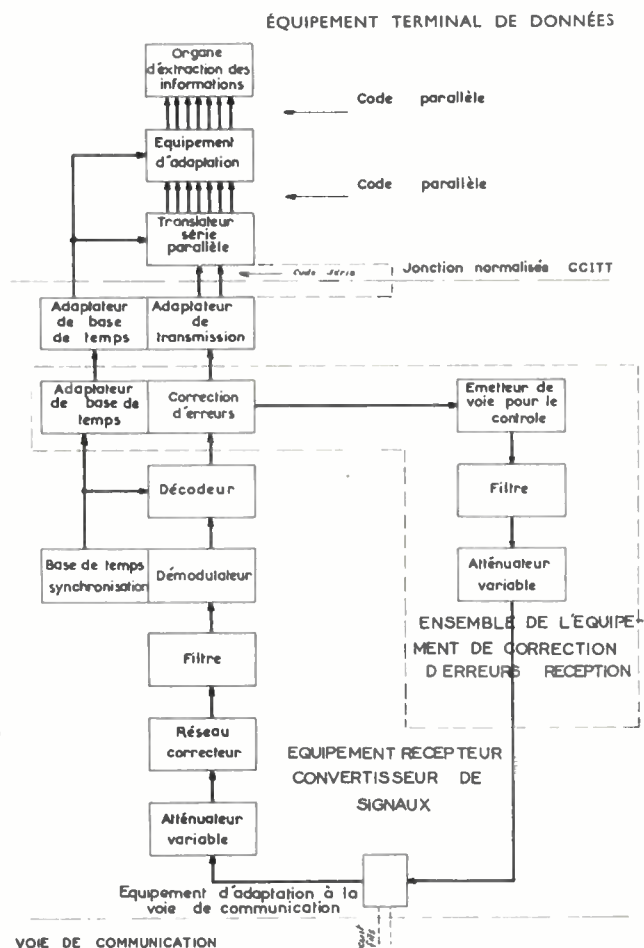


FIG. 3. — Diagramme de fonctionnement du récepteur.

avait été formée par l'adaptateur de transmission-émission. L'adaptateur de transmission-réception est déclenché par un élément de signification 1 — en principe, l'élément start lorsque la synchronisation des caractères est établie — et il opère en distributeur pour un nombre d'éléments reçus égal à celui d'un groupe de caractères. Il retransmet au translateur série-parallèle les caractères qui composent chacun des groupes en éliminant l'élément de start et l'élément 0 qui l'accompagne et en fournissant, de façon analogue à celle utilisée à l'émission, une signalisation qui marque le premier élément de chaque caractère. La liaison entre l'adaptateur de transmission-réception et le translateur série-parallèle s'effectue suivant les normes de jonction définies par le C.C.I.T.T.

En fonctionnement normal, lorsque l'adaptateur de transmission-réception reçoit un groupe de 19 éléments 0, il les élimine de la suite puisque son fonctionnement ne peut être déclenché que par un élément 1. Cependant, il peut se faire que son distributeur soit déclenché par un élément 1 quelconque d'un caractère transmis. Une telle situation peut se présenter, par exemple, à l'établissement de la liaison ou dans le cas d'une liaison sans dispositif de correction d'erreurs, après une interruption notable ou une perturbation importante de celle-ci. Dans ce cas, le distributeur de l'adaptateur de transmission peut être déclenché à nouveau sur des éléments 1 qui se présentent dans les

caractères émis et l'établissement de la synchronisation dépend des caractères transmis. De toute façon, lorsque le groupe de 19 éléments 0 se présentera, le distributeur ira au bout de son cycle et ne trouvera alors aucun élément 1 susceptible de le déclencher avant que ne se présente le start du premier groupe de caractères qui suit le groupe des 19 éléments 0. La synchronisation des caractères sera donc automatiquement établie en un temps n'excédant pas celui de transmission de 16 groupes de caractères quelle que soit la nature des caractères transmis.

5.2.3. Correction d'erreurs

5.2.3.1. Principe de fonctionnement

La correction d'erreurs est obtenue en transmettant en ligne des blocs comprenant un nombre fixe d'éléments d'information et un nombre fixe d'éléments de contrôle qui sont déduits des premiers par des lois mathématiques déterminées. A la réception de chaque bloc, les éléments de contrôle sont calculés à partir des éléments d'information et ensuite comparés aux éléments de contrôle transmis. S'il n'y a pas coïncidence entre ces deux groupes d'éléments de contrôle, on en déduit qu'une perturbation s'est produite dans la transmission. Le récepteur provoque alors une nouvelle émission du bloc perturbé en envoyant une signalisation convenable par la voie pour le contrôle.

Le récepteur doit attendre d'avoir reçu un bloc de transmission en entier pour savoir s'il a été perturbé et s'il doit être répété. D'autre part, cette décision ne peut parvenir à l'émetteur qu'après un délai au moins égal à la somme des temps de transmission des voies pour la transmission de données et pour le contrôle. Il en résulte qu'il serait nécessaire d'interrompre la transmission après l'émission de chaque bloc pour permettre à la décision le concernant de parvenir à l'émetteur. Pour éviter cette perte de temps systématique, l'émetteur envoie immédiatement le bloc suivant sans attendre la décision qui n'interviendra ensuite qu'à la fin de l'émission du bloc en cours de transmission. Il en résulte qu'une opération de répétition porte toujours sur deux blocs, le bloc qui a été reçu perturbé et celui qui l'a suivi.

Il est également possible que la voie pour le contrôle soit elle-même perturbée bien qu'utilisant une bande de fréquences étroite ; elle se trouve, de ce fait, moins sensible aux parasites que la voie pour la transmission de données.

Parmi les deux erreurs possibles, des dispositions sont prises pour éviter le cas où une demande de répétition est interprétée par l'équipement émetteur de données comme l'indication d'un bloc non perturbé. Ces dispositions consistent, d'une part, à bloquer le récepteur de la voie pour le contrôle sur la position demande de répétition dès que le niveau de la porteuse reçue dans la bande de fréquences affectée à cette voie descend au-dessous d'un seuil de fonctionnement et, d'autre part, à examiner l'indication reçue par la voie pour le contrôle pendant tout l'intervalle de temps affecté au bloc en attente et à interpréter cette indication comme une demande de répétition, même si cette indication n'est apparue que pendant un temps extrêmement court durant l'intervalle de temps correspondant.

Il en résulte qu'il est possible qu'une répétition ait lieu sans qu'elle ait été effectivement demandée par le récepteur de données. Il convient donc que le récepteur puisse en être averti, sans quoi, il interpréterait les blocs d'information répétés comme des blocs nouveaux.

De plus, lors de l'établissement de la liaison ou après une perturbation importante, il peut être nécessaire de procéder à un rétablissement du synchronisme des bases de temps et du synchronisme des blocs. Pour ces deux raisons, chaque fois que l'émetteur de données procède à la retransmission d'un groupe de deux blocs, il la fait précéder de l'émission d'un bloc de synchronisation. Ce bloc possède une structure particulière qui ne peut pas se présenter parmi les blocs de transmission normaux, de façon à pouvoir être reconnu par le récepteur. Il comporte beaucoup d'éléments 0 pour assurer une synchronisation rigoureuse des bases de temps et il est éloigné d'un bloc d'information vérifiant les lois mathématiques de ses éléments de contrôle pour qu'il ne puisse en aucun cas être interprété comme un bloc de transmission normal.

En résumé, à l'extrémité émettrice, chaque fois qu'à la fin de la transmission d'un bloc, l'état de la voie pour le contrôle est interprété comme une demande de répétition, l'émetteur de données transmet un cycle de répétition de trois blocs, un bloc de synchronisation suivi des deux derniers blocs transmis. A la fin de ce cycle, si l'indication fournie par la voie pour le contrôle est interprétée comme l'indication d'un bloc non perturbé, la transmission reprend son cours normal ; sinon, l'émetteur procède à un nouveau cycle de répétition identique au premier.

A la réception, chaque bloc d'information reçu est gardé en mémoire. Si le contrôle n'a pas détecté de perturbation, il est présenté à l'adaptateur de transmission au cours de la réception du bloc suivant. Dans le cas contraire, il est absorbé par le dispositif de correction d'erreurs qui place la voie pour le contrôle dans la position demande de répétition et absorbe, de même, tout bloc reçu par la suite jusqu'à ce qu'un bloc de synchronisation soit reconnu. L'équipement de correction d'erreurs procède alors à une remise en phase des distributeurs qui assurent la synchronisation des blocs en se basant sur la structure particulière du bloc de synchronisation. Le bloc de transmission qui le suit est vérifié et si, à la fin de sa réception, il est reconnu non perturbé, la voie pour le contrôle est ramenée dans la position bloc non perturbé, ce qui permet à l'émetteur de données de reprendre la transmission normale à la fin du cycle de retransmission en cours.

On voit facilement que, si le cycle de répétition a été effectivement déclenché par le dispositif de correction d'erreurs du récepteur de données, le bloc d'information qui suit le bloc de synchronisation doit être présenté à l'adaptateur de transmission, alors que, si ce cycle de répétition est dû uniquement à une perturbation de la voie pour le contrôle, les deux blocs répétés qui suivent le bloc de synchronisation doivent être absorbés puisqu'ils ont été déjà transmis et reçus correctement. Dans le cas général, plusieurs perturbations simultanées ou alternatives des voies pour la

transmission de données et pour le contrôle peuvent se produire. Il est alors nécessaire que, suivant le cas, deux, un ou aucun des blocs d'information qui suivent le bloc de synchronisation reconnu par le récepteur, soient absorbés par le dispositif de correction d'erreurs.

Le nombre de blocs de transmission à absorber à la suite de la détection d'un bloc de synchronisation est déterminé, dans chaque cas, par un circuit logique. Le principe du fonctionnement de ce circuit est basé sur les deux points suivants :

1. Les cycles de répétition produits par l'émetteur comportent toujours trois blocs.

2. Du fait du fonctionnement synchrone des bases de temps émission et réception du système de transmission, même pour des durées importantes de perturbation ou d'interruption de la liaison, il est possible au récepteur de déterminer, sans ambiguïté, le nombre de blocs de transmission qui ont été émis entre le premier bloc reçu perturbé et le premier bloc de synchronisation reconnu.

Le nombre modulo 3 de ces blocs permet donc de savoir si les cycles de retransmission émis ont été déclenchés par le récepteur de données ou s'ils l'ont été par perturbation de la voie pour le contrôle avec un ou deux blocs d'avance sur cette signalisation et d'en déduire ainsi le nombre de blocs qui doivent être absorbés à la suite du bloc de synchronisation.

Le circuit logique qui assure cette fonction est essentiellement composé de deux compteurs ternaires déplacés d'un pas chaque fois qu'un bloc est reçu d'après la base de temps du récepteur de données.

L'un est mis en route chaque fois qu'un bloc est reconnu perturbé et il fonctionne cycliquement jusqu'à la détection d'un bloc de synchronisation. A ce moment, le second, qui décompte les blocs absorbés, est placé dans une position dépendant de celle du premier.

De même, au cas où un bloc perturbé serait reçu avant que le compte des blocs à absorber ne soit épuisé, il convient d'en tenir compte à la reprise de la transmission. Dans ce but, lorsqu'un bloc est reconnu perturbé, le premier compteur est placé au démarrage dans une position qui dépend de celle du second compteur de décompte des blocs absorbés.

Chaque bloc de transmission comprend 105 éléments d'information et 15 éléments de contrôle.

Les éléments de contrôle se décomposent en :

— 3 éléments qui résultent des calculs de parité effectués sur les 105 éléments d'information pris de 3 en 3.

— 5 éléments qui résultent des calculs de parité effectués sur les mêmes éléments pris de 5 en 5.

— 7 éléments qui résultent des calculs de parité effectués sur les mêmes éléments pris de 7 en 7.

L'utilisation de cette structure des blocs de transmission permet d'améliorer le taux d'erreurs qui serait obtenu sans correction par un facteur 10^{-4} [2].

Le bloc de synchronisation est composé de 119 éléments 0 suivis d'un élément 1. Une telle suite d'éléments 0 ne peut pas se rencontrer dans un bloc de

transmission normal puisque chaque groupe de caractères est précédé d'un signal start qui est un élément 1. D'autre part, dans les blocs de transmission normaux, la signification des 15 éléments de contrôle est inversée avant transmission pour que le bloc de synchronisation soit plus difficilement interprété par le récepteur comme un bloc de transmission normal.

5.2.3.2. Description des circuits de correction d'erreurs

Le circuit de correction d'erreurs-émission comprend essentiellement :

1. Un circuit de calcul de parité qui, au fur et à mesure des 105 éléments série fournis par l'adaptateur de transmission ou par le circuit de mémoire, détermine les 15 éléments de contrôle.

2. Un circuit de mémoire qui permet d'enregistrer les éléments d'information correspondant à deux blocs de transmission : celui qui est en cours d'émission et celui qui l'a précédé.

3. Un circuit logique de contrôle.

Les fonctions accomplies par ce circuit logique sont les suivantes :

a) Il découpe dans la suite des éléments fournis en série par l'adaptateur de transmission des groupes de 105 éléments d'information.

b) Il insère entre ces groupes des groupes de 15 éléments de contrôle fournis par le circuit de calcul de parité.

c) A la fin de la transmission de chaque bloc ainsi constitué, il détermine si, étant donné le résultat de l'examen du signal reçu par la voie pour le contrôle pendant l'émission de ce bloc, il y a lieu de démarrer un cycle de répétition.

Dans cette éventualité, il assure l'émission du cycle de répétition et, à la fin de ce cycle, décide, suivant le résultat de l'examen du signal reçu par la voie pour le contrôle pendant l'émission du dernier bloc du cycle, soit la poursuite de la transmission, soit le déclenchement d'un nouveau cycle de répétition.

De son côté, le circuit de correction d'erreurs-réception comprend essentiellement :

1. Un circuit de détection de blocs de synchronisation qui fournit au circuit logique une indication particulière au moment où se présente le premier élément du bloc suivant.

2. Un circuit de calcul de parité, analogue à celui utilisé à l'émission.

3. Un circuit de mémoire qui permet d'enregistrer les éléments d'information d'un bloc de transmission. Sous contrôle du circuit logique, il transmet à l'adaptateur de transmission-réception les éléments d'information du bloc précédemment reçu au fur et à mesure qu'il enregistre ceux du bloc en cours de réception.

4. Un circuit logique qui contrôle le fonctionnement des autres circuits ; ses fonctions sont les suivantes :

a) Sur indication du circuit de détection des blocs

de synchronisation, il provoque la remise au synchronisme de son fonctionnement avec celui du circuit homologue situé à l'émission.

b) Pour chaque bloc de transmission reçu, il assure la séparation entre les 105 éléments d'information et les 15 éléments de contrôle et absorbe ces derniers.

c) Il assure la comparaison entre les éléments de contrôle calculés localement et ceux transmis par la liaison et, suivant le résultat obtenu, il contrôle le transfert des éléments d'information préalablement enregistrés dans la mémoire et commande, en conséquence, l'indication transmise par l'émetteur de la voie pour le contrôle.

d) Il assure le décompte des blocs d'information qu'il convient d'absorber à la suite de chaque opération de retransmission suivant la disposition explicitée précédemment.

Cette disposition permet d'envisager l'interruption de la liaison entre les équipements d'émission et de réception de données pendant un temps dépassant plusieurs minutes sans qu'il y ait perte ou duplication d'une partie des informations transmises par le système.

5.2.4. *Equipement de la voie pour la transmission de données*

A l'émission, l'équipement de la voie pour la transmission de données comprend :

1. Un codeur qui reçoit les éléments de transmission fournis en série par le circuit de correction d'erreurs-émission et les transforme en créniaux rectangulaires de tension représentant, dans le temps, la succession des états qui permettent de définir, les éléments d'information 0 par une transition et les éléments 1 par l'absence de transition suivant le principe exposé précédemment (paragraphe 3).

2. Un modulateur qui opère en deux étapes.

Dans la première étape, un oscillateur à déplacement de fréquence dont la fréquence centrale est de l'ordre de 10 kilohertz est commandé par les créniaux de tension délivrés par le codeur.

Dans la seconde étape, par une nouvelle modulation effectuée à partir d'une onde porteuse fixe et par élimination de la bande supérieure au moyen d'un filtre passe-bas, les déplacements de fréquence obtenus sont transposés dans le domaine des fréquences téléphoniques suivant les caractéristiques des signaux transmis en ligne dans le cas de chacune des vitesses.

3. Une chaîne d'attaque de ligne composée :

- d'un amplificateur de sortie ;
- d'un réseau correcteur, qui permet de compenser les distorsions introduites par les câbles ;
- d'un atténuateur variable qui permet d'ajuster le niveau de sortie entre les limites indiquées.

A la réception, l'équipement de la voie pour la transmission de données comprend :

1. Une chaîne de réception composée :

- d'un atténuateur variable qui permet d'ajuster le niveau nominal de réception dans les limites indiquées ;
- d'un réseau correcteur permettant de compenser

les distorsions introduites par les câbles d'abonnés ;

- d'un filtre passe-bande de réception délimitant la bande des fréquences reçues ;
- d'un amplificateur de réception.

2. Un démodulateur qui opère en deux étapes :

Dans la première étape, un modulateur en anneau, commandé par un oscillateur à fréquence fixe et suivi d'un filtre passe-haut éliminant la bande inférieure des produits de modulation, transpose les fréquences transmises en ligne dans une zone plus favorable à la détection (zone de fréquence située autour de 10 kilohertz).

La seconde étape représente la démodulation proprement dite. Après franchissement d'un seuil et d'un écrêteur d'amplitude, l'onde modulée en fréquence est reçue sur un discriminateur qui restitue sur un basculeur des signaux de forme identique à celle des créniaux fournis au modulateur d'émission, c'est-à-dire, présentant des transitions pour les éléments 0 et n'en présentant pas pour les éléments 1.

3. Un décodeur qui accomplit les opérations inverses de celles du codeur et restitue à l'équipement de correction d'erreurs-réception les éléments de transmission sous la même forme que celle sous laquelle ils ont été fournis par l'équipement de correction d'erreurs-émission.

5.2.5. *Equipement de la voie pour le contrôle*

Cet équipement est analogue à celui d'une voie de télégraphie harmonique à modulation de fréquence. Il permet de transmettre une signalisation dont la signification est « demande de répétition » ou « poursuite de la transmission ». La transmission de cette voie s'effectuant en sens inverse de celle de la voie pour la transmission de données, il en résulte que son émetteur est situé à l'extrémité réceptrice de données et son récepteur à l'extrémité émettrice.

L'équipement émetteur comprend :

1. Un oscillateur à déplacement de fréquence.
2. Un filtre qui délimite la bande de fréquence utilisée.
3. Un atténuateur qui permet d'ajuster le niveau de sortie dans les limites indiquées.

De son côté, l'équipement récepteur comprend :

1. Un atténuateur variable qui permet d'ajuster le niveau nominal de réception dans les limites indiquées.
2. Un filtre passe-bande qui sépare les fréquences utilisées pour le fonctionnement de cette voie.
3. Un récepteur de voie de télégraphie harmonique. Nous rappellerons qu'il se bloque dans la position correspondant à la demande de répétition si le niveau d'entrée descend à 2,5 Néper environ au-dessous du niveau nominal de réception.

5.2.6. *Equipement d'adaptation à la voie de communication*

A l'extrémité émettrice comme à l'extrémité réceptrice, les voies pour la transmission de données et pour

le contrôle peuvent être reliées à différents types de voies de communication par deux circuits d'adaptation identiques.

Ces circuits d'adaptation permettent :

- de réaliser un circuit différentiel pour l'attaque d'une liaison 2 fils ;
- de compenser la variation d'affaiblissement due au passage d'une liaison 2 fils à une liaison 4 fils ;
- de réaliser un circuit de bouclage du courant continu.

Ils comprennent essentiellement :

- un équilibreur de ligne réglable
- des transformateurs
- des cellules d'affaiblissement
- une self de bouclage du courant continu
- des condensateurs de blocage du courant continu.

5.2.7. Circuits base de temps

Le fonctionnement des circuits d'émission et de réception sont sous la dépendance des bases de temps locales qui sont commandées par des oscillateurs à quartz et synchronisées entre elles comme nous l'avons vu précédemment (paragraphe 3).

Le rôle de ces bases de temps consiste à délivrer les impulsions d'avancement qui délimitent les intervalles de temps affectés aux éléments successifs des signaux transmis.

Elles comportent des circuits auxiliaires commandés par les équipements de correction d'erreurs et d'autres circuits auxiliaires commandés par les adaptateurs de transmission.

Le rôle de chacun de ces circuits auxiliaires est d'interrompre la propagation des signaux de la base de temps vers les circuits périphériques lorsque l'organe qui le commande insère des éléments supplémentaires dans la suite des signaux transmis. Ainsi, par exemple, à l'émission, le circuit d'adaptation de base de temps de l'équipement de correction d'erreurs interrompt la progression des impulsions de la base de temps vers l'adaptateur de transmission pendant l'insertion, dans le bloc de transmission, des éléments de contrôle et pendant l'exécution des cycles de répétition. De même, le circuit d'adaptation de base de temps de l'adaptateur de transmission interrompt la propagation des impulsions de la base de temps pendant l'insertion du start et de l'élément 0 de transition ainsi que durant l'insertion périodique des 19 éléments 0 utilisés pour assurer la synchronisation des caractères.

C'est par ce moyen que le fonctionnement de tous les circuits du système et en particulier de la source d'information et de l'organe d'utilisation se trouve asservi à la vitesse de transmission des données.

5.2.8. Fonctionnement sans correction d'erreurs

Si la qualité de la voie de communication ou la nature des informations transmises ne nécessite pas ou même interdit l'emploi d'un dispositif de correction d'erreurs, ce dernier peut être éliminé du système.

Les organes situés dans les cadres en traits interrompus sur les diagrammes des figures 2 et 3 sont ceux qu'il convient alors de supprimer. Dans ce cas, les équipements de la voie pour le contrôle n'ont plus de raison d'être.

A l'émission, les éléments série fournis par l'adaptateur de transmission sont directement traités par le codeur alors que les impulsions issues de la base de temps alimentent l'adaptateur de base de temps du circuit adaptateur de transmission.

De même, à la réception, les éléments série fournis par le décodeur sont traités par l'adaptateur de transmission et l'adaptateur de base de temps associé à cet organe est alimenté directement par les impulsions de la base de temps.

5.2.9. Equipements auxiliaires de vérification et de mesure

Pour vérifier le comportement correct de la liaison, les raccordements en code parallèle des translateurs parallèle-série et série-parallèle peuvent être reliés à des boîtiers amovibles de contrôle.

A l'émission, le boîtier de contrôle permet la transmission répétée indéfiniment d'un caractère dont les éléments sont déterminés à l'aide de clés.

A la réception, le boîtier de contrôle correspondant assure l'affichage sur des signaux lumineux des éléments qui composent le caractère reçu.

D'autre part, un dispositif de mesure du taux d'erreurs des caractères transmis permet de déterminer la qualité d'une liaison avec ou sans correction d'erreurs et de vérifier ainsi le gain de sécurité de transmission obtenu par l'emploi de cette dernière.

Par modifications de connexions, ce dispositif peut s'adapter au cas des caractères à 5, 6, 7 ou 8 éléments, suivant le mode d'exploitation de l'équipement de transmission.

A l'émission, il délivre à l'entrée du translateur parallèle-série des caractères en progression binaire.

A la réception, les caractères, restitués par la transmission, lui sont fournis par la sortie du translateur série-parallèle.

Il détermine alors l'exactitude des caractères reçus en se basant sur la progression binaire qui doit exister entre les caractères successifs, s'ils sont convenablement situés. Il totalise, d'une part, le nombre d'éléments reçus erronés et, d'autre part, le nombre de caractères reçus erronés.

De plus, un boîtier de contrôle permet de produire, à l'émission, une seule erreur sur un élément déterminé d'un caractère de façon à vérifier le fonctionnement du dispositif de mesure.

Enfin, un circuit auxiliaire, placé à l'émission, permet de compter le nombre de cycles de répétition produits par le circuit de correction d'erreurs.

6. — Présentation du matériel

Le matériel est disposé dans deux armoires l'une d'émission, l'autre de réception.

En plus des circuits du système « RAPIDATA S », elles permettent de loger les alimentations, les circuits d'adaptation qui dépendent des équipements d'introduction et d'extraction des informations et, éventuellement, les circuits de mesure du taux d'erreurs.

Tous les circuits utilisés sont du type à transistors.

Les éléments de circuit sont montés sur des plaquettes à circuit imprimé. Ces plaquettes sont fixées dos à dos par groupe de dix sur des supports verticaux. Ces derniers sont montés côte à côte par rangée dans l'armoire. Chaque support vertical peut coulisser vers l'avant dans sa rangée de façon à permettre l'accès aux éléments fixés sur les plaquettes.

Cette disposition est représentée en détail sur la photographie, figure 4.

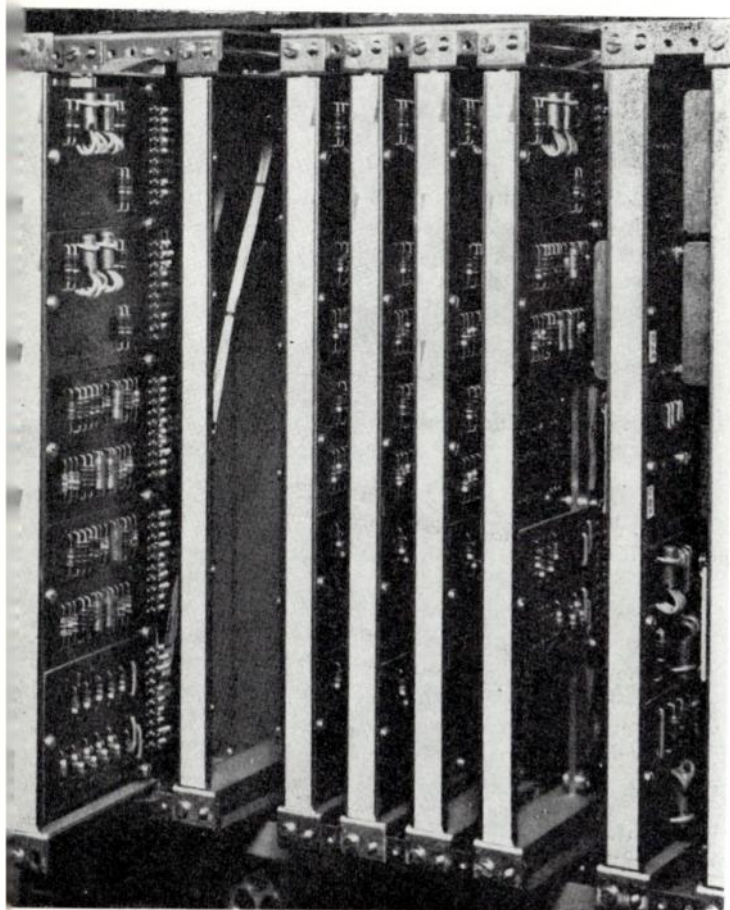


FIG. 4. — Système de transmission rapide, détail de l'équipement.

7. — Alimentation

L'alimentation des équipements d'émission et de réception s'effectue à partir du secteur alternatif 50 ou 60 Hz, à huit tensions nominales réparties entre 110 V et 240 V.

La tension du secteur peut varier de $\pm 10 \%$ par rapport à la tension nominale.

L'alimentation fournit les tensions principales suivantes utilisées dans l'équipement :

$$+ 12 \text{ V} - 3 \text{ V} - 12 \text{ V} - 48 \text{ V}$$

La consommation de chacune des armoires est inférieure à 200 VA.

8. — Types de liaisons

Selon la nature du milieu de transmission mis à la disposition de l'utilisateur trois types de liaisons sont possibles :

8.1. LIAISON « SIMPLEX »

On désire une transmission d'informations du point A (émetteur) vers le point B (récepteur).

L'équipement en A comporte la source d'informations et l'émetteur « RAPIDATA S », composé de l'émetteur de voie pour la transmission de données et du récepteur de voie pour le contrôle.

L'équipement en B comporte le récepteur « Rapidata S », composé du récepteur de voie pour la transmission de données et de l'émetteur de voie pour le contrôle, et le collecteur d'informations.

Si la voie de communication est constituée par un circuit 2 fils, l'attaque de la ligne se fait à chaque extrémité par un transformateur différentiel (T.D.). Le diagramme de liaison dans ce cas est représenté sur la figure 5.

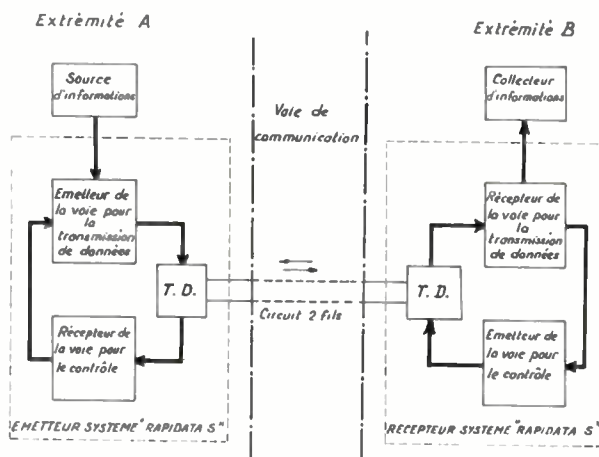


FIG. 5. — Liaison type « Simplex » sur circuit 2 fils.

Si la voie de communication est constituée par un circuit 4 fils, l'attaque de chacune des lignes se fait par un translateur suivant le diagramme de la figure 6.

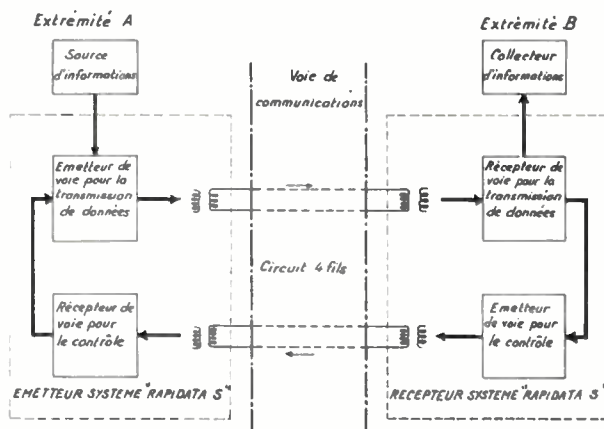


FIG. 6. — Liaison type « Simplex » sur circuit 4 fils.

8.2. LIAISON « SEMI-DUPLEX »

Le milieu de transmission est une liaison 2 fils. On désire une transmission d'informations du point A vers le point B et une transmission d'informations du point B vers le point A, mais non simultanément.

La liaison est réalisée au moyen du matériel d'extrémité de deux liaisons « simplex » en sens inverse.

Le circuit de transmission est utilisé alternativement par l'équipement de l'une ou de l'autre de ces liaisons en manœuvrant les inverseurs CA et CB situés aux extrémités. La figure 7 (page ci-contre) représente le diagramme de liaison dans ce cas.

8.3. LIAISON « DUPLEX INTÉGRAL »

Le milieu de transmission est une liaison 4 fils. On désire une transmission simultanée d'informations de A vers B et de B vers A.

L'équipement en A et B est identique à celui utilisé dans le cas de liaison « semi-duplex ». Le rôle joué par les transformateurs différentiels consiste à regrouper à chaque extrémité les voies émission et réception des équipements sur les voies correspondantes du circuit 4 fils. Le diagramme correspondant est représenté sur la figure 8 (page ci-contre).

9. — Applications du système

L'utilisation des systèmes Rapidata, décrits ci-dessus, peut être illustrée par des exemples empruntés à la pratique.

Le cas simple est celui d'une usine principale A reliée par une (ou plusieurs) ligne téléphonique à l'une de ses succursales B. L'échange d'informations entre ces deux centres s'effectue aussi bien sous forme téléphonique que télégraphique (lorsqu'une trace écrite des messages est indispensable) ; plusieurs solutions peuvent être envisagées :

1° liaisons indépendantes : l'une écoulant le trafic téléphonique, l'autre les messages télégraphiques ;

2° liaisons juxtaposées sur la même ligne (multiplexage en fréquence) ;

3° liaison téléphonique, utilisée quelques minutes par heure pour écouler le trafic télégraphique à l'aide des équipements Rapidata (multiplexage dans le temps).

Cette dernière solution est économiquement intéressante, et apporte une qualité de service bien meilleure du fait du dispositif de détection et de correction des erreurs. Utilisant la même largeur de bande que la parole, elle augmente la souplesse d'exploitation des circuits qui deviennent banalisés.

L'organisation de la liaison dans ce dernier cas est représentée sur la figure 9.

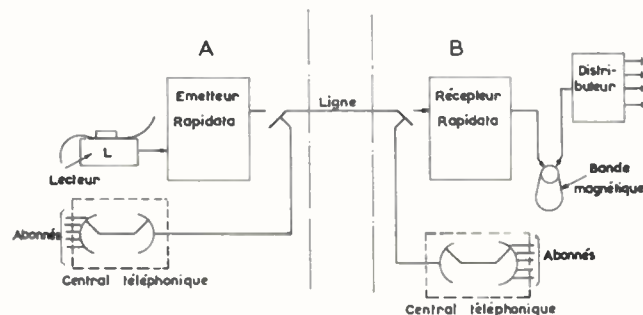


FIG. 9

Les bandes perforées représentant les messages destinés à l'usine B, forment une bande unique qui est introduite dans le lecteur à grande vitesse L. Celui-ci se trouve sous le contrôle de l'émetteur Rapidata et se met en marche dès l'établissement, par un opérateur, de la liaison entre l'émetteur et le récepteur. Ce dernier peut attaquer soit un reperforateur, soit un enregistreur à bande magnétique formant boucle qui défile devant les têtes de lecture et d'inscription à une certaine vitesse. Il faut 2 à 3 minutes, soit la durée d'une communication téléphonique moyenne, pour écouler le trafic télégraphique correspondant à une heure. La ligne est ensuite rendue à l'usage téléphonique. En même temps, l'enregistreur à bande se connecte à l'équipement de distribution des messages (manuel ou automatique) qui les extrait et les achemine vers les différents récepteurs du réseau local.

Le système « Rapidata S » assurant, grâce à son dispositif de correction, une transmission exempte d'erreurs, peut être utilisé pour l'écoulement de données comptables. Ainsi, par exemple, dans une organisation à succursales multiples, le système permet de transmettre chaque jour le bilan des opérations effectuées dans chacune des succursales telles que B vers un bureau central A. Dans ce cas, le volume d'informations peut nécessiter en A l'emploi simultané de plusieurs récepteurs. Du point de vue économique, il est alors intéressant, par l'utilisation d'un dispositif travaillant en multiplex dans le temps, d'enregistrer toutes les informations sur une bande magnétique unique, et d'effectuer les opérations de correction dans un équipement commun. Cette disposition correspond au diagramme de liaison représenté sur la figure 10 qui illustre un cas typique d'application du système Rapidata, à savoir le réseau de concentration de données.

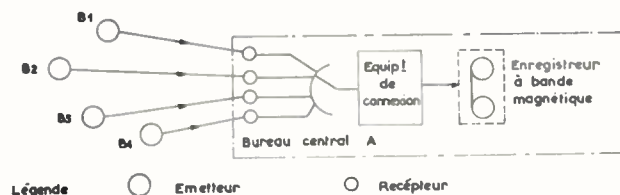


FIG. 10

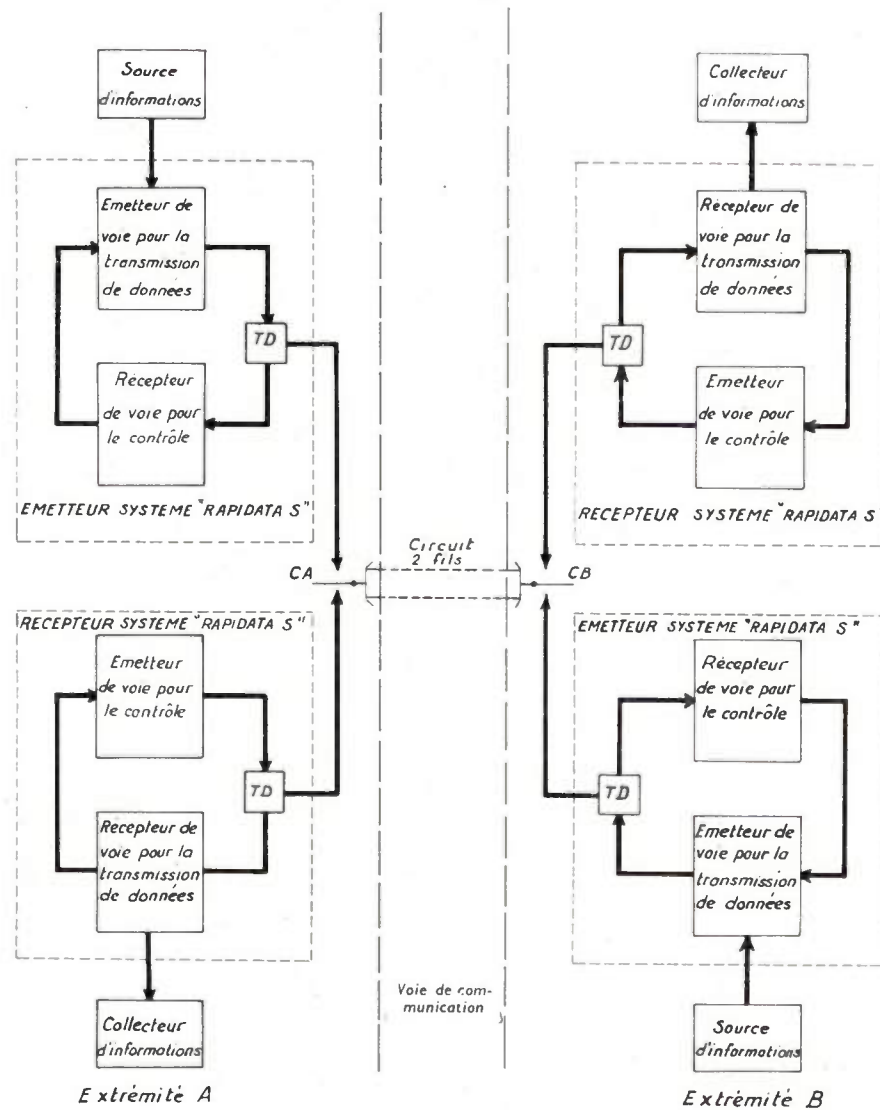


FIG. 7. — Liaison "semi-duplex" sur circuit 2 fils.

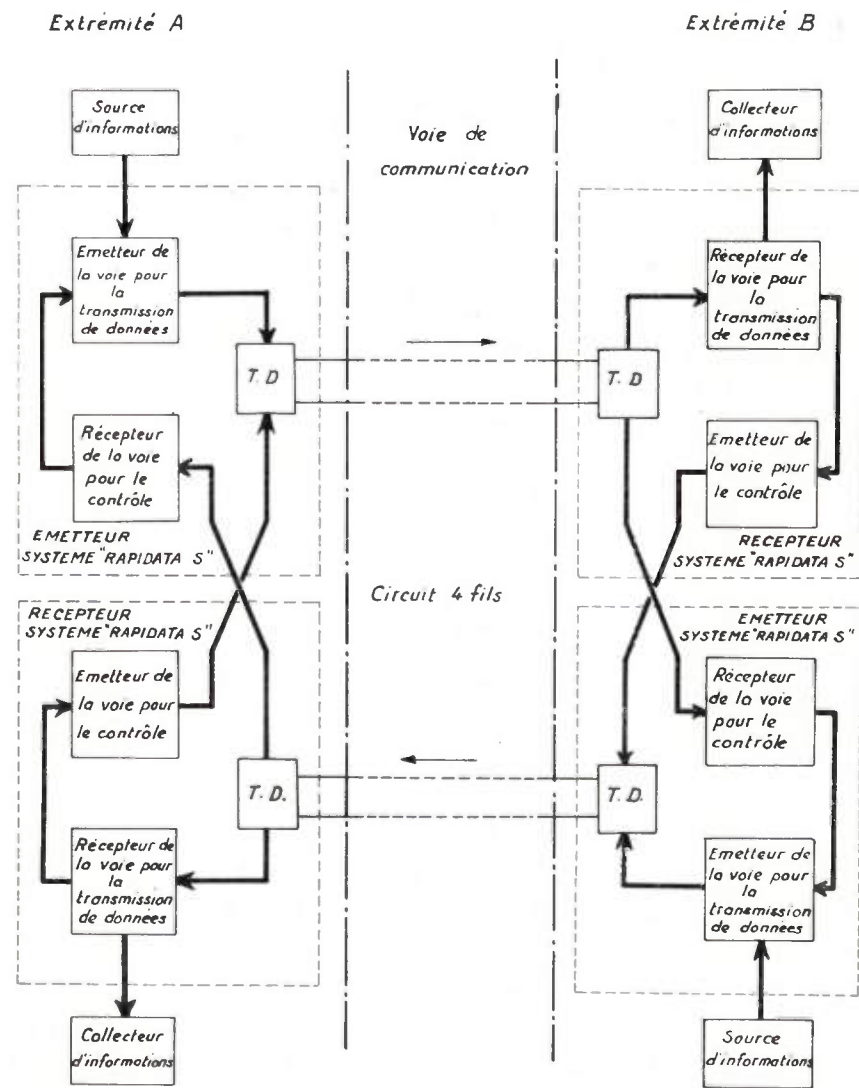


FIG. 8. — Liaison type "duplex intégral".

Par contre, si les messages sont courts ou le trafic faible, l'équipement de l'extrémité A peut se réduire à un seul récepteur muni du dispositif de correction d'erreurs classique. Ce récepteur unique peut se connecter à tour de rôle à chacune des lignes, ou desservir au fur et à mesure celles qui en font la demande.

Le réseau de configuration analogue à celle de la figure 10 permet de résoudre le problème de diffusion des informations.

L'émetteur unique alimente alors toutes les lignes aboutissant sur les récepteurs locaux. Quand le nombre de ces récepteurs n'est pas élevé, la correction des erreurs par retransmission du bloc erroné peut être conservée ; par contre, dans le cas d'un grand nombre de récepteurs, les répétitions risquent de devenir trop fréquentes, et de réduire considérablement la vitesse effective de transmission ; la méthode de correction par emploi de codes du type récurrent [4] pourrait alors devenir plus avantageuse.

A titre d'exemple des réseaux de diffusion et de concentration, nous pouvons citer la télécommande électronique utilisée sur les lignes électrifiées de la S.N.C.F. (fig. 11) [9].

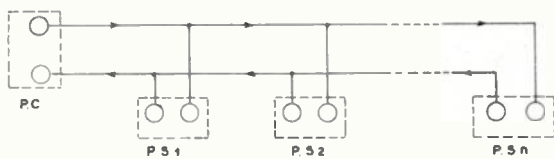


FIG. 11

Le poste de commande, P.C., comporte un émetteur et un récepteur connectés le premier à un circuit diffusant les ordres vers les postes secondaires, P.S., situés le long de la voie, le second à un circuit concentrant les informations en provenance de ceux-ci. Les émetteurs et récepteurs des P.S. sont branchés en parallèle sur les deux circuits.

Ce système de télécommande est en exploitation depuis début 1961, sur les lignes électrifiées de la région de Marseille.

10. — Conclusion

La transmission d'informations à grande vitesse a soulevé des problèmes dans différents domaines des télécommunications. Il a fallu notamment :

- entreprendre une vaste étude des milieux de transmission susceptibles d'être utilisés, afin de définir la distorsion des signaux et la nature des parasites [5 et 6] ;
- développer, sur les bases expérimentales ainsi obtenues, une théorie du codage des informations et des méthodes de détection et de correction des erreurs [7 - 8 et 10] ;
- choisir les meilleurs systèmes de modulation [4] ; et enfin
- créer des équipements industriels.

Laissant de côté les questions théoriques, dont l'étude est menée en France sous l'égide du C.N.E.T., au sein d'un groupe comprenant des compagnies privées, nous nous sommes bornés à décrire ici les équipements du système « RAPIDATA S » qui permet avec le système « RAPIDATA D », de résoudre les problèmes pratiques de transmission de données.

Ce dernier est un dispositif relativement simple convenant particulièrement aux systèmes utilisant des codes courts et exigeant une réponse rapide (notamment dans le cas des réseaux de concentration).

Le premier, plus élaboré, permet de tirer un meilleur parti des possibilités offertes par le milieu de transmission en ce qui concerne la vitesse d'écoulement des informations et la protection contre les parasites.

Le matériel susceptible d'être adjoint aux systèmes Rapidata permet de vérifier la qualité de la liaison en déterminant le taux d'erreur réel dans les conditions d'exploitation.

L'emploi des systèmes de transmission rapide a été autorisé par l'Administration des P.T.T., sous réserve qu'ils remplissent certaines conditions garantissant la non-perturbation des communications écoulees par les circuits téléphoniques voisins.

Cette initiative constitue un grand pas vers le développement des transmissions à grande vitesse sur le plan national.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GIRINSKY A and ROUSSEL P. — High-Speed Transmission of Numerical Data over Telephone Channels. *Electrical Communication*, Vol. 36 n° 4, 1960.
- [2] JONES W.T. — High-Speed Transmission of Data over Telephone Type circuits. — *Electrical Communication*, Vol. 37 n° 2, 1961.
- [3] JEPSSON M. — Frequency-Shift Modulation of Binary-Coded Signals for Transmission over Telephone Circuits. — *Electrical Communication*, Vol. 37 n° 2, 1961.
- [4] Recurrent Codes : Easily Mechanized Burst Correcting Binary Codes. — *B.S.T.J.*, n° 38, 1959.
- [5] WRIGHT E.P.G. — Error Rates and Error Distributions on Data Transmitted over Switched Telephone Connections. — Communication présentée à l'« International Symposium on Data Transmission », Delft, Septembre 1960.
- [6] MARKO H. — Error Measurements with a Data Transmission System with Error Detection and Error Correction on Switched Lines. — *Standard Elektrik Technical Report MS/GRUB/L*, April 1961.
- [7] WRIGHT E.P.G. — The Cause, Prevention and Correction of Errors Recorded during Data Transmission Tests. — Communication présentée au « Seventh Annual International Congress on Electronics », Rome, Juin 1960.
- [8] MAGUIRE T.A. and WRIGHT E.P.G. — The Examination of Error Distributions for Evaluation of Error Detection and Error Correction Procedures. — Communication présentée à l'« International Symposium on Data Transmission », Delft, Septembre 1960.
- [9] BENMUSSA H. and GILLON L.R. — Electronic Centralized Remote Control System on the Electrified Line Tarascon-Marseille. — *Electrical Communication*, Vol. 38 n° 2, April 1963.
- [10] PETERSON W.W. — Error Correcting Codes. — John Wiley and Sons, Inc.

TRANSMISSION DE DONNÉES A GRANDE VITESSE SUR LIGNES TÉLÉPHONIQUES

PAR

H. COHN

*Ingénieur au Groupe Électronique
de la Compagnie Française Thomson-Houston*

1. — Introduction

Les progrès réalisés depuis quelques années dans l'industrie ont profondément modifié nos idées sur les distances et le temps, et suscité de nouvelles exigences ; l'évolution technique s'accompagnant d'un énorme accroissement des échanges d'informations.

Ainsi, depuis l'utilisation du calcul électronique dans la vie économique moderne, il est devenu évident que le calculateur peut être utilisé comme organe central d'un réseau géographiquement étendu.

Il se peut que les sources d'informations ou les organes destinataires des informations élaborées, ou les deux à la fois se trouvent éloignés du calculateur.

Les échanges d'informations entre le centre et les postes satellites (ou d'autres centres) peuvent être alors réalisés :

- à l'aide de mémoires intermédiaires facilement transportables tels que des enregistrements sur bande magnétique, ou des bandes ou cartes perforées. Ce procédé lent parce que différé, peu pratique en dehors des laboratoires n'est pas en rapport avec les caractéristiques des calculateurs.

- par radio, procédé justifié dans tous les cas où des liaisons par fils sont impossibles.

- par lignes téléphoniques louées ou commutées.

Mais dans ce dernier cas, la téléphonie et la télégraphie classique, ne suffisent plus et de nouveaux procédés, constituant « les transmissions de données » ont dû être mis en œuvre pour pouvoir transmettre les informations à vitesse élevée et dans les meilleures conditions de sécurité.

C'est ainsi que, depuis l'avènement des transmissions de données, on observe régulièrement une augmentation des vitesses de transmission. Parties d'une vitesse de 200 bauds, les techniques actuelles déjà mûries

par l'expérience, utilisant des vitesses de l'ordre de 1 200 jusqu'à 2 400 bauds, et l'on commence à parler de vitesses plus élevées, 4 800-6 400 bauds et même plus.

L'emploi des signaux binaires, du type « tout » ou « rien » accroît la sûreté des transmissions ; encore faut-il tenir compte des caractéristiques propres des circuits et en particulier des perturbations introduites par les lignes de transmission.

Les lignes urbaines, actuellement disponibles, ont été construites pour les communications téléphoniques et télégraphiques à basse vitesse.

Les nouvelles techniques de transmission rapide de données doivent donc s'adapter aux lignes existantes et permettre leur exploitation dans les meilleures conditions de fidélité.

2. — Caractéristiques générales des équipements de transmission de données (fig. 1)

2.1. FONCTIONS DU MODEM ET DE L'ÉQUIPEMENT TERMINAL

Dans une chaîne de transmission, on trouve généralement :

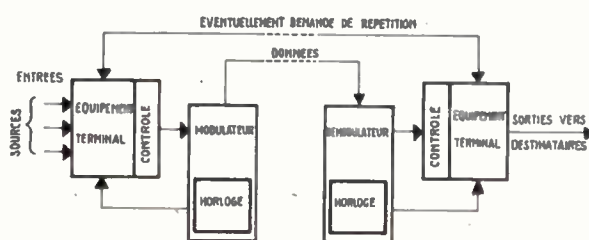


FIG. 1. — Composition d'un équipement de transmission.

a) une source d'informations dont le débit peut être régulier ou discontinu. Pratiquement, on utilise toujours une mémoire tampon pour relayer la source aux organes de transmission. Cette disposition a le double avantage de s'accommoder aussi bien à un débit discontinu de la source qu'un fonctionnement discontinu du système de transmission. La capacité de cette mémoire doit être suffisante pour faire face aux exigences de l'exploitation.

La mémoire peut être constituée :

- par un support solide (bandes ou cartes perforées).
- par un support formé par un film mince (bandes ou cartes magnétiques) qui possède, comme le support solide, l'avantage de pouvoir être archivé.
- par des supports fugitifs à accès rapides tels que :
 - des matrices composées de structures magnétiques à cycle hystérésis rectangulaire.
 - des cellules comportant des éléments actifs (tubes, diodes tunnels, transistors).
 - des tubes à gaz.
 - des condensateurs.
 - des circuits paramétriques, etc.

Une caractéristique commune à toutes les mémoires citées, est de permettre aux informations d'entrer, suivant un certain mode (séparément ou simultanément, à une vitesse régulière ou aléatoire), et d'en sortir suivant un autre mode, si nécessaire, et à une vitesse différente. On verra à la suite que cette transition (on parle souvent « d'interface »), constitue l'une des caractéristiques les plus marquantes de la technique de la transmission de données.

b) un organe d'entrée des informations qui effectue la lecture des mémoires et assure la mise en forme, le groupement, voire la mise en page des informations.

Eventuellement l'organe d'entrée assure le codage, complète les informations par des signaux de supervision et prépare les « messages » qui sont ensuite dirigés vers le transmetteur.

Il s'agit donc d'un véritable adaptateur dont les circuits d'entrée doivent être conçus en fonction des caractéristiques de sources de nature extrêmement variées, et dont les circuits de sortie sont étudiés pour permettre le raccordement à l'organe suivant, dont les caractéristiques sont fixes et — pour un modèle donné — bien déterminées. Un tel adaptateur porte le nom de « Équipement Terminal ». Les informations en sortent dans un ordre séquentiel ce qui implique la présence d'une base de temps.

c) un modulateur qui transforme les signaux délivrés par l'équipement terminal en courant alternatif pouvant être véhiculé par la ligne téléphonique et qui comprend les organes nécessaires pour l'adaptation de la ligne, pour le réglage du niveau d'émission et pour la limitation de la bande. Il comprend également la base de temps appelée « Horloge » qui est généralement prévue pour plusieurs vitesses de manipulation, et qui fournit les signaux de déclenchement à l'équipement terminal.

d) la ligne téléphonique, qui peut être

- une ligne urbaine
- une ligne interurbaine chargée
- un canal d'une liaison coaxiale ou une combinaison de ces moyens.

D'autre part, elle peut être aussi une ligne louée, les terminaisons étant soudées, ou une ligne commutée, passant en coupure par des organes de mutation.

Le choix de la vitesse de transmission et des mesures à prendre contre les perturbations dépend largement des caractéristiques de la ligne.

e) le démodulateur, qui est le réciproque de l'organe opposé et qui constitue la partie essentielle du récepteur.

Il inclut, bien entendu, une base de temps qui doit fonctionner en synchronisme de fréquence et de phase avec la base de temps de la station opposée. Cette condition, difficile à réaliser lorsque la vitesse de manipulation est grande, impose des restrictions concernant le format des messages à transmettre et constitue, conjointement avec les aléas inhérents aux lignes téléphoniques, le point de départ dans l'étude d'un système de transmission de données.

Dans beaucoup de cas, la liaison des deux stations est bilatérale. Il est alors logique de se servir d'une seule base de temps pour le modulateur assurant la transmission des messages, et le démodulateur, assurant leur réception. On les réunit alors dans un seul ensemble appelé « MODEM ».

f) un équipement terminal de réception pour relayer le démodulateur et l'organe destinataire des messages (ordinateur, perforateur, enregistreur ou simplement des indicateurs).

Pour résumer, on peut constater que deux organes sont nécessaires pour équiper une station de transmission de données :

- un équipement terminal, fait plus ou moins « sur mesure ».
- le MODEM, dont les caractéristiques restent inchangées quelles que soient les informations à transmettre.

2.2. LIGNES DE TRANSMISSION

Comment organiser une forte circulation à travers une étroite passerelle existante ?

Tel est, en termes figurés, le problème posé par la transmission de données par lignes téléphoniques.

Regardons d'abord ce que l'on désire faire, ensuite, ce qu'il est possible de faire.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

- transmission unilatérale (cas très rare)
- transmission unilatérale avec canal de retour pour la supervision.
- transmission unilatérale fonctionnement en alternat.
- transmission bilatérale, avec ou sans canal de retour.

On peut aussi envisager :

- une liaison à deux fils
- une liaison à quatre fils.

Enfin nous examinerons les limitations imposées par

- la bande passante des lignes
- l'affaiblissement et le bruit
- la distorsion de fréquence et de phase
- les perturbations

Cette brève énumération montre que le MODEM ainsi que l'équipement terminal qui, ensemble, constituent une station de transmission et de réception doivent être conçus en fonction d'un grand nombre de facteurs différents qui sont déterminants pour :

- la vitesse de manipulation
- le choix du système de modulation
- le format des messages
- le codage et les mesures de protection.

3. — Description de matériels

Divers matériels de transmission de données ont été réalisés par la C.F.T.H. Nous décrirons ci-après les deux principaux, à savoir un équipement TOR et un équipement DIGITAN 12.

3.1. EQUIPEMENT TOR (fig. 2)

Cet équipement télégraphique multiplex 4 voies travaille à la vitesse de 200 bauds.

Il est bien connu, puisque des équipements de caractéristiques semblables, sont utilisés depuis une dizaine d'années sur les circuits internationaux et également adoptés par des organismes civils et militaires dans tous les cas où une sécurité de transmission paraît essentielle. Celle-ci est obtenue par un dispositif qui, à la détection d'un caractère mutilé, déclenche une demande de répétition sur la voie de retour d'une liaison DUPLEX.

Les fonctions principales de cet équipement sont :

- le multiplexage et démultiplexage de 4 voies.
- le maintien du synchronisme entre les deux extrémités de la ligne.
- la formation de caractères redondants et leur contrôle à la réception.

Le dispositif de détection et correction automatiques en particulier doit :

- déceler les altérations dues à la transmission, ce qui est possible puisque les signaux renferment des moments en surnombre ;
- empêcher l'utilisation des caractères reçus tronqués ou incorrects, par l'organe destinataire ;
- provoquer la répétition des signaux incertains.

Le transmetteur comporte un changeur de code qui convertit les combinaisons à 5 moments du code international n° 2 en combinaisons à 7 moments de

l'alphabet télégraphique international n° 3. Les caractères ainsi formés contiennent un nombre fixe d'éléments de polarité négative « A » et de polarité positive « Z ». En prévision des demandes de répétition, les 3 derniers des caractères qui ont subi le codage sont mis en mémoire.

Le récepteur accepte uniquement les caractères dont la composition respecte la proportion de 4 éléments « A » et 3 éléments « Z ».

Pour tout caractère présentant un rapport des « A » aux « Z » différent, le récepteur demande répétition. L'opération est renouvelée jusqu'à réception d'un caractère acceptable.

Le procédé permet de déceler et de corriger la plupart des erreurs de transmission à l'exception des « erreurs de transposition » (permutation de 2 éléments de polarité opposée à l'intérieur d'un caractère) qui sont tout à fait exceptionnelles.

Le transmetteur et le récepteur fonctionnent en synchronisme, ce qui permet de faire l'économie des signaux de start et de stop. Un caractère de 7 éléments peut être transmis dans un temps de 140 millisecondes, et la transformation du code 5 en 7 est donc sans effet sur la vitesse de transmission.

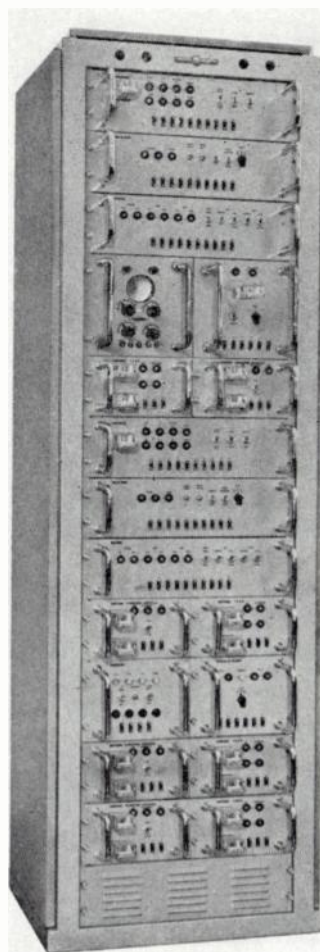


FIG. 2. — Vue d'ensemble du TOR.

Les premiers multiplex télégraphiques étaient construits selon des principes dérivés de la technique de la télégraphie classique.

Dans des appareils plus récents, les organes électromécaniques ont été remplacés par des circuits de commutation à tubes.

L'équipement TH C 522 de la C.F.T.H., de conception entièrement nouvelle, est caractérisé par l'emploi généralisé des transistors et des apports de la technique digitale tels que la réalisation des circuits logiques par assemblage de modules miniatures standards.

Il en résulte :

- un ensemble compatible avec les équipements existants, fonctionnel, aisé à utiliser grâce à la conception et la réalisation des circuits :

- un encombrement faible : une seule armoire de 2 m de hauteur permet de loger 2 diplex et toutes les unités auxiliaires y compris les unités de rechange ;

- une consommation réduite : 8 A sous 24 V continu, inférieur à 300 VA sous courant alternatif.

- une grande souplesse d'exploitation : toutes les unités sont enfichables et les unités d'entrée interchangeables. L'ensemble ne comporte ni panneau de mutation ni dicordes.

- une grande simplicité de mise en service grâce au phasage automatique ;

- une maintenance facile grâce à l'utilisation d'éléments standardisés ;

- une sécurité de fonctionnement à des températures ambiantes comprises entre -10 et $+55^{\circ}\text{C}$ pour des variations de $\pm 10\%$ de la tension d'alimentation par rapport à la tension nominale.

Beaucoup de détails de cet équipement ont été utilisés lors de la conception et la construction du DIGITRAN 12 et de l'équipement de test qui a servi aux essais pratiques.

3.2. EQUIPEMENT DIGITRAN 12

La figure 3 représente une vue du modèle normal DIGITRAN 12 dont le nom ne rappelle pas seulement son but qui est la transmission d'informations digitales, mais également le principe de sa constitution.



FIG. 3. — Vue d'ensemble du « Digitrans 12 ».

En effet, la particularité de ce MODEM est d'être composé, en quasi-totalité, de circuits digitaux : les signaux alternatifs ne circulent que dans le pilote de l'horloge et dans les circuits reliés directement aux lignes téléphoniques.

Les avantages de cette technique, basée sur l'utilisation de semi-conducteurs, sont connus :

- possibilités de réaliser les fonctions logiques à l'aide d'un nombre d'éléments restreint.

- grande sécurité de fonctionnement.

- encombrement et consommation faibles.

Les sous-ensembles logiques, appelés « opérateurs », dont la figure 4 montre un exemple, sont constitués par l'assemblage « d'éléments logiques » sur des cartes enfichables. Ces éléments, établis en 6 modèles différents caractérisés par la couleur du capot en matière plastique, sont fabriqués en grande série et utilisés dans les équipements de commutation et de transmission binaire les plus divers.

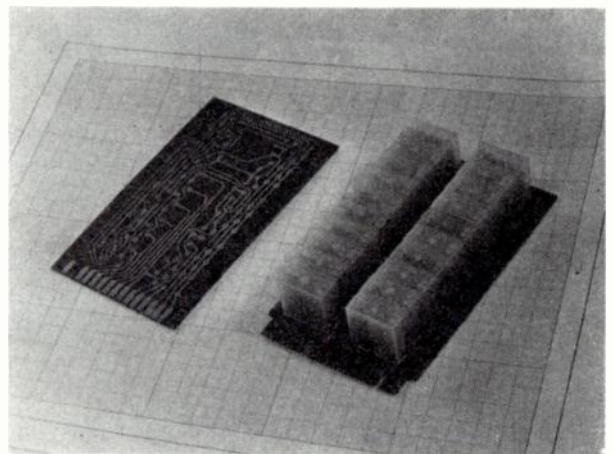


FIG. 4. — Éléments logiques.

La logique est à transistors et à diodes. L'élément le plus utilisé est celui de la « demi-bascule ».

Le DIGITRAN 12 qui occupe le volume d'un tiroir de largeur normale (19 pouces) et d'une hauteur de 4 unités est prévu pour fonctionner à la vitesse de 600, 1 200 ou 2 400 bauds. Il comprend essentiellement :

- une base de temps, pilotée par un oscillateur à quartz.

- un transmetteur.

- un équipement de ligne « TRON ».

- un équipement de ligne « RON ».

- un récepteur.

- une alimentation sur le secteur, sommairement régulée.

Le système de modulation employé est à « fréquences shiftées » (F S K) à glissement continu ce qui a permis, en utilisant un récepteur synchrone, de rendre l'ensemble relativement insensible aux distorsions de phase apportées par les lignes jusqu'à la vitesse de 1 200 bauds.

4. — Description des essais réalisés

4.1. BUT DES ESSAIS

En tenant compte des perturbations aléatoires sur les lignes téléphoniques, le rendement d'une liaison peut être déterminé par le nombre d'éléments d'information reçus sans erreurs par seconde.

Ce rendement dépend du taux et de la durée moyenne des perturbations, de la vitesse de transmission, du format des messages et du code utilisé.

Des très nombreuses études ont été consacrées à cette question. On connaît aujourd'hui la distribution et la densité des perturbations impulsionnelles (« burst ») et des interruptions sur les lignes téléphoniques ainsi que leurs durées.

A l'achèvement de l'étude d'un MODEM, caractérisé par un récepteur cohérent, (DIGITRAN 12), il paraissait intéressant :

— de vérifier son fonctionnement dans des conditions relativement difficiles (mise en service rapide sans correction préalable de la distorsion de phase) en utilisant différentes vitesses de transmission.

— de connaître le taux d'erreurs détectées, en fonction du système de codage utilisé, le taux d'erreurs non détectées et accessoirement le taux et la distribution des interruptions constatées.

En résumé, le but précis était d'expérimenter le matériel et le système de codage sur une liaison à grande distance, et non d'entreprendre une étude des perturbations.

Les lignes suivantes donneront une description des équipements et un compte rendu sommaire des essais effectués sur une liaison bouclée Gennevilliers - Nice - Gennevilliers, soit une longueur de 1 800 km environ (fig. 5).

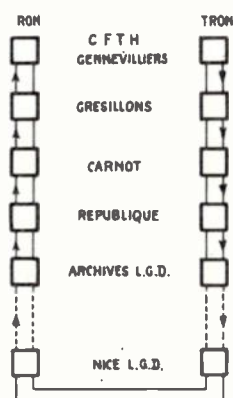


FIG. 5. — Schéma de la liaison.

— les circuits de contrôle et les compteurs associés permettant de compter le nombre de mutilations sur les caractères et sur les blocs, et à l'aide d'un système de comparaison « bit par bit », le nombre d'erreurs non détectées par les circuits de contrôle.

Pour des raisons de commodité, la formation des caractères a été réalisée selon un procédé utilisé dans l'équipement TOR décrit plus haut.

Le générateur de signaux produit des blocs d'une longueur de 91 digits.

Un bloc est composé d'une suite de 3 lettres à 7 digits, répétée 4 fois et séparée du bloc suivant par 7 digits « 0 ».

Les 3 lettres peuvent être combinées à volonté à l'aide de 21 interrupteurs montés sur un pupitre de commande ; en respectant le code utilisé qui impose la composition des lettres : 4 digits « 1 » et 3 digits « 0 ». Il permet 35 combinaisons différentes.

Le contrôle de l'exactitude de chaque lettre reçue (appelée « contrôle vertical » dans le cas des cartes perforées) ne permet pas de déceler les erreurs de transposition.

Un 2^e système de contrôle (souvent appelé « contrôle horizontal ») entre en action à la fin de chaque bloc (pendant la réception de la lettre finale de 7 fois « 0 »).

Ce contrôle est obtenu par l'addition modulo 2 de tous les premiers digits des 12 lettres ainsi que des 2^e, 3^e...7^e digits. Il permet en liaison avec le 1^{er} contrôle, de répéter les blocs mutilés sauf dans le cas de 2 erreurs de transposition coordonnées.

Le nombre de répétitions des suites de lettres est un nombre pair. En conséquence, le contrôle horizontal doit produire normalement une suite de 7 digits « 0 ».

Exemple (choisi arbitrairement) : Contrôle des lettres reçues

Premier groupe	1 ^{re} lettre	1 0 1 0 1 0 1	0
	2 ^e lettre	1 1 0 0 1 0 1	0
	3 ^e lettre	1 1 0 0 0 1 1	0
Deuxième groupe	Idem		
Troisième groupe			
Quatrième groupe			
Contrôle horizontal		0 0 0 0 0 0 0	

La présence d'un « 1 » parmi les digits de contrôle indique la présence d'une mutilation.

La planche 6 représente le schéma synoptique d'un équipement terminal qui a été établi dans le but d'expérimenter — dans des conditions réelles — le modulateur-démodulateur digital étudié par la C.F.-T.H.

Il s'agit d'un équipement terminal destiné à un circuit bouclé. Il comprend un générateur de signaux

4.2. L'ÉQUIPEMENT ET LE SYSTÈME DE CODAGE

L'équipement utilisé était composé par :

— un générateur de message produisant des caractères codés groupés en « blocs » de longueur fixe.

— le MODEM prévu pour fonctionner à des vitesses de manipulation allant de 500 à 1 500 bauds.

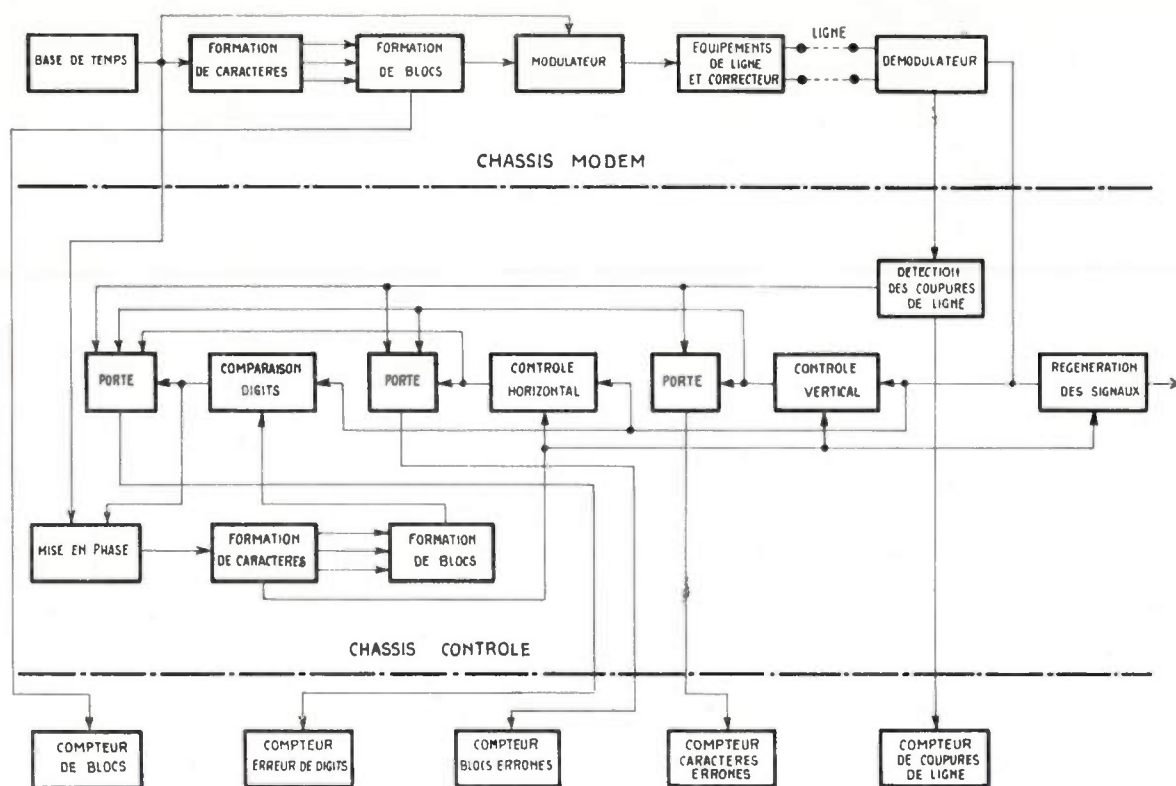


Fig. 6. — Schéma de principe de l'équipement d'essai.

ainsi que les circuits de contrôle permettant de relever le taux d'erreurs de transmission à grande et moyenne vitesses de manipulation.

Il est important de souligner que les systèmes de codage et de contrôle ont été choisis pour des raisons de simplification (suppression des mémoires tampons) et pour faciliter l'introduction d'erreurs volontaires afin de vérifier l'efficacité du dispositif de détection d'erreurs.

En réalité, tout autre système de codage et de formation des blocs peut être associé au modulateur-démodulateur.

Un premier compteur permet de compter le nombre des blocs mutilés par une (ou plusieurs) erreurs détectées par le contrôle des lettres.

Un deuxième compteur compte le nombre des blocs mutilés par des erreurs de transposition dont la présence a échappé au dispositif de contrôle des lettres.

Un troisième compteur compte le nombre des blocs mutilés comportant au moins 2 erreurs de transposition coordonnées ayant échappé au 1^{er} et au 2^e contrôle.

Ce troisième contrôle est effectué par la comparaison de chaque digit reçu avec le digit émis.

Le récepteur est associé à un 2^e générateur de signaux, identique à celui de l'émetteur. Il comporte un dispositif de mise en synchronisme commandé par bouton poussoir.

Les erreurs relevées par le comparateur des digits sont comptées seulement dans le cas où la mutilation

n'a pas été constatée, ni par le premier ni par le 2^e système de contrôle.

Un quatrième compteur est affecté à un dispositif de détection des coupures de ligne. Il enregistre toutes les coupures d'une durée supérieure à 330 μ s.

Pendant la durée des interruptions et jusqu'au début du bloc suivant, les 3 autres compteurs restent bloqués.

On a enfin prévu la possibilité de raccordement d'un 5^e compteur pour compter le nombre des blocs transmis.

4.3. RÉSULTATS OBTENUS

La figure 1 indique la constitution d'un réseau de transmission et la figure 5 celle de la liaison. La figure 6 le schéma de principe de l'équipement.

La courbe « A » de la figure 7 montre l'affaiblissement en dB en fonction de la fréquence relevée à l'aide d'une source à impédance interne de 600 Ω dont le niveau de sortie étant réglé à 0 dB à 800 Hz.

L'allure de la courbe entre 1 000 à 2 000 Hz est normale pour une ligne urbaine, mais présente une remontée à 2 800 Hz.

Une première expérience montrait que la ligne non corrigée permettait la transmission correcte à une rapidité de manipulation de 500 bauds, mais qu'une exploitation à 750 bauds était impossible.

Une correction sommaire d'amplitude rapidement établie donnait à la ligne une caractéristique repré-

sentée par la courbe « B » de la figure 7. Elle a été conservée pendant toute la durée des essais.

Le temps de propagation de groupe était de 13 ms en moyenne.

L'équipement a fonctionné en permanence pendant une semaine à une vitesse de 1 500 bauds.

Pendant les heures de travail normales, des relevés des compteurs ont été effectués fréquemment.

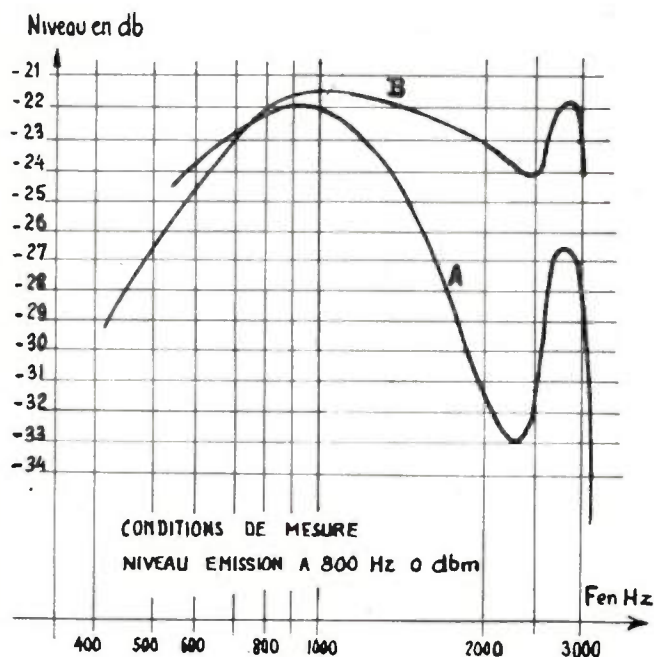


FIG. 7. — Courbes de réponse de la ligne Paris-Nice-Paris.

Les taux d'erreurs relevés après un fonctionnement continu d'une durée de 14 à 24 heures ne permettent pas des conclusions valables parce que des perturbations sont presque toujours groupées. La forte dispersion des taux d'erreurs constatée pendant ces périodes relativement longues qui s'étalent pour les simples erreurs de parité entre 5×10^{-3} et $1,8 \times 10^{-4}$, en est d'ailleurs significative.

Les caractères transmis ont été arbitrairement choisis parmi les 35 combinaisons disponibles et ont été changés souvent.

On utilisait aussi bien le « Roulement » (AZA-ZAZA) que le « Blanc » (AAAAZZZ) sans que le taux d'erreurs en fut influencé.

Le niveau d'émission était de -6 dBm. On obtenait alors un niveau de -23 dBm aux bornes du récepteur et un rapport signal/bruit moyen de $S/N = 16$ dB.

En diminuant le niveau d'émission, on constatait que le taux d'erreurs commençait à augmenter à partir de -14 dBm ou $S/N = 8$ dB.

Le bruit de fond était contrôlé par haut-parleur. Il comportait, outre le bruit blanc, des conversations téléphoniques transmises par diaphonie et des déclis de commutation à répartition variable en fonction de l'heure et atteignant des maxima en fin de matinées et en fin d'après-midi.

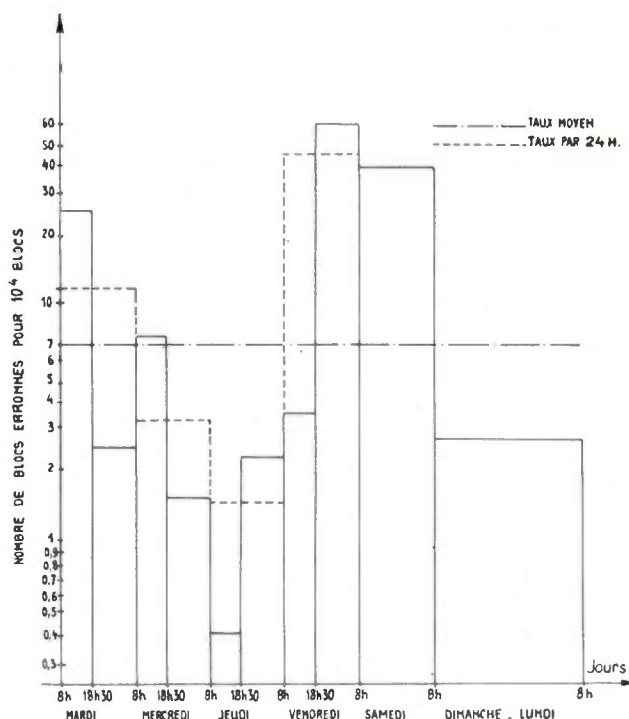


FIG. 8. — Taux d'erreurs simples.

Des « burst » de forte amplitude étaient visibles à l'oscilloscope.

La figure 8 est la représentation graphique des taux journaliers de blocs mutilés contenant au moins une erreur sur un caractère.

Le taux horaire maximal était de $1,5 \times 10^{-2}$, le taux horaire minimal de $1,5 \times 10^{-5}$ et le taux moyen de $2,5 \times 10^{-4}$.

La figure 9 montre la distribution des taux journaliers de blocs mutilés contenant au moins une erreur de transposition (« contrôle horizontal »). Le taux horaire maximal était de 2×10^{-4} , le taux horaire minimal de 0 ; et le taux moyen de 10^{-5} .

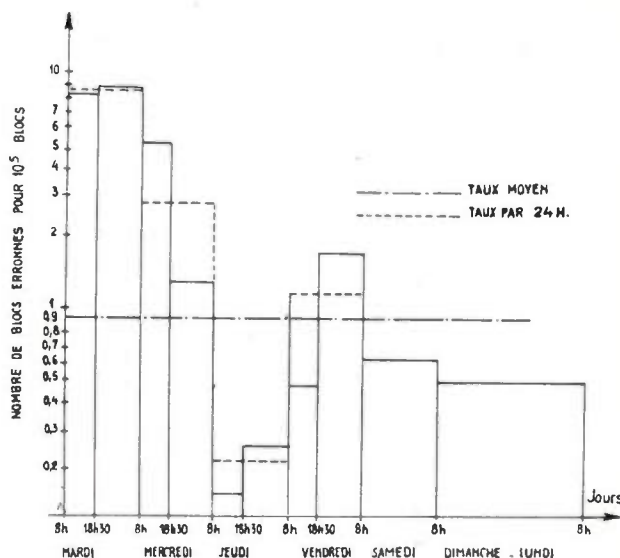


FIG. 9. — Taux d'erreurs de transposition.

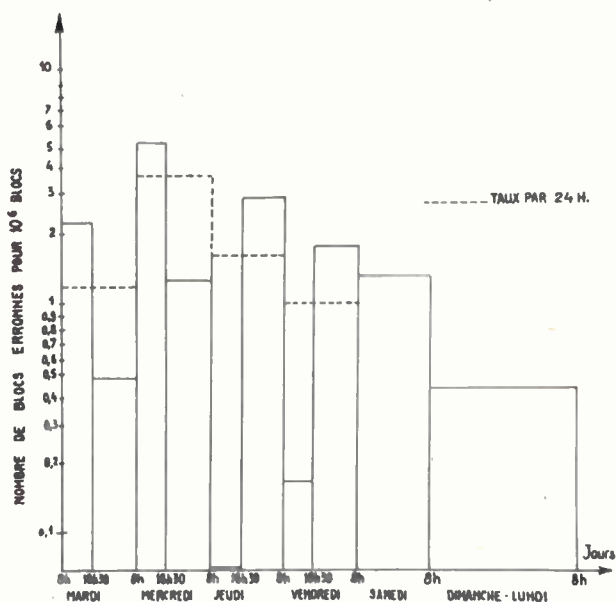


FIG. 10. — Taux d'erreurs non détectées.

La figure 10 indique le taux journalier des blocs mutilés contenant des erreurs non-détectées. Le taux horaire maximal était de 2×10^{-4} , le taux horaire minimal de 0 et le taux moyen estimé 10^{-6} .

La figure 11 contient les taux journaliers des blocs mutilés par au moins une coupure de ligne d'une durée supérieure à 330 μ s.

La répartition des coupures est très inégale. Dans les périodes où le taux semble être élevé, les coupures sont souvent groupées et concentrées en l'espace de quelques minutes, probablement pendant l'exécution de travaux de maintenance, alors que pendant de longues heures, aucune coupure ne s'est produite.

De ce fait, il semble superflu de citer des taux maxi-

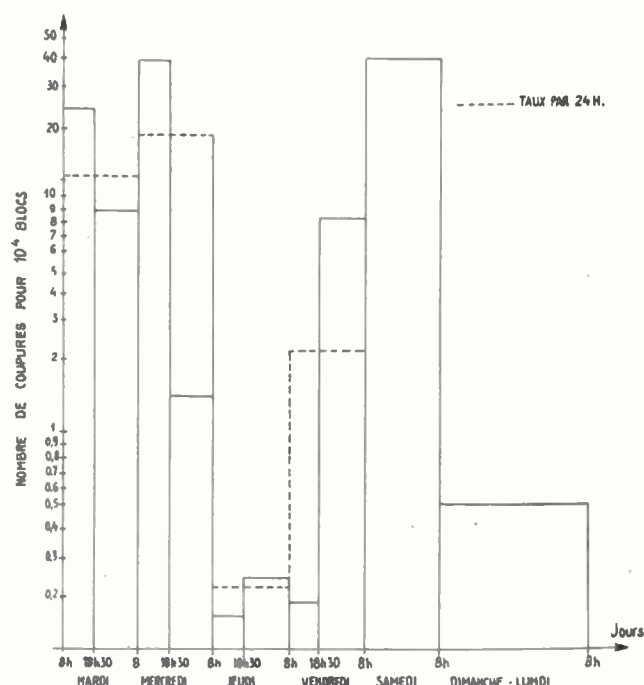


FIG. 11. — Taux d'interruptions.

um et des taux minimums obtenus, ces chiffres étant sans signification réelle.

En conclusion, ces essais ont montré que le DIGITAN 12 est parfaitement adapté aux transmissions à moyenne vitesse et qu'il peut transmettre à 500 ou 600 bauds sans aucune correction de ligne et à 1 200 ou 1 500 bauds avec une correction sommaire d'amplitude et sans correction de phase.

Le code utilisé, parité de caractère (4 + 3) et contrôle de blocs, donne un taux d'erreurs non détectées qui dans certains types de transmission peut être trop grand.

Des études parallèles ont été menées sur les codes cycliques qui permettent de diminuer très fortement le taux d'erreurs non détectées. Ces études font l'objet de l'article de Monsieur FONTANES.

ESSAI DE TRANSMISSION RAPIDE D'INFORMATIONS CODÉES SUR LIAISON EXPÉRIMENTALE ENTRE LA FRANCE ET LES PAYS-BAS^(*)

PAR
J. TOUCHARD

1. — Généralités

Des essais de transmission rapide d'informations codées ont été effectués sur ligne en 1961, entre Paris et Hilversum aux Pays-Bas. La vitesse télégraphique était de 1 000 bauds et le circuit du type normalement utilisé pour les communications téléphoniques dans le réseau général.

Les matériels terminaux étaient une version modifiée en vue des essais, des équipements que la Société PHILIPS TELECOMMUNICATIE INDUSTRIE a fournis aux Etats-Unis à la Compagnie Aérienne UNITED AIR LINES pour son système de réservation de places. Ils étaient installés à Paris au Centre Télégraphique de la Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques (SITA). Les essais avaient pour but d'étudier dans quelle mesure les circuits téléphoniques du type grande distance permettent de transmettre des informations à vitesse télégraphique élevée. Ils présentent donc un intérêt évident pour tous les utilisateurs qui envisagent la constitution, dans un proche avenir, de systèmes particuliers de transmission de données utilisant des circuits spécialisés loués aux Administrations des Postes et Télécommunications.

2. — Réalisations

2.1. MATÉRIEL DE COMMUTATION

La génération d'informations était effectuée à partir d'un poste automatique d'agent de réservation qui permet d'émettre des demandes et de recevoir des réponses.

La nature des messages peut être déterminée, sur cet appareil, au moyen d'un jeu de boutons (fig. 1) ; le temps de répétition de l'émission de messages est réglable entre 1 à 6 s.

Le poste d'agent qui émet une demande est relié par un distributeur à la mémoire tampon de demandes (fig. 2).

(*) Bien que les essais faisant l'objet de cet article datent de 1961, il nous est apparu intéressant de retarder la publication de ce texte jusqu'au présent numéro spécial.



FIG. 1

Tous les bits sont transférés simultanément du poste d'agent à cette mémoire tampon. Ensuite, le montage électronique du concentrateur transfère l'information de la mémoire tampon au modulateur sous forme de bits successifs.

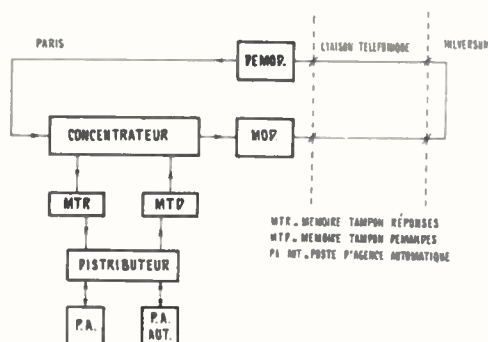


FIG. 2

Un message comprend au maximum 85 bits, soit 17 caractères. Chaque caractère est constitué par 4 bits significatifs et un bit de parité verticale. Le dernier caractère est un caractère de parité horizontale.

A Hilversum, l'entrée et la sortie de la liaison téléphonique étant interconnectées, le message émis par le modulateur de Paris était donc reçu par le démodulateur à Paris également.

La figure 3 montre la composition de la liaison. Le parcours Paris-Hilversum-Paris avait une longueur de 1 452 km. Sur ce parcours il y avait au total 48 modulations.

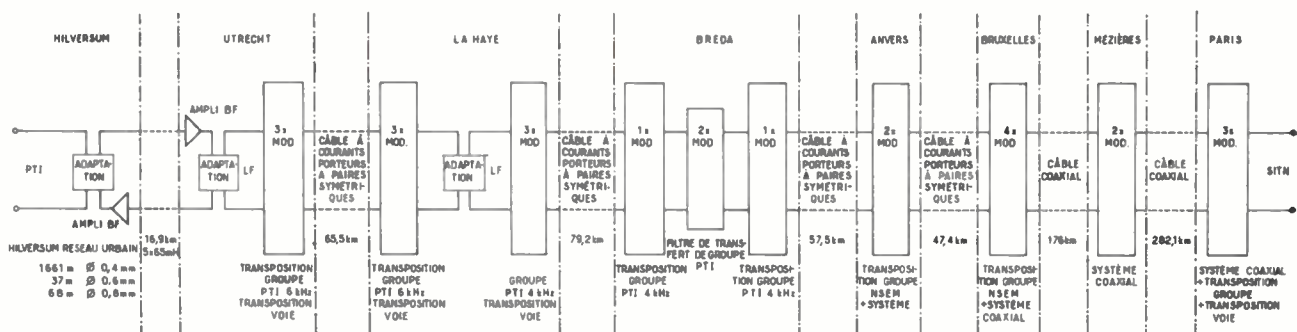


FIG. 3

Le concentrateur introduit le message dans la mémoire tampon de réponse ; il est ensuite transféré au poste d'agent par l'intermédiaire du distributeur. Le message reçu est contrôlé sur la parité verticale et sur la parité horizontale. Les messages correctement reçus sont seuls transférés au poste d'agent.

Un message est considéré comme correct quand les conditions de parité verticale et horizontale sont remplies.

2.2. MATÉRIEL D'ENREGISTREMENT

Le poste automatique d'agent était équipé de deux compteurs. L'un de ces compteurs comptait toutes les demandes émises et l'autre comptait les réponses mutilées, erronées ou perdues.

Pendant la durée des essais, un appareil a enregistré les moments où des mutilations, erreurs ou pertes ont été détectées.

Cet appareil enregistreur a noté aussi les moments pendant lesquels la ligne a été ouverte ; le niveau du signal était enregistré à Hilversum à l'aide d'un appareil.

2.3. MODULATEUR-DÉMODULATEUR

Cet appareil assure la modulation et la démodulation de phase pour une vitesse de 1 000 bauds.

a) Modulateur (fig. 4)

Dans le modulateur, le signal d'information codée module une porteuse de 1 500 Hz.

La phase de cette onde porteuse change de 180° à chaque transition du signal d'information codée.

L'onde porteuse de 1 500 Hz est dérivée d'un signal de référence de 1 000 impulsions par seconde.

Ce signal de référence est fourni par le concentrateur, ce qui assure une relation de phase fixe entre la porteuse et le signal d'information codée.

Un signal de 500 Hz, dérivé également de ce signal de référence, est émis comme signal pilote en même temps que le signal modulé d'information codée.

La bande de fréquences émises est limitée par un filtre de bande.

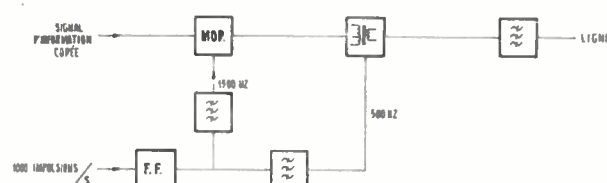


FIG. 4

b) Démodulateur (fig. 5)

Le signal modulé d'information codée et le signal pilote reçus par le démodulateur traversent d'abord un égaliseur d'amplitude et un égaliseur réglable de phase.

Ensuite, les signaux sont reçus dans un amplificateur à régulation. Pour un niveau de sortie constant, le niveau d'entrée de cet amplificateur peut varier de -10 dBm à -30 dBm.

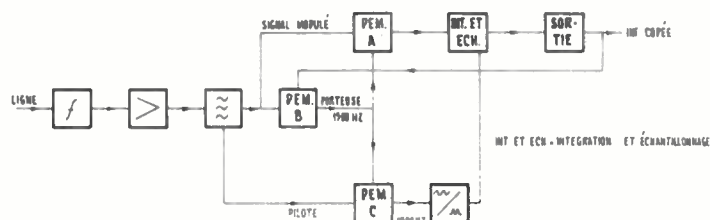


FIG. 5

Ensuite, le signal modulé d'information codée est séparé du signal pilote.

Il y a trois démodulateurs.

Le démodulateur A restitue le signal d'information codée, le démodulateur B restitue la porteuse et le démodulateur C donne le signal 1 000 Hz.

Dans le démodulateur A, le signal modulé d'information codée est démodulé par la porteuse, ce qui restitue le signal d'information codée.

Dans le démodulateur B, le signal modulé d'information codée est démodulé par le signal d'information codée, ce qui restitue la porteuse.

Le signal d'information codée restitué peut avoir de la distorsion par suite de la distorsion caractéristique de la liaison téléphonique et de signaux perturbateurs éventuels.

C'est pourquoi le signal de sortie du démodulateur A est régénéré à l'aide d'un circuit d'intégration et d'échantillonnage. Le signal pilote est démodulé dans le démodulateur C par la porteuse provenant du démodulateur B. La sortie du démodulateur C donne un signal de 1 000 Hz, qui est utilisé comme référence de phase.

De plus, les impulsions d'échantillonnage, nécessaires pour la régénération, sont dérivées de ce signal à l'aide d'un réseau de différentiation.

3. — Mesures effectuées sur la liaison

Des mesures ont d'abord été effectuées à Hilversum. Les mêmes mesures ont été répétées ensuite à Paris. Pendant que les mesures étaient effectuées à Hilversum, l'entrée et la sortie de la liaison ont été interconnectées à Paris. Pendant que les mesures étaient effectuées à Paris, les voies aller et retour étaient interconnectées à Hilversum.

3.1. NIVEAU DE BRUIT SUR LA LIGNE

Le niveau de bruit (bruit blanc) sur la ligne était de -35 dBm ou plus bas.

On a constaté la présence de parasites en forme d'impulsions. A Hilversum, ces parasites ont été mesurés avec une amplitude de 800 mV crête à crête.

Sur une impédance de 800 ohms, cela correspond à -10 dBm.

3.2. DIAPHONIE

L'affaiblissement diaphoniques était -29 dB.

En écoute sur la ligne, on entendait nettement des conversations et des signaux d'appel.

3.3. DÉPLACEMENT DE FRÉQUENCE

Le déplacement de fréquence entre Hilversum et Paris et vice-versa était de 0,3 Hz environ.

Lors d'une mesure en ligne bouclée. Paris-Hilversum-Paris, aucun déplacement de fréquence n'a été constaté.

3.4. RETARD

Le retard total était 14,8 ms.

Ce total se décompose comme suit :

1,4 ms causé par l'appareillage de modulation et de démodulation,

2,2 ms causé par l'égalisation réglable de phase,

11,2 ms retard de la ligne.

3.5. AMPLITUDE

A) Variation d'amplitude en fonction de la fréquence.

Les courbes d'amplitude 6 et 7 ont été relevées à Hilversum ;

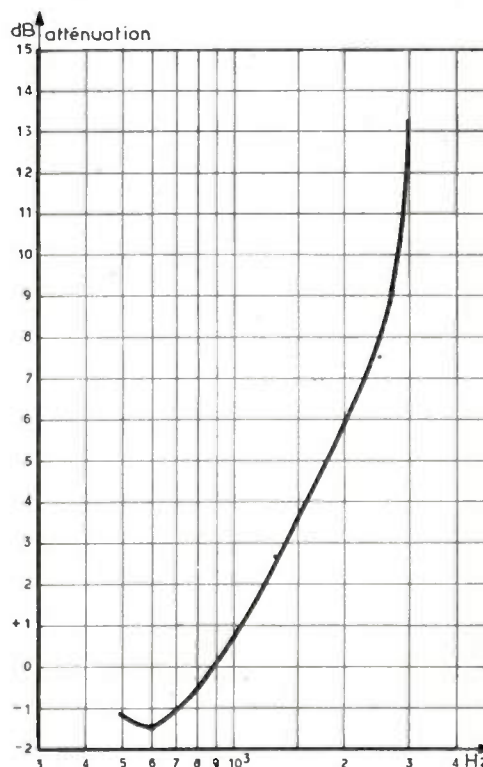


FIG. 6. — 5-4-1961. Liaison Hilversum - Paris - Hilversum sans égalisation de l'amplitude.

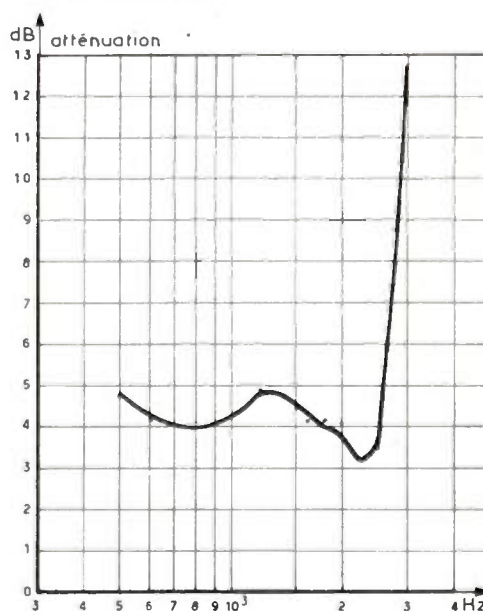


FIG. 7. — 7-4-1961. Liaison Hilversum - Paris - Hilversum avec égalisation de l'amplitude.

Les courbes 8 et 9 ont été relevées à Paris ;

La courbe 10 est la courbe de l'égalisation d'amplitude.

B) Variation d'amplitude en fonction du temps. Le niveau de la liaison variait constamment de ± 1 dB, ce qui avait de l'influence sur le degré de précision des mesures.

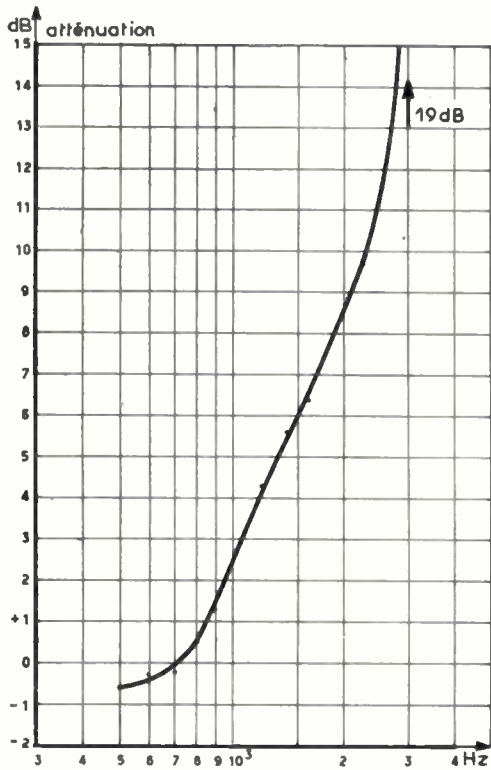


FIG. 8. — 28-4-1961. Liaison Paris - Hilversum - Paris sans égalisation de l'amplitude.

Au cours des essais, on a constaté que la ligne a été ouverte pendant quelques minutes, après quoi le niveau de sortie a été de 20 dB plus élevé qu'avant l'ouverture de la ligne.

L'affaiblissement de la liaison à 500 Hz était d'abord 13,8 dB puis a fait place à une amplification de 7 dB.

3.6. DISTORSION DE PHASE

La distorsion a été mesurée comme temps de propagation de groupe en millisecondes.

Le temps de propagation se trouve exprimé dans les courbes 11 et 12.

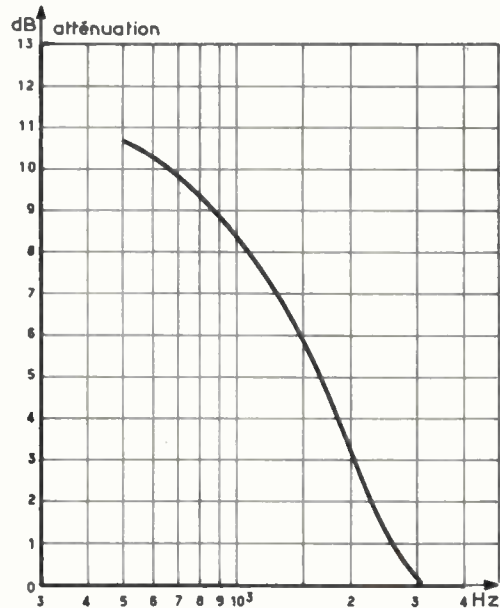


FIG. 10. — 7-4-1961. Egalisation de l'amplitude de la liaison Hilversum - Paris - Hilversum.

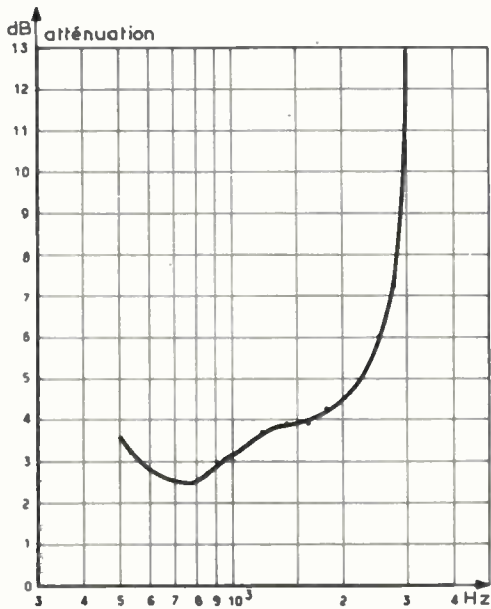


FIG. 9. — 28-4-1961. Liaison Paris - Hilversum - Paris avec égalisation de l'amplitude.

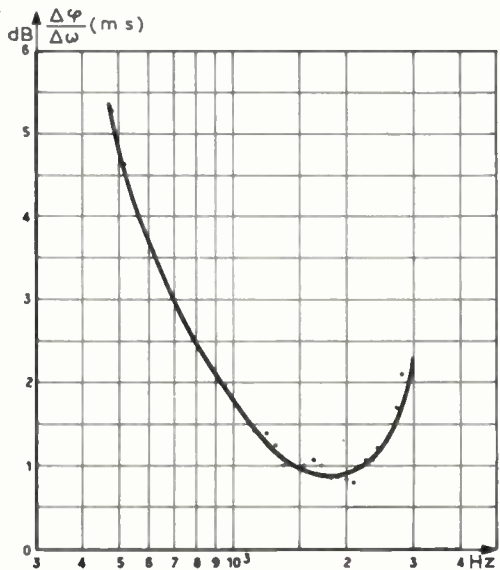


FIG. 11. — 5-4-1961. Liaison Hilversum sans égalisation de l'amplitude.

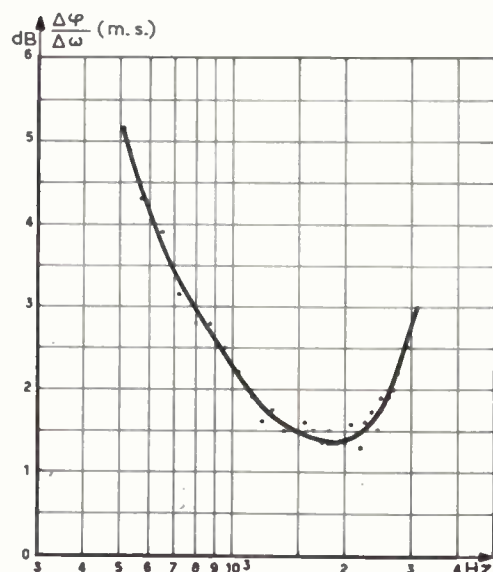


FIG. 12. — 28-4-1961. Liaison Paris - Hilversum - Paris sans égalisation de l'amplitude.

4. — Mesures effectuées sur le modulateur — démodulateur

(Modulation de phase 1 000 bauds)

4.1. MESURE DE BRUIT

Du bruit blanc a été rajouté au bruit de la ligne.

Le niveau du bruit total (donc bruit de ligne + bruit blanc) d'un générateur de bruit a été mesuré par rapport au signal + bruit de ligne (la contribution du bruit de ligne est très faible).

Des messages ont été émis et nous avons contrôlé s'il y avait des mutilations dues au bruit.

Bruit — 15 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 14 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 13 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 12 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 10 dB	10 messages	1 mutilation probablement une impulsion parasite ou une brève ouverture de la ligne)

Bruit — 9 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 8 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 7 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 5 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 4 dB	10 messages	pas de mutilation
Bruit — 3 dB	20 messages	2 mutilations
Bruit — 2 dB	30 messages	3 mutilations
Bruit — 1 dB	30 messages	11 mutilations
Bruit — 0 dB	30 messages	30 mutilations

4.2. MESURES DE LA SENSIBILITÉ DU DÉMODULATEUR

Un atténuateur a été inséré entre le modulateur et la ligne, ce qui nous a permis d'abaisser le niveau en ligne. L'atténuateur était donc placé à l'entrée de la liaison ; en conséquence, une réduction du niveau du signal rendait le rapport signal/bruit plus mauvais. Les résultats des mesures sont donc un peu plus défavorables que les résultats auxquels on peut s'attendre normalement :

— 20 dBm	10 messages	pas de mutilation
— 27 dBm	10 messages	pas de mutilation
— 30 dBm	10 messages	pas de mutilation
— 33 dBm	10 messages	pas de mutilation
— 35 dBm	10 messages	10 mutilations

5. — Considération des résultats

Il y a eu trois périodes d'observations :

- de 11 jours consécutifs,
- de 20 jours consécutifs,
- de 18 jours consécutifs.

5.1. PREMIÈRE PÉRIODE

Le matériel était installé à Hilversum ; l'entrée et la sortie de la voie téléphonique étaient interconnectées à Paris. Le nombre total de messages émis était de 165 803. Neuf messages étaient mutilés à la réception, soit un sur 18 422.

La probabilité de réception d'un message mutilé était $4,4 \times 10^{-5}$.

5.2. DEUXIÈME PÉRIODE

Pendant la deuxième et la troisième périodes, le matériel était installé à Paris ; l'entrée et la sortie de la voie téléphonique étaient interconnectées à Hilversum.

Compte non tenu des périodes pendant lesquelles la ligne était ouverte, 182 395 messages ont été émis pendant la deuxième période.

92 messages étaient mutilés, erronés ou perdus à la réception, soit 1 sur 1982. La probabilité d'un message mutilé était 50×10^{-5} . Il est possible d'expliquer les causes qui déterminèrent cette probabilité plus élevée de mutilation de messages.

Après que les mesures sur la ligne ont été effectuées à Hilversum, le réseau égalisateur d'amplitude et de phase a été réglé de nouveau.

A Paris, on a utilisé la même égalisation.

Après les mesures de ligne effectuées à Paris, on a pu constater que la liaison utilisée était différente de la liaison établie à l'origine des essais. Il a donc été nécessaire de rectifier l'égalisation d'amplitude et de phase.

Après interruption d'une journée, nous avons eu, les jours suivants, rétablissement de la liaison avec une constitution vraisemblablement différente. Le pourcentage relativement élevé de mutilations est donc dû certainement au fait que pendant cette période l'égalisation n'était pas correcte.

Nous nous sommes bornés à porter sur le graphique la probabilité de mutilations des différentes périodes d'observation (graphique 13).

La dispersion de la probabilité de mutilations est dans cette période plus grande que dans la première et la troisième période, ce qui s'explique par le fait que, en général, les périodes d'observation étaient plus courtes et que le nombre de messages émis par unités de temps était plus petit.

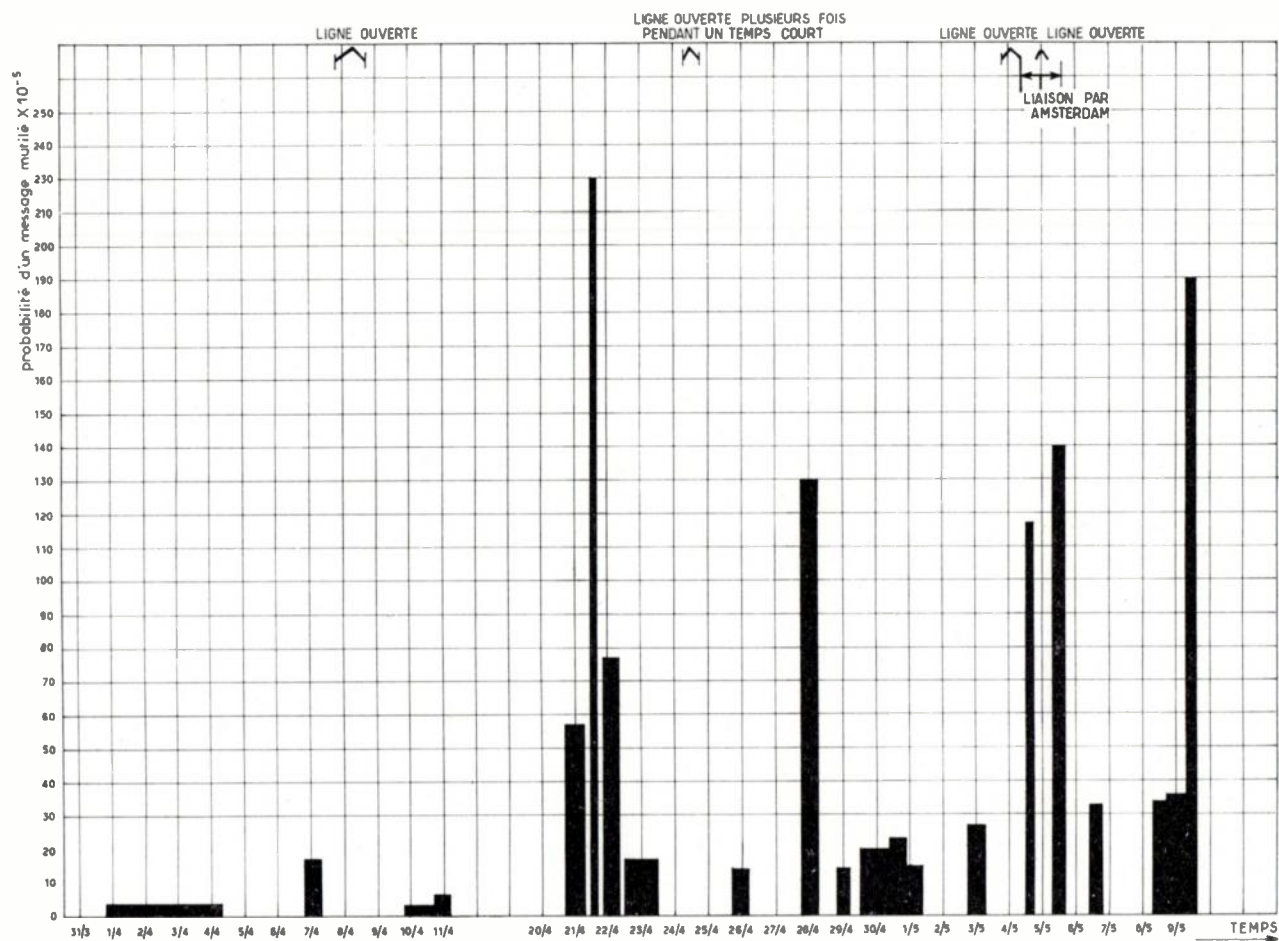


FIG. 13

5.3. TROISIÈME PÉRIODE

Les observations faites après le 21^e jour sont plus complètes, les mesures ayant pu être effectuées pratiquement sans interruption ; de plus, à l'aide de deux appareils de mesure enregistreurs, une meilleure détermination des causes des mutilations a été possible.

A Paris, l'appareil a enregistré les moments de réception d'un message mutilé et les temps pendant lesquels la ligne était ouverte. L'ouverture de la ligne était constatée dans le démodulateur par la défaillance du signal pilote. Par suite de l'inertie de l'appareil enregistreur, les périodes d'ouverture de la ligne de moins de 100 ms n'ont pas pu être détectées.

A Hilversum, on a enregistré le niveau du signal en fonction du temps.

821 278 messages ont été émis. Compte non tenu des mutilations dues à des périodes prolongées de ligne ouverte (plus de 3 minutes), 72 messages mutilés ont été reçus, soit 1 sur 11 407. La probabilité de mutilation est $8,8 \times 10^{-5}$.

Dans la plupart des cas d'ouverture de ligne, 1 défaut a été constaté aussi bien à Paris qu'à Hilversum. La condition ligne ouverte s'est donc produite sur le parcours Paris-Hilversum aussi bien que sur le parcours Hilversum-Paris.

Beaucoup de mutilations sont dues à des variations brusques du niveau constatées sur le parcours Paris-

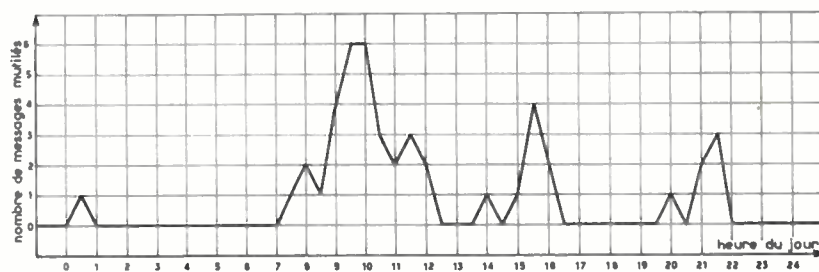


FIG. 14. — Répartition des mutilations sur une journée ouvrable

Hilversum. D'autres causes possibles sont des variations brusques de niveau (crêtes perturbatrices) sur le parcours Hilversum-Paris ou des périodes de ligne ouverte de moins de 100 ms.

La figure 14 montre la répartition des mutilations sur une journée ouvrable. Un certain nombre d'observations de la troisième période ont été choisies de telle façon que pendant 24 heures le nombre de messages émis par unité de temps soit constant.

Le nombre de mutilations maximum a été observé entre 7 h 30 et 12 h 00 et entre 14 h 00 et 16 h 30, que ces mutilations soient dues à la condition ligne ouverte ou à des variations de niveau.

Ces mutilations doivent être attribuées probablement aussi à des crêtes dans le trafic téléphonique et à des travaux d'entretien effectués sur les lignes et l'équipement de ligne.

5.4. LIGNE OUVERTE

Au cours de la période de 48 jours d'essais, la transmission a été interrompue sept fois par suite d'ouverture de ligne. Ceci serait fort gênant pour une liaison télégraphique normale, à plus forte raison pour une liaison utilisée pour une transmission à grande vitesse ; il est nécessaire de disposer de liaisons de grande sécurité et sur lesquelles les interventions d'entretien ou de maintenance sont limitées à leur strict minimum,

UNE APPLICATION DES TRANSMISSIONS DE DONNÉES DANS LE DOMAINE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS : TAXATION ET COMPTABILITÉ TÉLÉPHONIQUES “ CENTRALISÉES ”

PAR

R. LEGARE, J. DONDOUX, J.C. LAVENIR

Ingénieurs des Télécommunications (1)

Des études importantes sont actuellement menées par la Direction Générale des Télécommunications pour automatiser la gestion des Télécommunications. Les auteurs exposent dans ce cadre quelques problèmes de transmission de données posés par l'automatisation de la taxation téléphonique.

1. — Introduction

On conçoit facilement que dans le calcul des taxes et l'établissement des factures envoyées aux abonnés des services téléphoniques ou télex on puisse employer des ensembles automatiques pour traiter l'information. Par contre l'utilisation systématique d'équipements de transmission de données demande quelques explications sur l'organisation de la comptabilité des Télécommunications. Tel sera l'objet de la première partie de cet article ; on envisagera alors quelles modifications permettraient de moderniser l'exploitation. Puis pour la structure proposée on mettra en évidence les liaisons nécessaires, la nature et l'importance des informations échangées. On essaiera aussi de déterminer si la transmission peut être différée ou doit être faite en « temps réel ». Pour terminer on donnera quelques renseignements sur des équipements actuellement en cours d'expérimentation.

2. — La comptabilité téléphonique en 1963

2.1. DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE TAXATION. ECHANGES D'INFORMATIONS

Les opérations se déroulant entre l'instant où l'abonné forme le numéro à l'aide de son cadran et celui où

il reçoit une facture restent très souvent mal connues sinon mystérieuses pour beaucoup de clients du Service téléphonique. Rappelons-les très rapidement : les organes de l'autocommutateur desservant l'abonné demandeur établissent, compte-tenu du numéro formé par cet abonné sur son cadran d'appel, une liaison avec la ligne de l'abonné demandé. Lorsque celui-ci décroche son appareil, un organe taxeur est relié au compteur électromécanique de la ligne de l'abonné demandeur. Dès cet instant qui caractérise le début de la conversation le taxeur envoie vers le compteur des impulsions, à un rythme variable fixé par la nature de la communication en cours.

A intervalles réguliers (bimestre), les indications (index) portées par les compteurs des autocommutateurs sont dans les réseaux téléphoniques importants (Paris par exemple) relevées par un procédé photographique, et dans les réseaux de moyenne ou faible importance, par un procédé manuel. Les résultats sont envoyés au service de comptabilité qui par comparaison avec les index relevés précédemment détermine la consommation des abonnés. L'addition des diverses autres dépenses : trafic international, services spéciaux, télex, abonnements... permet d'obtenir la facture.

A l'heure actuelle, en résumé, la chaîne « taxation-comptabilité » comporte :

— un premier organe de calcul (faisant partie de l'autocommutateur téléphonique) qui établit le prix de chaque communication et fait le cumul par abonné.

— une transmission d'informations vers le centre comptable.

— un second organe de calcul, humain ou mécanique, qui établit au centre comptable les factures.

(1) A la Direction Générale des Télécommunications (Section Technique Téléphone) et au Centre National d'Etudes des Télécommunications (Département Recherches sur les Machines Electroniques).

2.2. CRITIQUE DE L'ORGANISATION ACTUELLE. ÉVOLUTION ENVISAGÉE

Dans l'organisation décrite ci-dessus, on constate une discontinuité : la taxation forme un ensemble automatique dans lequel l'organe de sortie est un compteur à lecture optique ; la comptabilité mécanisée ou non ne peut traiter directement les informations fournies par les compteurs. Une transcription, un changement de « code » sont indispensables ; cela demande du personnel et constitue une source d'erreurs non négligeable. Certes dans le cas des autocommutateurs des réseaux téléphoniques de faible importance cette solution peut sembler raisonnable car elle ne demande pas d'investissements importants et peut s'adapter facilement à l'évolution du nombre des abonnés. En fait une comptabilité très éclatée est finalement coûteuse et ne permet guère d'envisager l'utilisation des moyens modernes de gestion dans des conditions économiques satisfaisantes.

Or le développement de l'automatisation du téléphone conduit la Direction Générale des Télécommunications à prévoir l'installation de très nombreux petits autocommutateurs ayant quelques centaines de lignes. Il est souhaitable que leur fonctionnement ne nécessite pas auprès d'eux la présence permanente de personnel et que le relevé des taxes imputées aux abonnés ne soit pas trop laborieux du fait de la dispersion géographique des autocommutateurs. Le personnel d'entretien doit pouvoir être affecté à des centres de groupement en nombre relativement faible (1) où l'on centralisera certaines fonctions, en particulier la taxation. Ceci conduit d'ailleurs à remettre en question le choix du dispositif d'enregistrement (2) des taxes et à analyser si l'on peut utiliser, sans nuire à la sécurité de fonctionnement, des mémoires électroniques dont la lecture automatique serait évidemment plus aisée.

Un autre facteur de centralisation est l'existence de centre de transits régionaux (CTR) qui desservent chacun un nombre relativement important de centres de groupement.

(1) Il y a dans le réseau téléphonique français environ 35 000 réseaux locaux (sensiblement 1 réseau par commune). Chaque réseau local est en général desservi par un centre appelé *centre local* qui est doté d'un commutateur manuel ou automatique.

Le trafic des centres locaux est concentré sur des centres plus importants dénommés *centres de groupement* (C.G.). Les réseaux desservis par un centre de groupement forment la zone de ce centre ou encore le groupement. Ce centre de groupement est doté d'un commutateur (manuel ou automatique) qui est chargé de l'acheminement du trafic entre les abonnés des réseaux urbains et suburbains de la ville siège du centre de groupement, du trafic entre tous les centres locaux et enfin du trafic des abonnés du centre et de son groupement avec les autres centres de groupement. Il y a actuellement en France environ 740 centres de groupement. Ces centres sont tous reliés à un *centre de transit régional* déterminé.

Le centre de transit régional (CTR) est chargé en plus de l'acheminement du trafic de ses abonnés (de la ville siège du CTR) avec ceux de ses centres de groupement, de l'acheminement du trafic entre tous les centres de groupement de sa zone et enfin du trafic avec les autres centres de transit régionaux. Il y a 20 centres de transits régionaux, chaque CTR étant relié à tous les autres CTR.

(2) Le compteur électromécanique actuellement utilisé est évidemment un élément essentiellement décentralisé.

Notons enfin que les villes sièges de CTR sont progressivement dotées d'équipements mécanographiques ou d'ensembles électroniques à l'aide desquels une comptabilité régionale peut être tenue.

L'évolution du réseau téléphonique, le développement des nouvelles techniques de traitement de l'information doivent permettre de regrouper à l'échelon régional tous les éléments nécessaires pour établir les factures (taxes téléphoniques ou télex, abonnements...). Il est souhaitable que cela soit fait de manière automatique et en tout cas sans création de nombreux intermédiaires tels que des documents écrits ou même des cartes perforées.

C'est dans cet esprit que les travaux d'un groupe de travail réunissant les représentants de l'Administration et des Constructeurs privés (3) au sein de la Société d'économie mixte SOCOTEL ont conduit à proposer une organisation qui est en cours d'expérimentation et qui va être décrite ci-dessous.

Les informations nécessaires (4) à la taxation d'une communication sont souvent disponibles seulement au niveau de l'autocommutateur dont dépend l'abonné demandeur. On doit les recueillir, les garder en mémoire pour établir la dépense bimestrielle de chaque abonné.

Il est délicat de prévoir un organe cumulant et gardant en mémoire ces informations dans chaque autocommutateur pour tous les abonnés car d'une part l'opération serait relativement coûteuse en matériel pour les autocommutateurs de quelques centaines de lignes et d'autre part la complexité des équipements conduirait à détacher un personnel spécialisé dans ces autocommutateurs. On doit admettre que les renseignements recueillis pour chaque communication sont transmis sans délai vers un centre commun à plusieurs autocommutateurs. Là l'importance du trafic justifie un équipement complexe et un personnel spécialisé ; les messages sont mis en mémoire, triés et cumulés. Le centre de transit régional ou le centre de groupement important peut jouer un tel rôle car il est normalement relié par des circuits spécialisés aux différents centres qu'il dessert (centres de la zone du CTR ou centres du groupement du CG). Les messages y seront traités partiellement, regroupés par abonné et cumulés. On aura finalement des comptes individuels d'abonné jouant un rôle analogue aux index des compteurs électromécaniques classiques. Il faut noter toutefois une différence importante : les comptes sont enregistrés dans une mémoire électronique qu'il est facile de « lire » et de transformer en signaux électriques pouvant être transmis sur une voie de télécommunication vers le centre de comptabilité installé au chef-lieu de la région. Ce relevé des comptes peut être facilement télécommandé à partir du centre de comptabilité et les signaux sont assimilables directement

(3) Association des Ouvriers en Instruments de Précision — Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques — Compagnie Industrielle des Téléphones — Le Matériel Téléphonique — Société des Téléphones Ericsson.

(4) Ce sont l'identité de l'abonné demandeur, l'échelon de taxe, (nombre précisant le tarif suivant lequel sera taxée la communication), et la durée de la communication.

par un équipement automatique de traitement de l'information.

Dans une telle organisation les informations de taxation sont donc transmises automatiquement des autocommutateurs téléphoniques jusqu'au centre de comptabilité régional. L'utilisation systématique de codes détecteur d'erreurs devrait dans une large mesure permettre d'éviter de fausses imputations et au moins des imputations abusives.

En résumé la structure de la chaîne de taxation et de comptabilité la plus générale se présenterait sous la forme suivante :

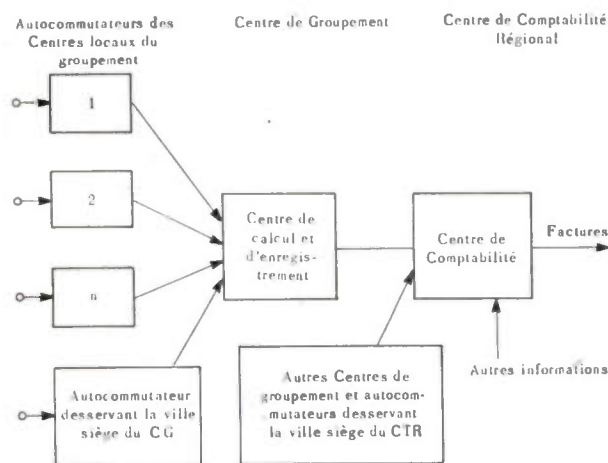


FIG. 1.

On voit apparaître sur ce schéma deux transmissions de données :

- l'une entre l'autocommutateur et le centre de calcul et d'enregistrement,
- l'autre entre le centre de calcul et d'enregistrement et le centre de comptabilité.

Nous allons examiner successivement les caractères particuliers de ces liaisons et les conditions qu'elles doivent remplir pour obtenir une exploitation satisfaisante.

3. — Liaison Autocommutateur — Centre d'enregistrement

L'introduction d'une mémoire tampon dans chaque commutateur n'est guère souhaitable si l'on veut aboutir à un système économique et éviter l'emploi de personnel spécialisé pour l'entretien. Cela signifie donc que les messages relatifs à chaque communication seront écoulés au fur et à mesure de leur formation, suivant un processus aléatoire. On peut en tirer plusieurs conséquences pour l'équipement de transmission :

- la ligne doit être disponible en permanence pour écouler les messages ce qui conduit à une transmission par voie spécialisée,
- chaque message forme un tout ; en d'autres termes la longueur du bloc de transmission est fixée par l'équipement de taxation,
- l'attente doit être réduite au minimum ce qui

conduit à une rapidité de modulation supérieure à la vitesse strictement nécessaire.

Le débit maximal de l'équipement doit être calculé à partir du trafic téléphonique écoulé par l'autocommutateur à l'heure chargée. Suivant la solution adoptée pour l'organe de prélèvement des informations dans cet autocommutateur le volume des informations à transmettre peut varier dans le rapport de 1 à 2 environ : on peut envoyer un message unique à la fin de la communication ou deux messages au début et à la fin de la communication. Prenons le premier cas ; on trouvera approximativement dans le message :

1 caractère de début (start)

4 caractères pour le numéro demandeur

1 caractère donnant l'échelon de taxe

1 caractère donnant la catégorie de l'abonné ou des éléments de signalisation,

soit au total 7 caractères ou encore 30 à 35 éléments binaires (eb). Finalement une communication, y compris les caractères de contrôle, correspondra à l'envoi de 80 eb au maximum.

Pour un autocommutateur de 4 000 lignes ayant un trafic moyen de 1 appel par ligne à l'heure chargée le débit par seconde sera au maximum de :

$$\frac{4\,000 \times 80}{3\,600} \text{ soit } 90 \text{ éléments binaires par seconde}$$

Une vitesse de transmission de 600 bauds (Bd) sera donc satisfaisante dans ce cas.

En conclusion, ces calculs élémentaires nous montrent que :

- le message de transmission aura une longueur de 40 eb environ,
- la vitesse de transmission choisie pourrait être de 600 Bd (ou 1 200 Bd pour les centres importants) si on choisit les vitesses conseillées par le C.C.I.T.

La longueur imposée pour les blocs n'est pas très favorable à l'adoption de codes cycliques donnant une très grande sécurité sans augmenter la redondance de manière trop importante. Par ailleurs les informations fournies par l'organe de taxation sont déjà transcrites en code 2 parmi n ce qui permet déjà une vérification assez sérieuse. La solution la plus raisonnable consiste à garder les informations sous cette forme et si la sécurité obtenue est insuffisante à adjoindre une clé supplémentaire de contrôle. Il faut aussi noter que toutes les combinaisons ne sont pas vraisemblables : certaines correspondent à un numéro d'abonné non relié, une catégorie d'abonné inexistante... Un contrôle ultérieur lors du traitement permet donc d'éliminer un certain nombre d'erreurs non détectées pendant la transmission. Mais le message est alors perdu. Au contraire lorsque la faute est trouvée à la réception, une demande de répétition peut être envoyée vers le centre émetteur. On a là une nouvelle caractéristique du système :

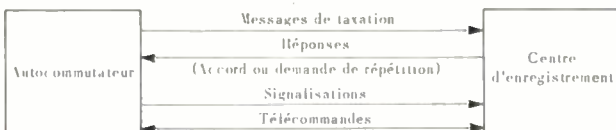
- la transmission des informations est bilatérale. L'équipement peut travailler en duplex intégral ou à l'alternat. Cette dernière solution semble être la plus simple au point de vue exploitation (on traite un

message à la fois, il suffit d'un seul registre à chaque extrémité de la ligne).

La liaison autocommutateur centre d'enregistrement n'achemine pas seulement les messages de taxation : elle doit en outre assurer l'envoi des signalisations, des ordres de télécommande. En effet ainsi que nous l'avons dit précédemment les centres de petite capacité fonctionnent maintenant sans personnel. Il est donc indispensable que le centre de groupement soit tenu au courant de l'état des équipements de taxation. Il faut aussi qu'en cas de dérangement au centre d'enregistrement ou sur la ligne de transmission il soit possible d'arrêter l'émission des messages et de commander la mise en route au centre d'un organe de secours telle qu'une perforatrice de ruban de papier. Ces informations peuvent être acheminées sur la même voie de transmission que les messages de taxation en utilisant par exemple des intervalles de temps réservés à ces informations de service, mais on peut aussi penser utiliser une autre voie spécialisée pouvant d'ailleurs travailler à plus faible vitesse. Cette solution est certainement plus simple au point de vue du schéma logique, mais elle peut être plus coûteuse et double la probabilité d'erreur (2 voies au lieu d'une) en n'apportant que peu d'avantages si le système d'émission est prévu pour se mettre automatiquement hors service lorsqu'il ne reçoit plus d'informations de retour compréhensibles pendant une durée supérieure à une limite fixée par construction.

On peut résumer les caractéristiques de la liaison dans le tableau suivant :

LIAISON AUTOCOMMUTATEUR - CENTRE D'ENREGISTREMENT



Liaison sur ligne spécialisée
Fonctionnement en temps réel
Transmission arithmétique
Blocs de 40 à 80 eb
Vitesse de modulation 600 Bd ou 1 200 Bd
Code "2 parmi n" avec des clés supplémentaires
Fonctionnement à l'alternat avec répétition en cas d'erreur
Acheminement de signaux de service en permanence.

4. — Liaison Centre d'enregistrement — Centre de comptabilité

Les caractéristiques de cette liaison sont très différentes de la précédente. Ici il s'agit d'exploiter des données, mises en mémoire dans un organe électronique, donc non périssables : l'organe émetteur reste toujours disponible, c'est l'organe récepteur (le calculateur) qui va commander l'envoi des informations suivant un plan de travail qui lui est propre.

Le relevé des compteurs par ailleurs est fait à des intervalles relativement éloignés, correspondant à la période d'établissement des factures pour les abonnés : c'est-à-dire tous les bimestres. Même si par sécurité les relevés sont plus fréquents on peut malgré tout dire que l'utilisation de la liaison est peu fréquente et n'occupe la ligne qu'une partie très faible du temps. L'utilisation d'une ligne spécialisée n'est donc pas nécessaire. Elle doit même être évitée si une telle organisation se généralise.

En résumé :

— la liaison utilise de préférence une ligne commu-
tée du réseau général.

— la demande de relevé est faite par le centre récep-
teur (comptabilité) au centre émetteur (enregistrement).

La rapidité de transmission n'est pas ici primordiale si on admet que les différents centres d'enregistrement sont interrogés successivement et de manière étalée à l'intérieur du bimestre. En réalité pour des besoins comptables et par commodité il serait plus agréable de relever sinon simultanément tout au moins dans un temps relativement bref tous les comptes. Par ailleurs si l'on ne veut pas multiplier les organes de réception ni immobiliser le calculateur pendant une durée trop importante il faut que le temps de transmission ne soit pas trop élevé. Calculons le volume approximatif d'informations envoyées par un centre d'enregistrement de 30 000 lignes (cette capacité doit être atteinte par de nombreux groupements du réseau français). Un compte comprend le numéro de l'abonné : environ 15 eb et l'index de son compteur soit 15 eb également, ce qui donne au total 30 eb par abonné et $9 \cdot 10^5$ eb pour le centre. Avec une vitesse de modulation de 50 Bd (vitesse télégraphique) le temps nécessaire est de 18 000 s (5 heures) et si on transmet à 600 Bd il suffit de 2 500 s. Ces chiffres montrent que si la première solution est acceptable, elle est lourde et difficile à utiliser dans les conditions indiquées précédemment sans multiplier les organes récepteurs. L'emploi de vitesses de 600 Bd ou 1 200 Bd permettrait une exploitation plus souple. Enfin dans la liaison étudiée les informations toujours disponibles sont fournies par une mémoire capable de répondre rapidement aux ordres. Il est donc possible de réaliser des blocs de transmission de longueur quelconque puisque la mémoire d'enregistrement peut servir ici de mémoire tampon. Le choix du mode de transmission : rythmique ou arithmétique n'est pas imposé par la nature des informations.

Ainsi :

— une vitesse de transmission de 600 Bd ou 1 200 Bd est souhaitable.

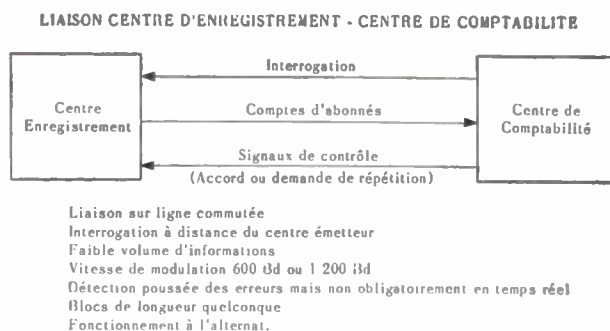
— les blocs de transmission peuvent avoir une longueur quelconque.

— la transmission peut être rythmique ou arithmétique.

Une très grande sécurité doit être obtenue pour cette transmission car une erreur peut être très coûteuse pour un abonné. La détection et la correction des erreurs peut cependant n'intervenir qu'après la transmission car il n'y a pas disparition de l'information émise. On peut admettre que la transmission est faite par blocs de longueur moyenne (quelques centaines d'éléments binaires) comportant des contrôles simples à mettre en œuvre (parités par exemple) permettant d'éliminer une grande partie des erreurs. Un signal de retour demande soit l'émission du bloc suivant soit une répétition. Un contrôle global est ajouté en fin de transmission pour éliminer les erreurs non détectées : par exemple une totalisation de tous les blocs transmis. Cette dernière vérification est effectuée

par la machine de traitement. On recommence l'ensemble de l'opération si le résultat n'est pas satisfaisant. Bien d'autres solutions sont imaginables mais on doit rechercher surtout une très grande sécurité en utilisant des moyens simples quitte à perdre du temps.

Donc on peut résumer les caractéristiques de la liaison dans le tableau ci-dessous :



5. — L'expérience réduite de Beauvais

Plusieurs équipements de taxation centralisée sont en cours de réalisation pour le compte de l'Administration des Télécommunications. Ils comportent des dispositifs de transmission qui tiennent compte des impératifs que l'on a essayé de dégager ci-dessus. Il est prématuré de les décrire ici.

On se contentera d'indiquer comment dans un cas particulier une solution simple a pu être apportée au problème de la liaison entre le centre d'enregistrement et le centre de comptabilité.

Pour les besoins expérimentaux, le C.N.E.T. a mis en service en 1961 un équipement de taxation

électronique pour 400 abonnés au centre téléphonique automatique de Beauvais (fig. 2). Les comptes d'abonnés sont enregistrés sur la surface d'un petit tambour magnétique. Une installation de relevé à distance sur une voie télégraphique a été définie et mise en service entre Beauvais et Issy-les-Moulineaux pour étudier l'ensemble de la chaîne jusqu'au niveau de la comptabilité. Cet équipement de transmission de données utilise, étant donné la faible quantité d'informations à transmettre, du matériel de transmission télégraphique classique. Il a la structure représentée à la figure 3.

Le code à transmettre est envoyé par l'organe d'enregistrement à l'entrée d'un transmetteur télégraphique électronique. La modulation reçue au centre de comptabilité est réémise sur la voie de retour de la ligne télégraphique. Le signal de start déclenche un transmetteur alimenté par un registre tampon dans lequel avait été mise en mémoire l'information transmise. Les signaux fournis par ce transmetteur sont comparés élément binaire par élément binaire à la modulation de retour. En cas de discordance un signal de faute permet de commander une nouvelle émission du caractère ou l'arrêt pur et simple de la transmission.

Le début de relevé est commandé à partir du centre de comptabilité. Un contrôle permet d'éliminer les déclenchements intempestifs sur des parasites. Un signal envoyé vers l'organe de mémoire permet de déclencher la transmission. Un tel équipement très simple de conception et de réalisation a permis d'obtenir une liaison très sûre entre le centre d'enregistrement et le centre de comptabilité. Son inconvénient principal est la vitesse réduite de transmission et par suite son inadaptation à des centres de groupement comportant plusieurs dizaines de milliers d'abonnés.

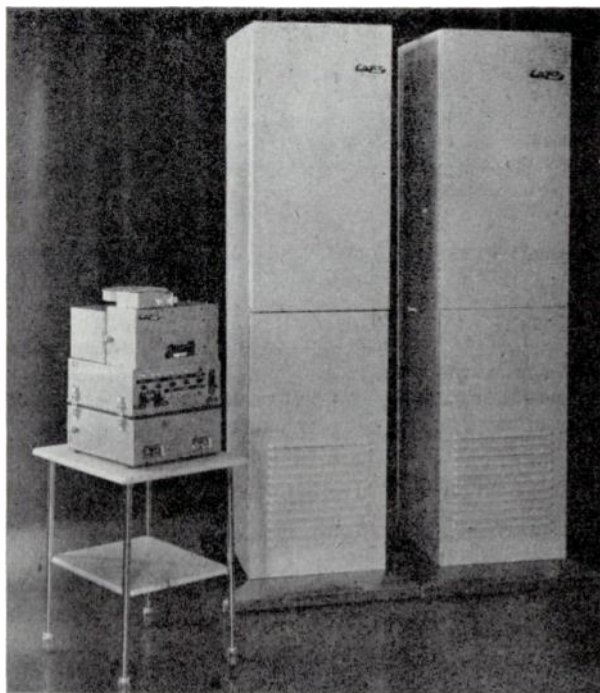
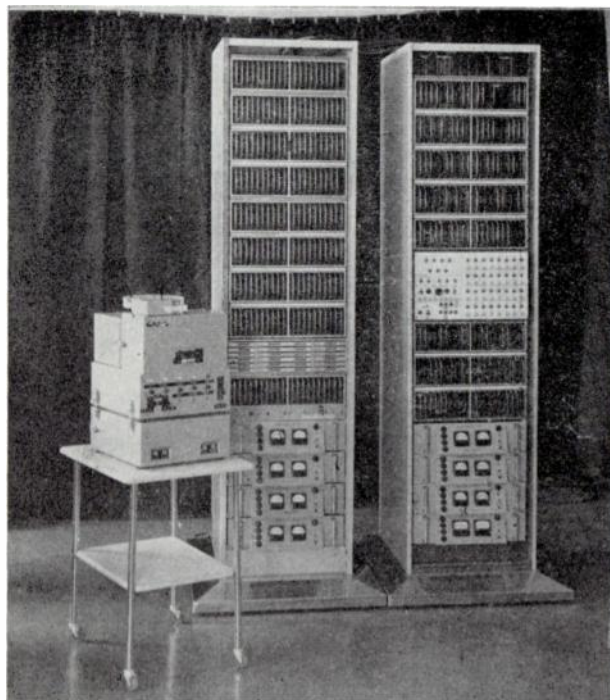


FIG. 2. — Ensemble de taxation électronique.

On distingue à droite, un bâti de mémoire à tambour magnétique (le tambour lui-même est situé derrière le pupitre de commande) à gauche, le bâti des circuits logiques de commande et un dispositif de transmission avec sa perforatrice de contrôle.

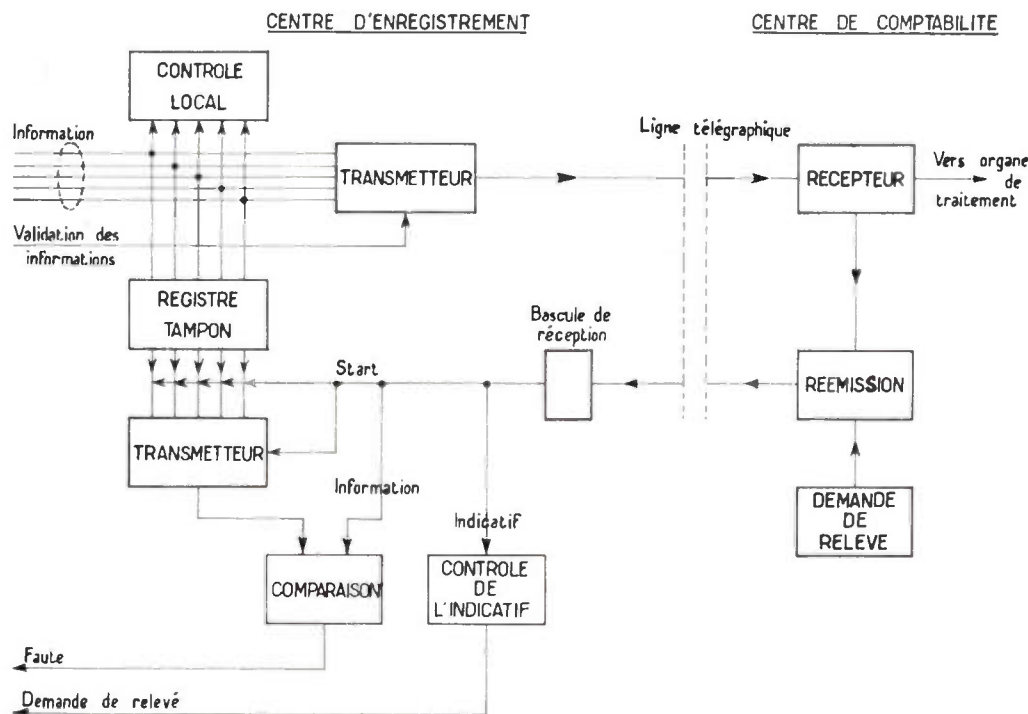


FIG. 3.

6. — Conclusion

Les principes d'organisation qui ont été mis en évidence plus haut en ce qui concerne l'automatisation de la taxation téléphonique seront appliqués dans un programme expérimental où il est prévu :

— au cours du second semestre 1963, la mise en service d'un ensemble d'enregistrement automatique des taxes imputables aux abonnés desservis par l'autocommutateur Crossbar du centre téléphonique de Vence. Cet ensemble recueillera les informations de taxation propres aux 1 000 abonnés de l'autocommutateur et les communiquera au centre de Nice par une transmission de données. Ce dernier centre sera doté ultérieurement d'un centre de calcul et d'enregistrement qui traitera les informations en provenance des autocommutateurs rattachés à Nice.

En attendant la mise en service du centre de calcul et d'enregistrement, les bandes perforées ou magnétiques débitées à Nice seront traitées par le laboratoire de calcul du département Recherches sur les Machines

Electroniques du C.N.E.T. qui traite déjà, entre autres, les informations en provenance des équipements expérimentaux de taxation automatique du centre de Beauvais.

— en 1965 la mise en service d'un ensemble d'enregistrement automatique des taxes imputables aux abonnés raccordés sur l'autocommutateur Crossbar du centre téléphonique automatique de Poissy et de son satellite desservant la localité de Triel.

Les informations de taxation propres aux 4 000 abonnés de Poissy et aux 2 000 abonnés de Triel seront ensuite communiquées par transmission de données à un centre de calcul et d'enregistrement monté dans les laboratoires du C.N.E.T.

On est ainsi en droit de penser que, dans l'avenir, les besoins de l'automatisation de la taxation et de la comptabilité téléphoniques conduisent à une très large utilisation des transmissions de données dans le réseau téléphonique général.

LA MÉCANOGRAPHIE PAR FIL

PAR

L. DURAND

Compagnie des Machines Bull

1. — La circulation des informations mécanographiques

Pendant longtemps, la Mécanographie ne fut que la mécanisation des opérations élémentaires de la comptabilité. Elle apporta des machines à calculer puis des machines comptables imprimantes, rendant chaque jour plus aisés et rapides les travaux de calcul et d'écriture qui en constituent l'essentiel.

La carte perforée introduisit une nouvelle philosophie et permit de faire des statistiques un sous-produit économique de la comptabilité. Comme chacun sait, les informations numériques ou alphabétiques sont enregistrées une fois pour toutes sur une carte dans un langage codé propre aux machines qui les exploitent. Cette carte peut ensuite servir de nombreuses fois, sans autre intervention que celle « d'opérateurs » qui les transfèrent d'une machine à l'autre, pour faire divers calculs à partir des mêmes données. L'Organigramme ou chaîne des opérations élémentaires nécessaires pour aboutir à un ou plusieurs documents comptables ou états statistiques dépend largement de la conception des matériels, son étude a parfois dérouté les utilisateurs pénétrés de la comptabilité manuelle.

Aujourd'hui, les calculateurs électroniques, au sens le plus large du terme, non seulement rendent les calculs bien plus rapides qu'avec les matériels électromécaniques, mais aussi effectuent les diverses opérations élémentaires sans intervention humaine intermédiaire. L'ensemble du travail est piloté par le Programme lui-même enregistré, soit sur un support codé consulté à mesure des besoins, soit même dans une mémoire interne à la machine. Nouveau progrès, nouveau bouleversement des habitudes.

Malgré tous ses progrès, l'Atelier Mécanographique, tout comme les plus modestes machines à calculer, est souvent resté un Outil aussi isolé de l'Entreprise que le Service de Comptabilité qu'il sert. En fait, ses contacts avec les autres Services se limitent à des

échanges de documents manuscrits ou dactylographiés. Cet atelier, capable de traiter de plus en plus vite des volumes d'information de plus en plus grands, s'aperçoit alors que cette puissance devient mal employée si la circulation des données qu'il absorbe et des résultats qu'il débite n'est pas améliorée.

La diffusion du résultat pose peu de problèmes car les machines ont appris, dès leur enfance, à s'exprimer dans le langage de ceux auxquels elles s'adressent ; elles produisent et des imprimés pour les hommes, et des supports codés à l'intention des autres machines.

L'introduction des données, par contre, est souvent pénible. L'Atelier de perforation, porte d'entrée du Service, devient une lourde charge et un dangereux goulot d'étranglement.

Depuis une dizaine d'années déjà, des moyens sont recherchés pour éviter ce recopiage fastidieux.

La réponse théorique est simple ; il faut mettre les données sur un support codé à la source. En pratique, le problème est difficile à résoudre efficacement car les conditions de naissance des données destinées à la Comptabilité sont extrêmement variées. Malgré cela, plusieurs procédés ont été mis en œuvre avec succès et continuent à se répandre.

Citons deux exemples parmi ceux-ci :

— le marquage des documents avec un crayon magnétique ; forme d'enregistrement manuel très rudimentaire, ces marques seront lues à l'entrée par une machine, afin que les informations soient converties en une forme plus standardisée ;

— la perforation de bande de papier associée au fonctionnement d'appareils, témoins obligés de la naissance de l'information (caisses enregistreuses, petites machines à calculer, appareils de mesure, etc.) ; cette bande, transportée au Centre, sera soit convertie, soit introduite directement dans le Calculateur.

Ces procédés, pour avantageux qu'ils soient sur les plans de l'économie, de la souplesse et de la sécurité,

n'améliorent guère le temps de propagation des informations à l'extérieur du Centre Mécanographique, ils sont toujours soumis au transport physique des documents codés. Il apparaît que la transmission électrique des informations mécanographiques vient combler à temps cette lacune.

2. — Les applications de la transmission des informations codées

1. ORGANISATIONS CLASSIQUES A TRAITEMENT GROUPE

Les Ateliers mécanographiques, les Centres de Calcul, qu'ils soient dotés de cartes perforées ou d'ensembles de traitement électroniques travaillent généralement selon un emploi du temps dicté par les besoins de l'Entreprise. La périodicité des travaux qui s'y superposent est très variable ; telle industrie peut faire son bilan annuel, des statistiques trimestrielles, sa facturation chaque mois, sa paye hebdomadaire et tenir ses stocks quotidiennement avec le même équipement. Cette périodicité autorise un groupage ordonné des données à introduire, préparation quasi indispensable jusqu'alors pour utiliser efficacement les matériels de traitement.

Les travaux administratifs (bilan, paye, etc.) ont une période assez longue et aucun bénéfice notable ne peut être tiré d'une diminution de cette période. Par voie de conséquence, les temps de circulation de l'information peuvent rester relativement grands et les transmissions de données, sauf cas particulier, ne s'imposent pas.

Il n'en est pas de même des travaux de gestion (contrôle de production, de stocks, de ventes, etc.) dans lesquels une prise de connaissance rapide de la situation permet une réaction non moins rapide et peut entraîner de fortes économies. Pour cette raison, beaucoup d'ateliers mécanographiques travaillent désormais selon un rythme quotidien. Vis-à-vis de cette période de 24 heures, des temps de transport des données du même ordre de grandeur sont souvent acceptables et l'organisation type suivante est communément utilisée :

- Naissance des informations durant le jour J
- Envoi groupé le soir du jour J
- Traitement le matin du jour J + 1
- D'autres travaux sont effectués sur le matériel de traitement durant l'après-midi.

Or, à l'intérieur de la plupart des pays d'Europe, une liaison postale ordinaire permet de suivre un tel planning, ce qui conduit à penser que :

Pour que dans une organisation classique, l'urgence de l'acheminement des données justifie à elle seule l'emploi de transmissions électriques, il faut que la période de travail du Centre Mécanographique soit inférieure à 24 heures.

Cette constatation limite, on s'en doute, le nombre des cas où l'on peut de façon rentable s'entendre, installer un réseau de transmission pour desservir un

Central de Calcul. Vue sous cet angle, la Transmission des Informations Codées apparaît comme un accessoire utile.

Il ne faut naturellement pas s'en tenir à ce jugement hâtif et l'on trouvera de nombreux cas particuliers où d'autres critères que l'urgence conduisent à l'emploi de ce procédé (disposition géographique, sécurité, réutilisation d'un réseau télégraphique ou téléphonique existant, etc.).

Pour illustrer cette catégorie d'application, nous présentons ci-après un exemple ; il s'agit d'une *Société de Ventes au détail possédant plusieurs entrepôts de marchandises et un grand nombre de points de vente* (fig. 1).

Une entreprise de cette nature a pour vocation de distribuer des marchandises aussi rapidement et économiquement que possible. Ceci conduit à rechercher :

- a) un acheminement rationnel des marchandises,
- b) une circulation et un traitement rapides des informations qui gèrent les mouvements de marchandises.

Pour obtenir un acheminement à la fois rapide et économique des marchandises, du lieu de production au magasin de vente au détail, il y a nécessairement lieu d'établir des magasins-tampons ou entrepôts, qui, recevant « en gros », assurent la distribution ou « semi gros », chacun pour une région déterminée. Ces entrepôts doivent converser avec leurs clients, les Magasins de Vente ; ils en reçoivent des commandes et leur adressent les factures correspondant aux marchandises réellement livrées.

Les entrepôts sont réapprovisionnés en fonction des prévisions établies statistiquement par un Service des Achats, généralement unique et rattaché à la Direction de la Société. Ces prévisions doivent être constamment corrigées par l'évolution des ventes. Il y aura donc également conversation quotidienne entre les Entrepôts et le Centre : les Entrepôts informant les Services Centraux des mouvements de leur stock, les Services Centraux annonçant les approvisionnements et ordonnant, le cas échéant, des transferts, d'un entrepôt à l'autre.

Ces échanges d'information sont schématisés sur la figure 1, ils sont relativement indépendants.

La transmission électrique des « Commandes » ne s'impose pas pour l'ensemble des Magasins. Toutefois, elle peut être avantageuse et commode pour les « gros » points de vente ainsi que pour ceux qui seraient postalement désavantagés. La transmission rapide d'une partie des commandes permet de plus d'étaler le travail de traitement, en autorisant leur prise en compte en deux groupes. De cette façon, le calculateur n'attend pas le dépouillement du courrier ni la conversion éventuelle de supports codés, pour commencer son travail ; une partie des instructions de livraison est prête avant la fin de la matinée.

La transmission électrique des « Comptes-Rendus » relatifs aux mouvements des stocks n'est pas non plus indispensable a priori. Les spécialistes s'accordent toutefois à dire que gagner près de 24 heures sur le rapport de vente peut entraîner des avantages considé-

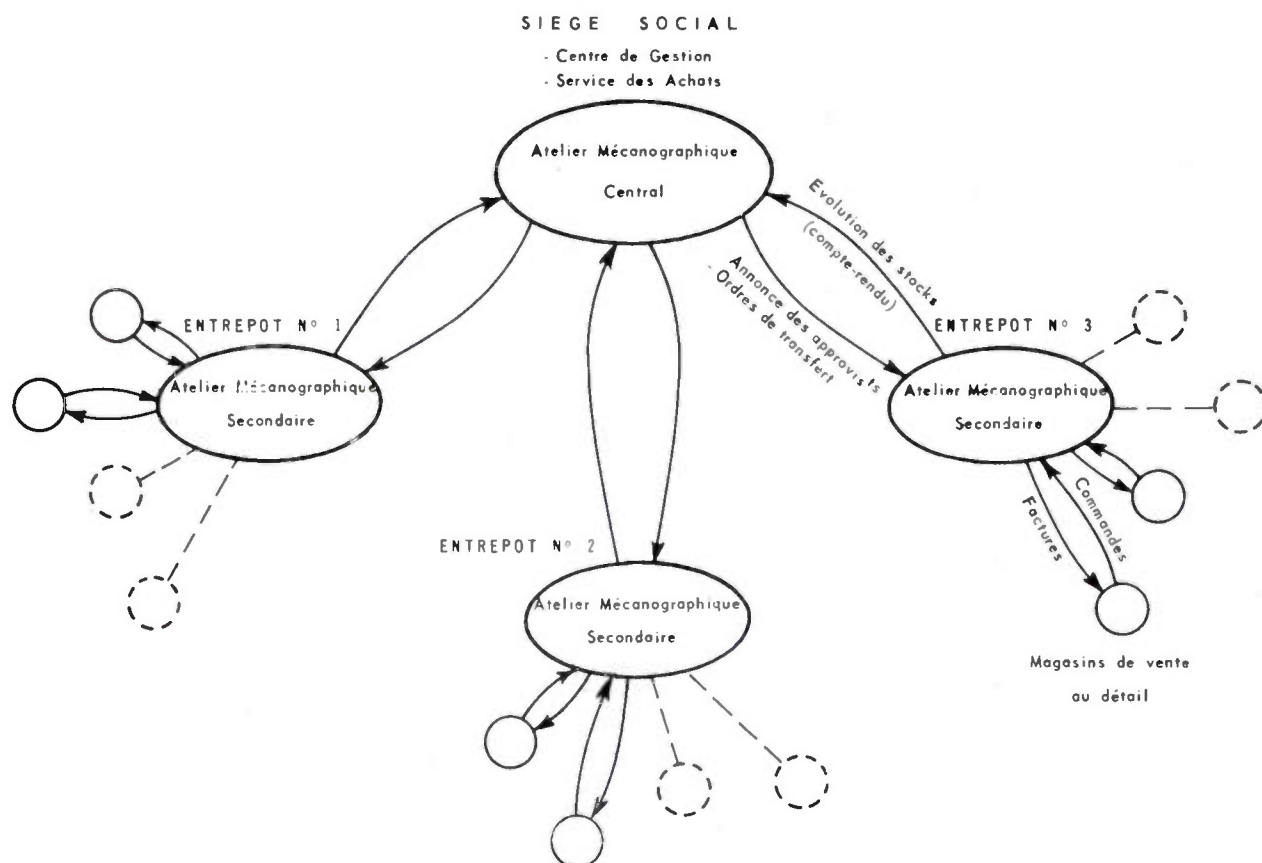


FIG. 1. — Schéma de la circulation des informations dans une Société de ventes au détail possédant plusieurs entrepôts et un grand nombre de points de ventes.

rables. Or, précisément, la transmission en fin de matinée permet de faire le point vers 14 heures, tandis que l'envoi par la poste ne permettrait pas de poser le rapport sur le bureau des Dirigeants de la Société avant 10 heures le lendemain matin...

2. — ORGANISATION A TRAITEMENT INDIVIDUEL ET INSTANTANÉ

Nous avons vu que les organisations les plus largement employées procèdent par « groupage ordonné » des informations à traiter. Une telle organisation permet notamment d'obtenir, simultanément au traitement, des résultats récapitulatifs et autorise la consultation séquentielle des gros fichiers (par exemple par lecture de cartes perforées ou de rubans magnétiques). Toutefois, ces avantages peuvent perdre de leur importance, en particulier si :

- il n'y a pas de fichier à consulter,
- les traitements demandés ont peu de rapports entre eux,
- l'obtention d'un résultat dans un temps très court prime toute autre considération.

Dans ce sens, un exemple est celui du Centre de Recherche qui met un puissant outil de calcul scientifique à la disposition de plusieurs laboratoires dans lesquels des mesures doivent être immédiatement interprétées pour orienter sans retard la suite des expériences. De telles installations, annoncées notamment

aux U.S.A., peuvent comporter des transmissions à distances. Malgré tout, des problèmes de ce genre apparaissent assez rares pour l'instant.

Beaucoup plus fréquents sont les problèmes où l'on cherche à mettre en Central, non seulement une force de traitement, mais aussi un gros fichier dont la mise à jour manuelle et dispersée est lente et difficile. La consultation rapide, la mise à jour simple (faite à mesure de la consultation ou groupée), l'unicité du fichier, sont toujours recherchées.

Avant l'apparition sur le marché de mémoires à la fois de très grande capacité et d'accès rapide (sinon aléatoire !), ces problèmes restaient sans solution. La mise en place des tambours et surtout des disques magnétiques, en attendant des mémoires statiques économiques, permettent aujourd'hui d'accéder à plusieurs centaines de millions de caractères en moins d'un dixième de seconde.

Pour mieux comprendre cette évolution, prenons un exemple, celui d'une organisation bien connue : une Banque (fig. 2).

Dans leur grande majorité, les Banques tiennent les comptes de leurs clients sur des fiches cartonnées maintenues en Agence. Quelques expériences ont eu lieu, surtout aux Etats-Unis, pour centraliser la tenue de comptes sur les rubans magnétiques de gros ensembles de traitement. La Centralisation, conjointement au développement de l'écriture magnétique a, entre autres, l'avantage de permettre l'imputation automatique

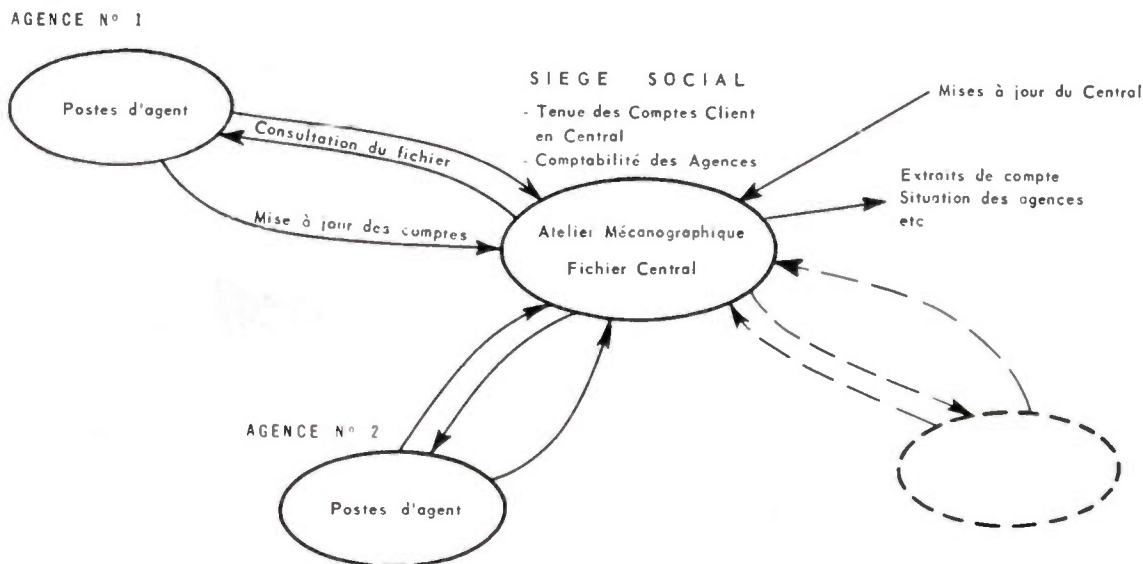


FIG. 2. — Schéma de la circulation des informations dans une Banque à fichier centralisé.

des chèques. Elle a malheureusement l'inconvénient de déposséder les Agences des renseignements « à jour » concernant leurs clients, puisque celles-ci ne peuvent recevoir des extraits imprimés qu'avec un certain retard.

Désormais, l'utilisation de disques magnétiques en Central, associée à l'installation en Agence de postes d'interrogation, reliés au Central par des lignes télégraphiques ou téléphoniques, permettra de bénéficier des avantages de la centralisation tout en conservant aux Agences leur rôle de « Service Personnel ». En effet, des postes d'interrogation donneront un accès quasi instantané au fichier magnétique qui pourra téléimprimer, ou visualiser, la position de tel compte, voire donner la liste détaillée des écritures enregistrées depuis la dernière édition d'un extrait de compte.

La figure 2 schématise la circulation des informations dans une organisation de ce genre. On y remarquera, outre les mouvements d'interrogation, ceux nécessaires à la mise à jour des comptes, en provenance du Centre et des Agences. Or, précisément, la mise en place d'un matériel de transmission, nécessaire au traitement immédiat des questions des agences, permet aussi la transmission groupée d'informations telles que :

— des écritures de caisses (de l'Agence vers le Centre),

— les chèques impayés et avis divers (du Centre vers l'Agence).

Nous aurions pu tout aussi bien décrire un système de réservation de places dans une compagnie de transport, ou la tenue des stocks dans une grosse industrie ; dans leur principe ces problèmes se ressemblent, on en retrouvera dans tous les domaines.

Par opposition au traitement séquentiel vu précédemment, nous sommes entrés ici dans le domaine du traitement instantané, dit souvent, par traduction de

l'expression d'outre-Atlantique, traitement en temps réel.

Dans les installations mécanographiques avec traitement instantané, les transmissions de données ne sont plus un accessoire, elles sont vraiment l'auxiliaire indispensable. Aussi, leur prévoyons-nous beaucoup d'avenir dans ce domaine.

3. — Détermination du réseau de transmission

Pour examiner les diverses possibilités qui s'offrent à l'organisateur d'une installation importante comportant des lignes de transmission, essayons de nous mettre à sa place.

1. CAS SIMPLES

Dans les cas simples la forme du réseau est dictée par la situation géographique naturelle des extrémités à desservir et l'emploi de liaisons point-à-point entre ces extrémités s'impose ; ces liaisons peuvent être spécialisées ou non, c'est-à-dire être établies en permanence ou utiliser le réseau général commuté. Il reste deux choix relativement simples à faire :

a) Choix de la vitesse de transmission qui doit d'une part satisfaire au débit d'information demandé $\text{débit} = \frac{\text{volume à transmettre}}{\text{temps disponible}}$, et d'autre part être compatible avec les matériels d'extrémité employés.

b) Choix des matériels d'extrémité adéquats. Si telle extrémité comporte du matériel de traitement, et s'il ne s'agit pas de traitement instantané, on devra déterminer de plus, compte-tenu des prix et du planning de l'Atelier mécanographique, s'il y a avantage à connecter directement (on-line) ou indirectement (off-line) la ligne au calculateur.

2. CAS COMPLEXES

Ces choix se retrouvent naturellement dans les cas les plus complexes. En fait, dès qu'une extrémité — disons en pratique un Centre — doit être mis en relation avec plus d'un autre point, le problème de la détermination du meilleur réseau se pose. Pour donner une idée de la multiplicité des solutions réalisables, nous avons schématisé sur la figure 3 six moyens de réunir deux points à un centre. De nombreuses variantes sont possibles en fonction de l'organisation des extrémités, nous précisons certaines relatives au cas des calculateurs. Sur cette figure, nous entendons par commutation tout point de regroupement sélectif où par conséquent, une seule ligne peut être desservie à la fois, et par concentration tout point de regroupement permettant l'usage simultané des branches de l'étoile.

On notera que :

1. Les regroupements ne sont pas obligatoirement au centre fonctionnel.
2. La commutation peut être « étoilée » ou « bouclée ».
3. Les matériels de regroupement peuvent être incorporés aux matériels d'extrémité (variantes).
4. La commutation par le réseau général n'est qu'un cas parmi six, et plus précisément :

Le réseau téléphonique général, tout comme le réseau Télex d'ailleurs, n'offre que des moyens de commutation. De plus, la dite commutation est relativement lente (10 secondes environ). Elle ne conviendra que pour établir des communications longues (plusieurs minutes) soit parce que le message à trans-

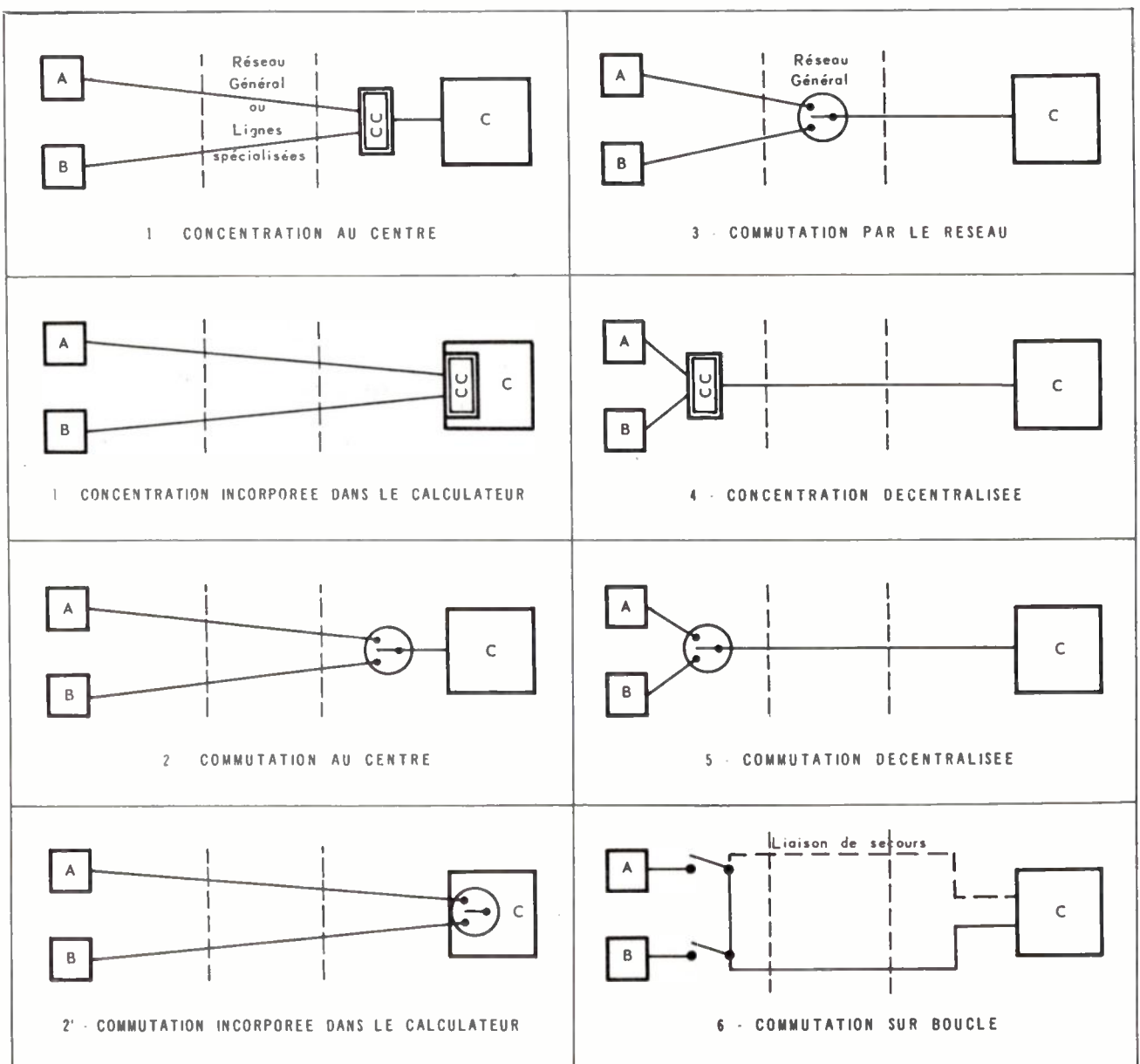


FIG. 3. — Diverses façons de relier 2 points à 1 centre calculateur.

mettre est effectivement long, soit parce qu'il s'agit d'un appel préalable.

En effet, si on a recours à une commutation électronique privée pour sélectionner rapidement les communications à un instant donné, à mesure de la disponibilité du calculateur par exemple, il n'est pas exclu d'établir la liaison au préalable par numérotage manuel ou automatique.

— Emploi de la commutation

Le choix entre la concentration et la commutation est conditionné par le taux d'utilisation des lignes et le délai d'attente admis. Chaque fois que cela sera possible la commutation sera préférée car elle est plus économique.

Le taux d'utilisation de la ligne dépend lui-même du taux d'utilisation du poste et du taux d'occupation de la ligne par le poste. En définitive, il est fréquent qu'un appareil d'interrogation, ou simplement d'enregistrement, même utilisé à plein temps par le personnel, n'occupe effectivement la ligne qu'une faible fraction du temps. Cela permet naturellement de faire partager une même entrée en calculateur (cas de la commutation centralisée) ou une même ligne (cas de la commutation décentralisée) à plusieurs postes.

Le nombre de postes ainsi groupés sur une même ligne sera bien sûr d'autant plus grand que le débit de ce poste sera élevé et le temps perdu pour la commutation sera réduit.

— Emploi de la concentration

Chaque fois que la commutation s'avèrera insuffisante il y aura lieu d'utiliser la concentration, seule ou en combinaison avec la commutation.

Celle-ci est plus coûteuse car elle suppose (voir fig. 4) une mémorisation des messages avant réexpédition ou utilisation. La sortie commune à n lignes s'effectue à une cadence plus élevée.

On a vu que cette concentration pouvait être placée :

1. en décentralisé
2. en centralisé
3. en centralisé, incorporée au calculateur.

Le prix du matériel nécessaire décroît avec la centralisation ; en effet, dans le cas 2, la cohabitation de plusieurs concentrateurs permet des mises en commun non négligeables et, dans le cas 3, la mémorisation « tampon » se fait à moindre frais dans la mémoire centrale du calculateur.

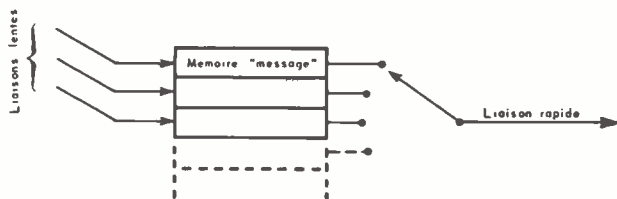


FIG. 4. — Schéma de principe de la concentration d'information.

Cette économie en matériel sera contre-balancée par les frais supplémentaires occasionnés par la location de n lignes au lieu d'une pour un groupe donné de postes. Toutefois, il est à remarquer que ces lignes sont des voies à faible débit. En définitive, le bilan sera favorable à l'une ou l'autre solution selon que les distances sont courtes ou considérables, les postes dispersés ou non, etc.

Supposant que le débit des informations ne prohibe pas la solution 1 (concentration décentralisée), que le coût ne soit pas non plus nettement déterminant, il y a lieu de considérer deux critères qui peuvent être d'une grande importance dans certaines installations et qui sont favorables à la centralisation.

Ce sont : la fiabilité et la souplesse de l'organisation.

En effet, la fiabilité d'un système, toutes choses égales par ailleurs, est plus grande lorsque la majeure partie des éléments délicats sont groupés en un point où l'entretien sera efficace et le dépannage quasi immédiat par substitution d'éléments de secours.

D'autre part, dans le cas 3, où la concentration est assurée par le calculateur, la composition des messages, leur adressage, les règles de priorité, etc. en bref toutes les caractéristiques fonctionnelles de la concentration sont programmables, ce qui donne une très grande souplesse d'adaptation à l'installation.

Ces quelques indications ne constituent pas, il s'en faut, une étude complète du problème, mais donnent, espérons le, un aperçu sur les questions qui se posent et sur la façon de les aborder ; pour terminer, nous donnons deux exemples de réseaux plus complexes, extraits de nos dossiers d'études d'application (fig. 5 et 6).

4. — Le problème élémentaire : la transmission point-à-point

Ayant pris conscience des besoins de la mécano-graphie, ayant examiné dans leurs grandes lignes les organisations possibles, il reste le problème de base : Comment utiliser chaque brin de ce capital précieux que constituent les réseaux nationaux de télécommunications, bref, comment réaliser une liaison point-à-point ?

Bien que nous n'ayons pas quantifié nos besoins dans les précédents paragraphes, il va de soi que des volumes très divers sont à transmettre, que des matériels d'extrémités fonctionnant à des vitesses très différentes sont à connecter, donc qu'une gamme de vitesse de transmission fort étalée soit souhaitée.

Pour répondre à cette première question, les réseaux nationaux nous offrent :

1. des lignes télégraphiques à 50 (ou 75) bauds (1),
2. des lignes téléphoniques limitées théoriquement à 3 000 bauds,
3. des groupes de lignes (groupes de paires téléphoniques, câbles co-axiaux, faisceaux hertziens) à plusieurs dizaines de kHz de bande passante.

(1) Le baud est l'unité de vitesse télégraphique ; en vitesse instantanée, 1 baud équivaut à 1 élément binaire par seconde.

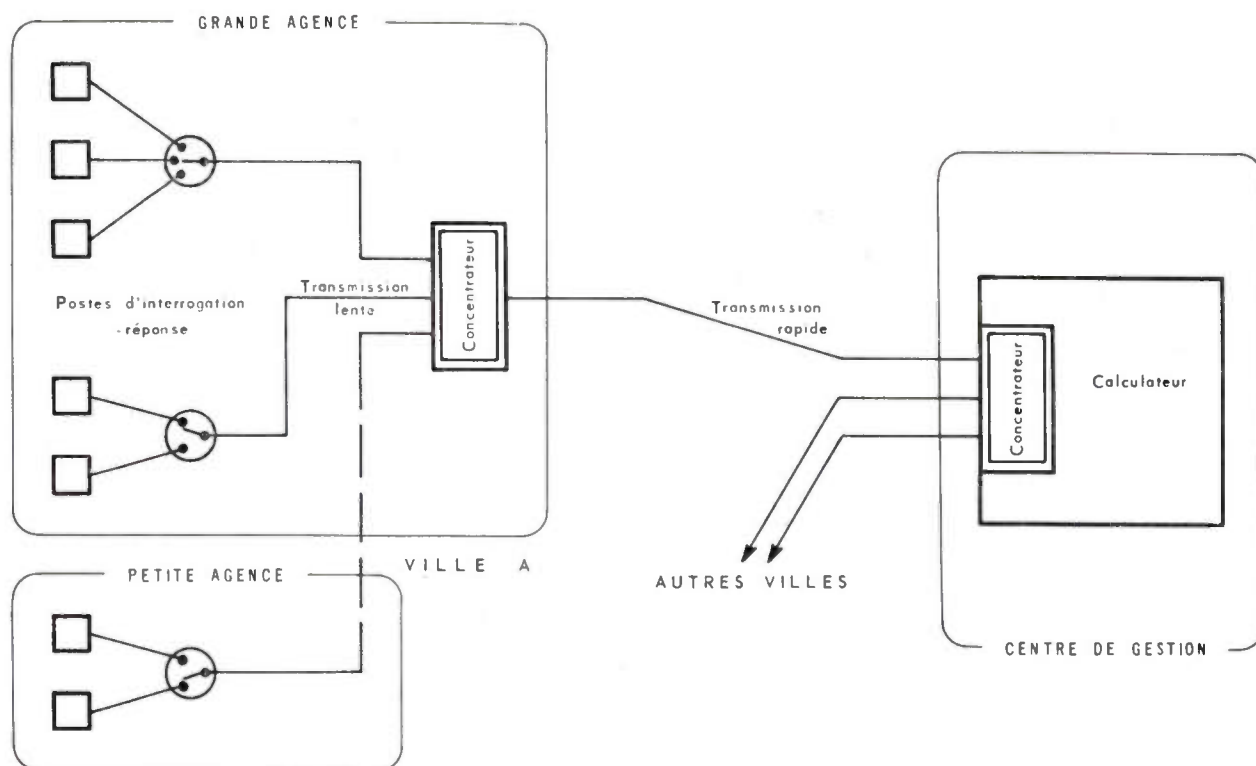


FIG. 5. — Exemple de réseau avec 2 étages de concentration et 1 étage de commutation entre des postes d'interrogation-réponse et un ordinateur.

Toutes les liaisons sont utilisables dans les deux sens (demi-duplex).

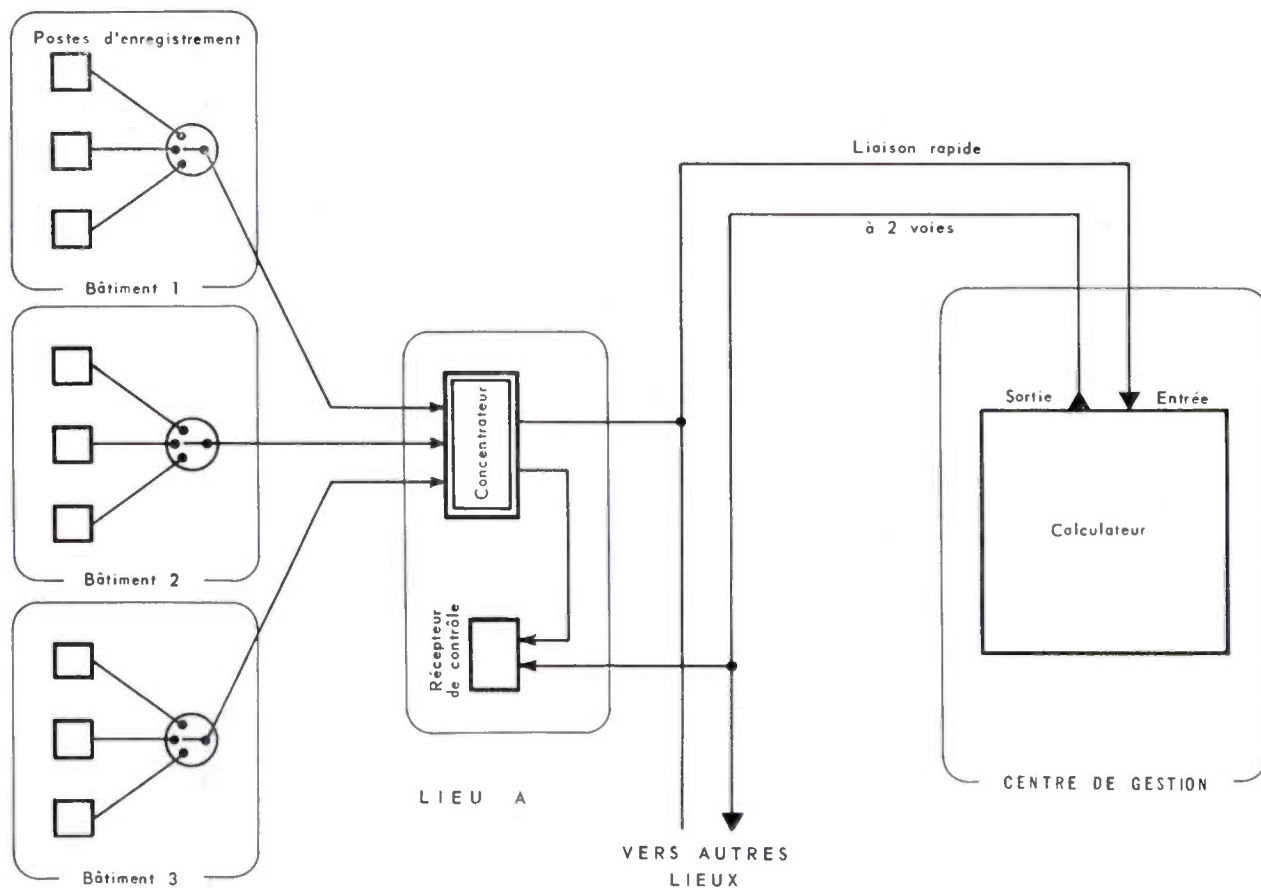


FIG. 6. — Exemple de réseau avec concentration décentralisée et concentration sur boucle entre des postes d'enregistrement et un ordinateur. Liaison en retour dissymétrique, sur voie séparée.

Ces trois types de liaison sont intéressants et font l'objet d'études, toutefois nous parlerons surtout dans le cadre de cet article du deuxième type (paire téléphonique banale) qui est d'ailleurs particulièrement à l'ordre du jour.

Tout le monde connaît le téléphone et les services qu'il rend à l'homme, rappelons néanmoins qu'il permet :

- d'appeler son correspondant quand bon nous semble,
- de s'exprimer dans la langue qui nous plaît,
- de parler à la rapidité de notre choix,
- d'employer le ton qui nous convient.

Le combiné téléphonique est un appareil très perméable, très docile et qui, dans une bande de fréquences déterminée (300 à 3 400 hertz), transmet fidèlement tout ce qu'on lui injecte.

Cette transparence du réseau téléphonique souffre de quelques imperfections sur lesquelles nous reviendrons, mais est malgré tout un trait dominant, un atout qu'il faut protéger et mettre au service de tous les industriels désireux de transmettre sur ses lignes autre chose que la « voix humaine », car tout compte fait, la mécanographie n'est qu'un utilisateur parmi de nombreux autres possibles de la transmission automatique de l'Information.

Les Grandes Compagnies des Etats-Unis ont bien compris cette nouvelle vocation des lignes téléphoniques et ont mis sur le marché des appareils dit « Modem » — contraction de « Modulateur-Démodulateur » — qui, philosophiquement, ne sont autres que des « combinés téléphoniques » pour machine.

Cette politique est suivie en Europe par la majorité des Administrations nationales. En Grande-Bretagne et en Suède notamment, elles ont annoncé leur intention de louer des Modems ; d'autres pays s'apprentent à en faire autant et nous exprimons le vœu que cette attitude se généralise. Bien sûr, une certaine normalisation des caractéristiques doit intervenir pour qu'une communication initiée à Paris sur un Modem français

puisse être reçue à Stockholm sur un Modem suédois ; notre voix prononcée devant le microphone d'un « U 43 » n'est-elle pas audible dans le récepteur des Suédois ? Rassurons-nous, le C.C.I.T.T. s'y emploie. Mais ce n'est pas suffisant, étant donné la grande diffusion internationale des produits industriels et en particulier la vente dans tous les pays des matériels de traitement de l'information ; il est hautement souhaitable que telle machine soit physiquement connectable aux « Modem » des différents pays. Là encore, le C.C.I.T.T. a un grand rôle à jouer pour favoriser l'essor des techniques modernes tout en respectant les susceptibilités nationales des Administrations.

En fait, comme son nom d'indique, le Modem est essentiellement un modulateur. Les signaux carrés ou informations binaires des machines modulent ou déplacent des fréquences porteuses choisies dans la bande passante du réseau. Il n'y a donc plus liberté de « ton » et une normalisation sur le choix des fréquences et le type de modulation doit intervenir.

Mise à part cette contrainte sur la quantité et la qualité des voies utilisables, le Modem respecte donc les avantages du poste téléphonique énumérés ci-dessus et notamment conserve toute souplesse quant à :

- la rapidité d'émission, entre certaines limites,
- le codage de l'information et la constitution des messages.

Pour ce qui est de l'appel du correspondant, rien de changé ; seulement, lorsque cela s'avère nécessaire, la numérotation manuelle pourra être remplacée par une numérotation automatique.

Le rôle du Modem étant ainsi défini, on peut schématiser une transmission d'information point-à-point comme suit (fig. 7).

A chaque extrémité, entre le réseau et la machine d'extrémité, apparaissent trois jonctions hiérarchisées :

- *Jonction 1* : La plus générale pour le raccordement du Modem au réseau, est traversée par les courants de ligne.

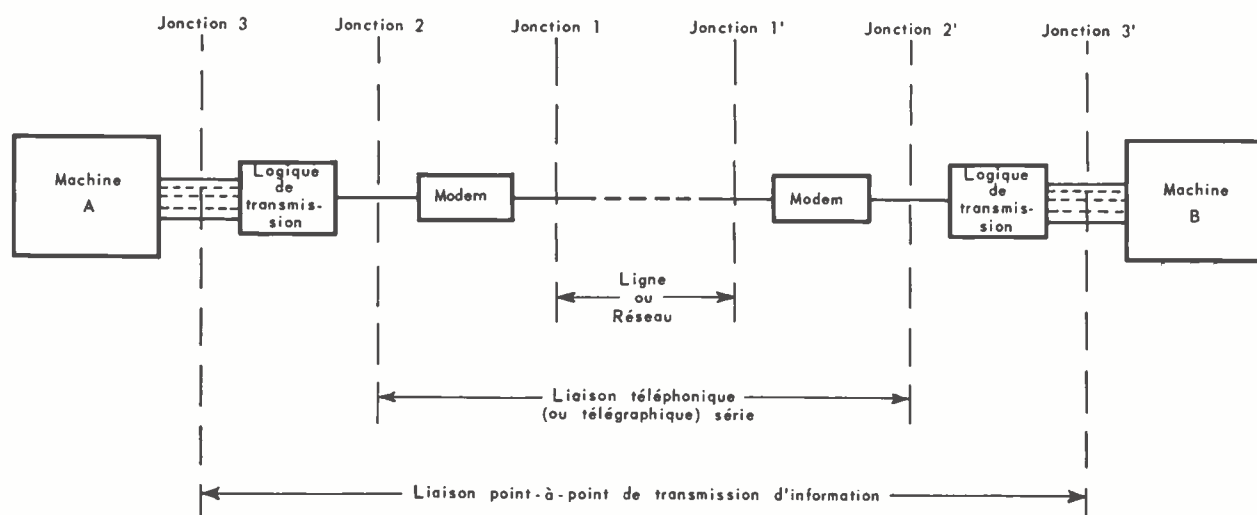


FIG. 7. — Schéma de principe d'une liaison point-à-point.

— *Jonction 2* : Entre le Modem et la logique de transmission, est traversée par les signaux binaires en série.

— *Jonction 3* : La plus particulière, adaptée au mode d'expression de la machine d'extrémité, est traversée par des caractères ou des mots.

Le système est tel que les jonctions de même indice peuvent être raccordées directement deux à deux et en particulier la jonction 3 doit permettre de connecter directement, en local, la machine A à la machine B. Cette remarque permet de placer sans équivoque les fonctions à réaliser de part et d'autre de la jonction.

C'est ainsi que, par exemple :

— le choix du code et les conversions, si elles s'avèrent nécessaires, sont du ressort des machines A ou B, tandis que,

— l'introduction de contrôles supplémentaires pour faire face aux défaillances des lignes est à la charge de la logique de transmission.

La logique de transmission se trouve ainsi définie « en barre » par ce qui n'est placé ni dans la machine, ni dans le Modem. Mais cette logique n'est pas aussi généralisable que le Modem et il appartient aux constructeurs des machines d'extrémité de définir, par catégorie de matériel, ce qui leur convient le mieux. En voici une raison parmi d'autres.

L'unité d'expression des machines est variable. Si cette unité est le caractère, il peut être défini par 5, 6, 7 ou 8 éléments binaires, 5 à 8 fils traverseront la jonction 3 et la logique de transmission effectuera la transformation du caractère exprimé en parallèle en une série d'éléments binaires devenus moments de transmission.

Si cette Unité d'expression est le Mot, notamment en Télémessure, un nombre plus grand (et variable d'une installation à l'autre) de fils apparaîtra à la jonction 3.

A titre d'illustration, dans le cas fort répandu d'une liaison arithmétique, la logique de transmission d'une station émettrice pourra :

- faire la transformation parallèle-série des caractères,
- introduire une certaine redondance à l'information en vue de son contrôle à la réception,
- introduire les éléments de début et de fin nécessaires à la mise en phase des récepteurs,
- définir la vitesse de transmission,
- acheminer les asservissements,
- interpréter les demandes de répétition,
- initier et terminer la communication.

5. — Rendement d'une liaison à distance

Sans vouloir aborder, dans cet exposé, les nombreux aspects techniques du problème (aspects que l'on verra développés dans d'autres articles), essayons de dégager les facteurs qui freinent l'écoulement des informations dans une liaison point-à-point.

Nous appellerons rendement d'une liaison, le débit moyen de cette liaison rapporté au débit de la connexion locale équivalente, obtenue en supprimant le système de transmission.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{débit de la liaison à distance}}{\text{débit de la connexion locale équivalente}}$$

Une perte de débit peut intervenir aux trois niveaux d'organes décrits :

a) au niveau de la ligne, modem inclus, en raison :

— des vitesses maximales imposées,

b) au niveau de la logique de transmission, en raison :

— des asservissements nécessaires,
— des défauts de transmission,

c) au niveau du système tout entier, en raison :

— des temps d'adressage et de mise en communication.

a. DÉBIT EN LIGNE OU VITESSE DE TRANSMISSION

La Vitesse de transmission sera choisie de préférence parmi les vitesses recommandées par le C.C.I.T.T. :

200, 600, 1 200, 1 800, 2 400 et 3 000 bauds.

Selon toute probabilité, les vitesses de 200, 600 et 1 200 bauds seront utilisables sur les réseaux auto-commutés, tandis que les vitesses supérieures, notamment le 2 400 bauds, seront réservées aux lignes spécialisées.

Si la vitesse de transmission adoptée est supérieure au débit des matériels connectés, il peut n'y avoir aucune perte de rendement. Dans le cas contraire, il y a une certaine désadaptation qui peut être aggravée par le caractère cyclique de certains matériels.

Pour effectuer cette comparaison des vitesses, il est souvent plus commode de s'exprimer en « caractères par seconde », mais encore faut-il préciser la longueur des caractères.

Cette longueur dépend du « Code » employé et varie en pratique de 5 à 8 éléments binaires.

b. ASSERVISSEMENT ET DÉFAUTS DE TRANSMISSION. INCIDENCE DU TEMPS DE PROPAGATION

Quel que soit le type d'asservissement utilisé, il y a lieu d'encadrer l'information utile, de signaux de début et de fin qui entraînent une certaine perte de temps. Dans les systèmes les plus rudimentaires, cet encadrement s'effectue à l'échelon du caractère ; c'est ainsi que pour le Telex chaque caractère se décompose en :

— Start (1 élément), information (5 éléments), Stop (1,5 éléments), soit au total 7,5 éléments transmis pour 5 éléments utiles.

A la vitesse de 50 bauds, on peut ainsi transmettre $\frac{50}{7,5} = 6,66$ car/s. Il en est de même pour certains

systèmes téléphoniques. Par exemple le Tradan (2), système à 200 bauds, fonctionne avec 1 moment de Start et 2 moments de Stop pour 8 moments utiles, soit 11 moments par caractère. La vitesse maximale apparaît donc de $\frac{200}{11} = 18 \text{ car/s}$

L'encadrement, dit Start-Stop, peut s'effectuer à l'échelon du bloc, c'est-à-dire d'une suite de caractères plus ou moins longue, à condition que le synchronisme entre l'émetteur et le récepteur soit maintenu entre temps d'une façon ou d'une autre. Le rendement en est grandement amélioré ; il est possible d'utiliser un caractère « Start » et un caractère « Stop » pour des blocs de plusieurs centaines de caractère.

En outre, il est reconnu inévitable que le réseau introduise des mutilations passagères des signaux transmis. Les raisons sont nombreuses et de caractère généralement imprévisible. Au niveau de la logique de réception, ces défauts de transmission ne peuvent se traduire que par des manques d'information ou des inversions de valeur binaire. Il importe de se protéger efficacement contre les erreurs d'interprétation qui peuvent en résulter. Pour ce faire, diverses méthodes sont préconisées. Citons en trois :

1. Retour systématique (feedback) des informations vers l'émetteur qui compare à ce qu'il a transmis et répète en cas d'erreur.

2. Adjonction au message d'informations de contrôle permettant au récepteur de détecter les anomalies et de demander la répétition en cas d'erreur.

3. Enrichissement de l'expression du message permettant au récepteur de corriger les erreurs.

Les éléments ajoutés, ou redondance, dans les méthodes 2 et 3, entraînent une perte systématique de rendement. La redondance doit être grande pour obtenir une correction automatique efficace (3), aussi la répétition en cas d'erreur (2) a-t-elle la préférence de la plupart des constructeurs.

La première méthode n'entraîne aucune perte de temps autre que la répétition elle-même, mais elle a l'inconvénient de nécessiter une voie de retour de qualité identique à la voie d'aller.

Dans tous les systèmes, il y a « retour » d'information ou de signaux de service. Même si l'on dispose d'une voie de retour distincte de la voie d'aller, autorisant ainsi l'acheminement simultané dans les deux sens, les réactions du récepteur (signalisation d'incidents, demandes de répétition, bon-à-suivre, etc.) ne parviendront à l'émetteur qu'avec un certain retard dû au temps de propagation. Ces temps de propagation ne sont pas négligeables vis-à-vis des vitesses de transmission. S'ils sont couramment de quelques millisecondes à quelques dizaines, ils peuvent atteindre plusieurs centaines sur les circuits internationaux. Or, à 1 200 bauds, on peut transmettre 200 caractères de 6 bits par seconde, ce qui signifie qu'avec un temps de propagation de 50 ms, l'émetteur aura envoyé au moins

20 caractères avant de pouvoir savoir si le premier a été bien reçu !

Ceci conduit naturellement à travailler par « blocs » d'informations plus grands que le caractère. L'expérience et le calcul prouvent que la répétition doit porter sur des blocs de plusieurs centaines de caractères pour obtenir un rendement optimal. Si entre blocs l'on n'attend pas le « bon-à-suivre » du récepteur (perte de temps égale à deux fois le temps de propagation) il faudra, en cas d'erreur, répéter deux blocs.

C. ADRESSAGE ET MISE EN COMMUNICATION

Nous ne mentionnons que pour mémoire ces facteurs de perte de temps de nature à diminuer le débit moyen de la liaison. Leur incidence est évidente et ils n'interviennent, en fait, que dans les réseaux complexes.

Il nous faut tirer de cet examen deux conclusions :

— la première est que le choix d'une logique de transmission adaptée au matériel d'extrémité est essentiel à l'obtention de bons résultats, ce qui explique que les Constructeurs de Matériel de Traitement de l'Information se penchent sur ce problème ;

— la seconde est que, même avec une logique bien étudiée, la liaison à distance impose des contraintes qui se traduisent pour l'utilisateur par une perte de débit notable. Les rendements pratiques se situent entre 50 % et 90 %.

6. — Conclusion : Un mariage heureux

Ces considérations générales sur les transmissions d'informations codées au moyen de réseaux de télécommunications avaient, au fond, deux modestes buts :

1. Dire le grand intérêt pour la mécanographie de demain à disposer de moyens de transmission à distance de l'information.

2. Constater avec quel bonheur la mécanographie trouve tout faits des réseaux de télécommunications, somme toutes fort convenables à ses besoins.

La mécanographie, science jeune et à développement rapide, n'a pas hésité en maintes circonstances à développer les outils nécessaires. Que ce soit dans le domaine de la Mécanique ou dans celui de l'Electronique, des recherches fondamentales et des études d'application des techniques disponibles ont conduit à la création de pièces détachées, de montages, de machines et finalement à la réalisation de systèmes qui lui sont propres.

Face au problème des télécommunications, force nous est de reconnaître que des spécialistes expérimentés sont à la tâche depuis fort longtemps et qu'ils ont mis en place des réseaux qui, même s'ils nous paraissent parfois a priori défectueux ou mal adaptés, n'en constituent pas moins un capital considérable d'une homogénéité remarquable à l'échelle mondiale.

Ce n'est certes pas la première fois que les lignes de téléphonie trouvent un usage différent de celui pour

(2) Etudié par la Sté L.T.T. et commercialisé en France par la Sté Friden et par la Cie des Machines Bull.

lequel elles ont été mises en place ; ce ne sera pas non plus la dernière fois que des machines se substitueront à l'homme en face du téléphone. Toutefois, le mariage auquel nous assistons revêt, pensons-nous, une importance particulièrement grande et sans être accusé de fiction, nous pouvons prédire que les conversations entre machines éloignées se développeront à un rythme tel qu'elles égaleront et dépasseront en nombre les conversations à distance entre hommes.

Les Fabricants de Matériels à traiter l'Information

ont saisi tout l'intérêt que présente pour eux l'utilisation des réseaux existants.

Les promoteurs et possesseurs de ces réseaux ne restent pas, quant à eux, insensibles à l'attrait de cette nouvelle clientèle.

Rendons hommage, pour conclure, à l'esprit de coopération qui règne de part et d'autre et qui permettra que le mariage Mécanographie-Télécommunications soit un mariage heureux.

LE CALCULATEUR CITAC RÉSOUD LES PROBLÈMES A DISTANCE

PAR

P. BODEZ, A. AMEAU, P. BIZET
Compagnie Industrielle des Téléphones

1. — Introduction

1.1. BUTS A ATTEINDRE — INTÉRÊT DU PROBLÈME

Les calculateurs numériques modernes sont généralement capables de traiter simultanément ou successivement un grand nombre de problèmes différents dont les données leur sont fournies par un certain nombre d'équipements périphériques qui leur sont associés. Certains de ces équipements transmettent leurs informations au calculateur à une cadence comparable à celle avec laquelle est effectuée le calcul lui-même. Tel est le cas par exemple d'un enregistreur à bande magnétique. D'autres au contraire transmettent ces informations à une cadence plus lente, tel est le cas par exemple d'un lecteur ou d'un perforateur de ruban perforé ou encore le cas d'une machine à écrire automatique à perforations marginales. Pour les équipements de ce type la vitesse de transmission se rapproche de celles que l'on peut envisager sur un circuit téléphonique.

On envisage de plus en plus, d'autre part, d'utiliser un calculateur important pour traiter, comme peut le faire un bureau de calcul, des problèmes dont les données doivent lui être envoyées de centres plus ou moins éloignés. Ces données peuvent être envoyées par des moyens très divers et plus ou moins automatiques allant du simple document transmis par la poste au système de transmission de données le plus perfectionné. La transmission de ces documents se fait souvent uniquement dans le sens des équipements périphériques vers le calculateur, mais il existe des cas assez nombreux où celui-ci, après avoir effectué les calculs demandés, doit fournir une réponse au bureau extérieur qui lui a posé le problème.

En réunissant ces divers facteurs, il a paru intéressant d'envisager l'étude et la réalisation d'un système complet permettant, sans l'intervention d'opérateur, la transmission, à partir d'un bureau éloigné, d'une part vers le centre de calcul de toutes les données permettant de traiter un problème déterminé, d'autre part en retour, de la réponse à ce problème. Ce couplage direct d'un moyen automatique de transmission de données à un calculateur a été rarement réalisé,

parce qu'il nécessite des systèmes d'entrée en mémoire avec appels prioritaires qui ne sont pas toujours compatibles avec les entrées existant dans un calculateur donné. Comme on va le voir, le CITAC 210 B possède des caractéristiques le rendant particulièrement apte à la réalisation de ce couplage.

1.2. LE CALCULATEUR CITAC 210 B

Des articles récents ayant décrit assez complètement ce calculateur dans ses diverses utilisations, [1], [2] et [3], seules les caractéristiques les plus intéressantes pour la commande à distance seront rappelées ici.

Le calculateur CITAC 210 B (fig. 1), aussi bien dans ses échanges d'information avec les équipements périphériques que dans son traitement interne, manipule des caractères de 7 signes binaires dont un de parité impaire, les 7 signes étant transmis ou traités en parallèle. Dans son fonctionnement interne et dans ses échanges avec certains équipements périphériques, l'unité d'information est constituée par 3 tels caractères, ces 3 caractères étant traités en série.

Les équipements périphériques d'entrée peuvent être groupés en deux types : d'une part les lecteurs de bande, pour lesquels la transmission est faite caractère par caractère, chacun d'eux étant appelé par le calculateur ; d'autre part les commutateurs codeurs ou le clavier (fig. 2) qui ont une entrée prioritaire. Lorsque ces équipements ont un message à transmettre au CITAC, ils l'appellent sur une voie indépendante des voies d'information et le CITAC arrête le travail en cours et commande la transmission du message par groupe de 3 caractères. Dans le cas du clavier le message comprend obligatoirement 2 mots de 3 caractères.

Les équipements périphériques de sortie sont aussi de deux types pouvant être réunis à deux groupes de sorties différentes. D'une part 4 sorties sont destinées à transmettre des informations suivant un rythme rapide et peuvent être réunies par exemple aux décodeurs du type DC 100 ; d'autre part, 8 sorties sont destinées à être reliées à des équipements alphanu-

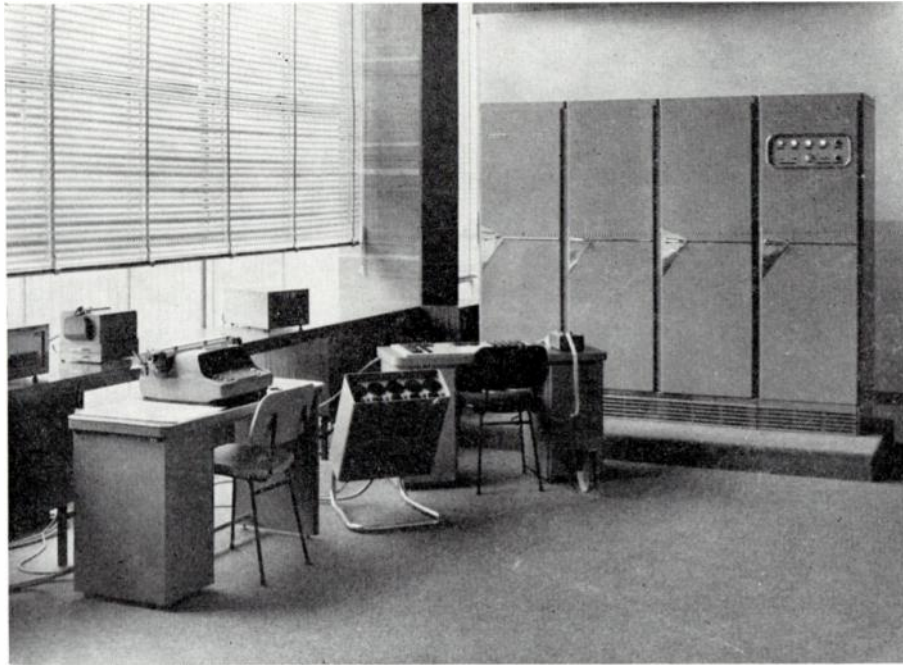


FIG. 1. — Calculateur CITAC 210 B.

mériques, tel que le perforateur de bande PR 50 ou la machine imprimante ER 50.

Il n'a pas paru intéressant pour les transmissions à distance de retenir les sorties pour les informations de rythme rapide. Par contre la transmission des informations en provenance du clavier a été assurée, malgré la complication qui en est résultée pour l'ensemble des équipements, grâce à la souplesse obtenue par ce procédé. En effet, le clavier avec son appel prioritaire a été spécialement conçu pour effectuer des télécommandes simples du CITAC. Par ailleurs la transmission peut être assurée dans les deux sens avec tous les équipements périphériques travaillant en rythme lent.

2. — Choix d'une solution

2.1. CONDITIONS IMPOSÉES A PRIORI

Pour permettre la détermination des caractéristiques optimales de la liaison, les hypothèses préalables et les idées directrices suivantes ont été retenues :

- Utilisation d'une seule ligne téléphonique normalisée.
- Sécurité assurée par répétition des messages erronés.
- Transmission des caractères suivant un type série, c'est-à-dire transmission dans laquelle les différents moments binaires constituant un caractère sont émis successivement.
- Equipement aussi simple que possible tout en assurant une transmission sûre.
- Raccordement au CITAC du côté du bureau de calcul, aux équipements périphériques de l'autre côté, sans introduire aucune modification, c'est-à-dire en utilisant ou en leur fournissant les signaux sous la forme dans laquelle ils sont normalisés dans le CITAC.

Les liaisons avec ces différents ensembles sont ainsi réalisées par les câbles standards constitués par 9 coaxiaux. Sept de ces fils transmettent les informations sous la forme d'impulsions négatives de durée environ égale à $2,5 \mu s$; les 2 autres fils transmettent des signaux de service, un dans chaque sens, constitués soit par des impulsions identiques à celles des informations, soit par un état permanent.

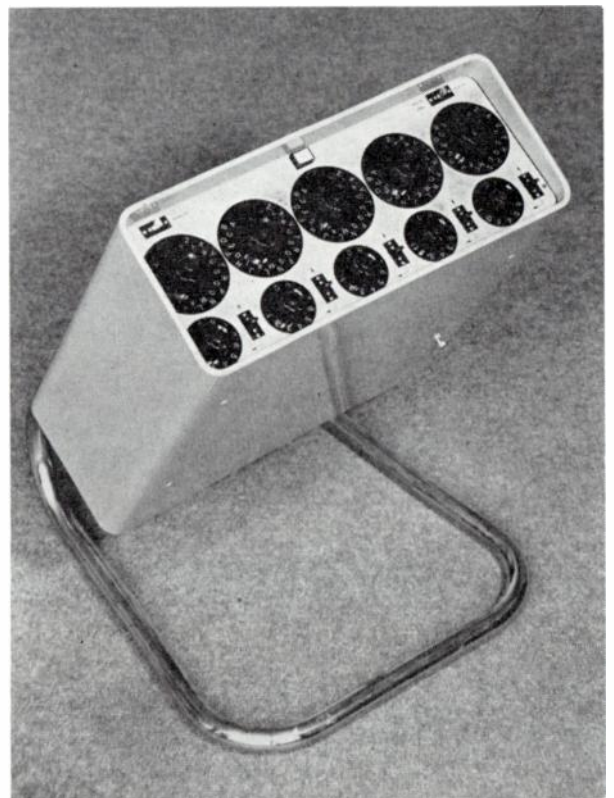


FIG. 2. — Clavier.

2.2. VITESSE DE TRANSMISSION

Il a paru intéressant de pouvoir assurer une transmission duplex de façon à permettre l'acheminement d'un appel prioritaire, même si une transmission est en cours, en provenance du CITAC, vers les équipements périphériques.

La vitesse normalisée de 200 bauds, compatible avec la transmission duplex sur une seule ligne téléphonique, est par ailleurs assez bien adaptée au rythme des équipements périphériques tel que le perforateur ou le lecteur de bande perforée ou encore telle que l'imprimante type ER 50. C'est la vitesse qui a été retenue pour la transmission des informations.

La sécurité de la transmission étant assurée par répétition des messages erronés, il faut disposer, pour chacune des voies d'information, d'un canal de retour permettant d'effectuer cette demande de répétition. Les fréquences porteuses des voies d'information ayant été choisies à 1 080 et 1 680 Hz conformément à la recommandation du C.C.I.T.T. [4] il devenait nécessaire, si l'on voulait conserver la même valeur de 200 bauds pour la vitesse de transmission des voies retour, de placer un de ces canaux dans la partie inférieure de la gamme de transmissions, c'est-à-dire autour de 600 Hz. Cette partie de la bande de transmission étant beaucoup plus sujette que le reste aux distorsions de phase, il a paru préférable de les placer toutes les 2 dans la partie supérieure de la bande, et de se contenter d'une vitesse de transmission de 50 bauds pour ces voies retour, sur lesquelles la quantité d'informations à transmettre peut être moindre que sur les voies aller.

Ce choix est en même temps un facteur de simplification car il permet d'utiliser, pour ces voies retour, deux des voies harmoniques utilisées de façon normale dans les liaisons télégraphiques. Celles-ci sont en effet réalisées à raison de 24 dans une ligne téléphonique, les 24 voies étant obtenues par division harmonique de la bande de fréquence et chacune des voies télégraphiques étant utilisée à une vitesse de 50 bauds.

2.3. MÉMOIRES

L'équipement réalisé ayant principalement un but expérimental, on a préféré sacrifier délibérément la vitesse de transmission pour simplifier au maximum les mémoires. La transmission est ainsi effectuée, caractère par caractère, l'émission d'un nouveau caractère ne commençant que lorsque la bonne réception du caractère précédent est confirmée sur la voie retour. Il suffit ainsi d'avoir un seul registre mémoire à 7 positions à chaque poste émetteur et à chaque poste récepteur. Lorsque la réception d'un caractère est reconnue bonne, le registre mémoire émission est vidé et un nouveau caractère y est transféré immédiatement.

Ce processus entraîne évidemment un ralentissement important de la transmission. Il faut en effet attendre un temps correspondant au retard apporté par les divers filtres rencontrés dans les deux sens de transmission, à la durée d'émission du caractère de bonne réception et au temps de trajet aller et retour sur la ligne de transmission.

2.4. TYPE DE MODULATION

La modulation de fréquence a été retenue aussi bien pour les canaux d'information que pour les canaux de confirmation, conformément à la recommandation du C.C.I.T.T. [4]. Sur les canaux à 50 bauds, les schémas utilisés pour les émetteurs et les récepteurs sont ceux qui sont normalisés par les P.T.T. dans la télégraphie harmonique. Les signaux à fréquences vocales sont bivalents ; les fréquences émises en ligne ont des valeurs décalées de ± 100 Hz par rapport à la fréquence centrale pour les canaux à 200 bauds et de ± 35 Hz pour les canaux à 50 bauds.

Comme on l'a dit plus haut, les fréquences centrales des canaux à 200 bauds sont respectivement de 1 080 Hz et de 1 680 Hz ; celles des canaux à 50 bauds, choisies parmi celles des canaux de la télégraphie harmonique, ont été fixées aux valeurs de 2 100 et 2 460 Hz.

Les niveaux maximaux émis en ligne sur chacun des canaux ont été fixés à 1,1 N. Ils peuvent être réglés entre $-1,1$ N et $-2,1$ N par pas de 1 dN.

2.5. PROTECTION DES MESSAGES TRANSMIS

La possibilité de détecter les erreurs multiples dans des messages courts nécessitant un taux de redondance d'autant plus élevé que ces messages sont plus courts, il a paru suffisant de chercher à déterminer un code qui permette de détecter toutes les erreurs simples et toutes les erreurs doubles. Bien entendu ce code permettra en même temps de détecter une partie notable des erreurs d'ordre supérieur mais en laissera passer cependant un certain nombre.

L'explication de la manière dont un tel code peut être construit nécessite l'utilisation de quelques résultats de la théorie des codes linéaires [5], [6].

Un message formé de n moments unitaires bivalents est considéré dans cette théorie comme un vecteur de n composantes, appelé souvent un n -uple, chacune des composantes prenant ses valeurs dans le corps des nombres entiers modulo 2.

On suppose qu'on veut transmettre 2^k messages unitaires différents ; on choisit, pour pouvoir effectuer le codage, $n > k$. Le problème du codage consiste à faire correspondre les 2^n possibilités ainsi offertes pour la transmission d'un message unitaire aux 2^k types de messages à transmettre.

Le code sera linéaire si on utilise pour cela un sous-groupe H de l'espace E de 2^n vecteurs. On peut montrer qu'un tel sous-groupe contient un nombre de vecteurs de la forme 2^k , les composantes de chacun d'eux vérifiant un groupe de $n-k$ relations linéaires (modulo 2) indépendantes. Les coefficients de ces relations, appelées équations de parité, forment une matrice de $n-k$ lignes de n colonnes, matrice dite de parité.

Un codage quelconque ainsi obtenu, désigné en abrégé par codage (n, k) , est toujours isomorphe à un codage particulier formé par 2^k vecteurs dont les k premières composantes sont choisies arbitrairement et dont les $n-k$ restantes sont calculées par les équations de parités.

De plus la matrice de parité peut être écrite sous la forme :

$$[P \ I_{n-k}]$$

P étant une matrice quelconque de $n-k$ lignes et de k colonnes, et I_{n-k} étant la matrice unité de $n-k$ éléments (fig. 3 a). Le codage considéré est entièrement défini par la donnée de la matrice P contenant $k(n-k)$ termes.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	n
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	...	0
2	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	0	1	0	...	0
3	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	0	0	1	...	0
...											
n - 6							0	0	0	0	1

forme de la matrice de parité

FIG. 3. a

Un vecteur possède un *poids* qui est égal au nombre de ses composantes non nulles. Une caractéristique fondamentale d'un codage est sa *distance minimale*, égale au poids minimal de ses éléments différents de 0. On montre en effet facilement qu'un système de codage dont la distance minimale est d permet de détecter toutes les erreurs multiples d'ordre inférieur à d .

Le code qu'il s'agit de déterminer dans la liaison considérée ici devra donc avoir une distance minimale de 3. La matrice de parité se présente sous la forme indiquée dans la figure 3a. Les colonnes 7 à n contiennent une matrice unité. La première ligne contient les coefficients de la première équation de parité correspondant au digit de parité CITAC, utilisé évidemment pour le contrôle ⁽¹⁾. La partie encadrée constitue la matrice P caractérisant le code et on doit attribuer aux lettres a_1, b_1 , etc. les valeurs 1 ou 0 de façon à avoir un codage dont la distance minimale soit 3.

Un vecteur du code devant vérifier les $n-6$ relations (modulo 2) dont les coefficients forment les lignes de la matrice de parité, il correspond à chacun d'eux une relation de dépendance (modulo 2) entre ses colonnes. Pour un vecteur de poids P , la relation considérée a lieu entre les p colonnes correspondant aux 1 du vecteur. Pour qu'il n'y ait pas de vecteur de poids 2 (correspondant au fait que le codage a une distance

minimale de 3) il faut et il suffit qu'il n'y ait pas de relation de dépendance (modulo 2) faisant intervenir seulement 2 colonnes, relation qui ne pourrait exister qu'entre 2 colonnes identiques. Il suffit donc de choisir la matrice P pour que toutes les colonnes de la matrice de parité soient différentes. Le choix déjà fait pour la première ligne entraînant l'impossibilité d'une identité entre l'une des 7 premières colonnes et une quelconque des autres, il suffit que les 6 colonnes de la matrice P soient elles-mêmes différentes et ne contiennent pas de colonne de valeur nulle, déjà représentée par les termes correspondant de la colonne 7. Ceci peut être obtenu en prenant 3 lignes pour la matrice P . On a ainsi $2^3-1 = 7$ types de colonnes différentes non nulles dont il suffira de choisir 6 quelconques. Dans ce cas particulier, on démontre facilement que les 7 codes ainsi obtenus sont équivalents.

La matrice retenue est représentée sur la figure 3 b.

Les caractères transmis sont donc constitués de 10 moments unitaires, 3 digits de parité, calculés d'après la matrice P , étant ajoutés aux 7 digits de l'information CITAC.

0	1	0	1	0	1
1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	0

Valeur de la matrice P

FIG. 3. b

3. — Fonctionnement du système

3.1. LIAISONS LOGIQUES

Les explications contenues dans les paragraphes suivants se réfèrent aux diagrammes logiques de l'émetteur et du récepteur donnés dans les figures 4 et 5. Ces diagrammes représentent les différentes liaisons qui existent entre les entrées et les sorties reliant les équipements de transmission proprement dits aux divers équipements périphériques et portant des signaux d'information ou de commande. Ils comportent un certain nombre de rectangles figurant principalement des fonctions mémoires ou des circuits logiques du type ET et du type OU. Les liaisons entre éléments impliquent des conditions qui correspondent soit à des états permanents soit à des impulsions plus ou moins brèves. Les états permanents peuvent correspondre à des conditions soit positives, soit négatives. La présence d'une impulsion correspond toujours à une condition positive.

L'ambiguïté qu'il peut y avoir entre la nature positive ou négative d'une condition logique et sa représentation par une tension qu'on est amené quelquefois à prendre de signe opposé à celui de la condition, conduit à proposer une terminologie particulière. On dira que la liaison considérée est *EN* condition ou *HORS* condition. Cette terminologie a l'avantage de pouvoir être utilisée pour les conditionneurs eux-mêmes ainsi que pour les circuits mémoires. On dira par exemple qu'un circuit OU est *EN* si l'une de ses

(1) Le digit de parité CITAC est en réalité un digit de parité impaire, c'est-à-dire que la valeur du 7^e digit est 1 si le nombre de 1 dans les six premiers est pair et 0 dans le cas contraire. Ce fait ne change rien à la relation qui existe entre les différents digits et on doit en réalité considérer que la parité ou l'impairité des digits de contrôle entraîne une modification de la modulation par transposition des 2 états l'un dans l'autre mais ne modifie en rien le type du codage.

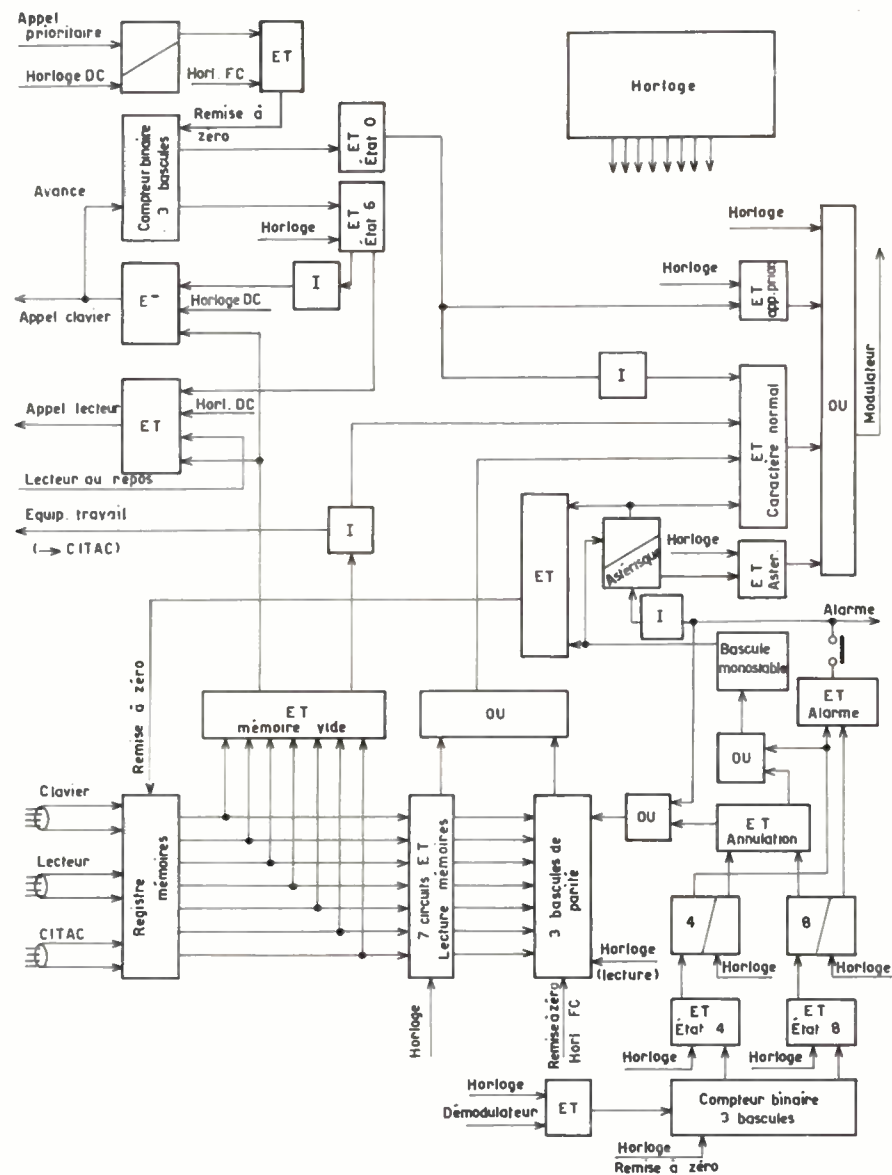


FIG. 4. — Diagramme logique émetteur.

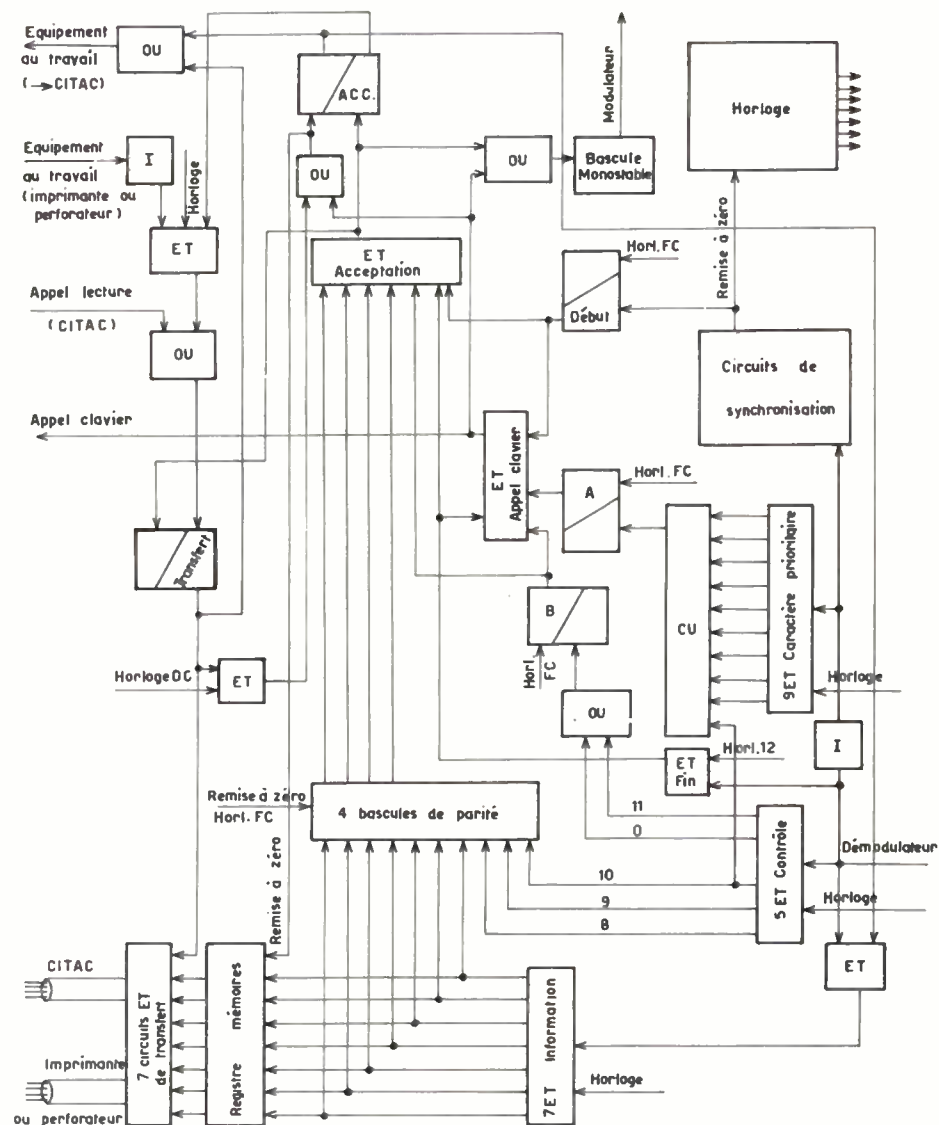


FIG. 5. — Diagramme logique récepteur.

entrées est *EN* et sa liaison de sortie se trouvera aussi dans la condition *EN*. De même la sortie d'un circuit *ET* sera dans la condition *EN* si toutes ses entrées, sans exception, se trouvent dans cette condition.

Les mémoires sont réalisées par des bascules bistables. Elles sont attaquées par 2 entrées qui les font basculer lorsqu'elles passent dans la condition *EN*. Ces bascules permettent ainsi de conserver en mémoire l'état qui est le dernier passé dans la condition *EN*. Toutes ces bascules mémoires portent une inscription sur l'une des 2 moitiés. Lorsque l'entrée correspondante la fera changer d'état, on dira qu'elle prend la condition *EN* et la sortie correspondante sera aussi dans cette condition. La sortie correspondant à l'autre moitié sera automatiquement dans la condition inverse.

Certains rectangles portent la lettre *I*. Ce sont des inverseurs logiques, c'est-à-dire que leur sortie se trouvera dans la condition *HORS* si leur entrée est dans la condition *EN* et inversement.

Les registres mémoires d'entrées et de sorties portent sur l'une de leurs entrées l'indication « remise à 0 ». C'est effectivement dans ce cas une indication qui correspond aux éléments 0 des caractères transmis, les bascules mémoires étant mises *EN* condition par les éléments 1 de ces caractères et remises à 0 après transfert de leur contenu. Enfin les bascules de parité, aussi bien dans le poste récepteur que dans le poste émetteur, portent sur l'une de leurs entrées aussi l'indication « remise à 0 » ; elles agissent en effet comme des compteurs et c'est bien d'une « remise à 0 » de leur comptage qu'il s'agit.

Les cycles d'émission et de réception des caractères sont commandés par des horloges, celle de réception étant synchronisée sur celle d'émission par une « remise à 0 » d'une chaîne de comptage. Elles émettent vers les conditionneurs ou vers les bascules des impulsions dont la durée et la position sont commandées par le cycle.

3.2. ENTRÉES ET SORTIES (fig. 6)

La partie logique de l'émetteur est reliée au modulateur à 200 bauds et au démodulateur à 50 bauds qui constituent avec cette partie logique l'ensemble de l'émetteur. Cet ensemble est relié d'une part à la ligne téléphonique, d'autre part au CITAC ou à ses équipements périphériques par un certain nombre de câbles.

De la même façon, la partie logique du récepteur est reliée au démodulateur à 200 bauds et au modulateur à 50 bauds qui forment avec cette partie logique l'ensemble du récepteur, cet ensemble étant aussi relié d'une part à la ligne téléphonique, d'autre part au CITAC ou à ses équipements périphériques par un certain nombre de câbles.

Lorsque le CITAC est utilisé comme émetteur, c'est lui qui commande l'émission de chaque caractère. Il est relié aux 7 cellules de la mémoire d'entrée par 7 fils et l'émetteur lui envoie en retour sur un 8^e fil une information indiquant que la transmission est terminée et qu'il peut passer à l'émission du caractère suivant. Le récepteur est aussi relié à l'imprimante ou au perforateur par 7 fils transmettant l'information et par un 8^e fil indiquant si cet équipement périphé-

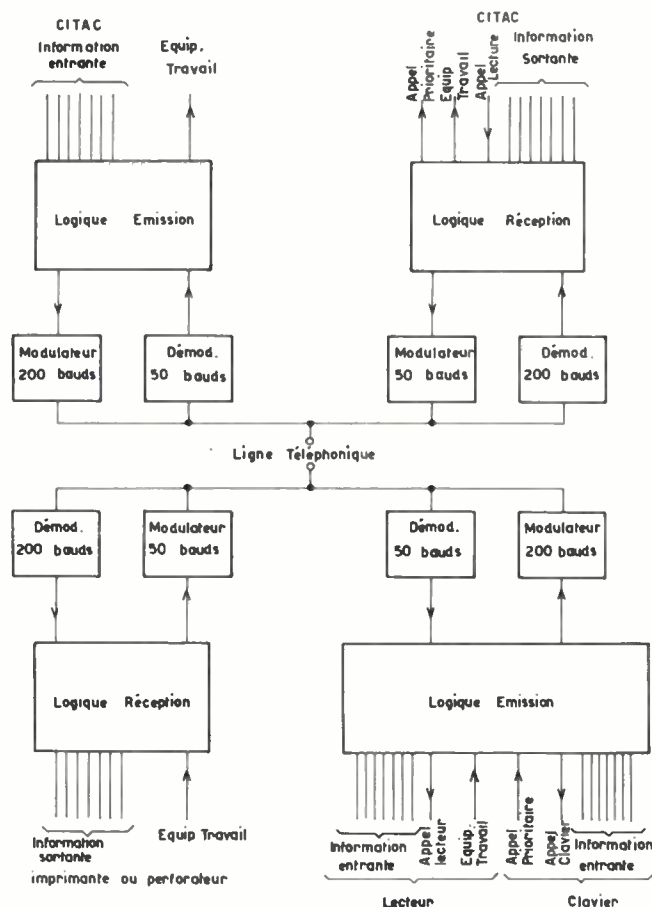


FIG. 6. — Entrées et sorties.

que est en cours de travail ou au contraire s'il a terminé son cycle.

Lorsque c'est le CITAC qui est utilisé pour recevoir des caractères, les liaisons sont un peu plus compliquées. Les mémoires d'information émission sont reliées en parallèle au lecteur et au clavier par 7 fils. De plus le clavier envoie vers l'émetteur sur un fil son appel prioritaire et le lecteur indique sur un autre fil s'il est au repos ou au travail. Après la transmission de l'appel prioritaire, l'émission de chaque caractère est commandée dans ce cas comme dans le précédent par le CITAC. Une information est donc envoyée de l'émetteur vers le lecteur ou vers le clavier pour appeler le caractère suivant. Le poste récepteur est relié au CITAC par 7 fils portant l'information. Il indique d'autre part au calculateur sur un autre fil qu'un caractère est en mémoire, prêt à être transféré. Il reçoit aussi du CITAC l'appel lecture qui permettra le transfert du caractère en mémoire dans le registre réception. Il envoie enfin sur une entrée spéciale du CITAC l'appel prioritaire en provenance du clavier.

3.3. CARACTÈRE D'ATTENTE

Comme on vient de le voir, en dehors du cas de transmission d'un appel prioritaire en provenance du clavier, l'émission d'un caractère, quel que soit le sens de transmission, est commandée par le CITAC. Lorsque c'est lui qui émet, la transmission aura lieu dès qu'il enverra dans les mémoires d'émission un

caractère. S'il s'arrête d'en envoyer les mémoires resteront vides et cet état, repéré par un conditionneur ET « mémoire vide », placera la transmission dans une position spéciale d'attente. Ce même conditionneur envoie en retour au CITAC, dès qu'un caractère est en mémoire, un signal « équipement au travail ».

La transmission du signal vers le modulateur est faite par l'intermédiaire d'un circuit OU à 4 entrées dont 3 en provenance de conditionneurs ET servant, l'un pour le caractère correspondant à l'appel prioritaire, l'autre pour les caractères normaux d'information et le troisième pour un caractère spécial destiné exclusivement, dans le cas de la liaison CITAC vers imprimante ou vers perforateur, à signaler qu'une erreur a été détectée et n'a pu être corrigée dans la transmission. Le circuit OU ainsi que sa sortie vers le modulateur sont dans la condition *EN* chaque fois qu'on veut émettre un 1. Conformément à la normalisation du C.C.I.T.T., l'état de la ligne téléphonique sera à ce moment dans la condition repos. Au contraire lorsque le digit à émettre est un 0, la sortie du circuit OU sera dans la condition *HORS* et la ligne téléphonique sera dans l'état travail. L'émission du caractère spécial d'attente est obtenue lorsque les 3 conditionneurs attaquant le circuit OU sont dans la position *HORS*. A ce moment la 4^e entrée du circuit OU, pilotée directement par un signal en provenance de l'horloge, donnera un état 0 permanent pendant tous les instants correspondants à l'émission normale des digits d'information et des digits de contrôle et donnera un état 1 pendant le reste du cycle, période pendant laquelle le contrôle de l'émission est attendu sur la voie retour à 50 bauds.

La première des fonctions que doit assurer la logique du récepteur est la synchronisation de l'horloge de réception sur l'horloge d'émission. Cette synchronisation doit avoir lieu même lorsque c'est le caractère d'attente qui est émis.

Le temps total alloué à la transmission d'un caractère a été fixé à 32 moments unitaires sur lesquels 12 sont occupés par la transmission proprement dite comme on le verra dans le paragraphe suivant.

Le temps assez long qui sépare la transmission de 2 caractères, temps pendant lequel le symbole 1 est émis en permanence, est mis à profit pour effectuer très simplement la synchronisation. L'horloge est constituée par un oscillateur suivi d'une chaîne de diviseurs. Le nombre de 1 reçu consécutivement est compté en permanence ; lorsque ce nombre est supérieur à 12, le premier digit correspondant à un 0 reçu remet à 0 la chaîne de division et l'horloge de réception est alors synchronisée sur l'horloge d'émission. Une bascule bistable « début », remise *HORS* à chaque fin de cycle, enregistre par une condition *EN* le fait que la synchronisation a effectivement été correctement exécutée en début de cycle. Le registre mémoire réception, comme cela a été dit plus haut, enregistre les 1 du message et en conséquence n'enregistre aucune information lors de la réception du caractère d'attente.

Lorsque l'émission de l'information a lieu vers le CITAC la présence du caractère d'attente sur la ligne nécessite que le lecteur de bande perforée n'ait lui-

même plus de caractère à transmettre. La compréhension de ce qui se passe lorsqu'une bande reste engagée dans le lecteur, alors que le CITAC ne demande plus de caractère par un appel lecture, nécessite que soit d'abord décrite la transmission d'un caractère normal.

3.4. TRANSMISSION D'UN CARACTÈRE NORMAL

3.4.1. Le CITAC émet les caractères

Dans ce cas, dès que le conditionneur « mémoire vide » indique cet état au calculateur, celui-ci remplit le registre mémoire émission avec les 7 digits du caractère à transmettre. Le premier moment du cycle d'horloge porte le numéro 0 et sert au déclenchement des circuits de synchronisation du récepteur. Les 7 moments suivants, portant donc les numéros 1 à 7, lisent par l'intermédiaire de 7 circuits ET, les registres mémoire émission et effectuent ainsi une transformation parallèle série. Ces lectures sont envoyées d'une part à 3 bascules de parité agissant par comptage pour former les 3 digits de contrôle comme cela a été expliqué précédemment, d'autre part, par l'intermédiaire d'un circuit OU collectionnant à la fois les digits d'information et les digits de contrôle provenant de ces bascules de parité, au conditionneur ET « caractère normal » qui se trouve dans la condition *EN* chaque fois que le digit à transmettre est un 1. Le caractère transmis est ainsi constitué de 7 digits d'information et de 3 digits de contrôle émis pendant les temps d'horloge portant les numéros 1 à 10, encadrés d'un 0 émis aux temps d'horloge 0 et 11, le reste du cycle étant constitué d'un état 1 permanent comme dans le cas du caractère d'attente.

Au poste récepteur, après la synchronisation de l'horloge faite sur le premier digit reçu, les 7 digits d'information sont envoyés sur le registre mémoire réception par l'intermédiaire de 7 conditionneurs *ET* et sont distribués sur 4 bascules de parité agissant par comptage comme à l'émission, ces bascules recevant ensuite les digits de contrôle. La sécurité de la transmission, normalement assurée par le contrôle des 4 moments de parité, 7, 8, 9 et 10, est complétée par la vérification que les moments 0 et 11 sont bien occupés par des 0, le moment 12 par un état 1 et enfin que le début du caractère a bien été identifié par les circuits de synchronisation. A cet effet, une bascule « B », remise dans la condition *EN* à chaque fin de cycle est mise dans la condition *HORS* si l'un des digits 0 ou 11 se trouvent être un 1. Un conditionneur *ET* « acceptation » reçoit sur ses entrées, outre la position des 4 bascules de parité, celle de la bascule « B », celle de la bascule « début de cycle » et enfin une impulsion correspondant au temps d'horloge 12 ; cette impulsion passant elle-même par le conditionneur *ET* « fin » n'existe que si la sortie du démodulateur à l'instant 12 se trouve être dans l'état 1.

Toutes ces impulsions d'horloge qui servent par l'intermédiaire de conditionneurs à repérer l'état 0 ou 1 du démodulateur sont des impulsions courtes intervenant au milieu des temps d'horloge correspondants de façon que le test ainsi fait soit optimal. Au milieu du temps d'horloge 12, si les autres entrées du circuit *ET* « acceptation » sont dans la condition

EN, la sortie de ce conditionneur émet une impulsion qui place une bascule d'acceptation dans la position EN. Ce même conditionneur déclenche à cet instant une bascule monostable qui envoie au modulateur de la voie retour un signal d'acceptation constitué par un état 1 durant plus de 80 ms, c'est-à-dire plus de 16 moments unitaires d'horloge.

La bascule d'acceptation commande 3 conditionneurs. Sa position EN met dans la condition HORS un conditionneur ET, protégeant le registre mémoire réception, et l'entrée d'un conditionneur OU, utilisé seulement dans le cas où l'émission a lieu vers le CITAC, indiquant à celui-ci par sa condition EN que l'équipement est au travail. La bascule d'acceptation met, d'autre part, un autre conditionneur ET dans la position EN. L'autre entrée de ce conditionneur est aussi dans la position EN lorsque l'équipement périphérique devant recevoir le caractère est au repos. La sortie de ce conditionneur peut alors mettre une bascule, dite de transfert, dans la position EN, effectuant ainsi le transfert du caractère en mémoire vers l'équipement utilisateur et mettant un nouveau conditionneur ET en état d'envoyer la prochaine impulsion d'horloge « début de cycle », d'une part au registre mémoire pour en effectuer la remise à 0, d'autre part à la bascule d'acceptation pour la mettre dans la condition HORS. Entre temps les bascules de parité et les diverses bascules de contrôle auront été remises dans la position voulue par une impulsion « fin de cycle ».

Pendant ce temps, au poste émetteur, l'état du démodulateur de la voie retour est repéré à chaque moment d'horloge à partir d'un instant approprié. Chaque fois que ce moment est 1, la position d'un compteur binaire de 3 bascules avance d'une unité. Lorsque ce compteur a avancé de 4 unités avant la fin du cycle complet d'horloge, une bascule bistable est mise dans la position EN par l'intermédiaire d'un conditionneur ET « état 4 » dont la 2^e entrée porte un signal d'horloge approprié. L'état EN de cette bascule remet à 0 le registre mémoire émission par l'intermédiaire d'une bascule monostable et d'un conditionneur ET dont la 2^e entrée est en condition EN dans le cas d'une émission normale. Les 3 bascules de parité sont aussi remises à 0 par une impulsion horloge « fin de cycle » et l'ensemble du système est prêt pour la transmission d'un nouveau caractère.

3.4.2. Le CITAC reçoit les caractères

Le cycle d'émission, est dans ce cas tout à fait similaire à ce qu'il était précédemment. Seuls le remplissage de la mémoire émission et le transfert du caractère reçu sont un peu différents. Le lecteur ne transmet en effet un caractère que s'il reçoit une impulsion d'appel lecture. A cet effet, un conditionneur ET reçoit sur ses entrées, en même temps que l'impulsion horloge « début de cycle », l'état du conditionneur ET « mémoire vide » et un état « lecteur au repos ». Lorsque les conditions voulues sont remplies, l'impulsion « début de cycle » est donc transmise au lecteur qui peut envoyer son caractère. Lorsque la mémoire est pleine, la transmission a lieu comme précédemment.

Au poste récepteur c'est maintenant le CITAC qui fera la lecture et donc le transfert du contenu du regis-

tre mémoire réception. A cet effet, un circuit OU indique au CITAC par sa condition EN que l'équipement est au travail. Ce circuit est mis en condition HORS lorsque la bascule d'acceptation est mise dans la condition EN ; le CITAC est alors libre de transmettre son appel lecture qui place dans la condition EN la bascule de transfert dont l'effet est précédemment décrit. Pour éviter un double appel du CITAC c'est l'état EN de la bascule de transfert elle-même, qui redonne par le conditionneur OU, l'état « équipement au travail » au CITAC.

3.5. RÉPÉTITION D'UN CARACTÈRE

Lorsque, par suite d'une erreur de transmission, la réception du caractère n'est pas conforme au modèle attendu, le circuit ET « acceptation » ainsi que la bascule d'acceptation, restent dans la position HORS et la bascule monostable qui commande le modulateur de la voie retour n'est pas déclenchée. L'indication « équipement au travail » étant toujours envoyée au CITAC et la bascule de transfert demeurant dans la condition EN, aucun transfert de caractère ne peut avoir lieu. Par contre, la remise à 0 du registre mémoire contenant le caractère faux sera faite comme précédemment par l'impulsion début de cycle. En effet, contrairement aux autres bascules de contrôle, la bascule de transfert n'est pas remise dans l'état HORS par une impulsion d'horloge mais directement par la condition d'acceptation sortant du conditionneur ET « acceptation ».

Au poste émetteur l'état de la ligne retour restant dans la position 0, le compteur binaire ne change pas de position et en conséquence les mémoires ne sont pas remises au 0 et aucun appel lecture n'est transmis. Le même caractère déjà en mémoire sera donc répété au cycle suivant.

Il peut se faire que, par suite d'erreurs transmises sur la ligne de retour, le compteur binaire repérant l'état de cette ligne à l'émetteur n'atteigne pas la position 4 au temps voulu. En ce cas la logique de l'émetteur interprétera ce fait comme une demande de répétition venant du récepteur et en conséquence l'émission du même caractère commencera. Pendant ce temps le compteur binaire continue à repérer l'état de la ligne retour. Si ce compteur n'atteint pas la position 8 avant le début de l'émission des digits de contrôle, c'est-à-dire avant le moment d'horloge 8, tout demeure en l'état et la transmission du caractère en cours se termine normalement. Si, au contraire, la position 8 est atteinte par ce compteur avant le temps d'horloge 8, on peut être certain que la ligne retour portait un état 1 et que c'est par suite d'une erreur que l'acceptation n'a pas été correctement enregistrée. Pour éviter que ce caractère soit accepté une 2^e fois par le poste récepteur, les 3 digits de parité restant à émettre sont altérés par un circuit ET « annulation », mis dans la condition EN lorsque le comptage de 8 a été atteint dans le temps voulu, alors que le comptage de 4 ne l'a pas été. Les 3 parités transmises étant alors erronées, il est pratiquement certain que le poste-récepteur refusera ce caractère. En même temps le même circuit ET « annulation » vide les mémoires comme précédemment le comptage de 4 unités au

compteur binaire l'avait fait et un nouveau caractère pourra y être inscrit pour être transmis durant le cycle suivant.

Dans le cas où l'émission a lieu du lecteur de bande vers le CITAC, il se peut qu'après la transmission et l'acceptation d'un caractère au poste récepteur, le CITAC n'en demande pas la lecture. L'ensemble du système reste alors dans une position d'attente qui est la suivante : la bascule d'acceptation restant dans la position *EN*, le registre mémoire réception demeure protégé, quel que soit le signal reçu sur la ligne de transmission. La bascule de transfert restant dans la position *HORS*, ces mémoires ne peuvent être remises à 0 au début de chaque cycle. Enfin, l'indication « équipement au repos » est transmise au CITAC dans l'attente d'une demande de transfert. Le caractère demeurant dans le registre mémoire du récepteur ayant été accepté, il est effacé du registre d'émission dont les mémoires sont remises au 0. Si un nouveau caractère se trouve en position de lecture dans le lecteur de bande il y sera transféré et son émission sera faite sur la ligne téléphonique.

Mais l'entrée du récepteur étant fermée pour protéger le caractère qui se trouve en mémoire et n'a pas été transféré, la transmission de ce caractère ne pourra être acceptée et le poste émetteur continuera en permanence à l'émettre à chaque cycle, de la même façon que s'il y avait une demande de répétition.

3.6. TRANSMISSION D'UN MESSAGE CLAVIER

Lorsqu'un appel prioritaire parvient au poste émetteur, il faut le transmettre au poste récepteur et de là au CITAC en interrompant éventuellement la transmission en cours. A cet effet l'appel prioritaire, mis en mémoire au poste récepteur par une bascule, est transmis dès le début du cycle suivant sous la forme d'un caractère particulier dont on a inversé 3 des moments de contrôle par rapport à un caractère normal. Le poste récepteur peut ainsi l'identifier par un conditionneur spécial ne nécessitant pas une entrée en mémoire, le registre mémoire réception pouvant en effet être protégé dans certains cas de fonctionnement, comme on l'a vu précédemment. Il faut ensuite pouvoir transmettre les 6 caractères du message clavier avant de transmettre éventuellement les données inscrites sur la bande perforée. Un compteur binaire, remis à zéro par l'appel prioritaire, permet d'orienter suivant son état les appels lecture du CITAC vers le clavier ou vers le lecteur.

Un conditionneur ET, commandé par la bascule « appel prioritaire » et par une impulsion d'horloge « fin de cycle », remet à 0 le compteur binaire de 3 bascules à cet instant. Ce compteur commande 2 conditionneurs ET dont l'un est mis dans la condition *EN* lorsqu'il est dans l'état 0 et l'autre mis dans la condition *EN* s'il est dans l'état 6. Lorsque le conditionneur ET « état 0 » est dans la condition *EN*, il met le conditionneur ET « caractère normal » dans la condition *HORS* et interdit ainsi la transmission du caractère qui peut être dans le registre mémoire émission. En même temps il met un autre conditionneur ET « appel prioritaire » dans la condition *EN*. Ce conditionneur commandé d'autre part par un

certain nombre d'impulsions d'horloge attaque le conditionneur OU de sortie vers le modulateur et permet la transmission sur la ligne d'un caractère spécial, dit caractère prioritaire, qui ne peut être confondu avec un caractère normal puisqu'on a vu que 3 de ses moments de contrôle sont inversés par rapport à ce qu'ils seraient dans un caractère normal. La bascule « appel prioritaire » est remise dans la condition *HORS* dès le début du cycle suivant par une impulsion d'horloge.

A l'entrée du poste récepteur, le signal venant du démodulateur attaque par une voie directe un certain nombre de circuits ET spéciaux, commandés par ailleurs par des impulsions d'horloge appropriées. Si l'un quelconque des 10 moments du caractère reçu se trouve être différent de l'état qui caractérise le caractère prioritaire, le conditionneur ET correspondant prend la condition *EN* et, par l'intermédiaire d'un circuit OU, place une bascule « A » en condition *HORS*. Cette bascule est remise dans la condition *EN* par une impulsion d'horloge « fin de cycle ».

Au moment où la fin du caractère en cours de réception est testée par l'impulsion d'horloge 12 et le conditionneur ET spécialisé à cet effet, cette bascule « A » ne se trouvera donc dans l'état *EN* que si c'est le caractère prioritaire qui vient d'être reçu. Dans tous les autres cas, elle se trouvera dans la condition *HORS*. Par ailleurs, si c'est le caractère prioritaire qui vient d'être reçu, le circuit ET d'acceptation ne saurait être *EN* car plusieurs des moments de parité de ce caractère sont inversés ; un conditionneur ET spécial, appelé « appel clavier » reçoit sur ses entrées, d'une part l'impulsion spéciale testant la fin des caractères, d'autre part l'état *EN* de la bascule « A » et, de même que le conditionneur ET « acceptation », l'état de la bascule « B » qui teste les digits de contrôle entourant le caractère proprement dit et enfin l'état de la bascule « début de cycle » repérant le bon fonctionnement des circuits de synchronisation.

La sortie du conditionneur ET « appel clavier » d'une part attaque la bascule monostable donnant sur la ligne retour le signal d'acceptation, d'autre part envoie au CITAC, sur l'entrée spéciale correspondante, un appel clavier. Enfin, pour éviter que l'appel lecture venant du CITAC ne se produise immédiatement alors que le premier caractère du message clavier n'a pas encore été enregistré dans le registre mémoire réception qui peut d'ailleurs être déjà occupé par un autre caractère, l'indication « équipement au travail » est envoyée au CITAC en remplaçant par un conditionneur OU la bascule d'acceptation dans la condition *HORS*. Ce même conditionneur OU remet aussi à zéro les bascules du registre mémoire réception.

Conformément au rôle de l'appel prioritaire, on voit que l'identification du caractère prioritaire peut être faite quel que soit l'état du récepteur, qu'il soit en attente avec un caractère en mémoire non transféré au CITAC, qu'il soit en attente avec ses mémoires vides ou enfin que la transmission soit en cours entre le lecteur et le CITAC.

Au poste émetteur la réception du signal d'acceptation de l'appel prioritaire est faite comme dans le cas d'un caractère normal. Cependant le conditionneur

ET repérant l'état 6 du compteur binaire qui a été remis à 0 par l'appel prioritaire est maintenant *HORS* et interdit que le conditionneur « mémoire vide » ne transmette un appel vers le lecteur. Au contraire il oriente vers le clavier le signal envoyé par ce conditionneur, par l'intermédiaire d'un autre conditionneur ET. Cet « appel clavier » permet de transférer dans la mémoire émission le premier caractère du message clavier et en même temps fait avancer d'une position le compteur binaire qui quitte l'état 0 et remet en service le conditionneur ET permettant la transmission du caractère normal, en autorisant ainsi la transmission des caractères constituant le message clavier, alors que le conditionneur ET appel prioritaire est remplacé dans la condition *HORS*. Les 6 caractères du message clavier sont ainsi transmis. Le compteur binaire atteint alors l'état 6 et permet de nouveau d'orienter vers le lecteur le signal provenant du conditionneur « mémoire vide ».

3.7. SIGNALISATIONS

Trois signalisations ont été prévues dans ce système de transmission. Dans le cas, heureusement très rare, où la ligne retour est dans l'état 0 correspondant à une demande de répétition et où un signal parasite de longue durée transforme cet état en état 1, il peut arriver que le compteur passe par la position 4 au moment qui correspond à l'acceptation du caractère. Un nouveau caractère sera transmis alors que le précédent a été refusé. Le compteur continuant à repérer l'état de la ligne, il est pratiquement certain que celle-ci reprendra son état 0 qui avait été perturbé par un signal parasite, avant qu'il n'atteigne l'état 8. S'il en est ainsi, on peut être sûr que la transmission a perdu un caractère ; un conditionneur ET spécial d'alarme déclenche une signalisation, altère les digits de parité comme dans le cas d'une répétition erronée (paragraphe 3.5) et place une bascule « astérisque » dans la condition *EN*. Ce dernier effet du conditionneur d'alarme est d'ailleurs retardé, pour permettre la fin de la transmission du caractère en cours, très simplement en envoyant sur la bascule la condition inverse, si bien que c'est le retour dans la condition *HORS* du conditionneur d'alarme qui agit.

La position *EN* de la bascule « astérisque » a plusieurs effets : d'une part, elle interdit la transmission des caractères situés dans le registre mémoire et interdit en même temps la remise à 0 de ce registre ; d'autre part, elle place dans la position *EN* un autre conditionneur, attaqué par ailleurs par des impulsions d'horloge, permettant d'envoyer au modulateur, pendant le cycle suivant, les moments correspondants au caractère « astérisque ». Le poste récepteur sera ainsi prévenu qu'il y a eu erreur et le caractère manquant sera remplacé par l'astérisque. Celui-ci sera normalement accepté mais, bien que l'acceptation renvoyée sur la voie retour déclenche la bascule monostable de remise à 0, celle-ci ne pourra cependant remettre le registre mémoire à 0 car la 2^e entrée du conditionneur ET par lequel passe le signal de cette bascule est dans la condition *HORS*.

Pour reprendre le cycle normal de transmission il faut remettre à ce moment la bascule « astérisque »

dans la condition *HORS*. Ce basculement est effectué par le front arrière du signal de la bascule monostable. La transmission d'un astérisque pour remplacer un caractère manquant est une fonction accessoire qui peut être supprimée à volonté en coupant la sortie du conditionneur d'alarme.

Les deux autres signalisations sont beaucoup plus simples et consistent à se servir des états permanents de la liaison à 200 bauds. Si une coupure de ligne intervient, les démodulateurs restent en permanence dans la position repos et la détection de cet état permet d'effectuer une signalisation « coupure ». D'autre part, si l'on envoie en permanence, sur un modulateur à 200 bauds, l'état travail, la détection de cet état permanent à l'autre extrémité est utilisée comme signalisation d'appel et un opérateur peut alors se mettre en ligne de chaque côté pour obtenir une communication téléphonique normale.

4. — Réalisation

Un équipement de démonstration comprenant l'ensemble des circuits précédemment décrits a été réalisé dans un bâti standard (fig. 7). Les circuits logiques sont constitués par des cartes identiques à celles qui sont utilisées dans le CITAC 210 B. Les modulateurs et démodulateurs à modulation de fréquence sont aussi portés par des cartes de même dimension (fig. 8).

Une armoire contenant un bâti standard représente une station terminale complète et comprend par conséquent un ensemble de logique émission, un ensemble

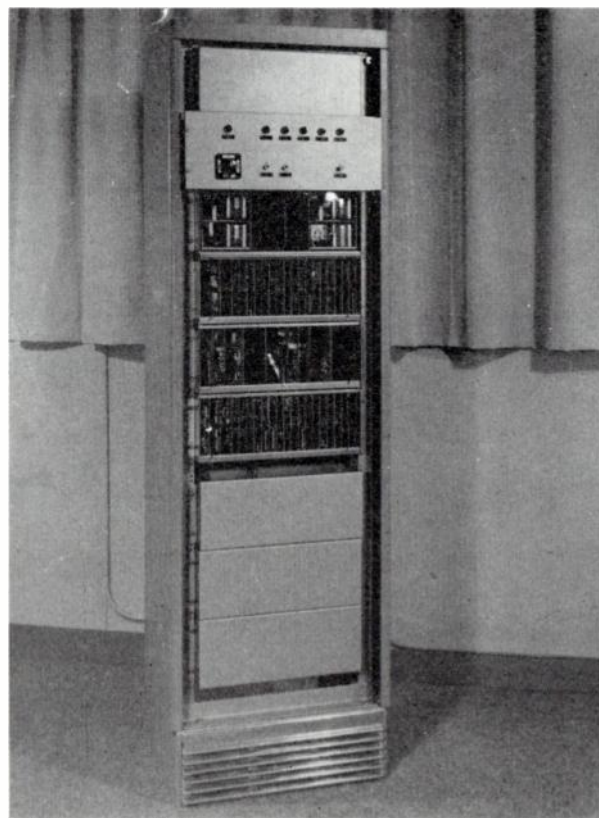


FIG. 7. — Équipement de transmission.

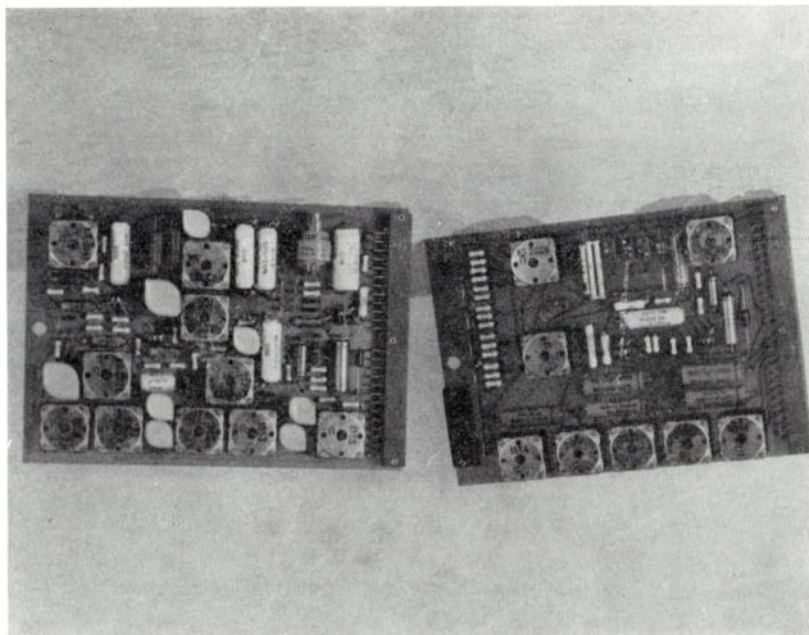


FIG. 8. — Modulateur et démodulateur.

de logique réception, un modulateur et un démodulateur à 200 bauds, enfin un modulateur et un démodulateur à 50 bauds, permettant de réaliser l'émission et la réception des données ainsi que l'émission et la réception des informations de contrôle. Les cartes sont contenues dans des paniers identiques eux aussi à ceux qui sont utilisés dans le CITAC 210 B. Deux paniers contiennent l'ensemble des cartes d'une station complète.

L'armoire contient aussi une alimentation complète ainsi que les relais et les voyants permettant de réaliser les diverses signalisations.

5. — Applications

Les applications pratiques que l'on peut envisager pour un tel procédé de communication directe entre un poste de commande et le calculateur CITAC sont de plusieurs sortes. Bien que, sur le plan théorique, la programmation du calculateur puisse permettre de traiter à distance n'importe quel problème et qu'on puisse même envisager de transmettre à partir du poste éloigné de nouveaux programmes et de les enregistrer dans les mémoires du calculateur, les applications pratiques qui seront mentionnées feront appel uniquement à des programmes précis, enregistrés préalablement dans les mémoires du calculateur.

5.1. ENTRÉE DIRECTE DANS LA MÉMOIRE DU CALCULATEUR DE MESURES OU D'UNE FAÇON PLUS GÉNÉRALE D'INFORMATIONS A TRAITER

Le poste éloigné joue dans ce cas, uniquement un rôle de collecteur d'informations, dirigées ensuite d'une façon automatique par une ligne unique sur le bureau de calcul. Ce centre collecteur peut lui-même recevoir ces informations d'un certain nombre d'appareils de mesure ou d'équipements périphériques, tels que les lecteurs de bande perforée situés dans le centre

même ou provenant de points plus ou moins éloignés. Dans ce cas, les données étant transmises uniquement vers le calculateur, il suffit de disposer au centre collecteur de données d'un autoscriteur réunissant sur une bande perforée l'ensemble des renseignements provenant de sources différentes, d'un lecteur de bande perforée, d'un clavier de commande, d'un émetteur à 200 bauds, d'un récepteur à 50 bauds et de la partie logique émission. Au centre de calcul il faut mettre en place un récepteur à 200 bauds, un émetteur à 50 bauds et une partie logique réception.

5.2. ENVOI A UN CENTRE ÉLOIGNÉ DE RÉSULTATS DE CALCUL OU DE TRAITEMENTS D'INFORMATIONS, CE CENTRE N'AYANT PAS LUI-MÊME DE DONNÉES A FOURNIR

C'est le cas inverse du précédent ; le centre utilisateur peut être un poste d'exploitation ayant besoin de renseignements statistiques ou d'une autre nature pour effectuer un réglage optimum de certains paramètres. Il faut disposer, dans ce cas, au centre de calcul d'un émetteur à 200 bauds, d'un récepteur à 50 bauds et de la partie logique émission. Au centre éloigné un récepteur à 200 bauds, un émetteur à 50 bauds, une partie logique réception et un appareil périphérique, qui peut être par exemple un perforateur de bande, sont nécessaires.

5.3. FONCTIONNEMENT DU CITAC EN BUREAU DE CALCUL

Le poste éloigné demande au centre de calcul la solution d'un problème comportant un certain nombre de données qu'il transmet en même temps. Le calculateur traite le problème et envoie la solution sur la deuxième voie de transmission. Les appareils à prévoir sont dans ce cas aux deux extrémités une station complète comprenant émetteur et récepteur à 200 bauds et à 50 bauds et parties logiques émission

et réception. De plus au centre éloigné il faut disposer du clavier de demande et d'un lecteur de bande perforée pour émettre les données, enfin d'un perforateur de bande ou d'une imprimante pour recevoir les résultats.

5.4. TRAITEMENT DES DONNÉES EN PROVENANCE DU CENTRE ÉLOIGNÉ AVEC RENVOI DES RÉSULTATS

Cette application est une variante de la précédente et le matériel nécessaire est le même.

6. — Conclusion

L'équipement décrit dans cet article a été expérimenté sur lignes louées, d'une part sur une courte distance dans la région parisienne, d'autre part entre Paris et Munich au mois d'août 1962.

Il a donné entière satisfaction, montrant ainsi la possibilité d'utiliser pratiquement un équipement de transmission de données directement connecté à un calculateur CITAC. Celui-ci peut, grâce à l'existence de l'appel prioritaire, être utilisé en même temps à la solution d'un problème ou à tout autre travail. La

communication dans les deux sens avec le poste éloigné, étant effectuée à une vitesse faible par comparaison avec la vitesse de calcul interne du CITAC, laissera une grande partie du temps libre pour d'autres fonctions.

RÉFÉRENCES

- [1] METIVIER M. — Un équipement numérique de mesure et de traitement de l'information pour grands ensembles industriels. *Automatisme* : n° 7 1961 p. 259-65 et n° 9 1961 p. 308-16.
- [2] METIVIER M. — L'ensemble de Calcul en temps réel C.I.T.A.C. 210 *Electro Calcul*, n° 2 1962, p. 33-41.
- [3] KALLMANN E. — Traitement centralisé des informations à l'aide de calculateurs numériques. — *Industries atomiques*, n° 5/6 1962, p. 131-4.
- [4] Document temporaire n° 34 du 20 octobre 1961 édité par le C.C.I.T.T. (Commission Spéciale A) Genève. Rapport du groupe de travail pour l'étude du point J de la question 1/A.
- [5] PETERSON W.W. — Error-Correcting Codes. MIT Press et John Wiley (1961).
- [6] SLEPIAN D. — A class of Binary Signaling Alphabets. — *B.S.T.J.*, 1956, p. 203-34.

SYSTÈMES DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION UTILISANT LES TRANSMISSIONS NUMÉRIQUES A GRANDE DISTANCE

PAR

A. DESBLACHE

*Ancien élève de l'Ecole Polytechnique
Ingénieur à la Compagnie IBM-France*

Une multitude de machines électroniques utilisant les transmissions d'informations numériques sur les réseaux de télécommunications est en train de naître dans le monde. Les possibilités de l'électronique sont telles que les centres de calcul peuvent traiter dans des temps très courts les informations émises dans des points dispersés sur l'étendue d'un pays ou d'un continent. Les utilisateurs de machines à traitement de l'information sont en train de franchir une étape : ils passent de l'utilisation d'un centre de traitement où les données sont amenées « sur place » à celui plus vaste et plus souple d'un système ramifié où l'information est engendrée ou renvoyée aux utilisateurs en chacun des points terminaux.

Pour caractériser plus facilement les systèmes utilisant les transmissions numériques, nous les classerons en trois grandes catégories qui, par ailleurs, correspondent sensiblement à l'ordre dans lequel ils sont nés. Cependant, un certain nombre de problèmes sont communs à toutes les catégories de machines : vitesse de transmission, format des messages et sécurité, à

savoir nombre d'erreurs créées et non détectées ; nous les verrons apparaître avec une importance différente dans la suite de notre exposé.

A. Systèmes de transfert de l'information d'un point à un autre

Le télégraphe est le plus ancien des systèmes connus pour transférer l'information d'un point à un autre ; cependant, lorsqu'on a voulu utiliser ce procédé pour les transmissions numériques, un certain nombre de problèmes se sont posés :

1. Nécessité de changer le support de l'information. Les centres de calcul possédant en général leurs fichiers sur cartes perforées ou bandes magnétiques, le télégraphe n'accepte que les bandes de papier perforé.

2. Le télégraphe n'apporte pas en général une sécurité suffisante dans la transmission, les taux d'erreur courants sur les caractères sont de l'ordre

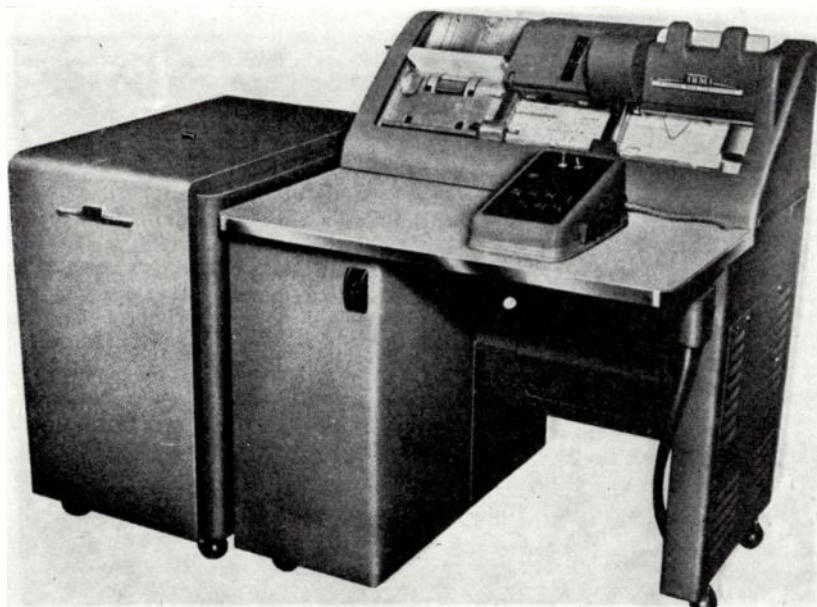


FIG. 1

de 10^{-4} , alors que les taux d'erreur non détectés dans les centres de calcul sont de l'ordre de grandeur de 10^{-8} et peuvent être réduits encore par des vérifications programmées.

3. La vitesse du télégraphe est souvent trop faible par rapport à la masse d'information qu'il y a à transmettre. Une bande magnétique est « digérée » en quelques minutes par un ordinateur, alors qu'il faudrait plusieurs semaines pour en transmettre le contenu par un canal télégraphique.

SYSTÈMES « TRANSCIVER »

Les premiers systèmes créés permettent de perforer une carte au point de réception et ont été une adaptation de perforatrices déjà existantes à la ligne télégraphique ou téléphonique à travers un système de codage-décodage des caractères à transmettre. Le système « IBM transceiver » (fig. 1) utilise la vitesse maximale de la station réceptrice, 20 caractères à la seconde. Sur une ligne téléphonique, la perforatrice fonctionne à cette vitesse grâce à une modulation d'amplitude à 180 bauds d'une fréquence porteuse. Le caractère est codé dans le système 4 parmi 8, c'est-à-dire que chaque caractère doit être représenté par 4 éléments « start » et 4 éléments « stop » pour être valide ; il y a 70 combinaisons possibles (C_8^4), ce qui assure largement la transmission d'un alphabet complet et des signaux de contrôle nécessaires. La transmission est start-stop, les deux machines terminales sont asynchrones, comme des téléimprimeurs classiques.

Outre les vérifications de transmission, les machines terminales effectuent toutes les vérifications déjà existantes sur les perforatrices ordinaires, en particulier vérification par carte « programme » des champs (c'est-à-dire des groupes de colonnes) où doivent être situées des informations.

Le système « transceiver » a été employé avec succès depuis 1952 sur toutes sortes de réseaux téléphoniques et même sur des canaux radiotéléphoniques transatlantiques.

MACHINES SPÉCIALEMENT ÉTUDIÉES POUR LA TRANSMISSION

Afin de pouvoir utiliser à plein la capacité de transmission des voies téléphoniques, IBM a annoncé une série de machines, non plus adaptation de machines en service, mais entièrement développées pour cet usage. La vitesse de transmission peut être de 600, 1 200, 2 000, 2 400 bauds, ce qui correspond à 75, 150, 250 et 300 caractères par seconde (code 4 parmi 8). Les unités réalisées sont toutes compatibles, ne fonctionnent plus en « start-stop » et ont des bases de temps synchronisées. Il s'est en effet avéré que les messages transmis ont une longueur moyenne de plusieurs centaines de bits (ou binons, éléments binaires d'information) et qu'un système synchrone transmet plus rapidement et avec plus de sûreté qu'un système « start-stop », au prix d'un temps de synchronisation plus long au début de l'établissement de la communication. Les machines réalisées comprennent toutes une partie identique : l'organe synchrone de



FIG. 2

transmission et réception (STR) et une partie spécialisée suivant le support de l'information désirée (lecteur perforateur de cartes, lecteur enregistreur sur bandes magnétiques). Une machine (IBM 1009) permet également l'entrée sortie directe sur ordinateur.

Nous décrirons plus en détail la machine 7702 (à bandes magnétiques) dont la figure 2 nous montre une unité terminale en cours de manipulation par une opératrice.

Les diagrammes (fig. 3 et 4) donnent les principes de la réalisation 7702.

Chaque machine est transmettrice - réceptrice mais ne peut fonctionner que dans un seul état (récepteur ou transmetteur) à la fois. Les messages peuvent avoir toutes les longueurs possibles depuis 1 caractère jusqu'à toute la capacité de la bande magnétique.

Dans le diagramme d'émission, après lecture du caractère sur la bande (8 bits en parallèle dans le code 1 2 4 8 A B C), celui-ci est transféré dans le registre d'entrée. Le registre d'entrée fait office de tampon pour absorber l'inertie mécanique de la bande : les caractères sont distants de près de $1/10$ de mm sur la bande et on veut pouvoir les traiter un à un si besoin est ; on les lit donc par petits groupes et on les emmagasine dans le registre pour pouvoir les isoler. Le registre d'entrée est la source de données pour toute la machine :

a) Dans le convertisseur parallèle-série, on lit en série bit après bit un caractère du code 4 parmi 8.

b) Les messages envoyés en lignes sont tous terminés par un caractère de vérification longitudinal

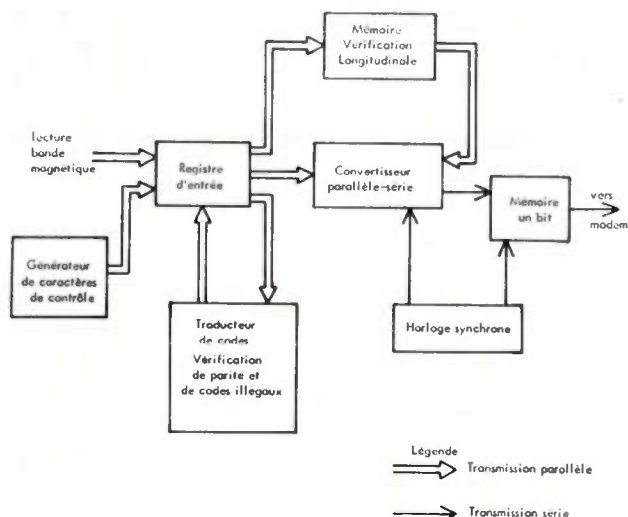


FIG. 3. — Diagramme transmission.

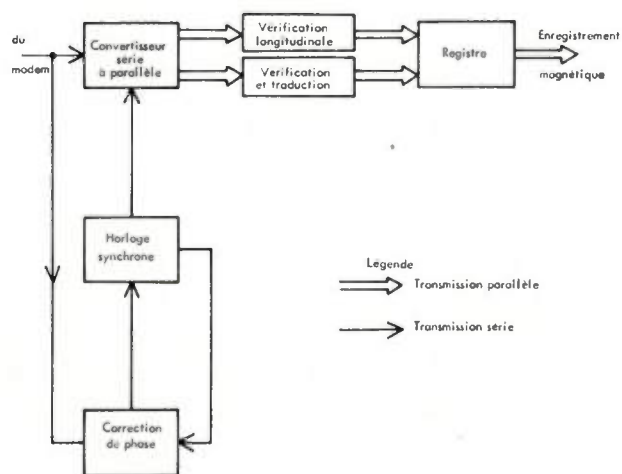


FIG. 4. — Diagramme réception.

dont chaque bit est la somme binaire de tous les bits de même rang dans le message :

Par exemple,

$$\text{bit } \frac{L}{1} = \text{bit } \frac{1}{1} + \text{bit } \frac{2}{1} + \text{bit } \frac{3}{1} \dots (\text{modulo } 2),$$

bit $\frac{L}{1}$ étant le bit 1 du caractère longitudinal

de vérification, et

bit $\frac{i}{1}$ le bit 1 du $i^{\text{ème}}$ caractère dans le message.

Le circuit de vérification longitudinal compose ce caractère qui est envoyé à la suite du message proprement dit.

c) Dans le traducteur de code, on traduit le code 1 2 4 8 A B représentant le caractère lu sur la

bande dans le code 4 parmi 8 à envoyer en ligne. On vérifie également que la lecture magnétique s'est faite correctement à l'aide des bits de parité, utilisés normalement sur la bande. Tous les codes 4 parmi 8 n'étant pas utilisés, on vérifie également que le caractère composé ne se trouve pas parmi les combinaisons 4 de 8 non employées.

Le générateur de caractères de contrôle se substitue à la lecture de la bande magnétique pour la transmission des caractères suivants :

- Caractère de synchronisation.
- Erreur.
- Début de message.
- Fin de message.
- Bien reçu.
- Fin de transmission.

Le caractère de synchronisation est envoyé d'une machine à l'autre lorsqu'une transmission effective de l'information est interrompue pendant quelques instants. Ce caractère permet de garder le synchronisme entre les horloges des deux terminaux.

Le convertisseur parallèle-série permettra d'envoyer en ligne le caractère bit par bit par l'intermédiaire du modulateur-démodulateur de ligne (modem).

Dans le diagramme de réception (fig. 4), les données démodulées sont envoyées d'une part à un petit servomécanisme d'asservissement de l'horloge locale, et d'autre part sur un convertisseur série-parallèle. Ce convertisseur alimente lui-même deux parties distinctes de la réception :

a) Un traducteur pour reconvertir le code 4 parmi 8 dans le code 1 2 4 8 A B C des bandes magnétiques (une fois la vérification faite).

b) Création en local du caractère de vérification longitudinal d'après les données reçues et comparaison de celui-ci avec celui qui a été engendré par le transmetteur.

SYNCHRONISATION DES UNITÉS (fig. 5)

La synchronisation des terminaux est accomplie automatiquement lorsqu'ils sont branchés à la ligne. Les terminaux envoient alternativement des caractères de synchronisation pendant 1,3 seconde. Les caractères de synchronisation sont utilisés par le récepteur pour asservir son horloge à la phase du transmetteur qui est directeur dans l'opération.

Le phénomène de rattrapage de phase est le suivant : la mesure de la différence entre la phase locale et la phase des données démodulées (par comptage) permet de déterminer s'il faut avancer ou retarder la phase de l'onde engendrée en local. Le signal de correction qui s'ensuit commande un comptage par 31, 32 ou 33 dans les circuits de démultiplication et divise par les mêmes nombres la fréquence d'oscillation du quartz local permettant d'accélérer ou de ralentir les signaux d'horloge et donc de rattraper la phase. En cas d'erreur détectée en ligne, pour ne pas faire de recherches de phases pendant des périodes où la ligne est perturbée, le système de division est bloqué sur la valeur nominale 32.

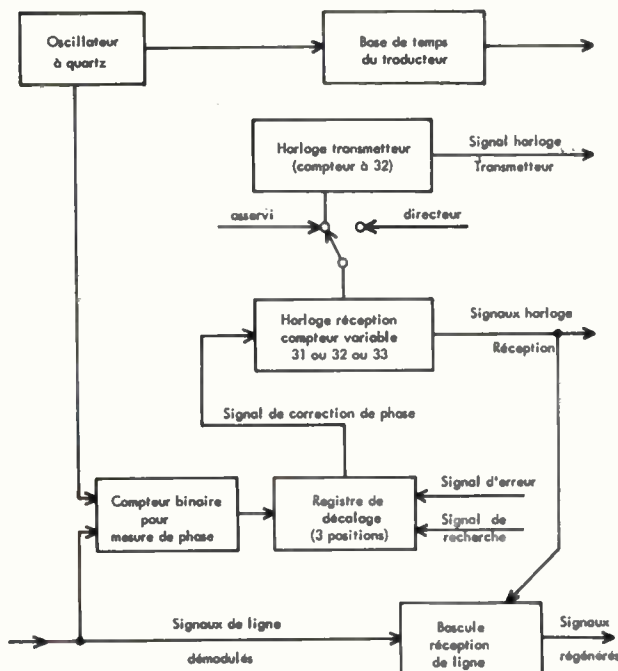


FIG. 5. — Synchronisation des terminaux 7702.

EFFICACITÉ DES SYSTÈMES DE TRANSFERT DE L'INFORMATION D'UN POINT A UN AUTRE

Les études statistiques pratiques et théoriques ont démontré qu'il n'y avait pratiquement pas d'erreurs transmises non détectées, la détection des erreurs provoquant une retransmission des messages ; le problème de l'efficacité de la transmission se pose alors : si la vitesse de modulation permet une transmission de 150 caractères par seconde, quelle est, en fait, la vitesse réelle ?

En supposant les systèmes de transfert fonctionnant en semi-duplex, s'il y a n bits dans le message transmis en ligne à la vitesse de modulation B bauds, il s'écoule un certain intervalle de temps t entre les messages émis ; t est nécessaire :

- pour la transmission elle-même,
- au récepteur pour faire la détection des erreurs,
- pour le retour vers le poste de transmission d'un message de contrôle « bon ou mauvais »,
- pour l'analyse du message de contrôle,
- éventuellement pour permettre l'élimination des supprimeurs d'écho en ligne.

t peut être de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de millisecondes.

Si aucune erreur ne se produisait au cours de la transmission, la vitesse de transfert de l'information serait alors en bits par seconde :

$$V = \frac{n}{t + \frac{n}{B}}$$

Cependant, les messages sont de temps en temps erronés et les expériences effectuées sur les réseaux de télécommunication montrent qu'avec une bonne approximation, on peut considérer la distribution des messages erronés comme une distribution de Poisson. Si D est alors la distance moyenne (en bits) entre deux messages perturbés, la vitesse effective devient alors :

$$V = \frac{n}{t + \frac{n}{B}} e^{-\frac{n}{D}}$$

La figure 6 montre un réseau de courbes pour un système transmettant au mieux 150 caractères par seconde. La variable principale choisie est la longueur du message et les diverses courbes correspondent à des valeurs de D plus ou moins grandes, c'est-à-dire à des lignes plus ou moins perturbées.

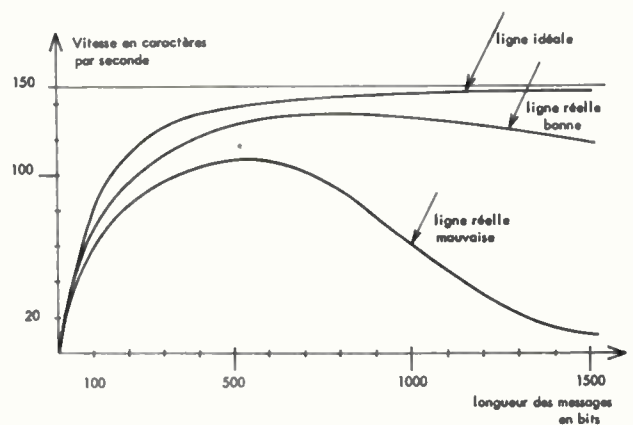


FIG. 6

L'examen des courbes fait apparaître que pour un canal de transmission d'une qualité donnée, il existe une longueur optimale pour la longueur des messages à utiliser. Cependant, au cours d'une même journée, la qualité d'une liaison peut varier considérablement (en particulier aux heures de trafic de pointe) et l'efficacité de la machine peut être très bonne ou très mauvaise pendant les diverses heures d'utilisation. Pour éviter de trop grosses différences d'efficacité, il y a intérêt à se placer un peu en-dessous de la longueur optimale.

B. Systèmes pour la concentration ou collection des informations

Les centres de calcul n'ont pas toujours besoin de retransmettre à distance des résultats mais doivent recevoir toutes sortes de données élaborées dans les points terminaux du système dont ils sont le cerveau. Les machines déjà décrites plus haut pour le transfert de l'information peuvent être évidemment aussi utilisées pour ce travail ; par exemple, un centre de calcul peut avoir une machine réceptrice à bande magnétique et les points terminaux des machines à lecture de carte. Cette disposition permet au centre de calcul

C. Systèmes à entrée directe sur les ordinateurs

Il a été étudié pour la plupart des calculateurs importants des circuits d'adaptation directs aux transmissions numériques sur ligne téléphonique ou télégraphique. Les vitesses de transmission sur ces lignes étant en général bien modestes comparées à la vitesse usuelle d'alimentation en données du calculateur, il est hors de question de bloquer un calculateur important par l'attente des informations en provenance d'une seule ligne, sauf cas de force majeure (problèmes de défense nationale par exemple, où l'on a à calculer des trajectoires d'engins balistiques ennemis). Pour des calculateurs moyens, on peut envisager l'introduction des données directes sur le calculateur sans trop grever les prix d'utilisation des machines. L'IBM a construit pour son groupe de calcul 1401 une unité (1009) d'adaptation aux lignes téléphoniques qui lui permet de correspondre soit avec un autre calculateur soit avec une unité déjà décrite au paragraphe A de cet article (unité à bande magnétique ou à carte perforée). L'introduction des données dans le groupe 1401 permet soit de les stocker directement dans une unité à bande de groupe, soit de leur faire subir un traitement avant cette opération.

Pour les gros calculateurs, nous avons vu qu'il était économiquement hors de question de les alimenter par une seule ligne téléphonique ; nous aurons alors besoin d'un organe intermédiaire : un concentrateur pour pouvoir jouer, non plus avec une seule ligne, mais avec un nombre de lignes qui pourra, dans la technique actuelle, atteindre quelques dizaines.

Notre compagnie a réalisé pour la réservation des places sur les lignes aériennes un vaste système comprenant un centre de calcul important (deux calculateurs 7090 ou 7070) et de nombreux terminaux embrochés sur lignes téléphoniques ; c'est le « SABRE ».

Le système SABRE a été étudié pour remplir principalement les fonctions ou conditions suivantes :

1. Interrogation à partir de n'importe quelle distance du calculateur des disponibilités sur les vols et pour plusieurs centaines de postes de réservation.
2. Réponse du calculateur immédiate (de l'ordre de la seconde).
3. Passage des transactions, c'est-à-dire des ventes de places.
4. Sécurité totale, à savoir taux d'erreurs non détectées négligeable.

Pour tenir ces conditions, la configuration de la figure 8 a été adoptée.

Pour assurer un fonctionnement 24 heures sur 24 du centre de réservation, tous les organes de calcul ont été doublés et un certain nombre de lignes 4 fils installées spécialement pour le système, assurent un flot de données à 2 000 bauds de vitesse de modulation nominale. Tous les centres de réservation et le de calcul sont asynchrones entre eux, les messages étant souvent très courts, quelques caractères ; on n'utilise qu'une dizaine de millisecondes pour syn-

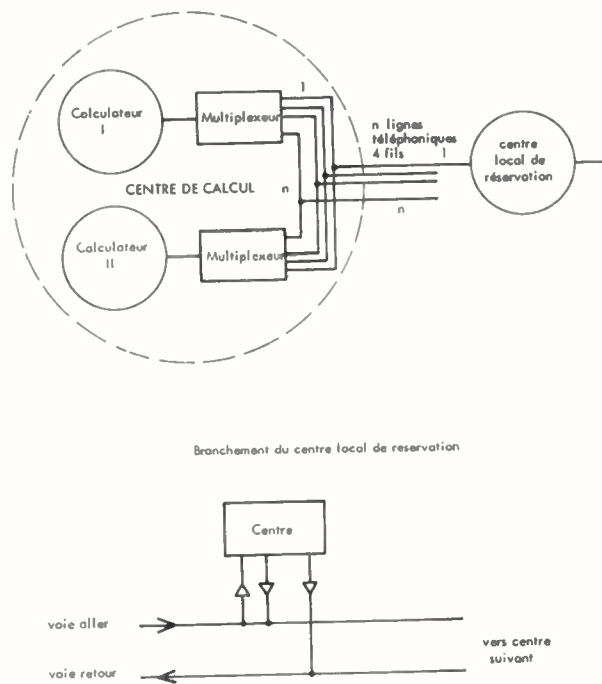


FIG. 8. — Système SABRE.

chroniser une base de temps dans un organe récepteur et déterminer ainsi les instants caractéristiques de la modulation.

Tout le système fonctionne sous la supervision complète du centre de calcul ; les centres de réservation sont interrogés les uns après les autres suivant un programme enregistré. Sur la même ligne, les centres embrochés sont émetteurs l'un après l'autre dans l'ordre où ils sont placés sur la ligne.

Dans chaque centre de réservation, plusieurs dizaines de tables d'opératrices sont disponibles ; la reproduction photographique (fig. 9) donne une idée de la disposition des clés, voyants et partie imprimante du pupitre. Les demandes de disponibilités sont faites à l'aide de simples boutons, les transactions de vente à l'aide d'une entrée par machine à écrire.

Lorsque l'opératrice interroge le calculateur, son message est transféré dans une mémoire à tores magnétiques du centre de réservation et il sera prêt pour la prochaine autorisation d'émettre en direction du calculateur sur la ligne retour. Les messages revenant du calculateur seront détectés par la logique du centre de réservation (analyse d'indicatifs) et commanderont soit des voyants lumineux, soit la mécanique d'impression.

Le temps de réponse dépend des temps de transmission et d'analyse des messages, mais aussi des phénomènes de queue qui peuvent se produire aux heures de pointe. La théorie des probabilités permet d'ajuster le nombre des lignes du réseau au trafic prévu et maintenir des délais d'attente de l'ordre de la seconde.

Outre les problèmes d'efficacité, ceux de contrôle des informations sont très importants dans le cas des réservations et ventes de places. Les messages du système SABRE sont composés de caractères de 6 bits et

d'exploiter en fin de journée à grande vitesse (par exemple 60 000 caractères par seconde) des informations accumulées pendant la journée à 150 caractères par seconde.

Le système IBM 1001 que nous allons décrire brièvement pour illustrer le travail de concentration des données est un appareillage spécialisé ; les points terminaux travaillent à vitesse lente (au plus 10 caractères par seconde) et l'information provient soit de la lecture d'une carte, soit de la frappe des touches d'un clavier ; au point central, une perforatrice classique est adaptée au démodulateur de ligne ; l'ensemble de l'appareillage est représenté sur la figure 7 ; le fonctionnement du système s'effectue de la manière suivante :

En un point terminal donné (relié au réseau téléphonique), l'opérateur a une certaine information à communiquer au centre de calcul ; il établit la communication téléphonique normalement avec le poste du centre (qui peut être surveillé ou non) ; si le numéro est libre, la connexion est établie et l'opérateur commute sa ligne sur la position « transmission de données ». Il passe en général une carte contenant des données d'identification : numéro du demandeur, nature de la demande, etc., et en dernier lieu il envoie son message en appuyant sur les touches de son clavier.

Côté réception, la perforatrice perfore une carte avec toutes les données transmises ; au raccrochage du combiné téléphonique, la ligne est libérée ; elle

est également libérée automatiquement si aucune donnée n'est transmise en ligne pendant plus d'une minute pour éviter des blocages intempestifs du poste récepteur dans le cas où un demandeur fait une fausse manœuvre.

Ayant perforé au cours de la journée un certain nombre de cartes émises de divers points d'un territoire, les cartes peuvent être traitées en bloc par le centre de calcul lorsque les machines sont disponibles suivant les procédés classiques de la mécanographie.

La transmission en ligne est assurée par un dispositif de modulation parallèle : chaque chiffre est représenté par un envoi simultané de deux fréquences sélectionnées chacune parmi un groupe de quatre. Le récepteur décode et vérifie que l'on reçoit deux et seulement deux fréquences ; c'est une vérification caractère par caractère qui est extrêmement efficace et économique.

La concentration des informations semble avoir une importance extrême dans les systèmes de supervision, contrôle, automatisation de processus industriels. Il faut en effet, dans ce domaine, faire des mesures à cadence relativement lente dans des centaines de points différents avant de pouvoir traiter par un calcul automatique l'information recueillie. Bien que ces systèmes soient surtout localisés à l'intérieur d'usines, les impératifs de production peuvent réagir d'une usine sur une autre dans un complexe industriel important et nécessitent alors des transferts d'information à grande distance.

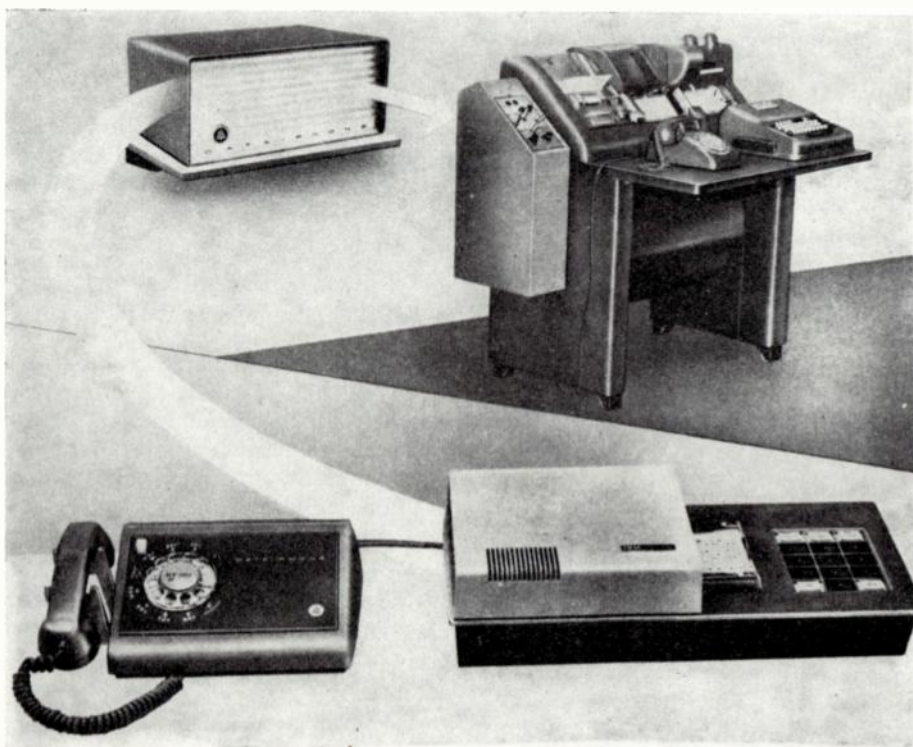


FIG. 7

C. Systèmes à entrée directe sur les ordinateurs

Il a été étudié pour la plupart des calculateurs importants des circuits d'adaptation directs aux transmissions numériques sur ligne téléphonique ou télégraphique. Les vitesses de transmission sur ces lignes étant en général bien modestes comparées à la vitesse usuelle d'alimentation en données du calculateur, il est hors de question de bloquer un calculateur important par l'attente des informations en provenance d'une seule ligne, sauf cas de force majeure (problèmes de défense nationale par exemple, où l'on a à calculer des trajectoires d'engins balistiques ennemis). Pour des calculateurs moyens, on peut envisager l'introduction des données directes sur le calculateur sans trop grever les prix d'utilisation des machines. L'IBM a construit pour son groupe de calcul 1401 une unité (1009) d'adaptation aux lignes téléphoniques qui lui permet de correspondre soit avec un autre calculateur soit avec une unité déjà décrite au paragraphe A de cet article (unité à bande magnétique ou à carte perforée). L'introduction des données dans le groupe 1401 permet soit de les stocker directement dans une unité à bande de groupe, soit de leur faire subir un traitement avant cette opération.

Pour les gros calculateurs, nous avons vu qu'il était économiquement hors de question de les alimenter par une seule ligne téléphonique ; nous aurons alors besoin d'un organe intermédiaire : un concentrateur pour pouvoir jouer, non plus avec une seule ligne, mais avec un nombre de lignes qui pourra, dans la technique actuelle, atteindre quelques dizaines.

Notre compagnie a réalisé pour la réservation des places sur les lignes aériennes un vaste système comprenant un centre de calcul important (deux calculateurs 7090 ou 7070) et de nombreux terminaux embrochés sur lignes téléphoniques ; c'est le « SABRE ».

Le système SABRE a été étudié pour remplir principalement les fonctions ou conditions suivantes :

1. Interrogation à partir de n'importe quelle distance du calculateur des disponibilités sur les vols et pour plusieurs centaines de postes de réservation.
2. Réponse du calculateur immédiate (de l'ordre de la seconde).
3. Passage des transactions, c'est-à-dire des ventes de places.
4. Sécurité totale, à savoir taux d'erreurs non détectées négligeable.

Pour tenir ces conditions, la configuration de la figure 8 a été adoptée.

Pour assurer un fonctionnement 24 heures sur 24 du centre de réservation, tous les organes de calcul ont été doublés et un certain nombre de lignes 4 fils installées spécialement pour le système, assurent un flot de données à 2 000 bauds de vitesse de modulation nominale. Tous les centres de réservation et le de calcul sont asynchrones entre eux, les messages étant souvent très courts, quelques caractères ; on n'utilise qu'une dizaine de millisecondes pour syn-

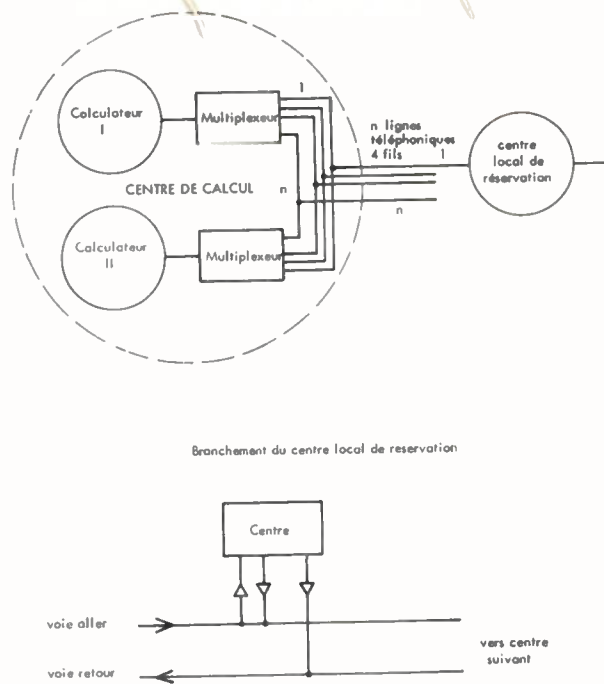


FIG. 8. — Système SABRE.

chroniser une base de temps dans un organe récepteur et déterminer ainsi les instants caractéristiques de la modulation.

Tout le système fonctionne sous la supervision complète du centre de calcul ; les centres de réservation sont interrogés les uns après les autres suivant un programme enregistré. Sur la même ligne, les centres embrochés sont émetteurs l'un après l'autre dans l'ordre où ils sont placés sur la ligne.

Dans chaque centre de réservation, plusieurs dizaines de tables d'opératrices sont disponibles ; la reproduction photographique (fig. 9) donne une idée de la disposition des clés, voyants et partie imprimante du pupitre. Les demandes de disponibilités sont faites à l'aide de simples boutons, les transactions de vente à l'aide d'une entrée par machine à écrire.

Lorsque l'opératrice interroge le calculateur, son message est transféré dans une mémoire à tores magnétiques du centre de réservation et il sera prêt pour la prochaine autorisation d'émettre en direction du calculateur sur la ligne retour. Les messages revenant du calculateur seront détectés par la logique du centre de réservation (analyse d'indicatifs) et commanderont soit des voyants lumineux, soit la mécanique d'impression.

Le temps de réponse dépend des temps de transmission et d'analyse des messages, mais aussi des phénomènes de queue qui peuvent se produire aux heures de pointe. La théorie des probabilités permet d'ajuster le nombre des lignes du réseau au trafic prévu et maintenir des délais d'attente de l'ordre de la seconde.

Outre les problèmes d'efficacité, ceux de contrôle des informations sont très importants dans le cas des réservations et ventes de places. Les messages du système SABRE sont composés de caractères de 6 bits et

d'exploiter en fin de journée à grande vitesse (par exemple 60 000 caractères par seconde) des informations accumulées pendant la journée à 150 caractères par seconde.

Le système IBM 1001 que nous allons décrire brièvement pour illustrer le travail de concentration des données est un appareillage spécialisé ; les points terminaux travaillent à vitesse lente (au plus 10 caractères par seconde) et l'information provient soit de la lecture d'une carte, soit de la frappe des touches d'un clavier ; au point central, une perforatrice classique est adaptée au démodulateur de ligne ; l'ensemble de l'appareillage est représenté sur la figure 7 ; le fonctionnement du système s'effectue de la manière suivante :

En un point terminal donné (relié au réseau téléphonique), l'opérateur a une certaine information à communiquer au centre de calcul ; il établit la communication téléphonique normalement avec le poste du centre (qui peut être surveillé ou non) ; si le numéro est libre, la connexion est établie et l'opérateur commute sa ligne sur la position « transmission de données ». Il passe en général une carte contenant des données d'identification : numéro du demandeur, nature de la demande, etc., et en dernier lieu il envoie son message en appuyant sur les touches de son clavier.

Côté réception, la perforatrice perfore une carte avec toutes les données transmises ; au raccrochage du combiné téléphonique, la ligne est libérée ; elle

est également libérée automatiquement si aucune donnée n'est transmise en ligne pendant plus d'une minute pour éviter des blocages intempestifs du poste récepteur dans le cas où un demandeur fait une fausse manœuvre.

Ayant perforé au cours de la journée un certain nombre de cartes émises de divers points d'un territoire, les cartes peuvent être traitées en bloc par le centre de calcul lorsque les machines sont disponibles suivant les procédés classiques de la mécanographie.

La transmission en ligne est assurée par un dispositif de modulation parallèle : chaque chiffre est représenté par un envoi simultané de deux fréquences sélectionnées chacune parmi un groupe de quatre. Le récepteur décode et vérifie que l'on reçoit deux et seulement deux fréquences ; c'est une vérification caractère par caractère qui est extrêmement efficace et économique.

La concentration des informations semble avoir une importance extrême dans les systèmes de supervision, contrôle, automatisation de processus industriels. Il faut en effet, dans ce domaine, faire des mesures à cadence relativement lente dans des centaines de points différents avant de pouvoir traiter par un calcul automatique l'information recueillie. Bien que ces systèmes soient surtout localisés à l'intérieur d'usines, les impératifs de production peuvent réagir d'une usine sur une autre dans un complexe industriel important et nécessitent alors des transferts d'information à grande distance.

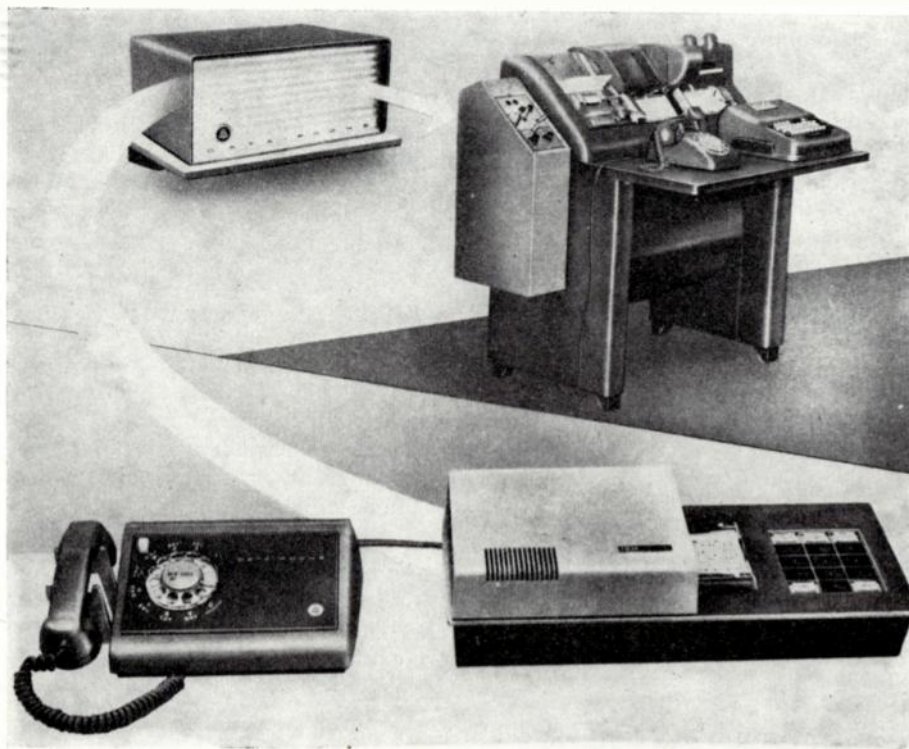


FIG. 7



FIG. 9

ont un contrôle global de vérification donné par un code cyclique ($X^6 + X^5 + 1$) ⁽¹⁾ dont la sélection a été faite soigneusement après des centaines d'heures de tests sur une ligne similaire à celles du réseau futur. Une comparaison des performances du code a été faite avec les performances attendues de la part des opératrices du réseau et le code choisi a été trouvé suffisant pour que le taux d'erreurs non détectées dû à la transmission soit négligeable devant le taux d'erreurs dû aux opératrices. D'après les résultats statistiques, un code à 6 bits de parité permet de détecter environ 199 messages faux sur 200 et un code avec 12 bits de parité (2 caractères) donnait une telle sécurité que le nombre d'heures de tests n'était pas assez grand pour obtenir des résultats significatifs (plusieurs mois de tests ont été réalisés) : tous les messages faux étaient détectés. Des considérations de prix du matériel ont alors limité le nombre de bits de vérification au minimum estimé nécessaire.

D. Les échangeurs de message

Les appareillages présentés dans les chapitres précédents permettent la réalisation de systèmes très efficaces mais qui demandent une certaine simplicité dans l'organisation des réseaux de transmission :

(1) Pour plus de détails sur ces codes, voir par exemple : Article de MM. F. CORR et E. GOROG dans le même numéro, et « Cyclic Codes for Error Detection » de MM. W. PETERSON et D.T. BROWN, *Proceedings of IRE*, janvier 1961.

- simples liaisons bilatérales, ou
- liaisons en étoile à partir d'un centre de calcul,
- vitesse unique de modulation pour l'ensemble du système,
- codes et alphabets prédéterminés pour toutes les unités.

Cependant, des réseaux plus complexes sont nécessaires pour satisfaire des besoins particuliers et l'organisation du système peut nécessiter :

- un réseau de communication maillé,
- des vitesses de transmission différentes suivant les connexions,
- des codes et alphabets diversifiés suivant les centres locaux.

Un exemple de ce besoin particulier nous est donné par le réseau météorologique ; les réseaux météorologiques sont des réseaux télégraphiques maillés dont les points nodaux sont dispersés sur l'étendue des continents ; les centres nodaux reçoivent des bulletins d'information météorologique sur un certain nombre de voies télégraphiques et distribuent à des correspondants une sélection des informations reçues en fonction des besoins de chacun d'eux et selon un programme établi à l'avance.

Pour le moment, l'organisation de ces réseaux fait appel aux opératrices pour identifier les messages, les trier et les expédier au correspondant suivant le programme de diffusion. Des messages de service sont en outre composés directement au clavier.

L'accroissement du trafic, la complexité croissante du programme de diffusion et la nécessité d'un contrôle plus strict des erreurs pouvant s'introduire dans le processus vont conduire inévitablement de pareils réseaux à s'automatiser.

Pour résoudre les problèmes qui se posent pour l'automatisation des réseaux complexes, les calculateurs classiques peuvent être utilisés mais leurs possibilités logiques sont en général mal adaptées. Plusieurs fabricants de matériels électroniques ont réalisé des unités baptisées « échangeurs de message » spécialement conçues pour le travail sur les réseaux complexes et dont nous allons donner les caractéristiques essentielles sans nous attacher à décrire une unité déterminée.

Fonctions remplies par les échangeurs de message

Les fonctions suivantes sont traitées par une organisation spéciale des machines :

- a) Adaptation de la ligne aux circuits.
- b) Assemblage des messages caractère par caractère.
- c) Stockage des messages (absorption des pointes de trafic).
- d) Identification.
- e) Transcodage et vérification.
- f) Changement de vitesse de transmission.
- g) Interconnexion avec une unité calculatrice.
- h) Adressage sous contrôle de programmation.

L'usage combiné des possibilités de mémoire et de programmation permet en outre de faire des acheminements avec priorité, l'arrêt de messages non

acceptables, une consultation de tables et un grand nombre d'opérations logiques basées sur l'analyse des informations reçues.

L'exécution des travaux par l'échangeur de messages est rendue possible par sa grande vitesse de travail. Un cycle d'entrée ou sortie de la mémoire générale dure environ une microseconde, alors que les lignes apportent les informations à des vitesses de 50 à 3 000 bauds. C'est pourquoi un échangeur traitera facilement l'information arrivant de quelques dizaines de lignes téléphoniques ou de quelques centaines de lignes télégraphiques.

Une organisation logique possible de la machine est représentée sur la fig. 10. L'information est échangée avec les canaux télégraphiques ou téléphoniques et balayée par des chaînes I et II afin de garnir une mémoire intermédiaire de 128 caractères, chaque caractère de cette mémoire étant assigné à une ligne particulière. La mémoire intermédiaire vide ensuite son contenu dans les positions de la mémoire générale. Dans les divers étages d'opération, les échanges s'effectuent de plus en plus vite, les impulsions étant de 20 millisecondes sur les lignes télégraphiques, 500 microsecondes sur les lignes téléphoniques et finalement de 1 microseconde sur les lignes d'accès aux caractères de la mémoire générale. Le multiplexage des informations s'effectue grâce à la rapidité des chaînes de balayage. Les grandes différences de l'appareillage par rapport aux organes calculateurs classiques vont résulter de la nécessité de garder la trace de l'origine de chaque caractère et dans celle d'offrir assez de bits par caractère pour être capable de manipuler tous les codes possibles. Par exemple, dans chacun des 128 mots de la mémoire intermédiaire, il y aura 11 bits réservés pour l'information proprement dite et 37 autres pour des fonctions diverses : vérifications de parité, adressage du caractère dans la mémoire centrale, et d'une manière générale toutes les instructions qui doivent commander les opérations à réaliser sur le caractère associé.

L'organisation de la mémoire générale est elle aussi différente de l'organisation d'une mémoire classique, le flot continu des données doit pouvoir y trouver suffisamment de place disponible ; pour cela, l'adressage ne doit pas bloquer une partie déterminée de la mémoire pour une ligne donnée, mais cette mémoire est « banalisée », chacune de ses parties étant réaffectée à une ligne au travail au fur et à mesure des besoins.

Une fonction importante de l'échangeur est le transfert de l'information avec le calculateur associé. C'est finalement le calculateur qui « digérera » la partie de l'information traversant l'échangeur qui lui est destiné.

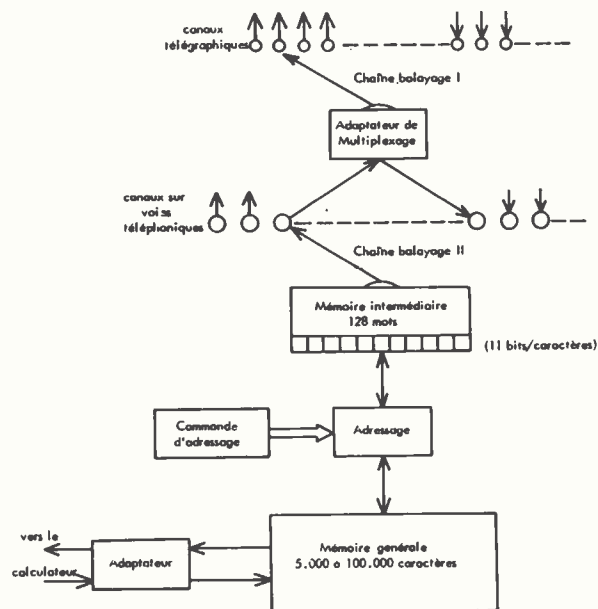


Fig. 10. — Organisation d'un échangeur de message.

Conclusions

Les systèmes de traitement de l'information utilisant les transmissions à grande distance sont des moyens puissants mis à la disposition des utilisateurs ; cependant, l'on est encore dans une période de pleine évolution de ces appareillages.

Les vitesses de transmission sont loin de saturer les possibilités de travail des centres de calcul et la prochaine génération de machines utilisera largement des canaux de télécommunication plus rapides que les voies téléphoniques : groupes primaires ou secondaires de voies téléphoniques sur les réseaux classiques, faisceaux large bande complets sur des liaisons spécialisées. Les vitesses d'échange ainsi obtenues seront alors voisines des vitesses actuelles d'entrée et sortie dans les équipements classiques, soit quelques dizaines de milliers de caractères par seconde.

Par ailleurs, les possibilités de transmission par les réseaux de communication existants vont permettre à un nombre croissant d'utilisateurs l'accès à des centres de calcul importants situés loin d'eux et dont ils ne pourraient justifier l'emploi par leur activité propre.

On peut imaginer que des systèmes encore plus élaborés permettront l'introduction directe de l'information humaine dans leurs réseaux, c'est-à-dire le codage et le décodage de la voix humaine, pour donner toutes les instructions nécessaires aux machines et recevoir d'elles les informations élaborées dans leur sein.

DOCUMENTATION TECHNIQUE

COMPARAISONS DE FRÉQUENCE

par rapport à l'Atomichron n° 107 du C.N.E.T.
en 10^{-10}

Moyennes journalières pour l'intervalle
de 24 heures centré sur 3 h T.U.
(* intervalles centrés sur 19 h T.U.)

Déc. 1962	NAA 14,7kHz	GBR 16 kHz	NBA 18 kHz	* NLK 18,6kHz	* NPM 19,8kHz	NSS 22,3kHz
1	— 123,4	— 122,6	— 126,8	— 123,4	— 123,8	— 125,0
2	— 125,8	— 125,7	— 127,0	— 125,1	— 126,5	— 128,9
3	— 125,4	— 124,2	— 125,6	— 125,0	— 125,7	—
4	— 124,7	— 124,8	— 126,8	—	—	— 129,1
5	— 127,4	— 124,1	—	—	—	— 130,4
6	— 126,0	— 126,4	— 127,4	— 127,6	— 126,8	— 129,3
7	— 127,0	— 126,7	— 127,8	—	—	— 130,7
8	— 126,4	— 126,4	— 127,1	— 127,7	— 127,3	— 126,0
9	— 126,8	— 127,5	— 127,1	— 124,2	— 125,6	— 125,0
10	— 123,9	— 124,5	— 126,3	— 126,6	— 126,9	—
11	— 125,6	— 124,6	— 126,8	— 123,4	— 124,2	— 127,3
12	— 126,1	— 124,4	— 125,7	— 126,8	— 126,3	— 127,9
13	— 124,5	— 124,6	— 126,9	— 126,0	— 125,5	— 123,0
14	— 125,0	— 124,7	— 126,5	—	— 126,4	— 124,4
15	— 125,9	— 126,0	— 127,4	— 128,7	— 125,4	— 126,3
16	— 126,1	— 125,6	— 127,8	— 128,2	— 126,7	— 127,1
17	— 126,5	— 123,3	— 127,2	— 127,7	— 125,9	— 126,4
18	— 125,4	— 126,5	—	— 127,6	— 124,9	— 124,8
19	— 127,6	— 125,5	—	— 128,2	— 126,6	— 129,2
20	— 125,2	— 125,5	—	— 127,1	— 126,1	— 129,2
21	— 123,4	— 125,2	— 126,5	— 125,7	— 126,4	— 128,1
22	— 132,2	— 125,7	— 127,8	— 125,8	— 125,1	— 127,1
23	— 129,2	— 126,6	— 128,0	— 125,7	— 125,5	— 127,8
24	— 126,5	— 125,4	—	— 124,3	— 125,0	— 128,1
25	— 129,3	— 124,2	—	— 127,2	— 128,4	— 123,9
26	— 126,9	— 124,1	—	— 127,1	— 125,3	—
27	— 127,2	— 125,3	—	—	—	—
28	—	— 123,9	— 126,2	—	—	— 124,1
29	—	— 124,8	— 126,8	— 124,2	—	— 126,2
30	— 123,2	— 123,6	— 125,8	— 125,2	— 124,1	— 124,4
31	— 124,2	— 124,3	— 126,6	— 125,3	— 124,6	—

— Une correction de -74.10^{-10} est appliquée à la fréquence de l'Atomichron.

— Cf Onde Electrique, novembre 1960 p. 853, et janvier 1961 p. 81.

EQUIPEMENT DE TÉLÉMESURE PERMANENTE ANALOGIQUE A TRANSISTOR " MINERVE 71 "

Les besoins dans le domaine du traitement de l'information à distance ne cessent de s'accroître dans toutes les branches de l'activité industrielle, et, dès maintenant, de nombreuses réalisations nécessitent un contrôle centralisé et conduisent à une installation de télémesure ou de transmission.

Pour satisfaire ces besoins, le DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE de la COMPAGNIE DES COMPTEURS réalise toute une gamme d'équipements à grande capacité couramment utilisés dans les installations industrielles importantes et parmi lesquels on peut rappeler l'équipement de transmission cyclique codée MERCURE, à transistors, pour les télémesures et les téléseñalisations. Cette gamme vient d'être complétée par un nouvel équipement de télémesure à encombrement réduit, MINERVE 71, destiné à transmettre le résultat d'une seule mesure.

Une liaison MINERVE 71, comprenant un émetteur EGF 71 et un récepteur RFV 71, assure la transmission permanente à distance des valeurs d'une grandeur quelconque, préalablement convertie en courant continu, par l'intermédiaire d'un canal normalisé de télégraphie harmonique ; ce canal peut appartenir à une voie de transmission quelconque, métallique ou radioélectrique, à fréquences vocales ou à courants porteurs. Plusieurs télémesures permanentes peuvent être transmises simultanément sur une même voie, en affectant à chacune d'elles une fréquence nominale F_n choisie dans le tableau des fréquences normalisées pour les transmissions de télégraphie harmonique.

Dans l'émetteur EGF 71 (fig. 1), le courant continu d'entrée I_{m1} produit, aux bornes d'une résistance, la tension V_{m1} qui est mise en opposition avec la tension V_{o1} de référence définissant la position du zéro dans l'échelle de mesure. Un convertisseur magnétique tension-fréquence délivre un signal de fréquence $f/2$, proportionnelle à $V_{m1} - V_{o1}$ et variable de 12,5 à 25 Hz. Le signal émis en ligne est constitué par deux composantes de fréquences variables $F_n - f/2$ et $F_n + f/2$.

A la réception (fig. 2), un détecteur fournit le battement entre ces deux composantes ; le signal obtenu, de fréquence f , est appliqué à un convertisseur fréquence-courant, qui délivre une tension continue V_{m2} , proportionnelle à f . Le signal finalement restitué est un courant I_{m2} .

Les caractéristiques essentielles d'une liaison MINERVE 71 sont :

- Classe de précision : 1 % pour l'ensemble de la liaison
- Temps de réponse : inférieur à 0,3 s
- Largeur de bande utilisée : 120 Hz.

L'équipement est présenté en coffrets métalliques : un à l'émission et un à la réception (fig. 3 et 4). Il peut être alimenté

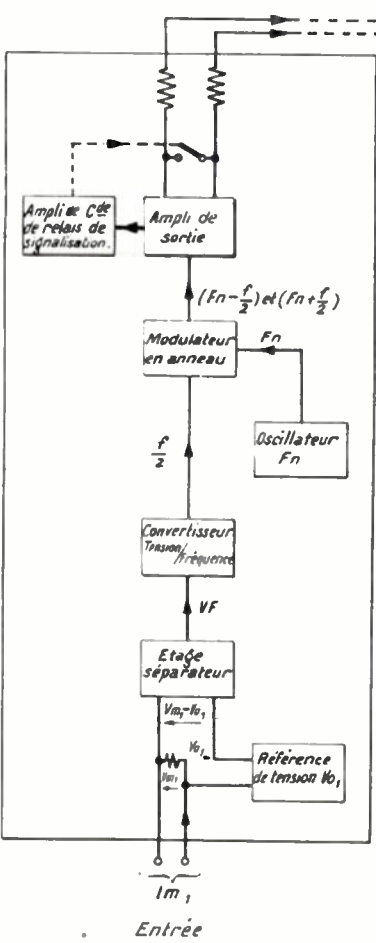


FIG. 1.

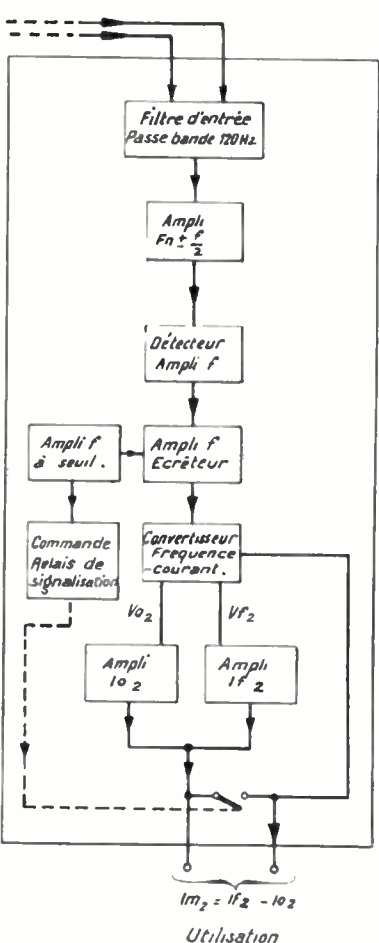
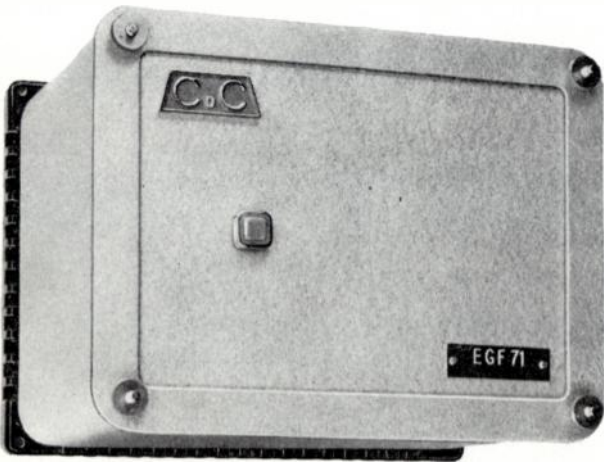


FIG. 2.

EMETTEUR EGF 71
(Boîtier fermé)



(Le récepteur RFV 71 a la même présentation)

RECEPTEUR RFV 71

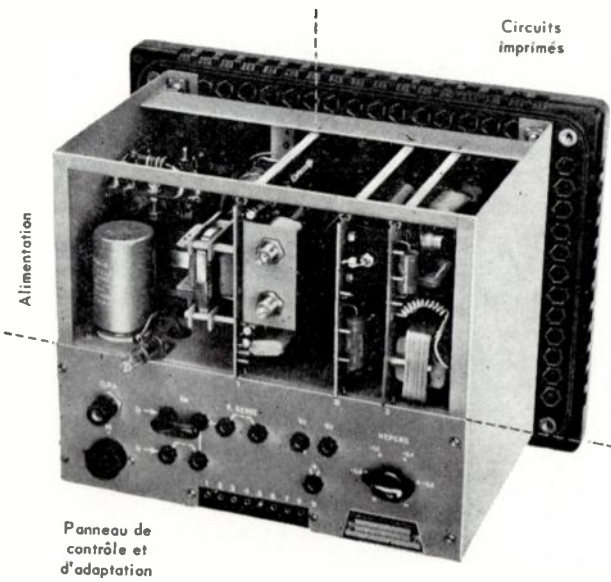


FIG. 4. — Récepteur RFV71 (boîtier ouvert).

FIG. 3. — Emetteur EGF71 (boîtier fermé). Le récepteur RFV71 a la même présentation.

par le secteur ou par une source continue 48 V ; la consommation est, dans ce dernier cas, de 12,5 W à l'émission et de 18 W à la réception.

Les circuits, entièrement transistorisés, sont équipés de pièces détachées à hautes performances et assurent un fonctionnement continu très sûr. D'autre part, l'émetteur, comme le récepteur, comporte un dispositif de signalisation de défaut. L'utilisation de plaquettes enfichables et de bornes de test facilitent les opérations de maintenance et de contrôle.

ESSAIS DE TRI AUTOMATIQUE DU COURRIER EN ALLEMAGNE FÉDÉRALE

Durant la semaine du 21 au 27 octobre 1962, les membres de l'Union Internationale de la Presse Radioélectrique et Electronique (U.I.P.R.E.) ont été les hôtes de la Deutsche Bundespost et de la Société Telefunken, qui les avaient invités pour leur présenter des essais d'automatisation dans le service postal, et notamment de tri automatique du courrier.

La Deutsche Bundespost a demandé à plusieurs Sociétés allemandes (Telefunken, Siemens, Lorenz) d'étudier ce problème, qui la préoccupe depuis une dizaine d'années. Il est en effet indispensable, étant donné le volume sans cesse croissant du courrier alors que la main-d'œuvre tend plutôt à se raréfier, de remplacer l'homme par la machine dans toute la mesure du possible. Cette grave question est d'ailleurs à l'ordre du jour dans toutes les grandes Administrations postales.

Les principes généraux du tri automatique

Il faut d'abord distinguer courrier de départ et courrier d'arrivée. C'est le premier que nous étudierons ici, d'abord parce que son traitement est plus complexe, et ensuite parce que les machines à trier au départ peuvent également traiter le courrier à l'arrivée.

Le tri est l'opération qui consiste, ayant un objet portant une adresse manuscrite ou imprimée, à le placer dans une case déterminée, soit que celle-ci soit affectée exclusivement au lieu de destination en question, soit que l'on y groupe diverses destinations desservies par exemple par le même bureau central, ou par une même ligne de chemin de fer, ou d'avion.

Pour l'automatisation intégrale idéale, la machine devrait elle-même lire l'adresse et placer l'objet dans la case voulue. Or la machine à lire l'écriture manuscrite n'a pas encore vu le jour. Par contre, des essais encourageants ont été faits par la Sté Siemens pour la lecture de l'écriture imprimée à la machine à écrire ordinaire, et l'on peut espérer pouvoir dans un avenir assez proche traiter ce genre de courrier de façon entièrement automatique.

En attendant, il faut encore une intervention humaine.

Mais pour le faciliter, et pour préparer l'avenir, la Deutsche Bundespost a décidé d'affecter à chaque bureau de poste un numéro à 4 chiffres, qui devra être inscrit sur l'enveloppe ou sur la carte postale par l'expéditeur lui-même. Bien entendu, la 1^{re} décade, celle des 1 000 est affectée à la région postale — ce qui limite donc à 10 régions, en y comprenant le chiffre zéro, le découpage de l'ensemble du territoire postal — la 2^e décade à la sous-région, etc.

Ce numéro est, au moment du tri, lu par une opératrice qui, actionnant un clavier, imprime sur l'enveloppe selon un certain code des points ou des traits, qui, passent ensuite devant des cellules photoélectriques ou des têtes magnétiques, produisent des signaux électriques caractéristiques de la destination désirée.

Les parties constitutantes d'un équipement automatique de tri

Le Service Technique Central de la poste à Darmstadt (Post-technisches Zentralamt, en abrégé PTZ) expérimente actuellement les équipements Siemens et Telefunken. Ils ne diffèrent dans leur principe que par le répartiteur final, et comme l'équipement Telefunken nous a été présenté dans sa totalité, et que nous

avions déjà pu l'étudier au début de la semaine, lors de la visite de l'usine de cette Société à Constance, c'est lui que nous prendrons comme exemple pour cette description générale.

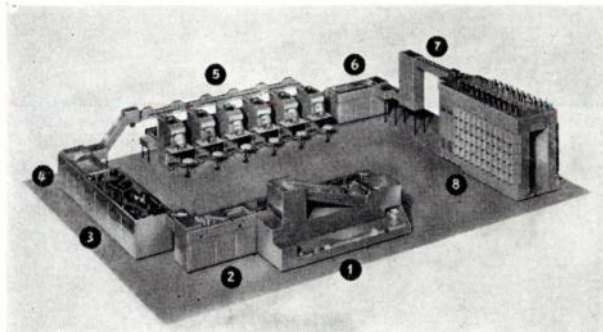


FIG. 1.

La photographie (fig. 1) représente une maquette de cet équipement, les différentes parties étant repérées par des numéros :

1. Machine à séparer les formats.
2. Dispositif d'empilement.
3. Machine à redresser.
4. 2^e dispositif d'empilement.
5. Positions de codage.
6. 3^e dispositif d'empilement.
7. Elévateur.
8. Machine à trier.

Nous allons voir maintenant les fonctions et les caractéristiques de toutes ces parties.

Machine à séparer les formats

Cette machine reçoit en vrac le contenu des sacs postaux provenant des levées de boîte et des bureaux de quartier. On y trouve pêle-mêle des colis, des imprimés, des lettres de formats divers, des cartes postales, etc.

La machine élimine elle-même les colis et les envois de formats non courants, qui seront traités manuellement, pour ne retenir que les plis de formats compris entre 90 × 140 mm et 176 × 250 mm, et d'épaisseurs comprises entre 0,15 et 4 mm.

Dispositifs d'empilement

Il s'agit simplement de magasins-réservoirs placés à la sortie d'un appareil à fonctionnement plus ou moins irrégulier et qui redonnent en aval un courant régulier de courrier. Leur capacité atteint 1 000 enveloppes. Il ne faut pas oublier en effet que le débit horaire d'un équipement simple de tri est de 20 000 plis, soit environ 6 à la seconde.

Machine à redresser

Cette machine :

- constate la présence du timbre, et éjecte les envois non affranchis.
- retourne, s'il le faut, l'enveloppe pour que le timbre se présente en haut et à droite.
- fait l'oblitération.

La question du timbre pose des problèmes particuliers. Une simple détection par cellule photo-électrique risque de confondre le timbre postal ayant valeur d'affranchissement avec des étiquettes, des vignettes publicitaires, etc. On avait pensé à employer des timbres revêtus au dos de traits d'encre à poudre de ferrite, pour détection par tête magnétique, mais des agrafes métalliques à l'intérieur de l'enveloppe peuvent donner de faux

signaux. La Bundespost a adopté un timbre fluorescent, qui éclairé en lumière de Wood donne une lumière orange assez sélective pour être facilement séparée par un filtre optique placé devant la cellule de détection.

Positions de codage (fig. 2)

C'est le seul endroit où il y ait intervention humaine. Le rendement de chaque position est de 2 500 à 3 000 plis à l'heure,

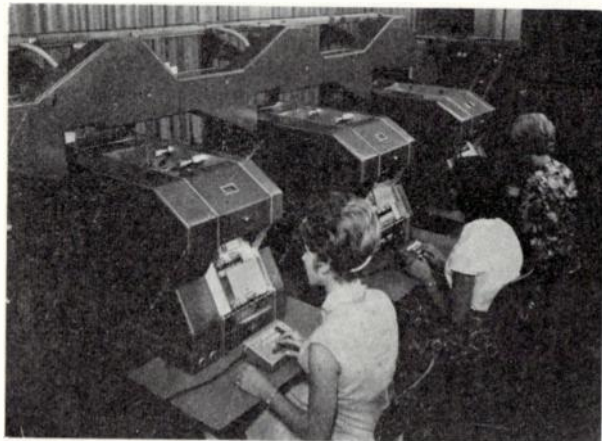


FIG. 2.

il faut donc compter 7 à 8 positions pour desservir un équipement de 20 000 plis/heure. L'enveloppe ou la carte postale arrivent automatiquement sous les yeux de l'opératrice qui lit le numéro de destination. Il s'agit alors de marquer sur l'enveloppe des signes caractéristiques de ce numéro, qui lus ensuite par les dispositifs d'aiguillage, permettront tout au long du parcours d'acheminer le pli dans la bonne voie. La Bundespost emploie le code « 2 de 5 » (fig. 3) dans lequel 2 points peuvent occuper 5 positions discrètes. Ce code a l'avantage d'être auto-contrôlable, c'est-à-dire que l'absence d'impression d'un point ou son emplacement incorrect sont immédiatement décelés.

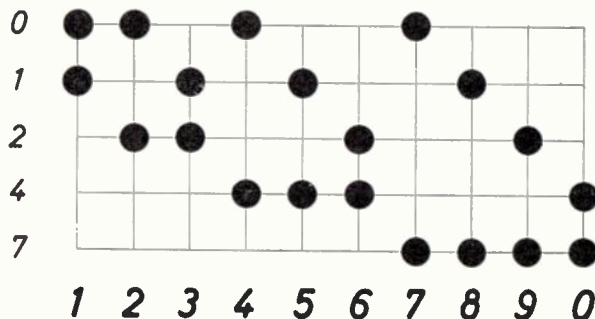


FIG. 3.

L'impression est faite dans le quart inférieur droit de l'enveloppe, dont l'angle inférieur droit sert de repère de positionnement. On peut employer, soit de l'encre magnétique — chaque élément est un trait fin vertical de 8 mm de hauteur environ —, soit de préférence une encre fluorescente invisible en lumière naturelle. On peut également employer une substance phosphorescente qui demeure encore lumineuse pendant un certain temps après la suppression de l'excitation par ultra-violets, alors que la luminescence disparaît en même temps que l'excitation.

Cela permet, si l'on utilise la phosphorescence au tri d'arrivée, de superposer ce dernier marquage au marquage initial luminescent fait au tri de départ, sans risque de confusion entre les deux informations.

Pour en revenir à l'opératrice, l'enveloppe étant placée sous ses yeux, elle lit le numéro et le frappe sur un clavier ; le dernier chiffre frappé, la machine imprime d'un seul coup la marque codée (la fig. 4 montre une enveloppe ainsi marquée, éclairée en ultra-violet).

Une première sous-répartition a lieu dès la sortie de la machine à coder, suivant 10 directions différentes selon le numéro ou la frappe d'une touche spéciale.

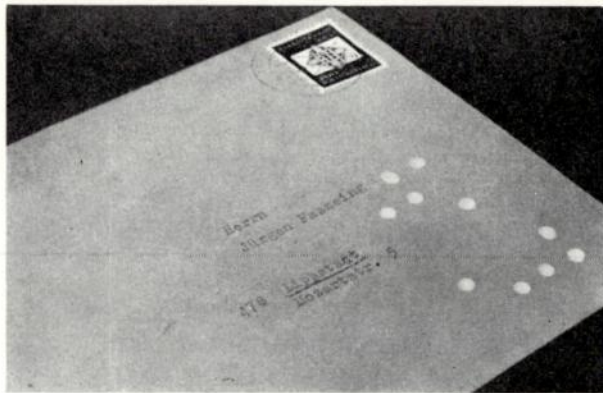


FIG. 4.

La machine à trier système Telefunken

Cette machine est visible à l'arrière plan de la figure 5, la figure 6 donne une vue des aiguillages de la partie supérieure.

Elle trie 20 000 lettres à l'heure, réparties en 100 cases. Les lettres passent d'abord par le dispositif de détection du code.

Les signaux lus par ce dispositif sont enregistrés par une mémoire tampon et comparés à ceux inscrits sur un tambour magnétique tournant à 100 t/seconde, qui comporte 5 600 « adresses » enregistrées, avec les positions d'aiguilles correspondantes. Dès que le signal enregistré par la mémoire tampon est trouvé identique à l'une des adresses, les aiguilles se mettent en position, la mémoire tampon s'efface et une nouvelle lettre

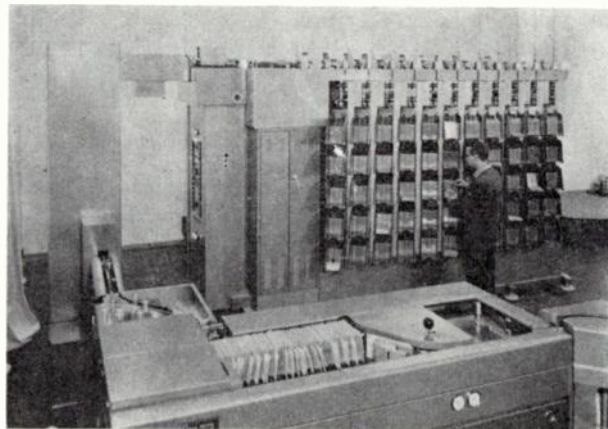


FIG. 5.

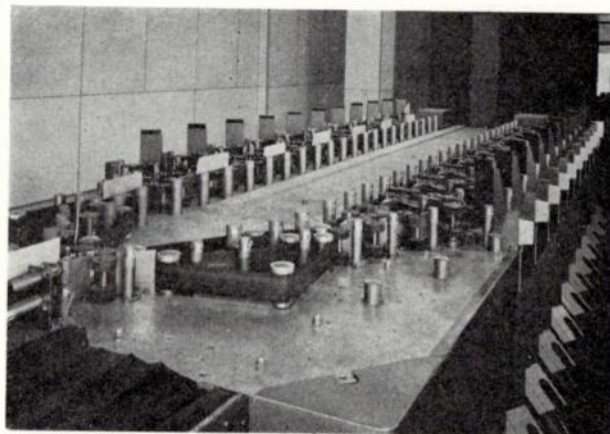


FIG. 6.

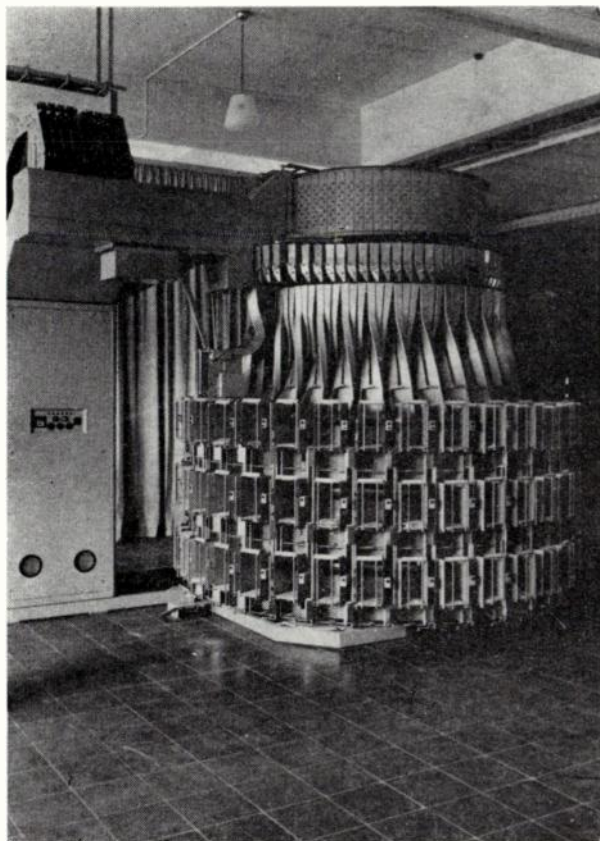


FIG. 7.

est admise. Toutes ces opérations durent moins de 100 milli-secondes, et l'enveloppe n'a parcouru que quelques centimètres après la détection que sa voie est déjà préparée.

La machine à trier Siemens (fig. 7)

Le système Telefunken est à aiguilles, le système Siemens est à récipients. Entendons par là que la machine comporte une chaîne sans fin de boîtiers qui reçoivent chacun une lettre à la position de codage, et qui passent ensuite devant les ouvertures des cases. Au moment où le code de la case correspond à celui de l'enveloppe, le boîtier s'ouvre et libère le pli qui tombe dans la case.

La Bundespost poursuit à Darmstadt ses essais comparatifs avant de choisir tel ou tel système. Si l'on considère que le trafic est passé de 6 milliards et demi de lettres en 1957 à 9 milliards en 1961, on conçoit que l'automatisation devienne rapidement indispensable, même encore assortie des positions manuelles de codage.

Il restera ensuite à faire l'éducation du public pour que chaque expéditeur n'omette pas d'inscrire le numéro du lieu de destination. Cette éducation peut être assez rapide si les usagers prennent conscience de l'accélération de transmission que vaudra à leur missive l'inscription supplémentaire de 4 chiffres.

S.M.

RÉCENTS TRAVAUX DE LA C.E.I. SUR LES APPAREILS ÉLECTRIQUES DE MESURE UTILISÉS AVEC LES RADIATIONS IONISANTES

Le Comité d'Etudes 45 : « Appareils électriques de mesure utilisés en relation avec les radiations ionisantes », actuellement le seul Comité d'Etudes de la C.E.I. à activité purement nucléaire, comprend 7 groupes de travail qui se sont tous réunis dans la semaine du 10 décembre 1962 à Braunschweig (Alle-

magne). L'objet de ces diverses rencontres était de préparer la réunion du comité plénier qui soit se tenir à Venise en mai 1963.

Les séances de travail se sont déroulées dans les locaux de la Physikalische Technische Bundesanstalt. Les points les plus importants à signaler en ce qui concerne les travaux effectués sont les suivants :

Groupe de travail n°1 : « Classification-Terminologie »

1) Refonte de l'« Inventaire des appareils susceptibles d'appartenir au domaine d'activité du CE.45 » :

— Mises au point de définitions pour un certain nombre d'appareils.

— Sélection de termes généraux et des définitions correspondantes ;

— Etude approfondie de la délimitation de la frontière du domaine d'activité du CE.45. Les familles d'appareils qui se trouvaient à la limite de ce domaine ont été examinées avec soin et dans chaque cas une position motivée a été prise par le groupe.

2) Classification : quatre études ont été examinées et des lignes de conduite ont été adoptées pour leur poursuite. Il est permis de penser que le travail présenté par l'expert français sur la classification des détecteurs pourra bientôt être transmis au Comité plénier.

3) Parmi les autres questions examinées, il convient de mentionner :

— l'achèvement de l'étude des définitions d'une soixantaine de termes généraux et l'examen de l'opportunité de faire prendre en charge le travail de Terminologie correspondant par le Comité responsable du V.E.I.

— un échange de vues sur un travail exécuté à l'initiative de l'AIEA sur la classification de l'Instrumentation Nucléaire, qui doit être d'une grande utilité à l'Agence pour la fourniture de matériel aux Pays en voie de développement.

Groupe de travail n° 2 : « Sécurité »

Le groupe a décidé que le document général à établir devrait s'inspirer des travaux du sous-comité 13 C : « Appareils de mesure électroniques ».

Il s'est ensuite mis d'accord pour proposer au CE.45 d'inclure dans le domaine d'activité du groupe les appareils utilisant des radiations ionisantes pour la mesure. Bien que non conforme aux prescriptions de New-Delhi, cette proposition s'imposait à la suite de la création à Rouen du GT.6.

Le groupe a enfin discuté un document sur la sécurité des appareils à l'égard des radiations ionisantes. Ce document doit être envoyé aux Comités Nationaux et sera discuté à Venise.

Groupe de travail n° 3 : « Interchangeabilité »

Parmi les travaux du G.T. 3, notons essentiellement dans le domaine de l'électronique : la discussion sur le fond d'un document présenté par l'expert français et relatif au projet de règles sur l'interchangeabilité du matériel d'électronique nucléaire n'a pu être entreprise par suite de la diffusion tardive du document. Il est demandé aux Comités Nationaux de faire parvenir leurs observations sur ce projet.

Groupe de travail n° 4 : « Instrumentation des Réacteurs »

Le groupe a examiné et adopté un projet de modification tendant à un élargissement de son domaine d'activité. Ce nouveau domaine doit être proposé à la prochaine réunion du CE.45 à Venise.

Le groupe a ensuite examiné les projets relatifs à la recommandation qu'il doit établir pour le comité plénier de Venise ; il a mis au point un programme de travail très précis pour l'élaboration de cette recommandation.

Groupe de travail n° 5 : « Appareils de mesure utilisés par l'industrie minière »

Le groupe a examiné les observations reçues des Comités Nationaux sur 3 projets de recommandation concernant respectivement la classification des appareils de prospection portatifs

d'une part, des appareils de prospection portés par véhicules d'autre part.

Le groupe a ensuite discuté une étude présentée par l'expert français sur le choix d'une unité de mesure à utiliser pour la prospection radiométrique et a décidé de poursuivre ses travaux dans ce domaine.

Le groupe a enfin décidé d'entreprendre l'étude de divers problèmes particuliers.

Groupe de travail n° 6 : « Appareils électrique de mesure utilisant des sources de rayonnement scellées »

Après avoir établi la liste des appareils sur lesquels il estimait possible de faire des recommandations, le groupe a décidé de prendre en priorité les 3 types d'appareils ci-dessous qui sont actuellement les plus utilisés :

- densimètres,
- jauges d'épaisseur,
- indicateurs de niveau.

Le groupe a dressé la liste des paramètres caractérisant le fonctionnement de ces trois types d'appareils dont l'étude a été attribuée à chacun des trois experts.

Groupe de travail n° 7 : « Méthodes d'essais »

Le groupe a tout d'abord adopté un projet précisant son domaine d'activité. Il a discuté ensuite une liste non limitative des appareils et des paramètres à prendre en considération.

Afin d'obtenir des résultats rapidement, un certain nombre de travaux ont été attribués aux divers membres après avoir fixé un cadre devant servir de modèle de présentation de ces travaux.

Les sujets retenus portent en particulier sur les conditions de référence pour les essais, le domaine d'utilisation des appareils ainsi que sur un certain nombre de matériels pour lesquels des documents ont déjà établis été dans certains pays (alimentations, amplificateurs, détecteurs).

COMMUNIQUÉ

COLLOQUE INTERNATIONAL SUR L'ÉLECTRONIQUE NUCLÉAIRE

Paris, 25, 26, 27 Novembre 1963

Un COLLOQUE INTERNATIONAL SUR L'ÉLECTRONIQUE NUCLÉAIRE se tiendra à Paris, au Palais de l'UNESCO du 25 au 27 novembre 1963.

Cette manifestation est organisée par la Société Française des Electroniciens et des Radioélectriciens. Elle est patronnée en particulier par :

- l'Agence Internationale de l'Energie Atomique
- le Centre Européen de Recherche Nucléaire
- le Centre National d'Etudes Spatiales

le Commissariat Français à l'Energie Atomique
l'Euratom

l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée

Troisième à être patronnée par l'Agence Internationale, ce Colloque fait suite au Colloque International sur l'Electronique Nucléaire qui s'est tenu à Paris en septembre 1958 et à la Conférence d'Electronique Nucléaire de Belgrade de mai 1961.

Le programme, dont le détail sera précisé ultérieurement, couvrira essentiellement les détecteurs de radiation, le traitement des informations en électronique nucléaire et l'électronique rapide. Il aura trait aux aspects les plus récents de ces questions, en particulier en rapport avec les problèmes spatiaux.

Des informations complémentaires peuvent être demandées au Secrétariat de la SFER, 10 avenue Pierre-Larousse, Malakoff, Seine.

BIBLIOGRAPHIE

Digital Data, par D.S. EVANS. Un vol. 13 × 19 cm, 82 pages, nombreuses illustrations (Hilger et Watts, Londres 1961).

Ce livre, rédigé en anglais, présente sous une forme condensée l'utilisation de l'équipement de codage numérique. L'intérêt est surtout centré sur les réalisations pratiques anglaises. La description de systèmes commercialisés ou encore à l'état de prototype est éclairée par de nombreuses photographies. Un index et une bibliographie complètent cet ouvrage.

R.O.E.

Physique appliquée aux industries du vide et de l'électronique, par G.A. BOUTRY, tome I : technique du vide, l'électron libre, l'électron producteur de lumière. Un vol. 16,5 × 24,5 cm, 398 pages, 258 figures (Masson et Cie, Paris 1962). 55 F.

Cet ouvrage constitue le premier volume de la nouvelle collection du Conservatoire National des Arts et Métiers. Selon l'esprit de la collection nouvelle, le livre consacré par le Professeur BOUTRY à la « Physique Appliquée aux Industries du Vide et de l'Electronique » s'écarte des habitudes de l'enseignement supérieur classique. En effet, presque partout, l'exposé des phénomènes et de leurs lois se déplace dans des domaines où la charge d'espace est négligeable, cinq où l'on étudie la transformation de l'énergie électrique en énergie lumineuse et la construction des principales sources de lumière actuelles.

Ce livre représente la première année d'un cours qui en comprend deux. On y trouvera sept chapitres consacrés à la technique du vide, trois dans lesquels on se préoccupe des propriétés de l'électron libre de se déplacer dans des domaines où la charge d'espace est négligeable, cinq où l'on étudie la transformation de l'énergie électrique en énergie lumineuse et la construction des principales sources de lumière actuelles.

Si le programme du livre est assez orienté vers les applications pratiques relevant aussi bien du domaine du laboratoire que de celui de l'industrie, il couvre néanmoins des chapitres importants de la théorie cinétique des gaz ; il pose même les principes de la mécanique ondulatoire dont l'emploi est aujourd'hui indispensable à l'ingénieur. Mais dans tous ces développements théoriques, l'auteur s'exprime dans un langage volontairement simple et parfaitement accessible. Son mérite est, entre autres, de préciser dans chaque cas quelles sont les limites actuellement atteintes dans les théories et dans leurs applications.

L'ouvrage constitue un excellent instrument de travail tant à l'usage des élèves du Conservatoire des Arts et Métiers qu'à celui de l'Ingénieur et du Technicien, que ceux-ci soient des spécialistes de problèmes de vide, ou au contraire qu'ils désirent s'initier à ces problèmes.

Le tome I sera complété par un deuxième volume consacré à l'électron dans les solides métalliques et dans les semi-conducteurs, à l'émission des électrons par les solides, à l'étude de la construction et des propriétés des tubes électroniques et des éléments de circuits semi-conducteurs.

R.O.E.

Research on controlled thermonuclear fusion, vol. n° 7. Un vol. 16 × 24 cm, 582 pages (International Atomic Energy Agency, Vienne, 1961). Broché : 16 F.

Ce volume, rédigé en anglais, le n° 7 dans la série, est une bibliographie sur les recherches dans le domaine de la fusion thermonucléaire contrôlée. La bibliographie contient environ 5 000 références à des travaux publiés en anglais, français, russe, allemand, italien et japonais entre janvier 1955 et décembre 1961. Les références sont divisées en 20 catégories, dans chacune des catégories elles sont classées alphabétiquement par nom d'auteur ; de courts résumés sont donnés pour les travaux les

plus récents. En annexe figure un index des auteurs, une liste des conférences tenues et des revues publiées sur ce sujet.

R.O.E.

Error correcting codes, par W.W. PETERSON. Un vol. 15 × 23,5 cm, 285 pages (John Wiley and Son, Londres 1961). Relié : 62 sh.

Cet ouvrage en anglais, consacré à la détection d'erreurs et aux codes spéciaux pour la transmission et la mise en mémoire d'informations, fournit dans les premiers chapitres des bases mathématiques à la compréhension tout en supposant une certaine connaissance de l'algèbre moderne.

Après avoir présenté d'une manière moderne les théories et les systèmes connus avant 1958, les développements récents sont exposés.

De nombreuses références, un index, ainsi qu'une liste des notations utilisées sont réunies à la fin du volume. En annexe, le lecteur trouvera des tables simplifiant le traitement des cas pratiques. Pour faciliter l'étude d'un point particulier, l'auteur donne en appendice une liste des parties de chapitre dont la

connaissance est indispensable pour comprendre une question donnée.

R.O.E.

International directory of radioisotopes 2^e édition. Un vol. 16 × 24 cm, 700 pages (International Atomic Energy Agency, Vienne 1962, distribué en France par Masson). Relié : 36 F.

Cette seconde édition du Répertoire International des Radioisotopes (texte anglais), reprenant en un seul volume la matière des deux tomes de la première édition, réunit les données mises à jour sur les sources d'approvisionnement et les prix (convertis en dollars U.S.) des radioisotopes.

La première partie est consacrée aux tables des Radioisotopes (classés par ordre alphabétique) et des composés autres que ceux figurant dans la deuxième partie. Les principales caractéristiques physiques sont indiquées. La deuxième partie contient une liste des composés marqués avec le carbone 14, l'hydrogène 3, l'iode 131, le phosphore 32 et le soufre 35.

Les composés de ces isotopes ont été classés dans l'ordre alphabétique de leur nom le plus courant. Dans le cas où plusieurs noms existent pour un même composé, les synonymes du nom choisi ont été inclus dans l'index qui termine le volume.

R.O.E.

PETITES ANNONCES

606 C. — Société pour l'étude et la réalisation

d'ENGINS BALISTIQUES

SEREB

recherche

1^{er} 1 INGÉNIEUR d'excell. standing professionn. pr responsabilités des

ESSAIS EN VOL

2nd 1 INGÉNIEUR

pr « ESSAIS EN VOL »
responsable des engins.

3rd 1 INGÉNIEUR ÉLECTRONICIEN

pr son nouveau centre (près BORDEAUX)
stage d'env. 1 an dans la région parisienne
avant affectation définitive.

4th 1 INGÉNIEUR

pr essais aérodynamiques et propulsion
origine gdes écoles préfér. ENSAE.

5th 1 INGÉNIEUR

pr service mesure.

Adr. candid. manusc. ou se présen.
Serv. Personnel, 55, rue V.-Hugo, COUR-
BEVOIE, M. NOEL. DEF. 37.85.

607. C. —

IMPORTANT ORGANISME
demande

pour Centre d'Etudes situé Banlieue Nord-
Est

INGÉNIEURS

DIPLOMÉS E.S.E. Section Radio (pro-
motion 1959 et suivantes).
Nationalité française exigée. Dégagés des
oblig. milit.

Désireux de travailler dans les domaines
micro-ondes et accélérateurs de parti-
cules

STABILITÉ D'EMPLOI
AVANTAGES SOCIAUX

Ecrire av. curriculum vitae et présent. à
n° 28 095, CONTESSE Publicité, 20, av.
Opéra, Paris 1^{er}, qui transm.

609 C. —

IMPORTANTE FIRME
DIFFUSION APPAREILS de
MESURES ÉLECTRONIQUES
RENOMMÉE INTERNATIONALE
PARIS - recherche pour
SERVICE APRÈS VENTE

INGÉNIEUR

DE LABORATOIRE
DIPLOME ÉLECTRONICIEN
ou ÉQUIVALENT

ayant plusieurs années
d'expérience labo :

oscilloscopes — générateurs de fréquences
— ponts de mesures, etc...

SITUATION INTÉRESSANTE
dans Firme plein essor

Ecrire sous réf. QH 250 A. 4, rue
Massenet, E.T.A.P. PARIS XVI^e.

Discretion absolue

610 C. — Grande Entreprise Sud-Est
recherche :

UN INGÉNIEUR

30-35 ans

comme CHEF D'UN SERVICE
de RECHERCHES et ÉTUDES
en électronique et électromécanique

Courants faibles, principal domaine d'ac-
tivité : automatisme et régulation.

Ecrire à n° 30 284 CONTESSE Publicité,
20 av. Opéra, Paris 1^{er} qui transm.

611 C. — Service Etude R.T.F. (Docu-
mentation).

Recherche Retraité Spécialisé Télécom-
munications en vue rédaction articles tech-
niques Radio.

S'adresser, 1, rue Marcel-Allégot,
MEUDON (S.-et-O.).

612. C. — H. 30 a Math. Sup. CNAM
all., ang., esp. cherche poste documenta-
liste ou traducteur en électronique. Ecrire
à la revue qui transm.



Revue affiliée au Syndicat
de la Presse Radioélectrique
Française - Paris

PROPAGATION TROPOSPHÉRIQUE ET FAISCEAUX HERTZIENS TRANSHORIZON

Télécommunications par satellites

par

F. du CASTEL

*Ingenieur en Chef des Télécommunications
au Centre National d'Études des Télécommunications*

PRÉFACE

de

L. LEPRINCE-RINGUET

de l'Académie des Sciences

Un ouvrage de 512 pages 15 × 24 cm, 173 figures, nombreuses photographies,
relié pleine toile, fers spéciaux. Prix 104 F, plus port

— Editions CHIRON, 40, rue de Seine, Paris-VI^e —

Le présent ouvrage se propose de faire le point des connaissances acquises dans le domaine de la propagation troposphérique transhorizon au cours de la dernière décade, et de donner les éléments de calcul des faisceaux hertziens transhorizon, après avoir précisé les principales caractéristiques des équipements correspondants.

Dans un chapitre introductif, on fixe la place des faisceaux hertziens transhorizon dans l'ensemble des moyens de liaisons multiplex à grande distance, et on présente un aperçu historique du développement scientifique et technique dans ce domaine.

La première partie traite de la propagation troposphérique. Les principaux résultats expérimentaux récents sont commentés, ainsi que les interprétations théoriques des phénomènes de propagation qui cherchent à les comprendre. Les théories de diffraction sont présentées à la lumière des travaux récents de l'école soviétique du Professeur Fock, qui en éclairent le sens profond. Pour les théories de propagation troposphérique, on s'est efforcé de présenter une vue synthétique des phénomènes, à partir des travaux essentiellement américains sur le phénomène de diffusion turbulente et des travaux français de l'auteur et de ses collègues du C.N.E.T. sur le phénomène de réflexion en milieu stratifié irrégulier. Cette première partie se termine sur les méthodes pratiques d'évaluation des affaiblissements de propagation sur une liaison donnée.

La seconde partie étudie les caractéristiques des faisceaux hertziens transhorizon. Dans l'étude des éléments généraux de ces systèmes de télécommunication, on a surtout insisté sur les aspects qui leur sont particuliers, renvoyant le lecteur à l'ouvrage de L. Linois, « Faisceaux Hertziens et Systèmes de Modulation » paru dans la même collection aux Editions Chiron, pour les éléments communs à tous les systèmes de faisceaux hertziens. On s'est efforcé de tenir compte du progrès rapide des techniques dans ce domaine, en dégageant les principaux éléments de leur évolution. Quelques éléments

descriptifs sur les équipements sont présentés, qui concernent particulièrement les réalisations de l'industrie française. Cette seconde partie se termine sur les méthodes de calcul des faisceaux hertziens transhorizon.

Un chapitre de conclusion décrit quelques réalisations et donne quelques indications, complétant les données introductives sur l'utilisation rationnelle des faisceaux hertziens transhorizon parmi les autres moyens de liaisons multiplex à grande distance. Ces problèmes sont particulièrement envisagés dans l'optique du développement des pays neufs.

On donne en Appendice quelques informations sur les télécommunications par satellites qui peuvent être considérées, dans une certaine mesure, comme un prolongement des faisceaux hertziens transhorizon.

Tel quel, ce livre espère donner une vue d'ensemble des problèmes de propagation troposphérique et des techniques de faisceaux hertziens transhorizon. Le souhait de l'auteur est qu'il puisse être aussi utile aux ingénieurs de recherche et étudiants, intéressés par les problèmes de propagation, qu'aux ingénieurs des télécommunications et techniciens, intéressés par les liaisons transhorizon. L'auteur a, dans cet esprit, essayé de trouver un juste équilibre entre les développements de caractère physique et scientifique et les considérations de caractère pratique et appliqué. Il a, en exposant le premier point de vue, songé à l'importance du développement de la Recherche dans la situation contemporaine de la France, et, en traitant le second, pensé particulièrement aux problèmes posés aux jeunes Etats Africains d'expression française.

Cet ouvrage est le fruit de dix années de travail au C.N.E.T. sur ces problèmes.

ÉDITIONS CHIRON, PARIS-VI^e