

scom

Éléments de téléinformatique

nie half duplex
CITT Hertz
chrone MODEM off line d'accès
one MIC analogique polling canal STOP
bit alternat code protocole d'accès
ET CADUCÉE jonction bloc télétraitement
ame Baud datagramme on line
code horloge bit CCITT START
POT autocommutateur selecting TART
temporelle TÉLEX paquet START
virtuel alphabét
full duplex message synchronisation
MORSE

1^{re} édition
1980

MINISTÈRE DU BUDGET • DIRECTION DU BUDGET

SERVICE CENTRAL D'ORGANISATION ET MÉTHODES

20, rue Notre-Dame-des-Victoires, 75056 PARIS RP • Tél. : 770.97.51

Les attributions du SCOM

Le Service Central d'Organisation et Méthodes est chargé d'une manière générale de promouvoir, dans les administrations et services relevant de l'État, les techniques d'organisation et de simplification du travail.

A cet effet, ce service est chargé :

- *d'étudier et d'expérimenter* les divers matériels, équipements et méthodes concernant la gestion administrative, de constituer et diffuser la *documentation* correspondante ;
- *d'animer les études* tendant à simplifier les procédures et les formalités administratives ;
- à la demande des ministres *d'apporter son concours* aux bureaux O et M des administrations, *d'organiser des cycles de perfectionnement* pour le personnel ;
- *de participer*, notamment dans le cadre de l'Institut d'Études Supérieures des Techniques d'Organisation (IESTO), *à la formation de fonctionnaires* dans les techniques de l'organisation ;
- *d'organiser des cycles d'information* sur les techniques administratives et la simplification du travail à l'intention des personnels des administrations et des services publics.

Les actions du SCOM s'exercent dans quatre directions :

- *Formation à l'organisation* des agents des services publics (de l'initiation au perfectionnement, à Paris et en province. 90 stages de 1 à 2 semaines, plus de 1 000 stagiaires par an). Le calendrier des stages est disponible dès septembre.
- *Interventions et conseils* dans les unités administratives qui en font la demande (du diagnostic à la mise en place éventuelle d'une réorganisation).
- *Animation de groupes* de recherches méthodologiques ou appliquées dans tous les domaines de l'organisation administrative, expérimentation des matériels et de l'équipement, diffusion des méthodes et des résultats (cf. p. 3 de couverture).
- *Documentation* (la bibliothèque de consultation et de prêts de 2 500 ouvrages et 70 revues spécialisés est ouverte au public du mardi au vendredi de 9 h 30 à 12 h 30 et de 14 h 30 à 18 h). Recherches bibliographiques, diffusion de documents d'information générale en relation avec l'organisation et les méthodes.

R. NORER

7.3.87

1502

v

Éléments de téléinformatique

1^{re} édition, 1980

Édité par le Service Central d'Organisation et Méthodes
20, rue Notre-Dame-des-Victoires, 75056 PARIS RP - Téléphone : 770.97.51

© SCOM

ISBN 2.11.080008 9

80.30

Cette brochure a été élaborée par René PIERFITTE, chargé de mission au SCOM (E.R.). Elle a été soumise pour avis à une équipe du CNET qui, sous la direction de M. LOYEZ, ingénieur des Télécommunications, a bien voulu préciser quelques points et compléter ou actualiser les chapitres traitant des nouveaux services proposés par les PTT pour la télé-informatique.

Nous les remercions vivement de cette collaboration.

Le chef des publications du SCOM,
P. CLÉVY

AVERTISSEMENT

La téléinformatique « réunion des techniques, méthodes et moyens associant ceux de l'informatique et des télécommunications pour assurer à distance le traitement automatique de l'information » (1) connaît un développement sans cesse croissant.

Discipline relativement récente, faisant appel à une grande technicité, elle exige pour sa mise en application des spécialistes hautement qualifiés (2) et reste très ésotérique pour la grande majorité de ses éventuels utilisateurs.

Encore faut-il qu'un minimum de dialogue puisse s'instaurer entre techniciens et utilisateurs et que les termes les plus couramment utilisés aient un certain sens pour ces derniers.

*La présente brochure a pour but de **vulgariser** certains concepts de base afin de faciliter ce dialogue.*

Il ne s'agit ni d'une méthodologie d'emploi, ni d'un cours de téléinformatique mais, plus modestement, d'un aide-mémoire auquel chacun pourra se référer pour comprendre le sens d'un terme technique rencontré au cours de la lecture d'un article ou dans une conversation avec un spécialiste.

*Une **annexe** rappelle en outre les éléments de base des télécommunications, indispensables à la compréhension des techniques modernes de transmission et de traitement à distance de l'information.*

*Enfin, un **index** donne la liste des mots, sigles et noms propres cités ou définis dans le texte, où ils sont imprimés en **caractères gras**.*

On s'est efforcé d'être à la fois simple et précis, ce qui, dans le domaine technique, est souvent incompatible et risque d'être décevant pour le lecteur; exposer un phénomène physique en éludant la formule fondamentale qui en fournit l'explication interdit en effet toute rigueur mathématique et implique que le lecteur admette pour vraie une affirmation qui ne repose sur aucune démonstration.

Ce document est le fruit du dépouillement des principaux ouvrages et revues traitant de l'électrotechnique, des télécommunications et de téléinformatique, et on s'est plus particulièrement référé à l'excellente Revue française des Télécommunications publiée par le Centre national d'étude des télécommunications (CNET) de l'administration des PTT (3).

Nous serions heureux que cette modeste compilation fût utile à ceux qui auront la curiosité de la consulter.

(1) Définition fournie par la brochure *Terminologie de l'informatique de gestion*, SCOM, 5^e édition, 1979.

(2) On ne saurait trop recommander, pour des études de quelque importance, de prendre avis et conseil de la direction générale des Télécommunications.

(3) Les ouvrages consultés sont cités en annexe (page 59) qui comporte en outre quelques références bibliographiques.

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT

1. INTRODUCTION

1.1. Terminologie	9
1.1.1. Fonctions périodiques	9
1.1.2. Courants alternatifs et notion de filtre électrique	11
1.1.3. Phénomène de propagation	11
1.1.4. Courants de haute fréquence	12
1.1.5. Télécommunications	12
1.2. Unités de mesure	12
1.3. La normalisation internationale	13
1.4. Définition des termes généraux	13
1.5. Origine et développement de la téléinformatique	13
1.5.1. De la télégraphie à la transmission de données	13
1.5.2. De la transmission de données au télétraitement	14
1.5.2.1. Les ordinateurs de la 3 ^e génération	
1.5.2.2. L'ouverture des réseaux de télécommunications à la téléinformatique	
1.6. Techniques de traitement de l'information	16

2. LIAISONS DE TÉLÉINFORMATIQUE

2.1. Éléments d'une liaison	16
2.2. Normalisation et terminologie	17
2.3. Divers aspects d'une liaison	18
2.3.1. Modes et méthodes de transmission	18
2.3.2. Terminaux hors ligne et en ligne	18
2.4. Liaisons et réseaux de données	18
2.4.1. Systèmes autonomes	18
2.4.2. Réseaux fermés	19
2.4.3. Réseaux ouverts d'ordinateurs	20

3. ORGANISATION LOGIQUE DE LA TRANSMISSION DE DONNÉES

3.1. Introduction	20
3.1.1. Jonctions normalisées	20
3.1.2. Équipements terminaux de traitement de données	21
3.1.3. Contrôleur de transmission	21
3.2. Fonctions du contrôleur de transmission	22
3.2.1. Transformations de signaux	22
3.2.2. Assemblage des bits en caractères	22
3.2.2.1. Mode asynchrone	
3.2.2.2. Mode synchrone	
3.3. Procédure de ligne	23
3.3.1. Notion de procédure	23
3.3.2. Procédure de ligne en téléinformatique	23
3.4. Organisation et protection de l'information	23
3.4.1. Découpage de l'information	23
3.4.2. Structuration des messages de données	24
3.4.3. Adressage	24
3.4.4. Protection de l'information	24
3.4.4.1. Erreurs touchant le contenu du message :	
a. Sources et taux d'erreurs	
b. Détection des erreurs :	
– détection analogique	
– contrôle de parité	
– détection au niveau du caractère	
– détection au niveau du bloc	
c. Correction :	
– par répétition sur demande	
– par répétition systématique	
– par autocorrection	
3.4.4.2. Erreurs d'aiguillage ou d'enregistrement	
3.5. Gestion des moyens de transmission	26
3.5.1. Établissement et libération de la voie	26
3.5.2. Procédures d'appel	27
3.5.2.1. Liaisons point à point	
3.5.2.2. Liaisons multipoint	
3.6. Mise en œuvre de la procédure	27
3.7. Diversité des procédures	28
3.7.1. Facteurs dont dépend une procédure	28
3.7.2. Principales procédures	28
3.8. Modes de fonctionnement des contrôleurs de transmission	28

4. ÉQUIPEMENTS POUR LA TRANSMISSION DE DONNÉES

4.1. Modems	29
4.1.1. Fonction essentielle et techniques de modulation	29
4.1.1.1. Codage	
4.1.1.2. Modulation	
4.1.2. Fonctions annexes	30
4.1.2.1. Détection analogique des erreurs	
4.1.2.2. Synchronisation-bit	
4.1.2.3. Modems pour réseau commuté	
4.1.3. Modes de fonctionnement	31
4.1.4. Temps de renversement	31
4.1.5. Modems normalisés	31
4.2. Terminaux	32
4.2.1. Sources et collecteurs	32
4.2.1.1. Diversité des matériels	
4.2.1.2. Entrée des données à partir de l'appareil téléphonique	
4.2.1.3. Réponse vocale	
4.2.2. Catégories de terminaux	33
4.2.3. Évolution des terminaux multifonctions	34
4.3. Connexion de l'ordinateur aux lignes de transmission	34
4.3.1. Généralités	34
4.3.2. Diversité des contrôleurs de transmission associés aux ordinateurs	35
4.3.2.1. Adaptateur de transmission	
4.3.2.2. Contrôleur de transmission	
4.3.2.3. Ordinateur frontal	
4.3.2.4. Connexion au canal	
4.4. Autres équipements terminaux	37
4.4.1. Multiplexeurs	37
4.4.2. Concentrateurs	38
4.5. Commutation en transmission de données	39
4.5.1. Commutation de circuits	39
4.5.2. Commutation de messages	40
4.5.3. Commutation de paquets	40
5. VOIES DE TRANSMISSION	
5.1. Services proposés par les PTT	40
5.2. Utilisation des réseaux commutés	41

5.2.1. Réseau TÉLEX	41
5.2.1.1. Constitution du réseau (rappels)	
5.2.1.2. Installation terminale	
5.2.1.3. Liaison entre téléimprimeur et ordinateur	
5.2.1.4. Principales applications	
5.2.2. Réseau téléphonique	44
5.2.2.1. Conditions d'utilisation des services proposés	
5.2.2.2. Principales applications	
5.2.3. Réseau CADUCÉE	45
5.2.3.1. Constitution du réseau	
5.2.3.2. Installation terminale	
5.2.3.3. Services proposés et champ d'application	
5.3. Utilisation des liaisons spécialisées	47
5.3.1. Liaisons télégraphiques	48
5.3.2. Liaisons téléphoniques	48
5.3.3. Liaisons en bande de base	48
5.3.4. Circuits numériques à grande vitesse	48
5.3.4.1. Liaisons sur groupe primaire	
5.3.4.2. Circuits numériques 2 400 bits/s à 2,048 Mbits/s	
5.4. Nouveaux services proposés par les PTT	50
5.4.1. Service TRANSPLEX	50
5.4.1.1. Constitution du réseau	
5.4.1.2. Services offerts	
5.4.1.3. Raccordement au réseau	
5.4.1.4. Gestion	
5.4.1.5. Intérêt de TRANSPLEX pour l'utilisateur	
5.4.2. Service TRANSMIC	52
5.4.2.1. Présentation générale	
5.4.2.2. Organisation et constitution du réseau	
5.4.3. Service TRANSPAC	54
5.4.3.1. Constitution du réseau	
5.4.3.2. Transmission par paquet	
5.4.3.3. Services offerts	
5.4.3.4. Raccordement au réseau	
5.4.4. Fourniture de modems par les PTT	56
Références bibliographiques	59
Annexe : techniques et moyens de transmission de l'information (table détaillée)	61
Index des termes, sigles et noms propres cités	101

1. INTRODUCTION

1.2. TERMINOLOGIE.

Les notions élémentaires de physique générale et plus particulièrement d'électricité étant supposées connues, nous nous bornerons au rappel de quelques termes fondamentaux dont il sera fréquemment question dans les chapitres qui suivent.

1.1.1. Fonctions périodiques.

Une grandeur y qui varie constamment avec le temps est une fonction du temps. On représente symboliquement cette relation par la notation $y = f(t)$ [fig. 1].

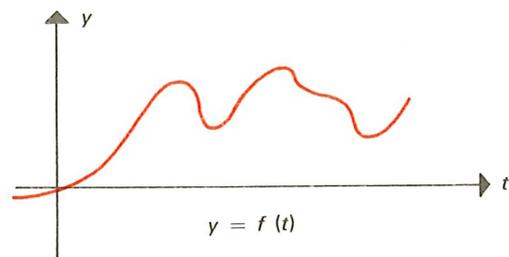


Fig. 1. — Fonction quelconque $y = f(t)$

Une fonction $y = f(t)$ est dite **périodique** si elle prend la même valeur pour t et $t + T$, t étant un instant quelconque et T une constante. T est la durée de la période : on l'appelle simplement **période** et on l'exprime en secondes (fig. 2).

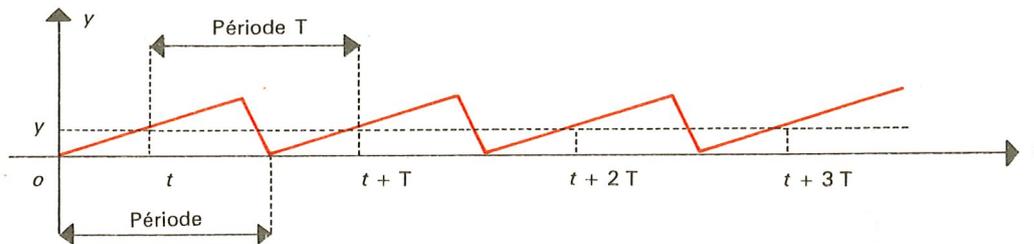


Fig. 2. — Fonction périodique $y = f(t) = f(t + T) = \dots$

On appelle **fonction alternative** une fonction périodique dont la valeur moyenne est nulle : la fonction représentée par la courbe de la figure 3 sera alternative si l'aire de la boucle au-dessus de l'axe des temps est égale à l'aire de la boucle B au-dessous de cet axe.

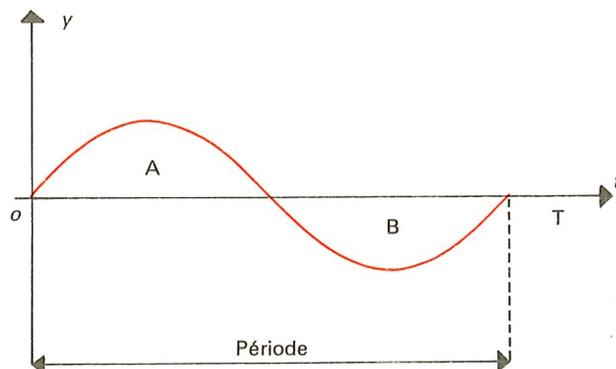


Fig. 3. — Fonction alternative

La fonction alternative la plus simple est la **fonction sinusoïdale** dont l'expression mathématique est $y = Y \sin \omega t$ (fig. 4).

Dans cette relation :

- Y est l'**amplitude** du phénomène (constante de même nature que la variable y);
- ω est une grandeur appelée **pulsation**, qui a pour valeur $\omega = \frac{2\pi}{T}$

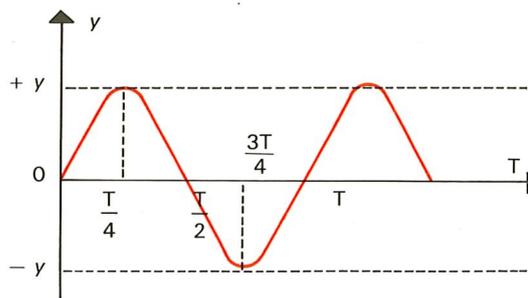


Fig. 4. - Fonction sinusoïdale $y = Y \sin \omega t$

On appelle **fréquence** (f) d'une fonction sinusoïdale (ou d'une fonction périodique quelconque) le nombre de périodes qu'elle exécute par seconde : $f = \frac{1}{T}$; on l'exprime en hertz (Hz). On a donc la relation $\omega = 2\pi f$ et la valeur de la période $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Dans le cas général où l'origine du temps ne coïncide pas avec la valeur nulle de la fonction (fig. 5), la fonction sinusoïdale a pour expression $y = Y \sin (\omega t + \varphi)$ dans laquelle φ est la **phase**, c'est-à-dire le décalage par rapport à l'origine du temps (1).

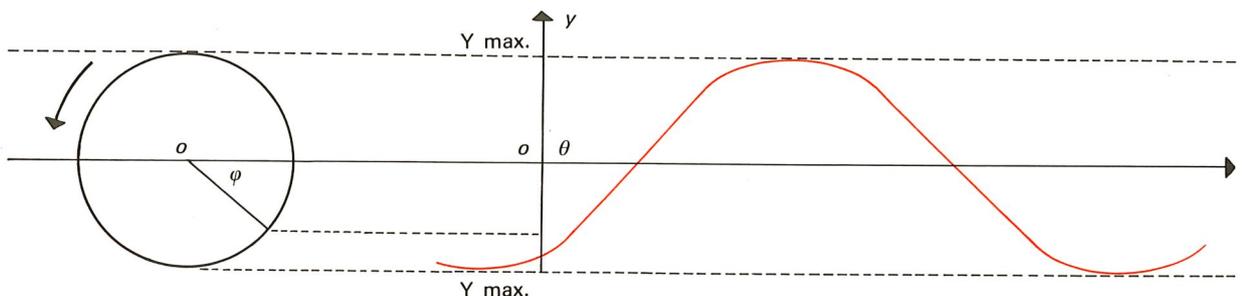


Fig. 5. - Fonction sinusoïdale $y = Y \sin (\omega t + \varphi)$

Deux fonctions sinusoïdales de même période sont déphasées l'une par rapport à l'autre lorsqu'elles ne passent pas ensemble par leurs valeurs nulles ou maxima (fig. 6).

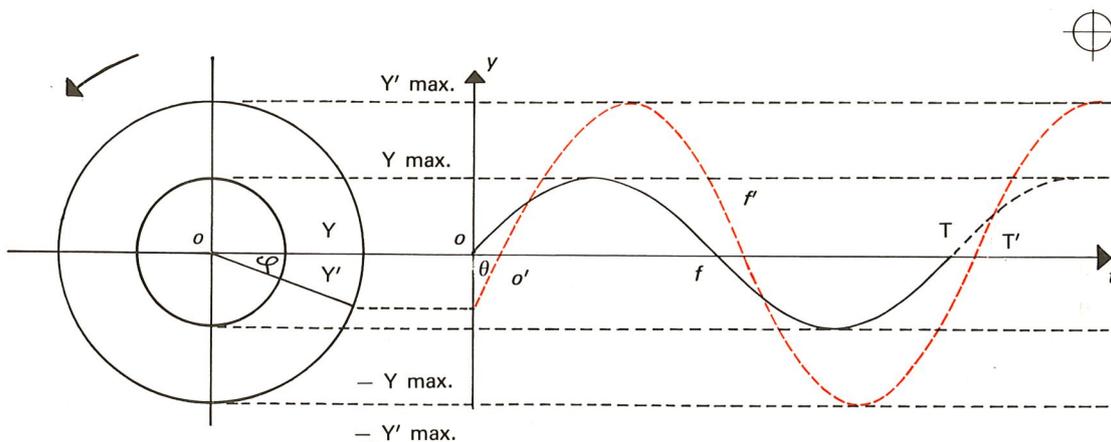


Fig. 6. - Fonctions sinusoïdales déphasées

(1) Plus exactement φ est un angle, dit **angle de déphasage**, qui a pour valeur $\varphi = \omega \theta$, θ (thêta) étant le temps nécessaire pour que la fonction atteigne la valeur nulle. On a alors : $y = Y \sin \omega (t + \theta) = Y \sin (\omega t + \varphi)$.

1.1.2. Courant alternatif et notion de filtre électrique.

Les courants alternatifs obtenus pratiquement ne sont pas parfaitement sinusoïdaux mais on démontre que leur étude peut être ramenée à celle de phénomènes sinusoïdaux. Leurs fréquences sont de valeurs très variables :

- les courants industriels distribués en France ont une fréquence de 50 Hz;
- le courant alternatif qui parcourt un circuit téléphonique au cours de la transmission d'une conversation est la superposition de courants de diverses fréquences dont la moyenne est de l'ordre de 800 Hz;
- la radiotélégraphie et la radiotéléphonie utilisent des courants de l'ordre du million de hertz;
- la télévision met en jeu des courants de plusieurs millions de hertz.

Si un courant alternatif de basse fréquence (BF) agit sur un circuit à résistance pure R (fig. 7), la valeur de la résistance est la même que si le circuit était parcouru par du courant continu; pour un courant de haute fréquence (HF) le circuit oppose au passage du courant une résistance plus grande.

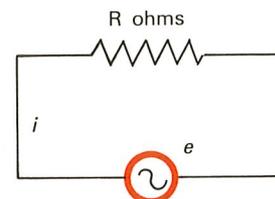


Fig. 7. — Circuit à résistance pure

Un circuit à self pure L (fig. 8) oppose une **impédance** (1) proportionnelle à la fréquence du courant alternatif qui le traverse et constitue un obstacle infranchissable pour un courant de fréquence très élevée.

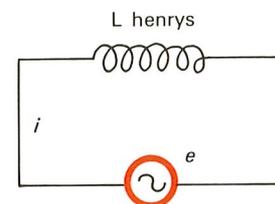


Fig. 8. — Circuit à self pure

Un circuit à capacité pure C [c'est-à-dire constitué par un condensateur électrique (fig. 9)], infranchissable pour un courant continu, se laisse traverser d'autant plus facilement par un courant alternatif que la fréquence de celui-ci est plus grande.

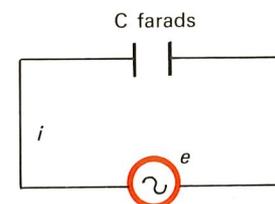


Fig. 9. — Circuit à capacité pure

Ces propriétés des courants alternatifs permettent la réalisation de **filtres électriques**.

Un filtre est un circuit constitué par une combinaison de selfs et de capacités pures (circuit LC) et destiné à séparer des courants de fréquences différentes. On distingue trois catégories principales de filtres :

- les filtres passe-bas qui ne laissent passer que les fréquences inférieures à une fréquence donnée;
- les filtres passe-haut qui ne laissent passer que les fréquences supérieures à une fréquence donnée;
- les filtres passe-bande (ou de bande) qui laissent passer les seules fréquences comprises entre deux fréquences limites.

1.1.3. Phénomène de propagation.

Si on provoque des vibrations en un point quelconque d'un système étendu, le phénomène se propage dans l'ensemble du système.

(1) On caractérise la plus ou moins grande difficulté avec laquelle un courant alternatif traverse un circuit à self et (ou) capacité par l'impédance de celui-ci. L'impédance Z , qui est l'analogie de la résistance R en courant continu, s'exprime en ohms.

Si le centre d'ébranlement se trouve au sein d'un milieu homogène (air, eau...), la vibration se propage de la même manière dans toutes les directions. A un moment donné, l'ensemble des points entrant simultanément en vibration forment une sphère ayant pour centre le point d'ébranlement.

Dans le **phénomène de propagation** d'une oscillation, il n'y a pas de déplacement de matière : c'est de l'énergie qui est cédée de proche en proche, d'une molécule à l'autre du milieu propagateur.

On appelle **surface d'onde** ou **onde** la surface qui comprend tous les points entrant en vibration au même instant et qui, par suite, sont tous dans la même phase d'oscillation.

On appelle **longueur d'onde** λ (lambda) la distance parcourue par la surface d'onde pendant la durée d'une période T.

Si on désigne par c la vitesse de propagation de l'ébranlement, on a la relation $\lambda = cT$ (λ en m, c en m/s, T en s).

1.1.4. Courants de haute fréquence.

Des équipements appelés **oscillateurs** (à lampes ou transistors associés à des éléments de circuit L et C ou à des résonateurs piézoélectriques) permettent d'obtenir des oscillations entretenues de haute fréquence.

Le passage d'un courant alternatif de haute fréquence dans un conducteur crée autour de celui-ci un champ électrique E et un champ magnétique H. Ces deux champs sont inséparables et variables à la même fréquence que les courants qui les produisent : ils forment un tout appelé **champ électromagnétique**.

Ce champ se propage par ondes sphériques : ce sont les **ondes électromagnétiques** ou **ondes hertziennes**.

Les ondes hertziennes se propagent à la vitesse de 300 000 km/s et leur longueur d'onde peut varier entre quelques millimètres et plusieurs kilomètres.

1.1.5. Télécommunications.

Les notions de base de la télétransmission et les techniques mises en œuvre dans les télécommunications classiques sont développées en annexe.

Nous ne rappelons ici que quelques définitions essentielles pour la compréhension de la brochure.

Un signal est dit **numérique** lorsqu'il est représenté par une grandeur physique discontinue c'est-à-dire qui ne peut prendre que l'une ou l'autre de quelques valeurs précises ; c'est le cas des signaux télégraphiques. Il est dit **analogique** lorsqu'il peut varier de façon continue entre deux limites ; c'est le cas des signaux téléphoniques représentés par le courant circulant sur une ligne.

Les signaux transmis d'un point à un autre sont émis **en série** quand ils sont envoyés sur une voie de transmission l'un après l'autre. Ils sont émis **en parallèle** quand ils sont envoyés simultanément sur plusieurs voies de transmission.

Une transmission entre un émetteur et un récepteur est dite sur le **mode synchrone** lorsque les signaux élémentaires qui la composent sont régulièrement espacés dans le temps ; émetteur et récepteur les décomptent à l'aide d'une horloge. Elle est dite sur le **mode asynchrone** lorsque l'émission du premier signal élémentaire peut survenir à un instant quelconque, le récepteur regroupant les signaux successifs à partir de la réception de ce premier signal élémentaire.

1.2. UNITÉS DE MESURE.

Les dénominations, définitions et symboles des unités utilisées dans la présente brochure sont ceux fixés par le système métrique décimal à six unités de base appelé système international (SI) dont l'emploi a été rendu obligatoire en France par le décret du 3 mai 1961.

Parmi les unités de base SI, nous emploierons essentiellement l'unité de temps ou seconde (s) et l'unité d'intensité de courant électrique ou ampère (A).

Parmi les unités secondaires nous n'aurons à utiliser que l'unité de fréquence ou hertz (Hz) et l'unité de différence de potentiel (tension, force électromotrice) qui est le volt (V).

1.3. LA NORMALISATION INTERNATIONALE.

Dans les chapitres qui suivent, on sera fréquemment amené à évoquer la **normalisation internationale**.

En matière de télécommunication, la normalisation est en effet indispensable pour assurer la compatibilité, d'une part, entre les systèmes de transmission installés dans les différents pays, d'autre part, entre les matériels fabriqués par des constructeurs différents.

Au niveau international, les activités de normalisation sont réparties entre deux organismes :

- l'**Union internationale des télécommunications** (UIT) au sein de laquelle deux comités, le **Comité consultatif international télégraphique et téléphonique** (CCITT) et le Comité consultatif international des radiocommunications (CCIR) sont chargés d'effectuer des études et d'émettre des avis (ayant valeur de normes) sur les questions techniques et d'exploitation concernant la télégraphie et la téléphonie (CCITT) d'une part, les radiocommunications (CCIR) d'autre part.

Ces avis, constamment révisés ou complétés, sont réédités tous les quatre ans. L'édition actuellement en vigueur est le *Livre orange de 1976* (1);

- l'**ISO (International Organisation for Standardization)** qui s'occupe de tout ce qui concerne les alphabets, le codage, le vocabulaire...

En France, les directives internationales sont reprises et adoptées par l'administration des PTT en ce qui concerne les avis du CCITT et du CCIR et par l'AFNOR qui est le correspondant officiel de l'ISO.

1.4. DÉFINITION DES TERMES GÉNÉRAUX.

Compte tenu des divers sens donnés jusqu'ici aux termes généraux téléinformatique, transmission de données et télétraitement, nous nous en tiendrons aux définitions proposées par l'ISO dans un avant-projet de vocabulaire normalisé récemment soumis à l'examen des organismes nationaux compétents :

- la **téléinformatique** est le transfert d'information entre une source de données et un collecteur de données par l'intermédiaire d'une ou plusieurs liaisons de données conformément à une procédure de ligne;
- la **transmission de données** est l'émission et la réception de données, au moyen de signaux généralement codés, acheminés sur une voie d'un point à un autre;
- le **télétraitement** est le traitement de l'information combinant l'utilisation d'ordinateurs et d'installations de télécommunications.

1.5. ORIGINE ET DÉVELOPPEMENT DE LA TÉLÉINFORMATIQUE.

1.5.1. De la télégraphie à la transmission de données.

Le développement parallèle de la mécanographie et de la télégraphie a conduit à la première forme de transmission de données.

En mécanographie on a su, très tôt, synchroniser des perforateurs de cartes, puis de ruban, avec diverses machines de bureau : machine à écrire, comptable, à calculer...

En télégraphie, on est passé progressivement des appareils morse, manuels ou automatiques, aux téléimprimeurs dont le fonctionnement automatique est subordonné à l'emploi d'un ruban perforé.

(1) On notera que l'UIT a également une fonction de réglementation : tous les pays membres (pratiquement tous les pays du monde) sont liés par une convention internationale des télécommunications et celle-ci est complétée par divers règlements à mise à jour périodique : règlement général, règlement télégraphique, règlement téléphonique, règlement des radiocommunications.

Quand les deux techniques ont été au point, la transmission télégraphique de l'information saisie sur ruban par les machines de bureau a pu être substituée au transport physique de celui-ci vers l'atelier de mécanographie.

Plus tard, les premiers calculateurs électroniques ont continué à utiliser le ruban perforé, d'abord pour consigner les programmes, puis comme support d'entrée-sortie des informations.

1.5.2. De la transmission de données au télétraitement.

La technique n'a pratiquement pas évolué jusqu'au moment où les efforts conjugués des constructeurs d'ordinateurs et des administrations responsables des télécommunications ont débouché à peu près simultanément sur :

- les ordinateurs de la 3^e génération;
- l'ouverture des réseaux de télécommunications existants à la téléinformatique.

1.5.2.1. Les ordinateurs de la 3^e génération.

Parallèlement à l'évolution résultant des progrès technologiques, les calculateurs électroniques (appelés ordinateurs depuis 1969) ont sensiblement évolué dans leur conception de base. Cette double évolution a conduit aux machines dites de la 3^e génération.

Sur le plan technologique, les progrès réalisés dans le domaine des couches magnétiques minces, des circuits intégrés, des micromodules... ont permis un gain considérable :

- sur la vitesse de calcul et sur la capacité des mémoires (gain de l'ordre de plusieurs puissances de 10);
- en matière d'encombrement (plusieurs milliers de composants au décimètre cube).

L'évolution dans la conception de base, liée à la recherche d'une meilleure productivité, c'est-à-dire d'une plus grande possibilité de **simultanéité des traitements**, est surtout apparue au niveau des entrées-sorties et au niveau de l'exécution des programmes.

La simultanéité au niveau des entrées-sorties a été obtenue par l'adoption d'une structure hiérarchisée (fig. 10) : l'unité centrale est mise en liaison avec les unités d'entrée-sortie (UES) par l'intermédiaire de canaux et d'unités de contrôle équipés de mémoires tampons (*buffers*).

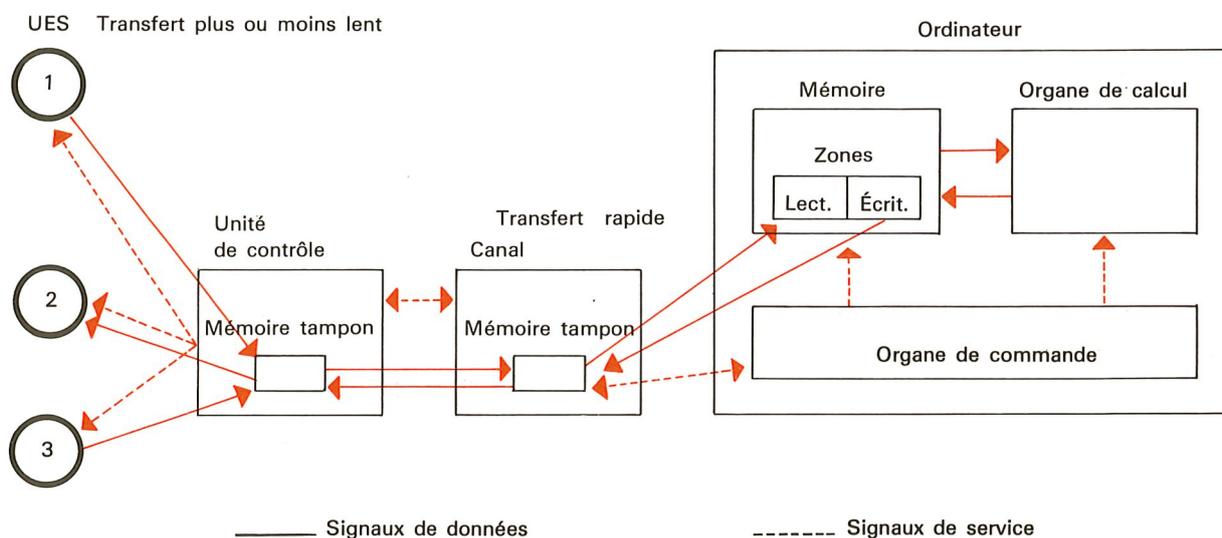


Fig. 10. — Liaison ordinateur - canal - unité de contrôle - UES

Le **canal** est un véritable petit ordinateur à fonctions spécialisées, qui échange des informations avec l'unité centrale et transmet les ordres reçus à l'unité de contrôle. Les unités de contrôle des UES rapides (bande, tambour, disque... magnétiques) sont connectées à des **canaux simples** tandis que celles des UES lentes (ruban perforé, carte...) sont connectées à des **sous-canaux** gérés par un **canal multiple**.

L'**unité de contrôle** est chargée, sur ordre du canal, de mettre en œuvre l'UES concernée et de contrôler le bon fonctionnement de celle-ci.

Cette hiérarchie des mécanismes permet à l'unité centrale de reprendre immédiatement l'exécution du programme après avoir donné un ordre de fonctionnement à l'adresse d'un organe périphérique.

La simultanéité au niveau des programmes, rendue possible par la grande capacité des mémoires centrales, peut être obtenue par multitraitement ou par multiprogrammation :

- le **multitraitement** nécessite la mise en œuvre d'ordinateurs disposant de plusieurs organes de commande, parfois appelés **multiprocesseurs** (fig. 11) : chacun des programmes rangés en mémoire est pris en charge par un organe de commande qui fonctionne de manière autonome et possède sa propre liaison avec la mémoire centrale ; le système est complété par un organe de coordination qui assure le bon fonctionnement de l'ensemble ;

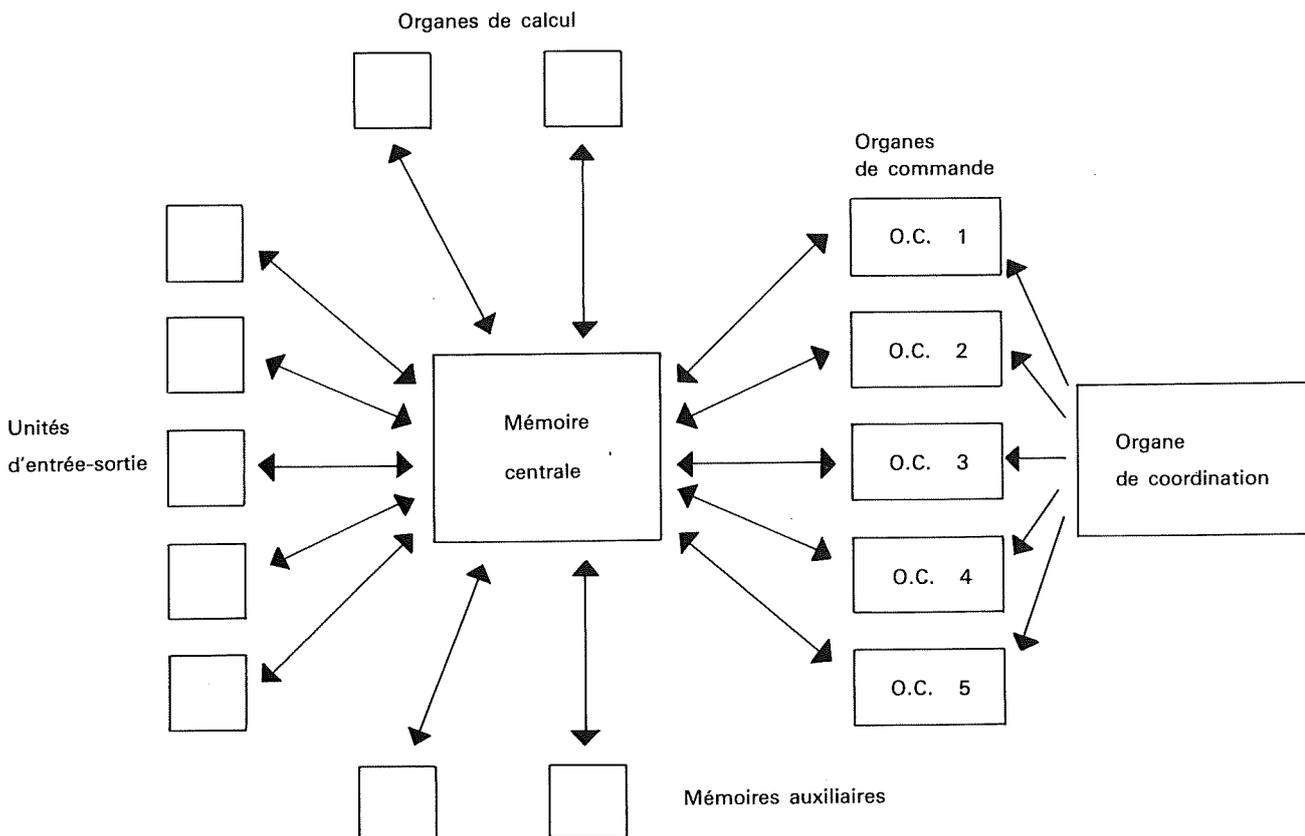


Fig. 11. — Schéma de principe d'un ordinateur conçu pour le multitraitement

- la **multiprogrammation**, plus répandue, consiste à faire exécuter plusieurs programmes par un organe de commande unique. La simultanéité n'est qu'apparente : les programmes sont exécutés à tour de rôle, par séquences successives, et c'est la brièveté de celles-ci qui donne l'impression de simultanéité.

Ces perfectionnements, complétés par un matériel et par un logiciel appropriés, ont enfin permis d'engager un véritable dialogue technique avec l'unité centrale et d'agir sur le déroulement des programmes à partir de diverses unités d'entrée-sortie, c'est-à-dire de passer à de nouveaux modes de traitement « en temps réel », « en temps partagé »... en local ou à distance.

1.5.2.2. L'ouverture des réseaux de télécommunications à la téléinformatique.

Pour passer de l'informatique à la téléinformatique, rendue possible par les machines de la 3^e génération, il fallait disposer de voies de transmission appropriées.

La construction anarchique de lignes privées était cependant inconcevable, à la fois pour des raisons d'ordre technique (multiples problèmes de transmission à résoudre), économique (coût prohibitif de telles opérations) et juridique (monopole d'État en matière de télécommunications). Par ailleurs, la construction d'un réseau public spécifique risquait de retarder sensiblement le démarrage de cette nouvelle technique.

Il a donc été nécessaire d'avoir recours aux réseaux publics existants. En France, les premiers services ont été ouverts en 1963 (liaisons spécialisées et commutées du réseau télex, liaisons spécialisées du réseau téléphonique) et 1964 (liaisons téléphoniques commutées).

1.6. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION.

La procédure d'exploitation des ordinateurs la plus usuelle est le **traitement par lot** (*batch processing*), encore appelé **traitement différé** ou **en temps différé**, qui consiste à rassembler les données susceptibles de faire l'objet d'un même traitement jusqu'à une échéance déterminée, ou jusqu'à ce qu'elles soient assez nombreuses, et à les traiter au cours d'un seul passage, c'est-à-dire au cours d'une seule exécution d'un programme ou d'une chaîne de programmes.

En téléinformatique, ce mode de traitement devient le **traitement par lot à distance** (*remote batch processing*) : les données sont transmises directement à l'ordinateur pour être stockées sur une mémoire auxiliaire dans l'attente de leur traitement par lot ; les résultats du traitement sont stockés dans les mêmes conditions pour être transmis **en différé**, généralement par lot.

On a évoqué plus haut la possibilité de « dialogue homme-machine » offerte par les ordinateurs modernes. On appelle :

- travail en **mode conversationnel** l'échange de messages entre l'homme et l'ordinateur à un rythme voisin de la conversation ;
- unité d'entrée-sortie de type **conversationnel** ou de dialogue les appareils qui permettent cet échange direct de messages.

Ce mode d'échange rapide d'information avec l'unité centrale a permis le **traitement en temps réel** (*real time*) qui comporte l'entrée directe des données, l'exécution d'un programme pour le traitement de chaque message reçu et la réponse de l'ordinateur dans des délais assez courts pour permettre une action utile sur l'évolution de la situation définie par les données d'entrée.

La mise en œuvre simultanée de la multiprogrammation et du mode conversationnel permettent le **traitement en temps partagé** (*time sharing*) : plusieurs utilisateurs disposant d'unités d'entrée-sortie de dialogue (éloignées ou non de l'ordinateur), se partagent par alternance l'emploi de l'unité centrale d'un ordinateur, chacun étant assuré d'un temps de réponse assez court pour avoir l'impression qu'il est le seul utilisateur.

2. LIAISONS DE TÉLÉINFORMATIQUE

2.1. ÉLÉMENTS D'UNE LIAISON.

Toute liaison de téléinformatique constitue un système de télécommunication comportant, dans le cas le plus simple :

- une source de données (émetteur) ;
- un collecteur de données (récepteur) ;
- une voie de transmission.

La **source** et (ou) le **collecteur** peuvent être des organes d'entrée-sortie appelés **terminaux** ou des ordinateurs.

La réunion de deux éléments d'un système de traitement de l'information par une voie de transmission pose toutefois de nombreux problèmes. Ainsi, pour transmettre un signal numérique sur un circuit analogique, il faut transposer ce signal dans la bande passante du circuit par modulation d'un courant porteur à fréquence vocale, puis procéder à l'opération inverse ou démodulation à la réception : chaque fois que la téléinformatique utilise le réseau téléphonique, la liaison doit donc comporter un **modulateur-démodulateur** ou **MODEM** à chacune de ses extrémités (1). L'ensemble modem-ligne-modem constitue le **circuit de données**.

(1) Ces techniques sont décrites en annexe.

Une liaison entre sources et collecteurs de données de types différents pose en outre des problèmes d'organisation de l'information en vue de sa transmission et la constitution d'un réseau de téléinformatique plus ou moins complexe pose des problèmes de gestion des transmissions. Ces contraintes imposent l'adjonction, aux dispositifs de traitement et d'entrée-sortie, d'un **équipement terminal de traitement de données (ETTD)** réuni à l'équipement de transmission par une jonction normalisée (fig. 12).

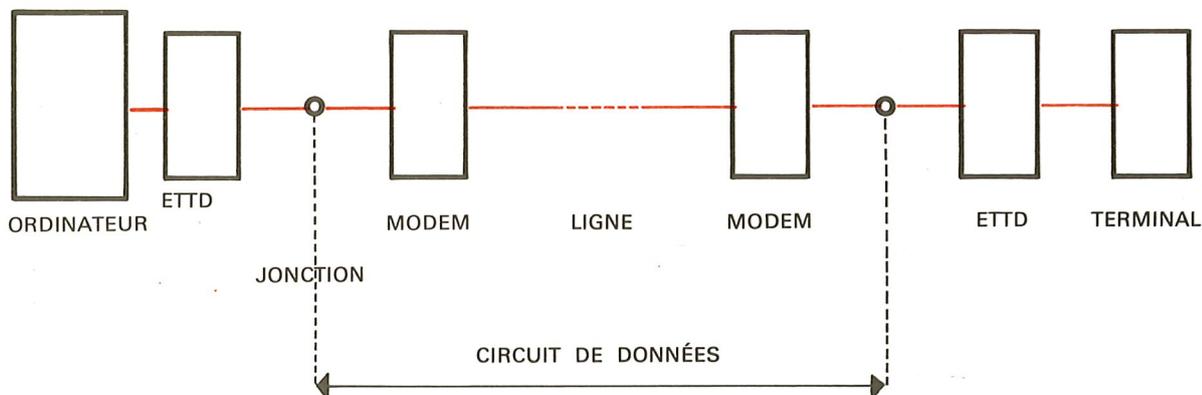


Fig. 12. — Schéma de principe d'une liaison de téléinformatique sur circuit analogique

2.2. NORMALISATION ET TERMINOLOGIE.

On vient de définir les éléments d'une liaison au moyen de termes empruntés au CCITT, à l'administration des PTT et parfois même à la partie publiée du « vocabulaire du traitement de l'information » de l'ISO, repris par la norme AFNOR Z 61.

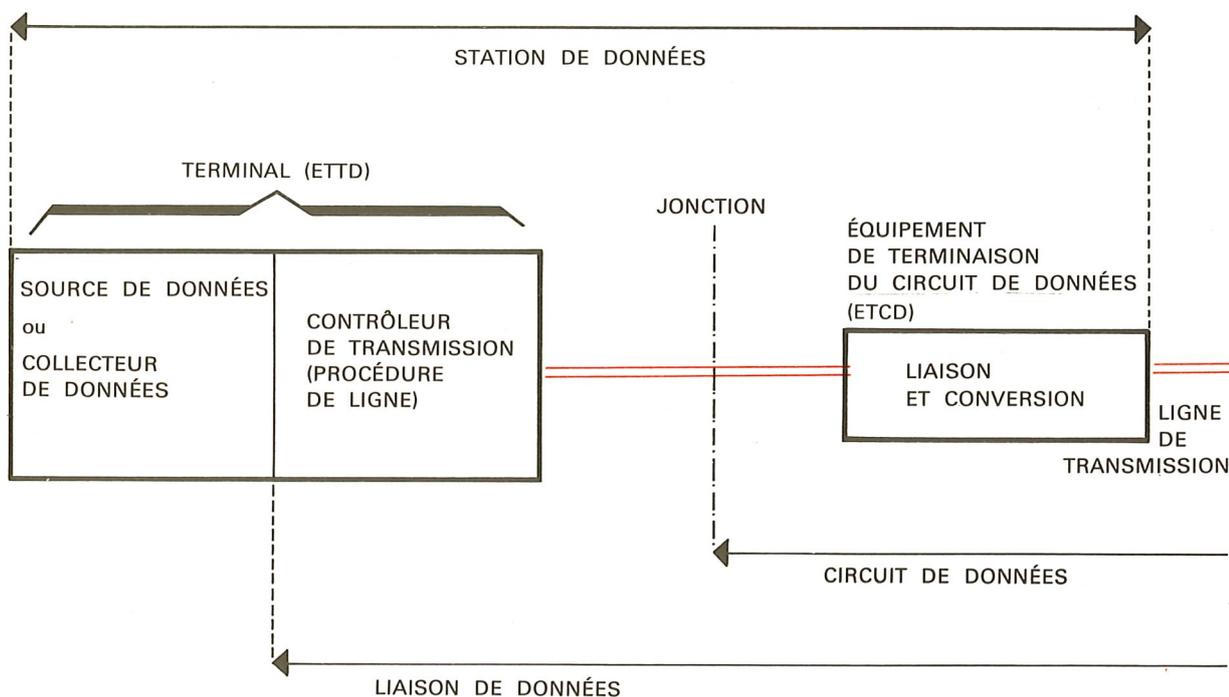


Fig. 13. — Éléments d'une liaison de données

Or, dans le nouveau chapitre de ce vocabulaire consacré à la téléinformatique (auquel on s'est référé pour définir les termes généraux), l'ISO propose pour certains de ces termes des définitions qui modifient le sens dans lequel on les utilisait jusqu'ici.

C'est notamment le cas du terme terminal qui désignait généralement le seul organe d'entrée-sortie « à distance » et par lequel l'ISO suggère de désigner à la fois l'UES et l'organe de

contrôle de transfert d'information par l'intermédiaire duquel celle-là est connectée à la ligne de transmission. Cet organe logique qui fait partie de l'ETTD cité plus haut et que l'Administration de PTT appelle **unité de contrôle de transmission (UCT)** n'est pas défini mais, dans un schéma annexé au projet de vocabulaire, l'ISO le dénomme **contrôleur de transmission**. Les autres termes proposés pour désigner les éléments d'une **liaison de données**, et sur lesquels nous reviendrons en temps opportun, figurent dans le schéma ci-dessus (fig. 13).

2.3. DIVERS ASPECTS D'UNE LIAISON.

2.3.1. Modes et méthodes de transmission.

En téléinformatique on retrouve les modes et méthodes de transmission de la télégraphie (développés en annexe) :

- modes synchrone et asynchrone ;
- transmission en série et en parallèle ;
- modes unidirectionnel, bidirectionnel à l'alternat ou simultané.

On notera toutefois que, pour ce qui concerne le sens de transmission le projet de vocabulaire de l'ISO retient les expressions **transmission en simplex** pour le sens unidirectionnel et **transmission en duplex** pour le sens bidirectionnel simultané.

2.3.2. Terminaux hors ligne et en ligne.

Des terminaux appartenant à un système de transmission de données non connecté à un ordinateur constituent un **système autonome** dont le fonctionnement est dit **hors ligne (off line)** ; par extension, on parle aussi de transmission hors ligne ou différée.

Un terminal connecté à un ordinateur est dit **en ligne (on line)** ; on parle également de transmission en ligne ou directe.

2.4. LIAISONS ET RÉSEAUX DE DONNÉES.

2.4.1. Systèmes autonomes.

Un système autonome comporte généralement un terminal de stockage placé auprès de l'ordinateur mais qui n'est pas connecté à celui-ci lorsqu'il reçoit des données d'un terminal éloigné (terminal d'utilisateur) ou lui en transmet.

Il peut être conçu pour fonctionner selon l'un des modes unidirectionnel (liaison point à point ou circuit de collecte) ou bidirectionnel (fig. 14).

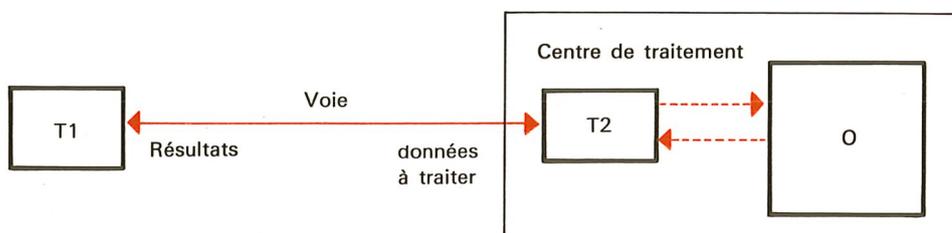


Fig. 14. — Liaison bidirectionnelle « hors ligne »

Dans le centre de traitement, les données peuvent être transférées vers l'ordinateur par transport physique des supports entre le terminal et un périphérique (fig. 15) ou par connexion de l'ordinateur au terminal qui devient alors un périphérique (fig. 16 a, 16 b).

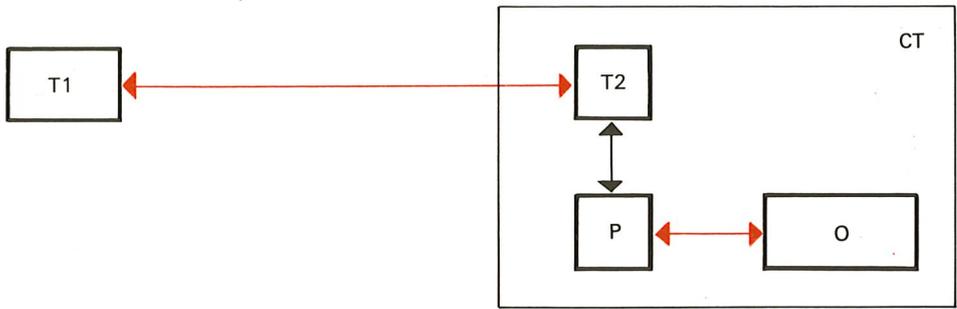


Fig. 15. — Transport physique des supports entre T2 et P

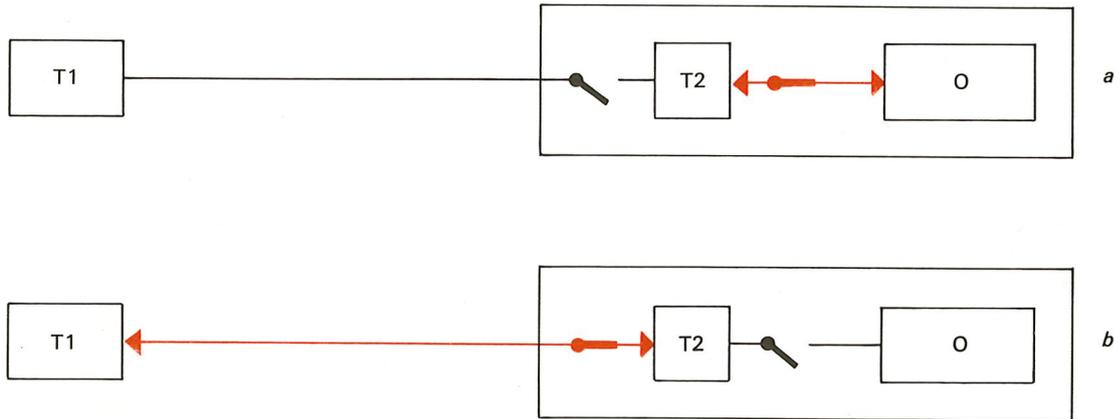


Fig. 16. — a. Premier temps : le système fonctionne de façon autonome
b. Deuxième temps : T2 fonctionne en périphérique

2.4.2. Réseaux fermés.

Les lignes de transmission qui relient un ordinateur à ses terminaux constituent des **réseaux fermés** plus ou moins complexes. Dans le cas le plus simple, chaque terminal est connecté à la machine par une **liaison point à point** et l'ensemble constitue un réseau en étoile. Plusieurs terminaux situés le long d'un même axe peuvent être reliés à l'ordinateur par une même ligne de transmission sans toutefois pouvoir communiquer entre eux : c'est la configuration **multipoint** (fig. 17).

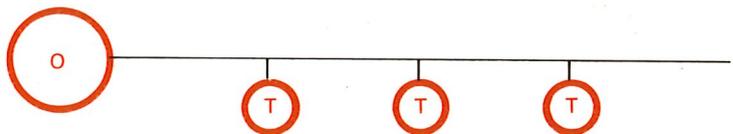


Fig. 17. — Réseau multipoint

Si la ligne multipoint est fermée sur l'ordinateur pour ouvrir deux voies de transmission aux terminaux desservis, elle constitue un **circuit** ou **réseau bouclé** (fig. 18).

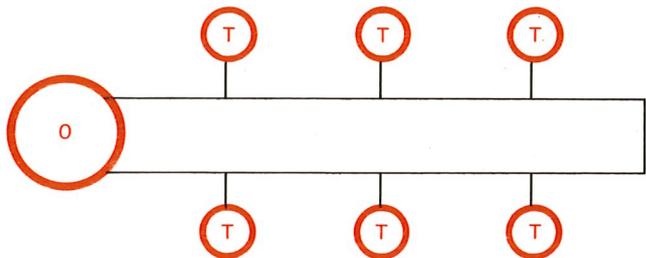


Fig. 18. — Réseau bouclé

Les problèmes de transmission et procédures d'exploitation liés à ces principales configurations seront examinés dans les chapitres qui suivent.

2.4.3. Réseaux ouverts d'ordinateurs.

Les premiers réseaux d'ordinateurs étaient généralement de simples réseaux en étoile reliant des petits ordinateurs à un système central plus puissant (réseaux fermés).

On réalise aujourd'hui des réseaux destinés à mettre en commun les ressources de différents centres de traitement en vue d'offrir de multiples possibilités de traitement et d'information (réseau ARPA aux USA, réseau CYCLADES en France...).

Dans de tels réseaux (fig. 19), les ordinateurs de traitement sont reliés entre eux par un réseau maillé d'ordinateurs de commutation auquel certains terminaux peuvent avoir également accès.

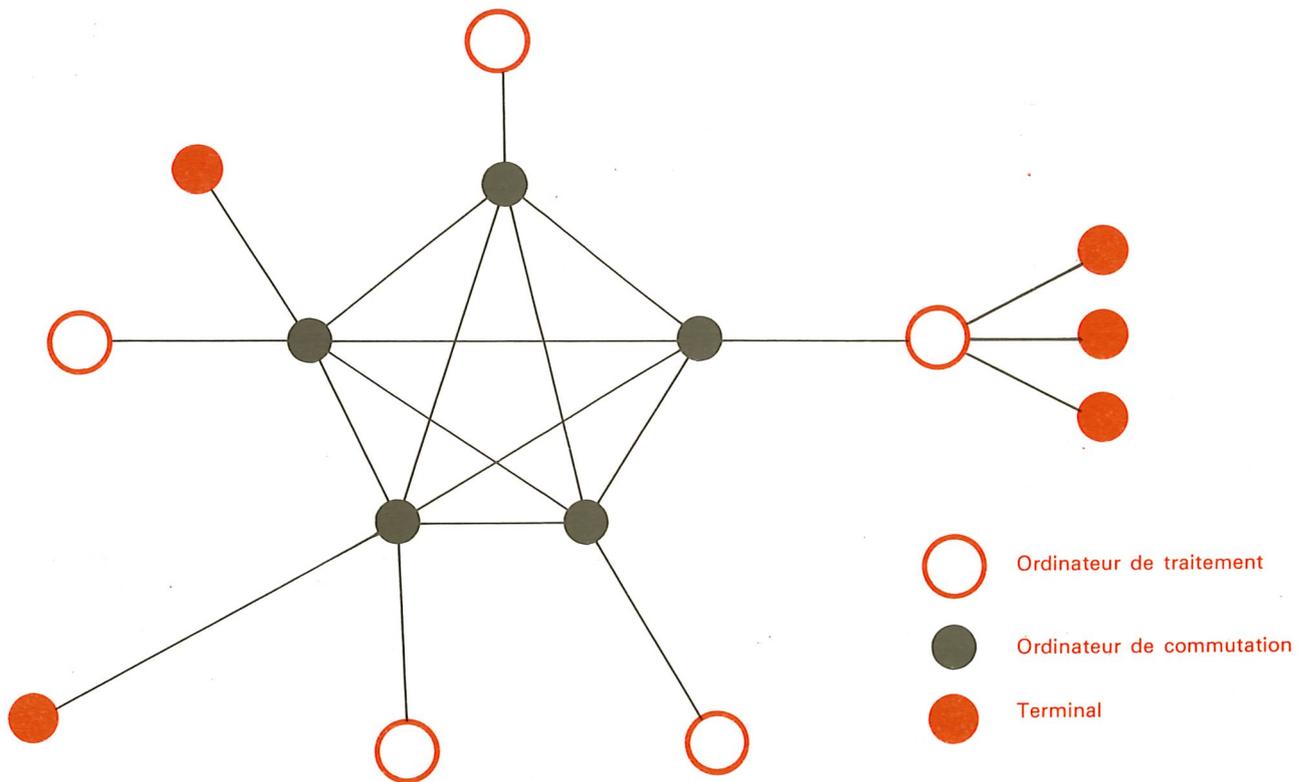


Fig. 19. — Réseau ouvert d'ordinateurs

3. ORGANISATION LOGIQUE DE LA TRANSMISSION DE DONNÉES

3.1. INTRODUCTION.

3.1.1. Jonctions normalisées (1).

Les conditions de connexion des installations privées de traitement de l'information aux réseaux publics de télécommunications sont définies par deux avis du CCITT :

L'avis V. 24 concernant la jonction des systèmes dont le débit ne dépasse pas 20 000 bits/s et l'avis V. 35 visant les systèmes à débit supérieur.

(1) Le terme anglais *interface* est très fréquemment utilisé pour désigner la jonction.

L'avis V. 24 fixe les « normes des types et des formes des signaux à échanger sur une jonction entre l'équipement terminal de traitement de données (ETTD) et l'équipement de terminaison de circuit de données (ETCD) ». Il définit la **jonction** par les signaux échangés de part et d'autre, les relations logiques ou de temps entre ces signaux et les caractéristiques électriques des circuits émetteurs et récepteurs.

Les circuits sont répartis en deux séries, l'une d'utilisation générale, l'autre réservée à l'appel automatique sur les réseaux commutés. Parmi les premiers figurent notamment les circuits de base respectivement affectés aux signaux de données, de rythme en mode synchrone, de connexion à la ligne, de commande de l'émission, et utilisables en fonction de chaque besoin particulier.

Ces spécifications présentent le grand intérêt de définir implicitement les fonctions respectives du modem et de l'ETTD (fig. 20).

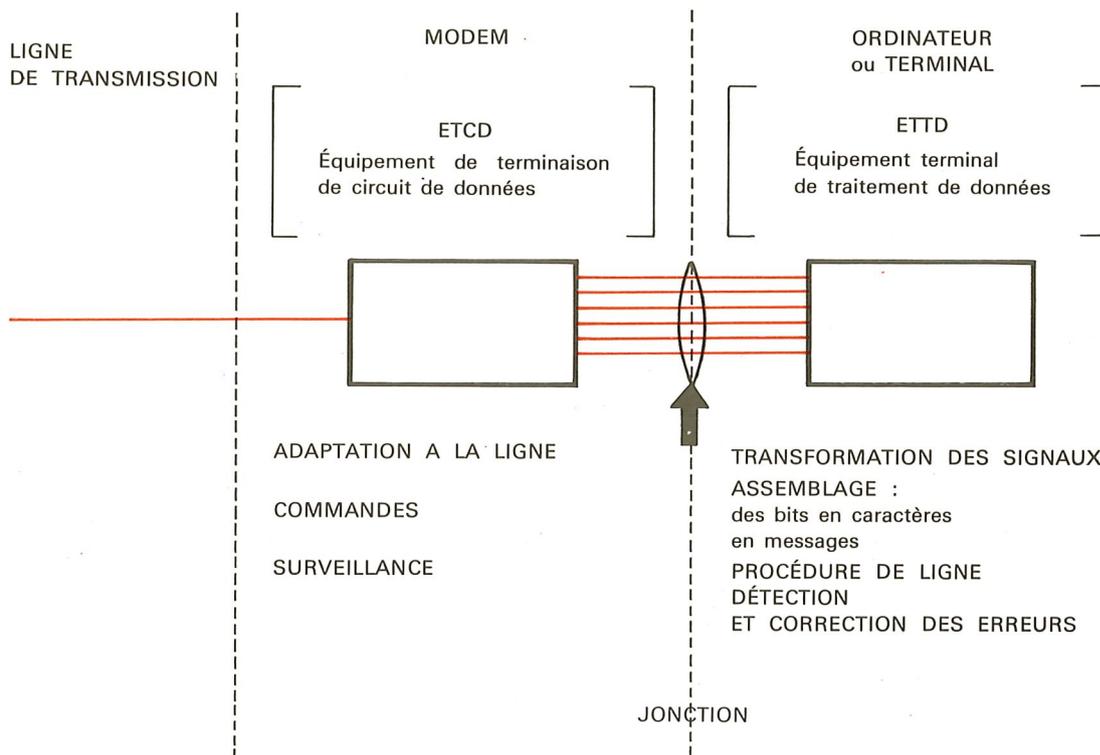


Fig. 20. — Fonctions respectives du modem et de l'ETTD

L'avis V. 35 définit la jonction capable de remplacer la précédente au-delà de 20 kilobits/s. En fait, seules les caractéristiques électriques de certains circuits de base sont modifiées.

3.1.2. Équipements terminaux de traitement de données.

Les ETTD susceptibles d'être connectés à un réseau de télécommunication par l'intermédiaire d'une jonction sont, d'une part et dans la majorité des cas, les contrôleurs de transmission des terminaux et ordinateurs; d'autre part, des dispositifs destinés à relier plusieurs terminaux à basse vitesse à une ligne à grand débit en vue de réaliser une économie sur les lignes : ce sont les multiplexeurs et concentrateurs sur lesquels nous reviendrons plus tard.

3.1.3. Contrôleur de transmission.

Il convient de souligner que cet équipement est, parmi tous ceux utilisés en téléinformatique, celui dont l'appellation est la plus diversifiée.

Selon les constructeurs, les auteurs d'ouvrages ou d'articles consacrés à la transmission de données, les traducteurs de documents rédigés en anglais..., on rencontre en effet des expressions telles que **unité de contrôle et d'adaptation, adaptateur de transmission, de ligne, ou de**

communication, coupleur, « processeur » ou ordinateur frontal, logique de transmission, terminal et même interface... et cette liste n'est pas exhaustive !

Cette liberté de langage est en partie fondée sur des considérations d'ordre technologique sur lesquelles nous reviendrons au moment de l'examen des divers équipements. Dans l'immédiat, nous ne parlerons que de contrôleur de transmission, y compris dans le cas du dispositif placé du côté de l'ordinateur.

3.2. FONCTIONS DU CONTRÔLEUR DE TRANSMISSION.

L'examen des fonctions du contrôleur de transmission va nous permettre de passer en revue l'essentiel des aspects logiques de la transmission de données.

3.2.1. Transformations des signaux.

Les transformations à faire subir aux signaux du système de traitement en vue de leur transmission sont, d'une part la conversion parallèle-série, d'autre part, la conversion des niveaux électriques représentant les signaux binaires qui sont du type « tout ou rien » (5 volts ou 0) dans la logique de traitement et du type « double courant » (± 6 volts) sur les lignes de transmission (conversion parfois dite en **signaux V. 24**).

Les conversions inverses sont, bien entendu, effectuées par le contrôleur de l'extrémité réceptrice.

3.2.2. Assemblage des bits en caractères.

Il s'agit en fait du désassemblage des caractères en bits à l'émission et de l'assemblage inverse à la réception. L'une et l'autre de ces opérations sont assurées par la **synchronisation**.

3.2.2.1. Mode asynchrone.

Les appareils asynchrones génèrent eux-mêmes les signaux *start-stop* à l'émission et les détectent à la réception pour rassembler les bits en caractères. Lorsqu'ils sont en liaison avec un équipement de conception différente, un ordinateur par exemple, celui-ci n'est pas en mesure de procéder à l'une ou l'autre de ces opérations et son contrôleur de transmission doit être doté d'un dispositif logique adéquat.

3.2.2.2. Mode synchrone.

La transmission en mode synchrone consiste, du côté émission, à diviser le temps en intervalles élémentaires égaux et à transmettre un bit par intervalle; du côté réception, à regrouper les bits reçus en fonction du mode utilisé pour reconstituer les caractères.

En pratique, la transmission ininterrompue d'une suite de bits pose un double problème de calage de la réception sur l'émission : la synchronisation-bit et la synchronisation-caractère.

La synchronisation-bit est une opération technique assez complexe. En simplifiant, on peut dire qu'elle consiste à maintenir la fréquence-bits de la réception en phase avec la fréquence-bits de l'émission au moyen d'un oscillateur stable ou **horloge** généralement placée dans le modem.

La synchronisation-caractère est une fonction logique qui intervient à deux niveaux. Elle est d'abord établie par la transmission, avant tout message, d'une séquence de **caractères de synchronisation** (1); lorsque la synchronisation est assurée, les bits sont assemblés en caractères par simple comptage. Par ailleurs, pour éviter le décalage de un ou plusieurs bits entre deux caractères au cours de la transmission, il est nécessaire d'introduire un **caractère SYN de remplissage** chaque fois que, dans le corps d'un message, le caractère suivant n'est pas disponible à temps.

La synchronisation-caractère est à la charge du contrôleur de transmission qui doit, à l'émission, générer les caractères SYN de début de message et de remplissage; à la réception, détecter les caractères SYN de début pour commencer le comptage des bits en vue de la

(1) Le **caractère de synchronisation** est un **caractère de contrôle** défini par la procédure de ligne. Il est symbolisé par l'abréviation normalisée SYN.

reconstitution des caractères et rechercher ceux de remplissage pour les éliminer. Ces fonctions sont généralement exécutées par des logiques cablées commandées par programme.

Les autres fonctions du contrôleur de transmission sont exécutées conformément à la procédure de ligne (expression proposée par l'ISO), plus fréquemment appelée procédure de transmission.

3.3. PROCÉDURE DE LIGNE.

3.3.1. Notion de procédure.

Une **procédure de ligne** est un ensemble de règles à respecter et d'actes à accomplir dans l'emploi des moyens de transmission.

Dans un système de télécommunication classique exploité manuellement, la procédure (dite d'exploitation) est constituée par un recueil de règles écrites que les opérateurs sont tenus de respecter. C'est ainsi que la procédure d'un réseau radiotélégraphique définit :

- d'une part, l'organisation et le fonctionnement du réseau, les indicatifs d'appel des stations, l'horaire de travail (permanent, par vacations...), les fréquences à utiliser...;
- d'autre part, le **vocabulaire** à employer au cours du **dialogue technique** engagé à l'occasion de chaque liaison. Ce vocabulaire est constitué de caractères ou groupes de caractères symboliques (appelés **codes**) permettant soit l'échange rapide d'informations concernant la qualité de la liaison (signaux trop faibles, brouillés...), la correction des erreurs,... soit la structuration du message (délimiteurs de début de message, d'en-tête, de texte, de signature, de fin de message...).

Il existe, pour chaque moyen de transmission (télégraphie, radiotélégraphie, radiotéléphonie...) des procédures et vocabulaires internationaux, nationaux ou particuliers à certains réseaux. Les procédures et vocabulaires internationaux, définis par le CCITT ou le CCIR, sont universels.

3.2.2. Procédure de ligne en téléinformatique.

Dans un système de télécommunication intégralement automatisé, comme c'est généralement le cas en téléinformatique, la procédure de ligne ne peut être appliquée que par le système lui-même.

Cette procédure comporte, comme dans le cas d'un réseau de télécommunication exploité manuellement, deux catégories de règles : celles liées à l'organisation de l'information et à sa protection contre les erreurs et celles liées à la gestion des moyens de transmission. L'application de ces règles donne lieu à l'ouverture d'un dialogue technique entre les dispositifs logiques des organes terminaux en liaison : ce dialogue utilise les caractères de contrôle (vocabulaire) définis par la procédure.

3.4. ORGANISATION ET PROTECTION DE L'INFORMATION.

3.4.1. Découpage de l'information.

La transmission d'un texte peut se faire caractère par caractère (cas du téléimprimeur par exemple), mais il est généralement possible de grouper les caractères en divers ensembles ou sous-ensembles qu'il est alors nécessaire de structurer :

- Un **message** est une entité comprenant une suite de caractères et se composant en général de trois parties :
 - l'en-tête donnant par exemple l'adresse du destinataire du message;
 - le corps du message (généralement appelé « partie texte »);
 - un ou plusieurs caractères de commande ou de détection d'erreurs (définition ISO).
- Un **bloc** est une partie de message constituée pour des motifs techniques en vue d'être transmise comme un tout;
- La procédure de protection contre les erreurs fait parfois intervenir la notion de **sous-bloc** ou partie de bloc faisant l'objet d'un « contrôle longitudinal » sans toutefois donner lieu à un accusé de réception.

3.4.2. Structuration des messages de données.

Les données transmises sont généralement de longueur variable et il est nécessaire de marquer le début et la fin des différents messages : on utilise pour cela des caractères de contrôle dits **délimiteurs** ou **séparateurs**. Si, par exemple, une procédure a défini les délimiteurs suivants :

SOH (Start of heading) : début d'en-tête ;

STX (Start of text) : début de texte ;

ETB (End of block) : fin de bloc ;

ETX (End of text) : fin de texte,

les blocs du message auront la structure suivante :

SOH... (en-tête)... STX... (texte)... ETB (ou ETX pour le dernier bloc).

3.4.3. Adressage.

Lorsque le système de transmission comprend plus de deux extrémités, réelles ou virtuelles, il est indispensable de spécifier à qui l'information est destinée ou de qui elle provient.

Dans le cas d'extrémités réelles (lignes multipoint) chacune d'elles comporte une adresse propre ou **adresse physique** (fig. 21).

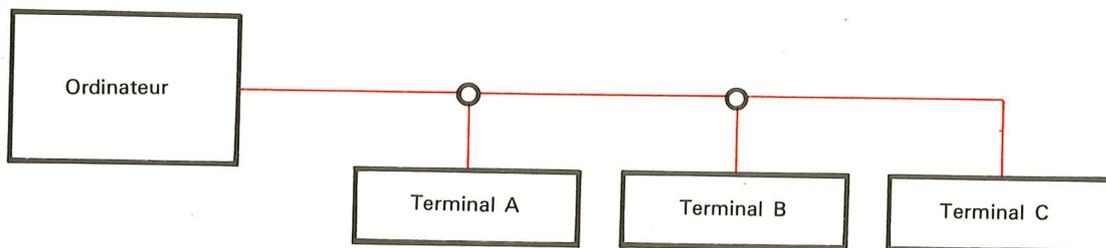


Fig. 21. — Extrémités réelles : ligne multipoint

Dans le cas d'extrémités virtuelles (terminal lourd) on parle de **canaux logiques** ou de **numéros de flux**. L'adressage est plus complexe : schématiquement, la procédure indique le fichier auquel le bloc transmis est destiné et le contrôleur de transmission prend celui-ci en charge (fig. 22).

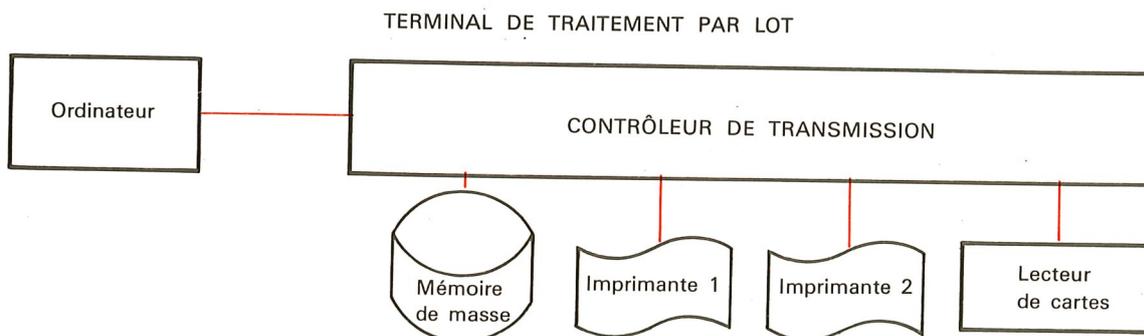


Fig. 22. — Extrémités virtuelles : terminal lourd

Dans la commutation de messages, les adresses peuvent être constituées par des codes mnémotechniques qui offrent de nombreuses possibilités d'aiguillage des messages et sont transformés en adresses physiques par l'autocommutateur.

3.4.4. Protection de l'information.

3.4.4.1. Erreurs touchant le contenu du message.

a. Sources et taux d'erreurs.

Sur une voie de transmission, les messages peuvent être modifiés dans leur contenu, soit par mutilation ou disparition de certains signaux, soit par apparition de signaux parasites.

Ces perturbations sont dues :

- aux bruits en ligne (bruit blanc, diaphonie, écho...) et distorsions subies par les signaux transmis;
- aux installations ou techniques mises en œuvre dans les réseaux commutés : contacts des commutateurs électro-mécaniques, impulsions de taxation...;
- aux sources de courant : sauts de tension, micro-coupures...

Dans le cas d'une transmission de signaux numériques, on définit le **taux d'erreur** par le rapport entre le nombre de bits incorrectement reçus, non détectés ou non corrigés, et le nombre de bits transmis. Sur un circuit commuté, le taux d'erreurs est de l'ordre de 10^{-4} , c'est-à-dire qu'en moyenne un bit sur 10 000 est erroné.

En télégraphie, un tel taux est acceptable parce qu'il est généralement possible de détecter l'erreur à la lecture et de la corriger par le contexte. Dans une transmission de données, l'information reçue doit correspondre à l'information émise, sans perte ni altération : le taux d'erreurs admissible est estimé à 10^{-8} environ, mais il varie assez sensiblement en fonction de l'application considérée et, dans certains cas particuliers, il doit tendre vers zéro. Il est donc indispensable de détecter et de corriger les erreurs de transmission.

b. Détection des erreurs.

- Détection analogique.

Le signal reçu est analysé en amplitude et en phase. Si l'un ou l'autre de ces paramètres dépasse les tolérances fixées, le signal est présumé erroné (fig. 23).

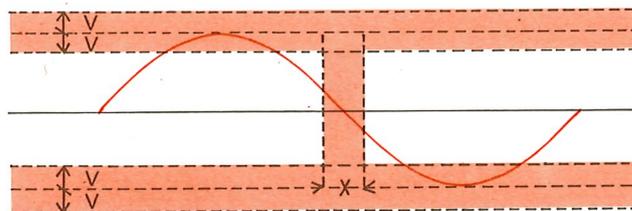


Fig. 23. — Détection analogique des erreurs

- Contrôle de parité.

La détection par **contrôle de parité** consiste à introduire de la redondance dans l'information émise pour pouvoir contrôler la vraisemblance de celle que l'on reçoit.

- Détection au niveau du caractère.

La redondance du caractère est réalisée par adjonction, à chaque signal binaire, de n bits supplémentaires générés par un calcul au moment de l'émission.

L'application la plus courante est le contrôle de parité verticale ou parité simple dans lequel chaque caractère transmis est accompagné d'un **bit de parité** tel que le nombre total de bits « 1 » du signal soit toujours pair : ce contrôle est notamment utilisé avec le code CCITT n° 5 à 7 + 1 bits. Il est également possible de procéder à un contrôle d'imparité : le bit supplémentaire est alors calculé de telle façon que le nombre total des bits « 1 » soit toujours impair ; en téléinformatique, cette variante est utilisée avec le code ANSCII à 7 + 1 bits.

Ce contrôle permet de détecter une erreur sur un bit du caractère ; c'est en général suffisant, mais s'il y a erreur sur un nombre pair de bits ou s'il y a permutation entre deux bits « 0 » et « 1 », l'incident n'est pas décelé.

On peut augmenter la sécurité en accroissant le nombre des éléments redondants et en affectant chacun d'eux au contrôle d'un certain nombre de bits du caractère. Ces adjonctions présentent toutefois l'inconvénient de ralentir la transmission des informations utiles et augmentent la complexité, donc le coût, des équipements.

- Détection au niveau du bloc.

La redondance du groupe de caractères constituant le bloc est réalisée à l'aide de un ou plusieurs caractères supplémentaires ajoutés en fin de bloc. Ces caractères sont constitués de bits calculés selon diverses lois.

La méthode la plus simple est le contrôle de parité horizontale ou longitudinale portant sur les bits de même rang de tous les caractères du bloc.

D'autres méthodes de contrôle sur le bloc (contrôle cyclique notamment) sont également utilisées. Mais la combinaison des contrôles de parités verticale et horizontale (parfois appelée méthode des parités croisées) présente l'avantage de la simplicité; elle détecte les erreurs et permutations de bits avec une efficacité satisfaisante et est la plus employée.

c. Correction.

- Par répétition sur demande.

Dans les systèmes comportant une détection d'erreurs, la correction s'effectue généralement par répétition sur demande du bloc erroné.

L'extrémité émettrice conserve en mémoire le dernier bloc transmis. A l'extrémité réceptrice, ce bloc est généralement mémorisé et vérifié avant d'être transféré à l'ordinateur ou au terminal de réception : si la vérification est positive, le transfert est effectué et un signal invite l'extrémité émettrice à transmettre le bloc suivant; si une erreur est détectée, le bloc est effacé à la réception et l'extrémité émettrice est invitée à le retransmettre.

- Par répétition systématique (**système « reflex »**).

Dans ce système, le dernier bloc transmis est mis en mémoire aux extrémités émettrice A et réceptrice B. B retransmet le bloc à A qui collationne les caractères émis et reçus : s'ils sont identiques le signal « bloc correct » est transmis à B qui achemine alors le bloc vers le collecteur pendant que A commence la transmission du bloc suivant; si les caractères collationnés ne sont pas tous identiques, A répète le bloc entaché d'erreurs et le processus de contrôle recommence.

Ce système présente l'avantage de ne pas comporter de caractères de parité et de donner une sécurité presque absolue. Par contre, la répétition systématique des données transmises double à la fois le temps de transmission et le risque d'erreur.

- Par autocorrection.

Les codes autocorrecteurs, peu utilisés, permettent à l'extrémité réceptrice de corriger elle-même les erreurs détectées à partir des seules données reçues.

La détection et la correction des erreurs sont généralement effectuées par logique cablée dans le contrôleur de transmission. La partie de la procédure de ligne qui permet la détection et éventuellement la correction des erreurs est la **procédure de contrôle (ISO)**.

3.4.4.2. Erreurs d'aiguillage ou d'enregistrement.

Indépendamment des erreurs touchant le contenu du message, il peut également se produire des erreurs d'aiguillage ou d'enregistrement :

- Si une erreur portant sur l'adresse n'est pas détectée, le message est perdu pour le vrai destinataire et il est en trop pour un destinataire imprévu;
- La correction des blocs erronés par répétition introduit une nouvelle possibilité d'erreur : un message répété inutilement peut être pris en compte deux ou plusieurs fois.

La protection contre ces erreurs est généralement assurée par la **procédure de l'accusé de réception**. L'extrémité réceptrice est obligée de retourner un accusé de réception positif (caractère de contrôle ACK) ou négatif (NAK) pour chaque message reçu et l'extrémité émettrice réagit en fonction de la réponse reçue : une réponse positive l'assure d'une bonne transmission, une réponse négative l'oblige à retransmettre, une absence de réponse dans un délai spécifié déclenche une procédure de reprise.

La procédure de l'accusé de réception diminue d'autant plus l'efficacité de la transmission que le temps de renversement du sens de transmission et le temps de transmission sont plus grands.

3.5. GESTION DES MOYENS DE TRANSMISSION.

3.5.1. Établissement et libération de la voie.

Lorsqu'une voie de transmission n'est pas permanente, il est nécessaire de l'établir avant chaque liaison et de la libérer ensuite.

Sur le réseau commuté la procédure d'établissement de la voie est manuelle et indépendante de la procédure de transmission; sur une liaison spécialisée point à point, la procédure se résume à une convention de sens initial de transmission et à la définition d'un caractère de libération de la voie (EOT : fin de transmission); sur un réseau multipoint, c'est l'ordinateur qui a la charge d'établir la voie avec l'un ou l'autre des terminaux.

3.5.2. Procédures d'appel.

Les **procédures d'appel** sont destinées à éviter ou régler les conflits d'accès qui risquent d'apparaître lorsque plusieurs voies de transmission utilisent des moyens communs en compétition.

3.5.2.1. Liaisons point à point.

Si les deux extrémités d'une liaison point à point à l'alternat s'appellent simultanément, elles ne reçoivent aucune réponse l'une de l'autre. Pour sortir de cette impasse logique on affecte à chacun des deux postes un temps d'attente différent avant que l'appel soit réémis : la station primaire, dont le temps d'attente est plus court, est ainsi assurée de l'emporter rapidement sur la station secondaire. Cette procédure est souvent désignée par l'anglicisme **mode de contention**.

3.5.2.2. Liaisons multipoint.

Dans une liaison multipoint, on applique généralement le **mode supervise** qui consiste à désigner une **station primaire** (ou **de contrôle** ou **pilote**) ayant seule la possibilité d'entrer en liaison avec les autres stations (**secondaires**). Dans la pratique on applique surtout cette méthode à une liaison multipoint reliant des terminaux à un ordinateur : les liaisons entre terminaux sont alors impossibles et l'ordinateur joue le rôle de pilote. Deux modes d'appel sont possibles selon que le pilote est prêt à recevoir ou à émettre un message.

- **L'invitation à émettre** ou *polling*.

L'ordinateur invite les terminaux à transmettre à tour de rôle; seul celui qui vient d'être appelé a la possibilité de répondre : ou il transmet un message, ou il répond par un accusé de réception négatif (NAK) et le « polling » passe au terminal suivant dans l'ordre de la liste d'appel rangée en mémoire centrale.

- **L'invitation à recevoir** ou **adressage**, *addressing*, *selecting*.

La séquence d'appel donne l'adresse (préalablement cablée) du ou des terminaux auxquels est destiné un message. Les terminaux qui n'ont pas « reconnu » leur indicatif dans la liste d'appel ne peuvent pas recevoir le message.

3.6. MISE EN ŒUVRE DE LA PROCÉDURE.

La procédure est mise en œuvre par un module de gestion réalisé le plus souvent :

- par programmation dans les ordinateurs;
- par logique cablée dans les terminaux anciens;
- par programmation, dont une partie au moins est en mémoire morte, dans les terminaux récents.

On trouve également, entre le module de gestion de procédure et les moyens de transmission, l'ensemble des programmes et des matériels qui participent à la transformation des messages en bits et vice-versa.

Si on considère un réseau de téléinformatique comportant plusieurs terminaux reliés à un ordinateur susceptible d'exécuter simultanément plusieurs applications, on rencontre successivement, dans le logiciel de celui-ci :

- les programmes d'application qui reçoivent et fournissent des blocs de données sans tenir compte des contraintes imposées par les transmissions;
- les programmes d'aiguillage de l'information (blocs de données et messages reçus ou émis) entre les différentes applications d'une part et les différentes voies de transmission d'autre part.

Ces programmes, spéciaux à la téléinformatique, sont par exemple les **méthodes d'accès** (BTAM, QTAM, TCAM) d'IBM;

- les programmes de mise en œuvre de la procédure de transmission qui exécutent ou déclenchent les fonctions décrites plus haut.

3.7. DIVERSITÉ DES PROCÉDURES.

3.7.1. Facteurs dont dépend une procédure.

Il existe diverses procédures. Certaines tentent d'être d'un emploi aussi général que possible mais aucune n'est universelle.

Elles dépendent en effet :

1. Du type d'application caractérisé par :

- le volume d'informations émises ou reçues par un terminal; celui-ci est généralement très fort pour un traitement par lot, moyen pour une interrogation de fichier, faible pour un traitement en mode conversationnel;
- le degré d'équilibre entre les sens de transmission : les entrées-sorties sont souvent équilibrées mais, dans une interrogation de fichiers par exemple, les sorties sont dominantes;
- les priorités relatives lorsque plusieurs applications coexistent : la priorité est plus élevée pour un traitement par lot...

2. Des possibilités des terminaux.

3. Des caractéristiques du système de transmission, c'est-à-dire de la vitesse de transmission (10 à 10⁶ bits/s), du type de réseau (commuté, spécialisé, point à point ou multipoint), du mode de transmission (alternat ou simultané), du mode d'assemblage des bits (asynchrone ou synchrone)...

3.7.2. Principales procédures.

Parmi les procédures les plus courantes on peut citer :

- la STANDARD ECMA-16 (European Computer Manufacturers Association) qui s'applique à des liaisons point à point et multipoint avec contrôle des voies suivant la méthode « polling-selecting »... et qui définit 10 caractères de contrôle en code international n° 5 :

SOH (*Start of heading*) début d'en-tête,

STX (*Start of Text*) début de texte (corps du message),

ETX (*End of text*) fin de texte,

ETB (*End of block*) fin de bloc,

EOT (*End of transmission*) fin de transmission,

ENQ (*Enquiry*) « polling et selecting »,

ACK (*Acknowledge*) accusé de réception positif (parfois suivi d'un signal de parité),

NAK (*Negative acknowledge*) accusé de réception négatif,

DLE (*Data link escape*) sert à modifier le caractère qui suit (extension du code),

SYN synchronisation et remplissage;

- l'IBM-BSC (*Binary Synchronous Communication*), conçue pour des vitesses de transmission supérieures à 600 bauds; très voisine de la précédente, elle prévoit en outre le mode transparent décrit ci-dessous;
- la CDC-Mode 2, spécifiquement conçue pour les applications de traitement par lot à distance avec un terminal lourd;
- l'HDLC (*High Level Data Link Control*) adaptée à des équipements terminaux complexes...

3.8. MODES DE FONCTIONNEMENT DES CONTRÔLEURS DE TRANSMISSION.

1. On a vu que les caractères de contrôle générés par le module de gestion de la procédure du côté émission, étaient destinés au contrôleur de transmission de l'extrémité réceptrice dans lequel sont déclenchées les fonctions correspondantes. Les caractères de contrôle, les caractères calculés pour la protection des erreurs ainsi que les adresses des terminaux constituent les informations que le contrôleur utilise pour gérer les transmissions. Celui-ci travaille alors en **mode contrôle**.

2. Pendant la transmission du corps d'un message de données qui est encadré par les caractères STX d'une part et ETX (ou ETB) d'autre part, le contrôleur travaille en **mode texte**.

3. Il peut cependant être nécessaire de transmettre, dans le corps du message, des combinaisons de bits ayant une signification différente de celle qui leur est attribuée dans le code

utilisé : si, par exemple, on travaille avec le code ANSCII, on peut avoir à transmettre des signaux en EBCDIC, des données numériques en hexadécimal condensé (2 chiffres par octet), du binaire pur (programme compilé)... Il est alors nécessaire d'ajouter au contrôleur un dispositif lui permettant de travailler dans un mode spécial dit **mode transparent** et d'utiliser une procédure adaptée à ce besoin.

Sans entrer dans le détail, on notera que dans une procédure admettant le mode transparent, les caractères de contrôle du mode normal délimitant le corps du message de données ou introduits dans celui-ci pour un besoin particulier (SYN notamment) sont remplacés par des séquences de deux caractères dont le premier est toujours DLE (*Data Link Escape*) et le second le caractère du mode normal ; ces caractères sont essentiellement :

- DLE STX début de texte (corps du message),
- DLE ETX fin de texte,
- DLE ETB fin de bloc,
- DLE SYN séquence de remplissage.

Le contrôleur passe du mode normal au mode transparent quand il détecte la séquence DLE STX et vice-versa quand il détecte les séquences DLE ETX ou DLE ETB.

4. ÉQUIPEMENTS POUR LA TRANSMISSION DE DONNÉES

4.1. MODEMS (1).

4.1.1. Fonction essentielle et techniques de modulation.

Dans tout modem, les signaux échangés avec les équipements terminaux sont sous la forme binaire-série du signal télégraphique tandis que ceux transmis en ligne sont sous des formes variées, adaptées aux caractéristiques électriques de celle-ci. Le passage de l'un à l'autre de ces états est le résultat (fig. 24) :

- d'une manipulation à l'aide de techniques binaires près de l'équipement terminal : c'est ce qu'on peut appeler le codage ;
- d'une transformation analogique par modulation d'un courant porteur près de la ligne de transmission : c'est la modulation proprement dite (2).

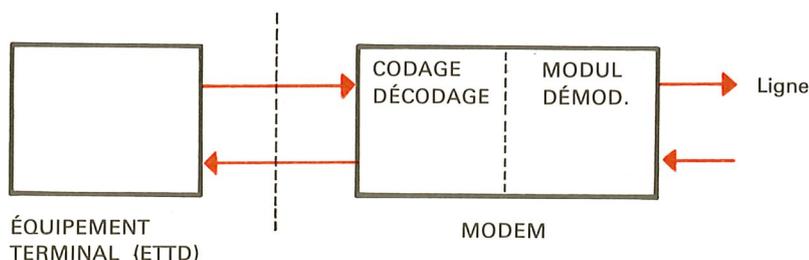


Fig. 24. — Transformation des signaux dans le modem

4.1.1.1. Le codage.

Le codage du signal avant modulation (signal en bande de base) est soit lié au type de modulation qui va suivre, soit destiné à garantir la sécurité technique de la transmission.

Les techniques mises en œuvre étant généralement fondées sur des notions théoriques fort complexes qu'il n'y a pas lieu d'aborder ici, nous nous bornerons à citer les procédés les plus couramment appliqués.

(1) Dans certains documents traduits de l'anglais, les modems sont appelés **coupleurs téléphoniques**.

(2) Principe rappelé au paragraphe 21 ci-dessus. Pour plus de détails sur les techniques de modulation, se reporter à la partie annexe.

Le signal peut être :

- maintenu sous la forme binaire mais faire l'objet d'un nouveau codage : codage différentiel, codage bi-phase, introduction du signal de rythme dans le signal d'information... ;
- transformé en signal de valence > 2 : codage bipolaire (trivalent) codage multivalent (permettant de transmettre n fois plus vite en distinguant 2^n états sur la ligne), codage par entrelacement...

4.1.1.2. *Modulation.*

- Modulation d'amplitude.

La modulation d'amplitude n'est pratiquement jamais utilisée seule en téléinformatique ; on ne la rencontre qu'associée à d'autres types de modulation ou suivie d'un traitement supplémentaire.

- Modulation de fréquence.

La modulation de fréquence est la base des techniques de transmission télégraphique sur voie téléphonique : elle est couramment utilisée en télégraphie harmonique et on la retrouve dans les modems à 200 et 600 bauds.

La faveur rencontrée par cette technique tient notamment aux faits que les circuits de modulation-démodulation sont très simples et qu'elle permet de corriger facilement les variations de niveau du signal reçu.

- Modulation de phase.

La modulation de phase, associée au codage différentiel, est employée dans de nombreux modems synchrones. On utilise aussi fréquemment la technique d'incorporation de la base de temps dans le signal ainsi que le codage multivalent : c'est notamment le cas des modems à 2 400 et 2 800 bits/s.

- Modulations mixtes amplitude-phase.

Ces modulations complexes sont utilisées dans les modems qui permettent de transmettre 3 ou 4 bits par temps élémentaire, soit 4 800 bits/s sur support téléphonique médiocre, soit 9 600 bits/s sur support téléphonique de qualité supérieure.

- Modulations en BLU et en BLR.

La modulation en BLU (bande latérale unique) n'est pas utilisée en téléinformatique. Par contre, la modulation en BLR (bande latérale résiduelle) est utilisée dans les modems adaptés à la transmission sur groupe primaire ou secondaire ; l'inconvénient de la bande résiduelle est compensé par rapport à la modulation en BLU par un meilleur rapport signal à bruit.

4.1.2. **Fonctions annexes.**

On a vu qu'indépendamment de sa fonction principale, le modem pouvait remplir diverses fonctions techniques ou logiques.

Parmi ces fonctions annexes, qui varient sensiblement d'un matériel à l'autre, on peut citer :

4.1.2.1. *La détection analogique des erreurs.*

Quand le système comprend une détection analogique des erreurs, celle-ci s'effectue dans le modem. Si le signal est suspect, il n'est pas transmis au contrôleur de transmission qui reçoit seulement, sur un autre fil, un signal d'erreur ; celui-ci élabore alors le signal de demande de répétition.

4.1.2.2. *Synchronisation-bit.*

Les modems fonctionnent soit en mode asynchrone, soit en mode synchrone. Ceux qui fonctionnent en mode asynchrone sont capables de transmettre à n'importe quelle vitesse jusqu'à la vitesse maximale. Ceux qui fonctionnent en mode synchrone assurent une vitesse de transmission fixe. L'horloge de synchronisation bit est normalement incorporée au modem ; si elle est placée dans le contrôleur de transmission, le modem dépend alors de celui-ci pour fournir les signaux de synchronisation à l'équipement de réception.

4.1.2.3. Modems pour réseau commuté.

Les modems utilisés sur le réseau commuté sont équipés d'un relais qui commute la ligne vers un poste téléphonique dans la position de repos et vers les circuits de modulation dans la position de travail (fig. 25).

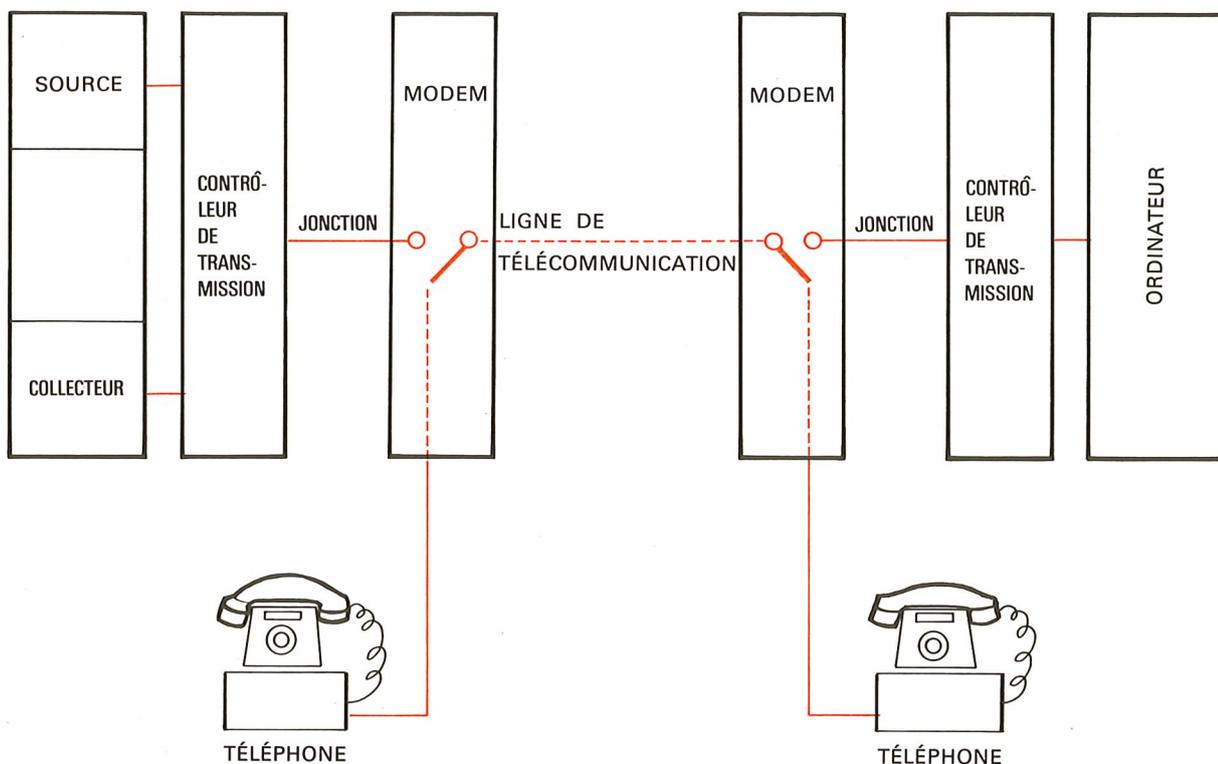


Fig. 25. — Modems sur réseau commuté

4.1.3. Modes de fonctionnement.

Les modems sont conçus pour fonctionner selon l'un des modes unidirectionnel, bidirectionnel simultané, bidirectionnel à l'alternat. Ceux adaptés au mode unidirectionnel sont respectivement des modulateurs d'émission et des démodulateurs de réception (qui conservent néanmoins l'appellation normalisée de modem). Ceux destinés au mode bidirectionnel comportent fréquemment un commutateur alternat-simultané.

4.1.4. Temps de renversement (*turn around time*).

Chaque fois qu'un modem bidirectionnel doit passer de l'un à l'autre des états émission et réception, il se pose le problème du **temps de renversement** du sens de transmission.

Pour une liaison 4 fils, ce temps mort est limité à la durée du dialogue technique précisément ouvert entre l'équipement informatique et le modem en vue de provoquer le renversement, c'est-à-dire quelques microsecondes.

Par contre, pour une liaison 2 fils fonctionnant à l'alternat, des raisons d'ordre technique telles que la suppression de l'écho de ligne, le délai de propagation des signaux... imposent un temps de retournement considérable à l'échelle microscopique (plusieurs dizaines de millisecondes), ce qui entraîne une diminution d'efficacité de la transmission et une augmentation des coûts non négligeable.

4.1.5. Modems normalisés.

Pour chacun des débits binaires normalisés le CCITT a défini les caractéristiques essentielles du modem correspondant. Il s'agit notamment :

- pour le réseau téléphonique commuté : des modems à 200 et 300 bauds, 600/1 200 bauds, 2 400 bits/s et du modem pour transmission parallèle (système multi-fréquences);

	1209	1336	1477
697 Hz	1	ABC 2	DEF 3
770 Hz	GHI 4	JKL 5	MNO 6
852 Hz	PRS 7	TUV 8	WXY 9
941 Hz	*	op. 0	

Fig. 26. — Clavier multi-fréquences *touch-tone*

Le clavier *touch-tone* permet 12 combinaisons mais d'autres codes plus ou moins complexes ont été expérimentés (systèmes à 10 et 16 touches par exemple).

4.2.1.3. La réponse vocale.

Il est possible, depuis plusieurs années déjà, d'associer aux ordinateurs des **unités de réponse vocale** capables de fournir des informations par l'intermédiaire du téléphone.

La technique actuellement utilisée est l'**enregistrement sonore** : l'unité de réponse est dotée d'une mémoire à accès sélectif sur laquelle sont enregistrés des mots, nombres... L'information élaborée par l'ordinateur pour répondre à une question posée est exprimée par une série d'adresses-mémoire qui est envoyée à l'unité de réponse. Celle-ci sélectionne les sons enregistrés et les transmet en ligne.

Un procédé plus élaboré est à l'étude. Il consiste à stocker sur une mémoire à accès sélectif et sous forme binaire la totalité des sons représentant une langue. A l'enregistrement, le spectre de la parole est exploré et découpé en bandes de fréquences par un **analyseur de son (vocoder)**, puis transformé en signaux binaires par un convertisseur analogique-numérique. Pour élaborer sa réponse l'ordinateur sélectionne les signaux binaires convenables, les assemble et les envoie à un **synthétiseur de parole** qui les convertit en signaux analogiques.

Ce mode d'exploitation est actuellement limité à des applications simples : interrogation de comptes, calcul numérique...

On notera que si la réponse vocale ne peut être reçue que par un écouteur téléphonique, l'interrogation peut être transmise à partir de tout terminal de dialogue.

4.2.2. Catégories de terminaux.

Selon leur conception et leur degré de perfectionnement, les terminaux peuvent être classés en différentes catégories.

a. On rencontre tout d'abord les matériels simples qui n'exécutent qu'une seule fonction d'entrée-sortie.

- Parmi ceux-ci, certains ne comportent ni mémoire, ni logique. Ces appareils ne sont pas capables d'exécuter une procédure de ligne. Ils travaillent caractère par caractère, ne détectent pas les erreurs... et toutes les fonctions sont assurées par l'opérateur. C'est le cas notamment du téléimprimeur, du clavier...

- D'autres sont au contraire dotés d'une mémoire et d'une logique câblée constituant un contrôleur de transmission assez sommaire (1). La mémoire assure l'indépendance entre la

(1) La plupart des auteurs hésitent à parler ici de contrôleur de transmission et s'en tiennent généralement aux termes de **logique** ou **logique de transmission**.

vitesse de transmission et les vitesses d'entrée-sortie des données. Elle permet aussi, grâce à un dispositif local d'édition, de déceler et de corriger les erreurs de saisie avant transmission.

La logique permet de passer du mode caractère au mode message avec une procédure de ligne relativement simple. Ces appareils, dits **terminaux légers**, sont représentés par les associations clavier-imprimante et (ou) écran de visualisation.

b. Viennent ensuite les terminaux constitués par l'association de plusieurs unités d'entrée-sortie. Ce sont les **terminaux multifonctions** dits **terminaux « intelligents »** que l'on peut subdiviser en deux groupes :

- Les premiers sont composés d'un plus ou moins grand nombre de sources et collecteurs (lecteur et perforateur de ruban, lecteur et perforateur de cartes, clavier-imprimante lente...) gérés par un seul contrôleur de transmission capable d'exécuter une procédure de ligne complexe ;
- Les seconds sont les **terminaux lourds** spécialement adaptés au traitement par lot à distance (et souvent appelés pour cette raison terminaux *remote batch*). Ils sont essentiellement constitués d'un lecteur de cartes, souvent associé à un perforateur, et d'une imprimante rapide gérés par un contrôleur de transmission du même type que ci-dessus.

4.2.3. Évolution des terminaux multifonctions.

Les premiers contrôleurs de transmission des terminaux « intelligents » ont été fabriqués par les constructeurs d'ordinateurs. Il s'agissait généralement de logiques câblées conçues pour exécuter une seule procédure de ligne. Du fait de cette structure figée, ils ne pouvaient s'adapter qu'à une seule marque, voire à un seul type d'ordinateur et ils ne pouvaient pas desservir d'autres UES que celles initialement prévues.

Par la suite, l'évolution technologique des mini-ordinateurs a permis à des constructeurs indépendants d'utiliser ceux-ci pour constituer des contrôleurs programmables, c'est-à-dire aptes à exécuter plusieurs procédures, à desservir des périphériques variés et interchangeable et à procéder à des traitements locaux : gestion des transferts entre périphériques, prétraitements, mise en forme des données...

4.3. CONNEXION DE L'ORDINATEUR AUX LIGNES DE TRANSMISSION.

4.3.1. Généralités.

La description sommaire des ordinateurs de la 3^e génération nous a permis de signaler la présence de canaux et d'unités de contrôle chargés de la gestion des UES.

Quand un tel système fonctionne en local, c'est-à-dire quand les UES sont des périphériques, on a le montage de la figure 27. Lorsque, au cours d'un traitement, l'unité centrale rencontre une instruction d'entrée-sortie, elle transmet celle-ci au canal et reprend immédiatement l'exécution du programme. Pendant ce temps le canal exécute un programme spécifique (**programme canal**) et active l'unité de contrôle qui fait exécuter la fonction prescrite par l'UES sélectionnée. Quand l'opération d'entrée-sortie est terminée, le canal en informe l'unité centrale (1). Il s'établit ainsi un double dialogue technique, d'une part entre l'unité centrale et le canal, d'autre part entre le canal et l'UES par l'intermédiaire de l'unité de contrôle.

Quand le périphérique devient un terminal connecté à l'ordinateur par une voie de transmission, il ne se pose plus seulement un problème d'exécution de l'instruction d'entrée-sortie, mais également un problème d'accès au réseau, c'est-à-dire d'adaptation des signaux à la jonction et un problème de gestion de la liaison, c'est-à-dire d'exécution de la procédure. Pour remplir ces nouvelles fonctions on utilise une unité de contrôle plus performante qui est le contrôleur de transmission.

(1) Pour la description détaillée du processus, se reporter aux traités d'informatique.

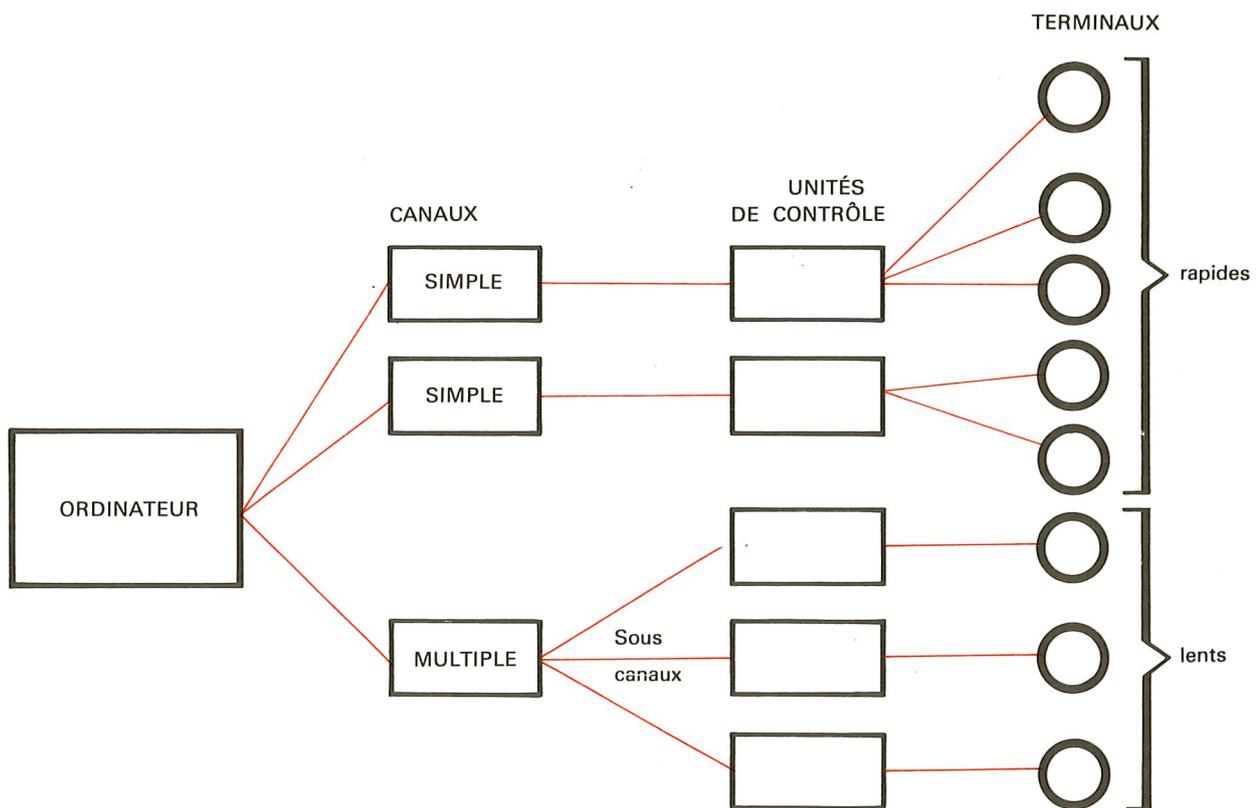


Fig. 27. — Liaisons ordinateur-canaux-périphériques

4.3.2. Diversité des contrôleurs de transmission associés aux ordinateurs.

On a déjà indiqué que lorsqu'un ordinateur constitue l'une des extrémités d'une liaison de transmission de données, son logiciel comporte des programmes de mise en œuvre de la procédure de ligne.

L'exécution de la procédure peut être répartie comme on l'entend entre l'ordinateur et le contrôleur de transmission et il est même possible de connecter celui-ci à l'ordinateur sans avoir recours à un canal. Il est cependant évident que plus on confie de fonctions de gestion des entrées-sorties à un ordinateur de traitement et plus celui-ci est mal utilisé : ses circuits de traitement sont fréquemment inemployés et les contraintes des périphériques lui font perdre du temps à attendre des événements et à traiter des interruptions, ce qui est fort coûteux.

C'est pourquoi on tend à confier le maximum de fonctions de gestion au contrôleur de transmission.

4.3.2.1. Adaptateur de transmission.

Dans le cas le plus simple, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit de relier une seule ligne de transmission à un ordinateur, les fonctions du contrôleur, exécutées par logique cablée, sont relativement limitées : transformation des signaux (conversion de niveau électrique, conversion parallèle-série...) synchronisation, adjonction ou suppression des bits de parité,...

Cet équipement relativement simple est généralement appelé **adaptateur de transmission**.

Il existe une grande variété d'adaptateurs, conçus en fonction des circuits utilisés et des modes ou vitesses de transmission. On citera notamment les adaptateurs pour transmission :

- asynchrone basse vitesse ;
- synchrone moyenne vitesse sans contrôle de parité ;
- synchrone moyenne vitesse avec possibilité de mode transparent ;
- télégraphique ;
- grande vitesse ;
- multifréquence ;
- pour équipement d'appel automatique sur le réseau téléphonique commuté.

4.3.2.2. Contrôleur de transmission.

Lorsqu'il s'agit de connecter à l'ordinateur plusieurs terminaux ayant des caractéristiques variées, on utilise des équipements plus complexes comportant généralement deux parties : celle située du côté des circuits de transmission qui comporte autant d'adaptateurs de transmission qu'il existe de lignes (fig. 28) et celle située du côté de l'ordinateur, parfois appelée **convertisseur de signaux** (IBM), qui assure diverses fonctions :

- mémorisation des signaux d'état de voie, d'analyse et de commande ;
- décodage d'adresse d'entrée-sortie affectée à la voie ;
- réponse aux commandes envoyées par l'ordinateur : par exemple, connexion par multiplexage des adaptateurs demandés ;
- gestion de la transmission des signaux de et vers l'adaptateur : transformation des signaux série reçus sur les différentes voies en signaux parallèles de 8 bits par caractère (par adjonction de zéros aux caractères à 5, 6 ou 7 bits provenant des divers terminaux) et vice-versa...

Cet ensemble, qui constitue un contrôleur de transmission selon le vocabulaire ISO, est appelé unité de contrôle par IBM, contrôleur de communication par CII-HB...

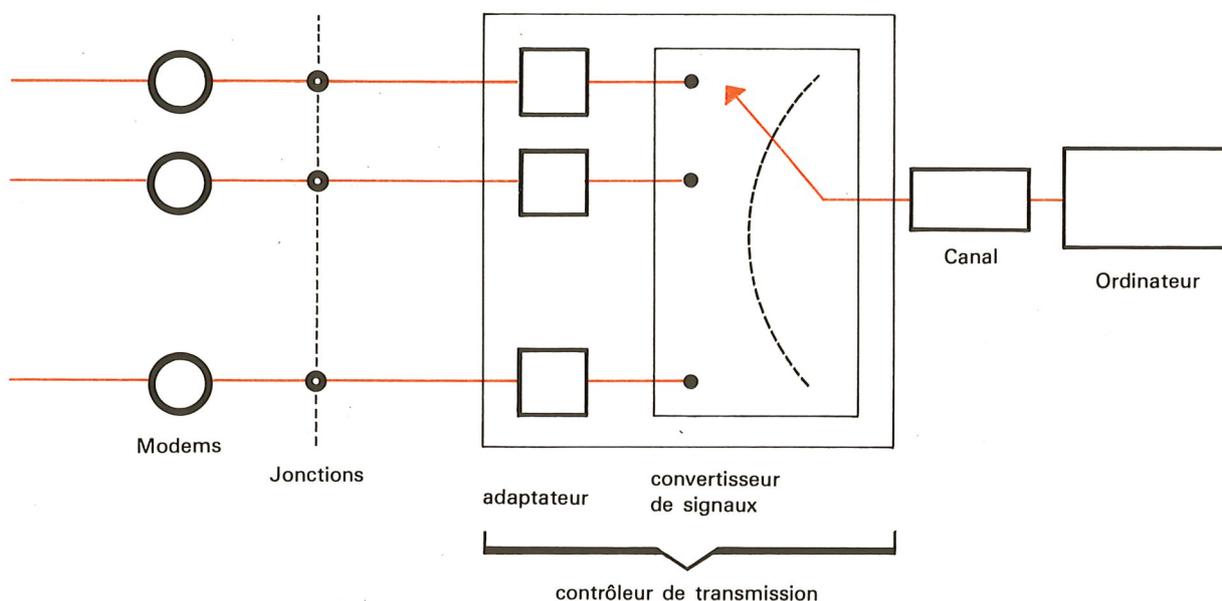


Fig. 28. — Contrôleur de transmission sur lignes individuelles

4.3.2.3. Ordinateur frontal.

Pour améliorer le rendement de l'ordinateur de traitement, on peut lui adjoindre un ordinateur chargé de la gestion des lignes de transmission. Cet **ordinateur frontal** (1) est généralement un mini-ordinateur programmé et doté d'une mémoire autonome lui permettant de stocker une centaine de caractères par ligne. Il exécute la totalité de la procédure de ligne et assure la liaison avec l'ordinateur de traitement à grande vitesse et sous une forme unique, quel que soit le terminal connecté.

La solution de l'ordinateur frontal présente de sérieux avantages :

- souplesse de configuration : les modifications du réseau de transmission en nombre de lignes ou types de procédures sont sans répercussion sur l'ordinateur de traitement ;
- libération des ressources de l'ordinateur de traitement se traduisant par une économie susceptible de compenser le prix de l'ordinateur frontal ;
- maintenance sensiblement facilitée par la structure programmable de l'ordinateur frontal.

(1) Également appelé **contrôleur à mémoire commandé par programme, concentrateur programmé** (ou **intelligent**)...

4.3.2.4. Connexion au canal.

Le mode de fonctionnement des canaux est adapté à la vitesse de transfert des UES auxquelles ils sont reliés :

- les contrôleurs de transmission des UES rapides sont connectés à des **canaux simples** qui travaillent par bloc (*Selector Channel*). Le canal reste en liaison permanente avec une UES pendant toute la durée de lecture ou d'écriture d'un enregistrement physique, puis donne l'exclusivité à une autre UES. Ce type de canal est également utilisé dans le cas de mise en œuvre d'un ordinateur frontal;
- les contrôleurs des UES lentes sont connectés à des sous-canaux gérés par un **canal multiple** ou **canal par octets** (*Byte-Multiplexor Channel*) qui transfère tour à tour les caractères (octets) circulant sur chacun des divers sous-canaux lorsque le nombre de ceux-ci est limité à quelques unités;
- pour gérer en simultanéité un grand nombre de transferts indépendants, on utilise un **canal temps réel**. Celui-ci est doté d'une logique complexe, il a accès direct à la mémoire centrale et il utilise des emplacements de mémoire réservés pour stocker des informations de contrôle.

On notera que certains contrôleurs modernes font eux-mêmes office de canal.

4.4. AUTRES ÉQUIPEMENTS TERMINAUX.

4.4.1. Les multiplexeurs.

En transmission de données, les **multiplexeurs** sont notamment utilisés pour regrouper un certain nombre de liaisons lentes sur une ligne rapide unique à l'extrémité de laquelle un matériel symétrique restitue les liaisons lentes.

Les terminaux peuvent être locaux sans modem ou dispersés et distants avec des modems (fig. 29).

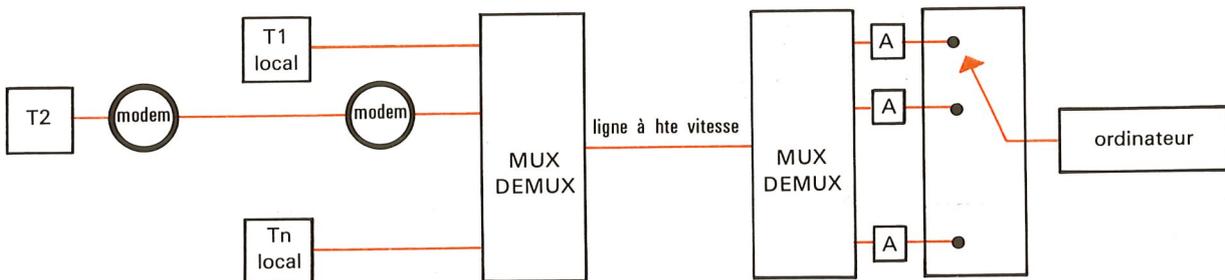


Fig. 29. — Liaison terminaux lents-ordinateur par multiplexeurs

Remarque :

La ligne à haute vitesse n'est généralement pas un circuit numérique, ce qui implique la présence de modems aux deux extrémités de la liaison (fig. 30).

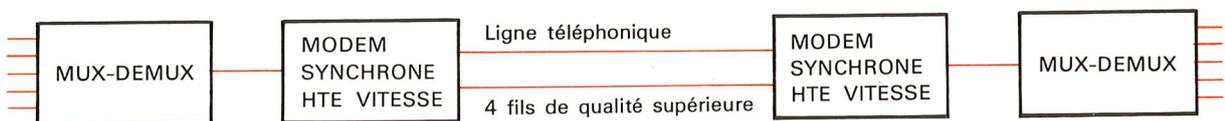


Fig. 30. — Liaison à haute vitesse sur circuit analogique

La justification des multiplexeurs se situe uniquement au niveau des économies de location de lignes et dépend essentiellement des distances, du nombre de terminaux, de leur position géographique et des tarifs de location des lignes.

Il s'agit essentiellement de **multiplexeurs temporels**, c'est-à-dire pour lesquels les données des différents utilisateurs sont régulièrement imbriquées dans le temps. Ceux-ci sont en effet transparents aux codes et aux procédures, ce qui permet de mélanger sans difficulté des signaux transmis à différentes vitesses de modulation, selon différents modes (synchrone,

asynchrone, ...) et selon des procédures distinctes (1). La quantité d'information prélevée dans chaque canal pour constituer la trame est généralement le bit car cette technique est bien adaptée au multiplexage de voies basse vitesse (multiplexage temporel par caractère). On notera au passage que l'on expérimente actuellement le **multiplexage temporel par paquet** : au lieu d'entrelacer des bits ou des caractères, on prélève successivement sur chaque canal un « paquet » de 100 à 1 000 bits pour constituer la trame.

On rappellera en outre que le multiplexeur ne possède pas de mémoire-tampon, ce qui implique que tout caractère envoyé sur une ligne d'entrée d'un multiplexeur doit être retransmis avant que se présente le caractère suivant. La somme des vitesses des lignes lentes ne peut donc jamais être supérieure à la vitesse de la ligne rapide.

4.4.2. Concentrateurs.

Les **concentrateurs**, parfois appelés **concentrateurs à file d'attente**, sont utilisés pour regrouper les besoins de plusieurs terminaux en matière de transmission vers un ordinateur de traitement (fig. 31). Ils se distinguent des multiplexeurs par les deux caractéristiques suivantes :

- ce sont des systèmes organisés autour d'un mini-ordinateur et dotés d'une mémoire-tampon ;
- ils ne sont pas transparents et l'ordinateur central les « connaît » en tant que terminaux sur son réseau.

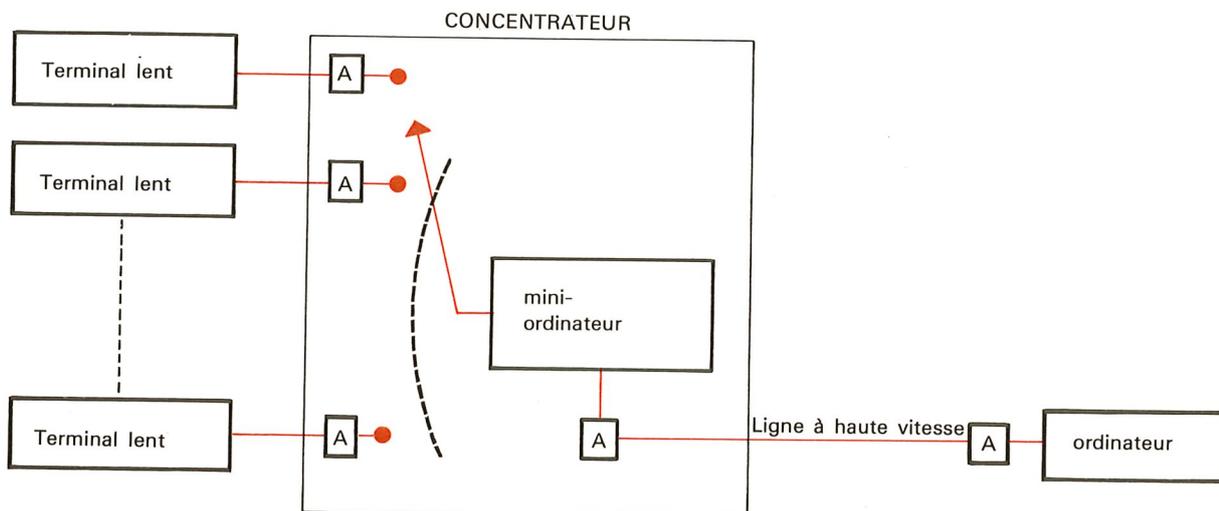


Fig. 31. — Liaison terminaux lents - ordinateur par concentrateur

Les transmissions se font en trois phases (fig. 32) :

- transmission du terminal au concentrateur, sous contrôle de la procédure imposée par le terminal ;
- attente dans le concentrateur que la voie haute soit libre et que la file d'attente des messages antérieurs soit épuisée ;
- transmission du concentrateur à l'ordinateur, sous contrôle d'une procédure, en principe choisie pour cette application.

Du fait de la récupération des temps morts sur les voies basse vitesse, le concentrateur permet de raccorder plus de terminaux qu'un multiplexeur et de réaliser ainsi une sérieuse économie sur les lignes de transmission. En contrepartie, le concentrateur est d'un coût plus élevé que le multiplexeur à nombre de voies et vitesses identiques.

Il est possible de lui raccorder des terminaux de nature et de vitesses différentes : il agit comme un ordinateur frontal à distance et uniformise les échanges entre l'ordinateur de traitement et les terminaux.

(1) Certains auteurs et constructeurs désignent ces matériels sous le nom de **concentrateurs transparents**.

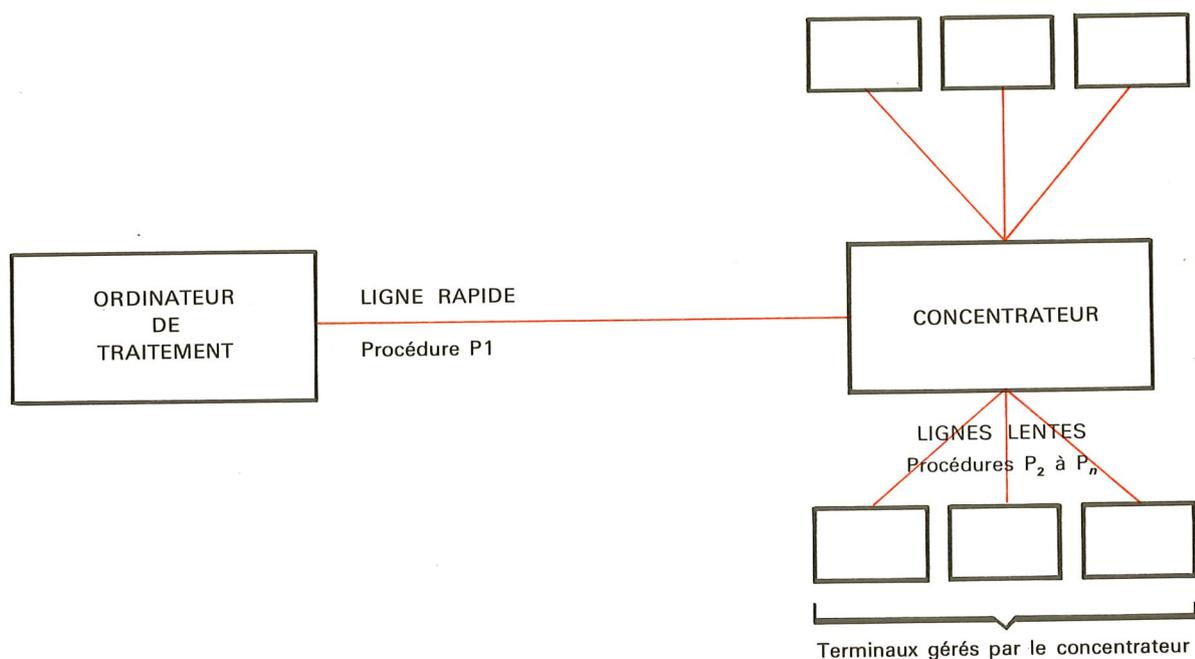


Fig. 32. — Principe de fonctionnement du concentrateur

Le concentrateur est également capable d'effectuer une partie du traitement : vérification de clé, édition de texte pour correction des erreurs de frappe avant envoi au centre de traitement, affichage de formulaires pré-enregistrés... Il peut en outre gérer des terminaux locaux dans les mêmes conditions qu'un contrôleur de transmission.

Comparé au multiplexeur, le concentrateur est donc avantageux dans les cas suivants :

- grand nombre de terminaux lents (de l'ordre de la centaine) géographiquement peu dispersés;
- mélange de terminaux lents et de terminaux d'interrogation travaillant en mode synchrone à 2 400 bauds;
- traitements à effectuer localement.

On appelle **réseau primaire** celui qui relie l'ordinateur central aux concentrateurs; il est exploité à grande vitesse, par exemple 2 400 à 4 800 bits/s. Le **réseau secondaire** relie le concentrateur aux terminaux; il est exploité à basse vitesse, en principe de 110 à 600/1 200 bauds mais, dans de nombreux cas, à la vitesse de frappe de l'opérateur qui est plus lente encore.

4.5. COMMUTATION EN TRANSMISSION DE DONNÉES.

Nous connaissons les réseaux publics commutés pour les services télégraphique et téléphonique ainsi que les techniques de commutation mises en œuvre (techniques brièvement exposées en annexe). Nous allons examiner sommairement quelques-unes des techniques utilisées dans les réseaux de transmission de données privés.

4.5.1. Commutation de circuits.

En **commutation de circuits**, la phase d'établissement de la communication est distincte de celle-ci. Lorsque les deux correspondants sont reliés, la liaison est transparente dès lors que les appareils des deux extrémités sont compatibles. Les réseaux de transmission de données privés utilisant la commutation de circuits sont soit des annexes d'un système conçu pour le téléphone (système 70 d'ITT par exemple), soit des réseaux utilisant des terminaux à fré-

quences vocales et un dispositif à réponse vocale. Certains centraux téléphoniques électroniques sont spécialement conçus pour la transmission de données (central 37.50 d'IBM). Le Centre national d'études des télécommunications a étudié un prototype de commutateur de circuits synchrones pour les vitesses 2 400 à 48 000 bits/s, susceptible de compléter le réseau TRANSMIC dans un concept de réseau intégré.

4.5.2. Commutation de messages.

La **commutation** automatique de **messages**, initialement limitée à la transmission télégraphique, s'est adaptée à la transmission de données. Les fonctions de l'autocommutateur sont alors devenues plus complexes. Il doit, par exemple, traiter des messages de tous types : messages d'information, messages de données destinées à un ordinateur ou à un terminal, messages de service ; procéder aux changements de vitesse, de code, de procédure... rendus nécessaires pour assurer la compatibilité entre les différents terminaux et ordinateurs qui lui sont connectés ; admettre tous les types d'adresses conventionnelles et les transformer en adresses physiques...

Dans la pratique, le commutateur de messages entouré de ses ordinateurs et terminaux ne constitue pas un dispositif isolé : il est généralement connecté à d'autres commutateurs du même type pour constituer un réseau plus ou moins important. Il se pose alors un problème d'acheminement des messages dans les différentes mailles du réseau : le routage est le plus souvent déterminé par programme (consultation de tables) dans le premier commutateur qui traite le message.

Parmi les diverses solutions susceptibles d'assurer la sécurité de fonctionnement et la disponibilité permanente des systèmes de commutation de messages, la plus simple consiste à doubler les organes principaux des calculateurs et à prévoir le basculement automatique de l'un à l'autre en cas d'incident.

4.5.3. Commutation par paquet.

Un **paquet** est un message de longueur fixe de 100 à 1 000 caractères suivant les réseaux. Chaque paquet comporte l'adresse du destinataire, éventuellement une indication d'origine et un numéro d'ordre destiné à permettre son insertion ordonnée dans le message dont il fait partie.

La **commutation par paquet** est utilisée depuis quelques années sur les grands réseaux d'ordinateurs : réseau ARPA (*Advanced Research Project Agency*) aux USA, réseau CYCLADES et, plus récemment, réseau TRANSPAC en France. Voisine de la commutation de messages, elle diffère cependant de celle-ci sur de nombreux points : les équipements terminaux sont essentiellement des ordinateurs ou des systèmes automatiques ; les points de raccordement au réseau sont peu nombreux ; les paquets ne comportent que des adresses physiques ; le découpage en paquets et le réassemblage de ceux-ci dans l'ordre correct sont des fonctions du réseau...

5. VOIES DE TRANSMISSION

5.1. SERVICES PROPOSÉS PAR LES PTT.

Les services proposés par les PTT pour la téléinformatique peuvent utiliser :

- les **réseaux commutés** déjà développés pour le télégraphe et pour le téléphone ;
- les **circuits spécialisés** ou liaisons permanentes entre deux ou plusieurs points constitués à l'aide de circuits prélevés sur ces mêmes réseaux ;
- des systèmes nouveaux à vocation purement téléinformatique.

Tous ces services respectent les avis du CCITT, notamment en matière de vitesse : vitesse de modulation exprimée en bauds dans le cas de signaux bivalents et débit binaire exprimé en bits/s dans le cas de signaux multivalents. Leurs caractéristiques essentielles sont résumées dans le tableau suivant.

	Services proposés	Vitesse de modulation ou débit binaire	Liaison		Mode	Code	Observations	
			Type	Sens				
RÉSEAUX COMMUTÉS	Réseau TÉLEX	50 bauds	Point à point	Bidirectionnel simultané	Asynchrone	CCITT n° 2		
		200 bauds	»	»	»	Transparent	Établissement de la liaison à 50 bauds. Code CCITT n° 5 conseillé.	
	Réseau téléphonique	50 bauds	»		Asynchrone ou synchrone		Transmission en mode parallèle.	
		200 + 200 bauds et 300 bauds	»	Bidirectionnel simultané	»	Transparent	Deux voies de transmission à 200 bauds.	
		600 et 1 200 bauds	»	Alternat	Asynchrone ou synchrone	»	Avec possibilité de voie de signalisation retour à 75 bauds.	
	Réseau CADUCÉE	2 400 à 9 600 bits/s	»	Bidirectionnel simultané	Synchrone	»	Extension du débit prévue à 19 200 et 72 000 bits/s.	
Réseau TRANSPAC	50 à 48 000 bits/s	multipoint	„	»	Procédure de transmission : trames HDLC (définition ISO)	Réseau à haute sécurité. Taxation au volume du trafic.		
CIRCUITS SPÉCIALISÉS	Télégraphiques		Cf. <i>supra</i> , « réseau TÉLEX commuté »					
	Téléphoniques	2 fils de qualité normale	200 + 200 bauds	Cf. <i>supra</i> , « réseau téléphonique commuté »				
		4 fils de qualité normale	600 et 1 200 bauds	Multipoint	Bidirectionnel simultané	Asynchrone ou synchrone	Transparent	
		4 fils de qualité supérieure	2 400 bauds	Multipoint			»	Multiplex en fréquence (12 voies à 200 bauds).
			4 800 bits/s 9 600 bits/s	Point à point	Alternat ou simultané		»	
	Bande de base (sur circuit métallique à courte distance)		2 400 à 72 000 bits/s	»	Alternat ou simultané		»	
	Groupe primaire (avec liaison terminale en bande de base)		48 000 ou 72 000 bits/s	»			»	
	Réseau TRANSMIC		2 400 bits/s à 2,048 Mbits/s	»	Bidirectionnel simultané	Synchrone	Transparent (sauf cas particuliers)	Extension prévue au multipoint.

5.2. UTILISATION DES RÉSEAUX COMMUTÉS.

5.2.1. Réseau TÉLEX.

5.2.1.1. Constitution du réseau (rappels).

La liaison entre l'abonné et le centre TÉLEX est constituée par une paire métallique ; la liaison entre centres TÉLEX est établie par télégraphie harmonique (multiplexage de 24 voies sur un circuit téléphonique).

Le réseau est entièrement équipé d'autocommutateurs du type « à barres croisées » (système *Crossbar*) depuis 1969, ce qui a permis de porter la vitesse de transmission à 200 bauds.

A cette nouvelle vitesse, le réseau français est connecté aux réseaux allemand (**DATEX**) et belge.

5.2.1.2. Installation terminale.

- Installation simple (fig. 33).

C'est l'installation classique de l'abonné TÉLEX. Le terminal est un téléimprimeur 5/50, équipé ou non d'un transmetteur automatique et d'un bloc perforateur ; il est connecté à la ligne par l'intermédiaire du coffret de manœuvre et d'alimentation à partir duquel sont effectuées les opérations manuelles relatives à l'établissement et à la rupture des communications.



Fig. 33. — Installation terminale simple

- Installation mixte (fig. 34).

Dans l'installation mixte comprenant un téléimprimeur 5/50 et un téléimprimeur 7/110 (ou un équipement terminal de transmission de donnée, ETTD), le coffret de manœuvre est remplacé par un coffret de transfert automatique à double appel.

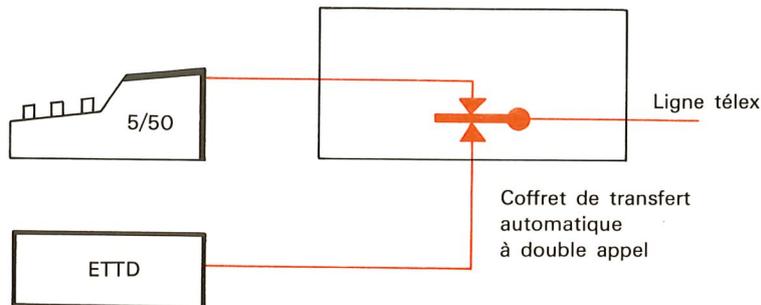


Fig. 34. — Installation mixte 50/200 bauds

La numérotation (appel) s'effectue par le téléimprimeur 5/50 ; elle est suivie de la séquence de connexion de l'ETTD appelé, puis de l'enfoncement d'une touche du coffret qui connecte la ligne sur l'ETTD local. Le coffret assure en outre la supervision de la communication.

- Installation spécialisée à 200 bauds (fig. 35).

L'installation à 200 bauds comprend un téléimprimeur 7/200, un coffret de numérotation pour l'appel à 50 bauds et un coffret de transfert automatique.

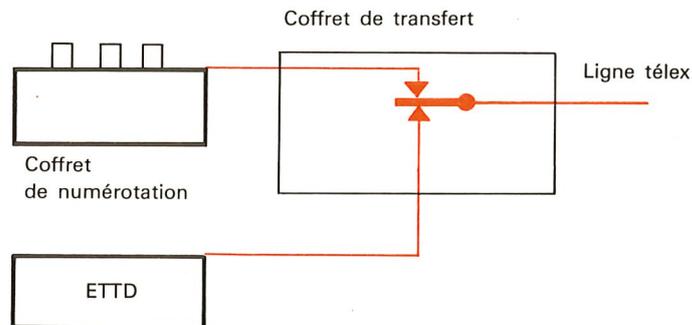


Fig. 35. — Installation spécialisée à 200 bauds

- Installation spéciale associée à un ordinateur ou à un commutateur privé (fig. 36).

L'installation spéciale est destinée à supprimer tout intermédiaire humain et peut être commune à plusieurs lignes. Elle comprend un **répondeur automatique** composé d'un équipement terminal par ligne (EL) qui effectue automatiquement le transfert, et d'un émetteur d'indicatifs, commun à toutes les lignes.

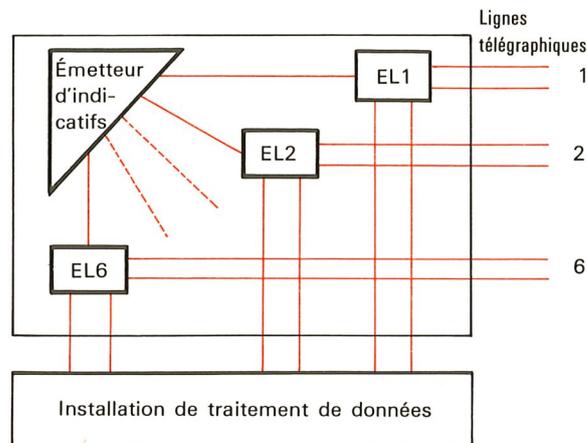


Fig. 36. — Répondeur automatique TÉLEX

Le répondeur automatique a les caractéristiques suivantes :

- il prend en charge les lignes groupées (6 au maximum) ;
- il assure les fonctions de mise en présence et de libération nécessitées par le réseau ;
- il est prévu surtout pour les communications d'arrivée, c'est-à-dire demandées par l'extrémité éloignée, mais il permet aussi à l'ordinateur d'établir des communications de départ ;
- le passage à la position « transmission de données » se fait après transmission et détection de la numérotation. La transmission a lieu à n'importe quelle vitesse jusqu'à 200 bauds et dans n'importe quel code mais la numérotation a toujours lieu en 50 bauds, code CCITT n° 2.

5.2.1.3. Liaison entre téléimprimeur et ordinateur.

Pour relier un téléimprimeur à un ordinateur il existe deux possibilités :

- dans la première, en mode bidirectionnel simultané (fig. 37), le contrôle local de frappe au clavier est obtenu par réémission vers l'imprimante des caractères reçus par l'ordinateur, ce qui permet un contrôle permanent de la transmission.

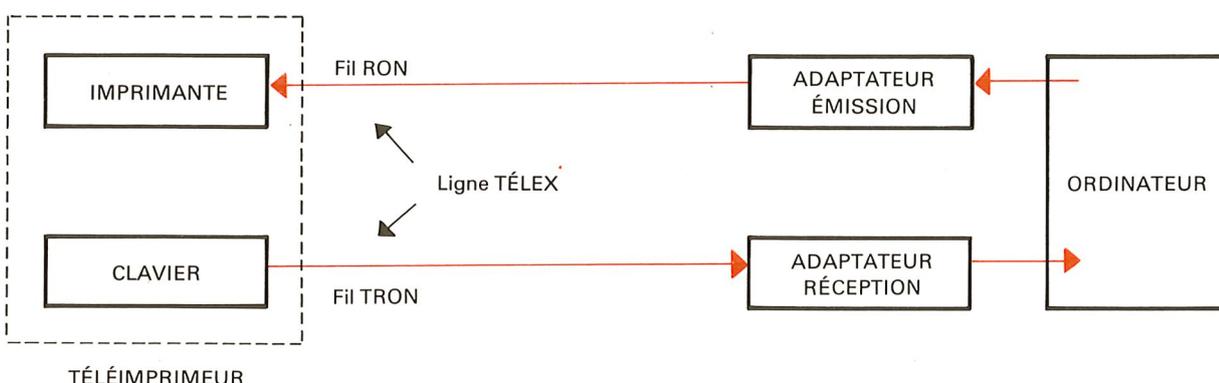


Fig. 37. — Montage du téléimprimeur en mode bidirectionnel simultané

- dans la deuxième, en mode bidirectionnel à l'alternat (fig. 38), le contrôle local est obtenu par la combinaison logique des signaux émis par le clavier avec ceux reçus de l'ordinateur.

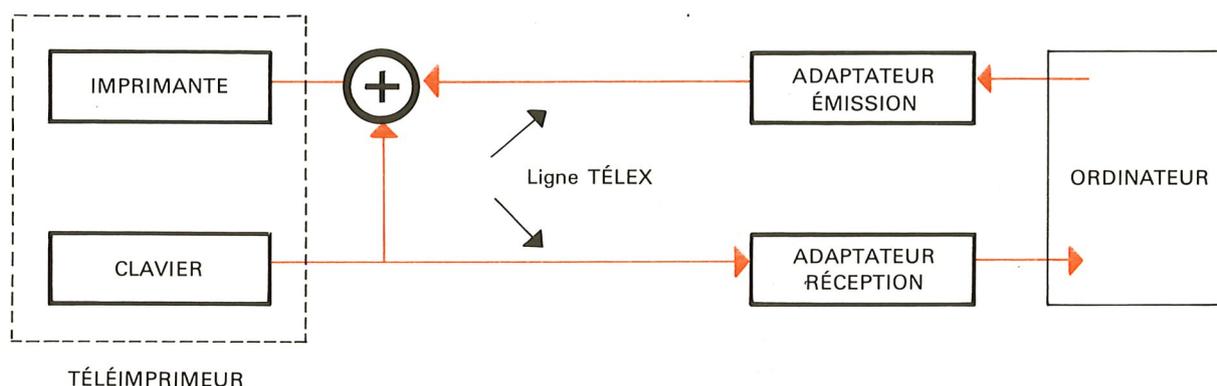


Fig. 38. — Montage du téléimprimeur en mode bidirectionnel à l'alternat

Ces modes de liaison restent valables lorsque le téléimprimeur est relié à l'ordinateur par une liaison téléphonique à 200 bauds.

5.2.1.4. Principales applications.

L'utilisation du réseau TÉLEX en téléinformatique convient aux applications ne nécessitant qu'un faible débit d'informations relativement peu fréquentes et où les terminaux sont nombreux et dispersés.

Les principales applications qui répondent à ces conditions sont :

- le traitement en temps partagé et l'interrogation de fichiers à distance ;
- la commutation de messages à 200 bauds ;
- la transmission différée avec des terminaux travaillant à des vitesses de l'ordre de 15 à 20 caractères par seconde.

Le terminal le plus fréquemment utilisé sur ces diverses liaisons est le téléimprimeur 7 moments/110 bauds.

Dans le cas des réseaux à commutation de messages, il est possible d'utiliser une seule ligne télégraphique pour desservir plusieurs téléimprimeurs (liaison multipoint) ; il est alors nécessaire d'adjoindre à chaque appareil une unité de contrôle de transmission chargée d'appliquer la procédure de ligne.

Sur le plan économique, l'utilisation du réseau télégraphique commuté présente divers avantages :

- son système de tarification le rend moins coûteux que le réseau téléphonique commuté pour les liaisons interurbaines : pour des liaisons de longue durée, il est plus économique au-delà de 200 kilomètres ;
- son équipement complet en autocommutateurs rapides et sa charge de trafic relativement limitée permettent d'établir plus rapidement les liaisons que sur le réseau téléphonique, pratiquement saturé ;
- le coût des équipements terminaux n'est pas très élevé et l'absence de modem limite l'investissement initial (ou le coût de la location-entretien).

5.2.2. Réseau téléphonique.

5.2.2.1. Conditions d'utilisation des services proposés (cf. tabl., p. 41).

- Transmission à 50 bauds en mode parallèle.

Il s'agit de la transmission de données au moyen de fréquences vocales produites par un dispositif du type téléphone à clavier décrit plus haut.

L'avis V. 30 du CCITT définit 12 fréquences susceptibles de fournir 16 combinaisons (émission simultanée d'une fréquence de chacun des groupes A et C), 64 combinaisons (transmission simultanée d'une fréquence des groupes A, B, C) ou 256 combinaisons (transmission de chaque caractère en deux parties successives) :

Voie \ Groupe	1	2	3	4
A	920 Hz	1 000 Hz	1 080 Hz	1 160 Hz
B	1 320 Hz	1 400 Hz	1 480 Hz	1 560 Hz
C	1 720 Hz	1 800 Hz	1 880 Hz	1 960 Hz

- Transmission à 200 bauds sur deux voies.

Les conditions d'utilisation des deux voies fournies sont définies par l'Administration conformément au tableau suivant :

Voies \ Liaison	N° 1	N° 2
Unilatérale	Supervision	Données
Bilatérale	Demandeur vers demandé	Demandé vers demandeur

- Transmission à 600/1 200 bauds.

La notation 600/1 200 bauds signifie qu'en principe la transmission s'effectue à 1 200 bauds mais que l'équipement terminal doit permettre de réduire cette vitesse jusqu'à 600 bauds en fonction de la qualité du circuit mis en jeu.

5.2.2.2. Principales applications.

Le réseau téléphonique commuté est utilisable pour les transmissions de données à vitesse relativement faible, quand les considérations de délais ne sont pas primordiales et pour un trafic relativement peu important.

Les applications courantes sont :

- le traitement en temps partagé;
- la transmission différée à 1 200 bauds, par exemple pour la saisie de données.

Son utilisation présente certains inconvénients :

- limitation de la bande effectivement transmise, en raison des « passages 2 fils - 4 fils », des changements de type de voie, de la traversée de centraux vétustes...;
- bruits et perturbations provoqués par les équipements : impulsions de taxation, courants de rupture dans les commutateurs anciens...;
- difficulté d'établir les liaisons interurbaines et même urbaines à travers un réseau fréquemment encombré.

L'Administration ne peut d'ailleurs garantir rigoureusement la qualité des communications en raison de la variété des matériels constitutifs du réseau et de la non-permanence de l'itinéraire emprunté.

5.2.3. Réseau CADUCÉE.

Le réseau CADUCÉE, mis en service en 1972, est un réseau à vocation purement téléinformatique. Il a été essentiellement conçu en vue de mettre à la disposition des usagers un service commuté (fig. 39), donc facturé en fonction du trafic réel, à des vitesses de transmission supérieures à celles admises sur le réseau téléphonique commuté.

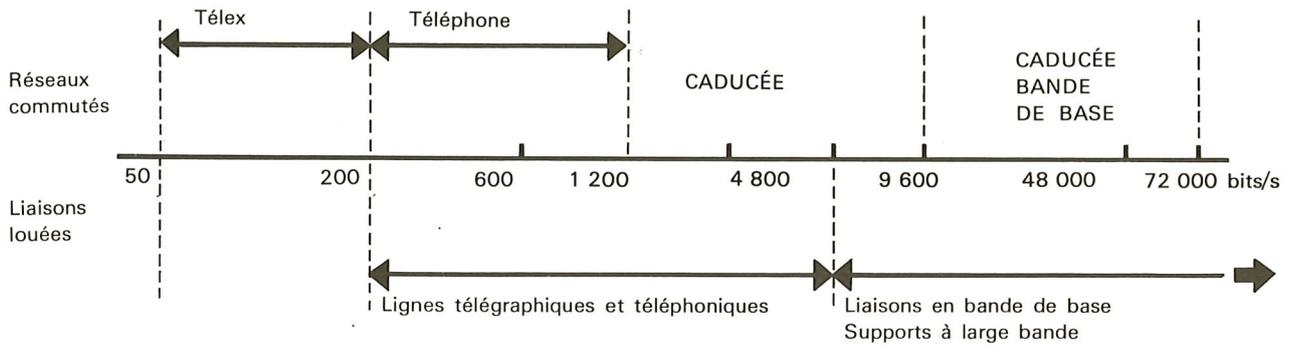


Fig. 39. — Place du réseau CADUCÉE par rapport aux réseaux existants

5.2.3.1. Constitution du réseau (fig. 40 et 41).

CADUCÉE est un réseau étoilé à commutation de circuits actuellement constitué par :

- des autocommutateurs du type CROSSBAR implantés à Paris (2 000 lignes) et à Lyon (900 lignes);
- 14 points de rattachement équipés d'un concentrateur en province; ceux-ci pourront être dotés d'un autocommutateur si le développement du trafic le justifie;
- des lignes métalliques 4 fils desservant les abonnés de Paris et Lyon;
- des circuits 4 fils à grande distance desservant les abonnés de province, éventuellement par l'intermédiaire d'un concentrateur.



Fig. 40. — Structure initiale du réseau



Fig. 41. — Schéma d'organisation de CADUCÉE

5.2.3.2. Installation terminale.

L'installation terminale comporte :

- Un coffret de manœuvre dont les fonctions principales sont :
 - le raccordement au réseau ;
 - l'échange avec l'autocommutateur d'une signalisation adaptée ;
 - l'émission des appels au clavier ou automatiquement ;
 - la réponse automatique aux appels.
- Un poste téléphonique de service permettant la mise en communication des opérateurs.
- Un modem (qui peut être loué par l'Administration).

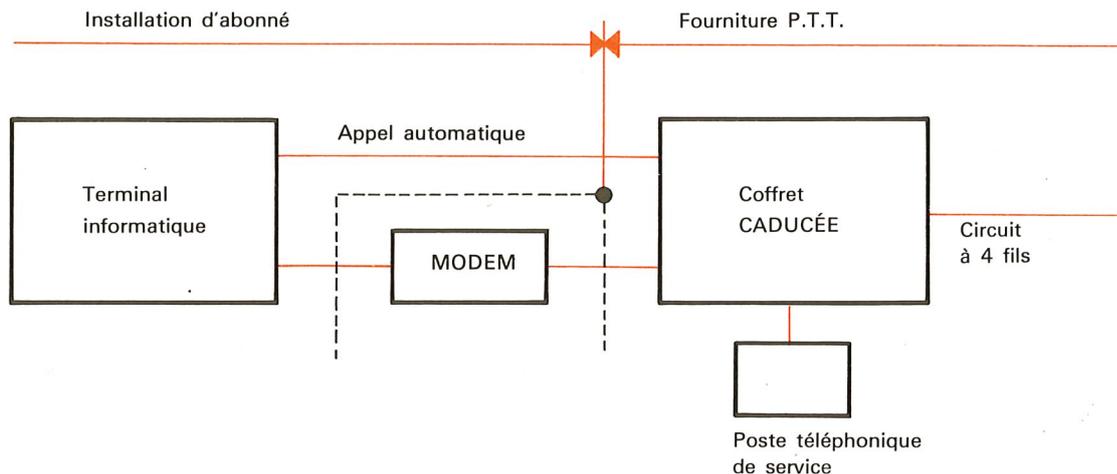


Fig. 42. — Installation terminale CADUCÉE

5.2.3.3. Services proposés et champ d'application.

Les services proposés par CADUCÉE présentent les caractéristiques suivantes :

- Transmission sur des circuits de qualité supérieure (Gabarit M 102 du CCITT) adaptée à des débits de 2 400, 4 800 et 9 600 bits/s et à la transmission en bande de base jusqu'à 72 Kbits/s dans un rayon de 30 kilomètres autour de l'autocommutateur ;
- Commutation en 4 fils assurant l'établissement automatique d'une connexion en 5 secondes ;
- Transparence aux codes et aux modulations après connexion des terminaux des utilisateurs.

Les applications pour lesquelles le réseau CADUCÉE est le mieux adapté sont :

- la saisie de données à l'aide de terminaux multiclaviers demandant des vitesses de transmission élevées durant des vacations journalières de courte durée ;
- la restitution des données élaborées vers des terminaux magnétiques rapides (encodeurs) dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Il peut également être utilisé pour l'accès à des chaînes de banques de données et le traitement par lot à distance, mais l'équilibre économique avec des liaisons spécialisées aussi performantes (liaisons 4 fils de qualité supérieure) risque d'être atteint au-delà de quelques heures de trafic journalier.

5.3. UTILISATION DES LIAISONS SPÉCIALISÉES (cf. tabl., p. 41).

Les liaisons spécialisées sont, ainsi qu'on l'a déjà indiqué, des liaisons empruntées à l'infrastructure générale des télécommunications et mises à la disposition d'un utilisateur par contrat de location-entretien entre celui-ci et l'Administration. Comparées aux réseaux commutés, elles présentent les avantages d'un réseau fermé sur un réseau ouvert (souplesse d'utilisation, sécurité, mise en présence immédiate des correspondants) ; du fait de la permanence de la liaison, il est possible de garantir un service de qualité supérieure.

L'Administration loue quatre grandes catégories de liaisons qui couvrent toute la gamme des vitesses de transmission.

5.3.1. Liaisons télégraphiques.

Elles sont établies à l'aide de circuits quelconques du réseau général et présentent les mêmes caractéristiques que les liaisons télégraphiques commutées.

5.3.2. Liaisons téléphoniques.

- Sur circuits de qualité normale 2 ou 4 fils.

A quelques points de détail près, elles présentent les mêmes caractéristiques que les liaisons téléphoniques commutées à 200 et 1 200 bauds.

- Sur circuits 4 fils de qualité supérieure.

Elles assurent des débits binaires qui ne peuvent être atteints sur le réseau commuté : 2 400, 4 800 et même 9 600 bits/s.

5.3.3. Liaisons en bande de base.

Les **liaisons en bande de base** sont des liaisons numériques à grand débit qui utilisent l'infrastructure existante pour les besoins de la téléinformatique. Elles sont établies sur les lignes métalliques pures à 2 ou 4 fils qui réunissent les terminaux et ordinateurs d'abonnés aux centraux téléphoniques. Leur portée, qui varie en fonction du diamètre des paires utilisées et du débit binaire envisagé, ne dépasse pas une trentaine de kilomètres. La constitution en 4 fils est obligatoire dès qu'il y a une amplification intermédiaire.

Les liaisons en bande de base permettent des débits compris entre 2 400 bits/s et 72 Kbits/s. Les débits normalisés sont 2 400, 9 600 et 19 200 bits/s en bas de gamme et 48, 64, 72 Kbits/s en haut de gamme. De tels débits autorisent des liaisons directes entre ordinateurs et terminaux rapides rattachés à un même centre PTT (fig. 43).

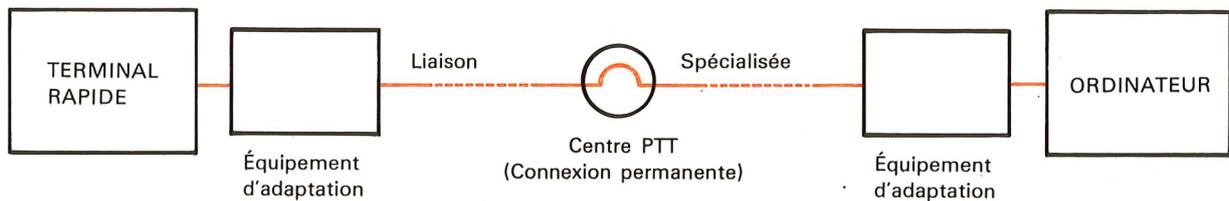
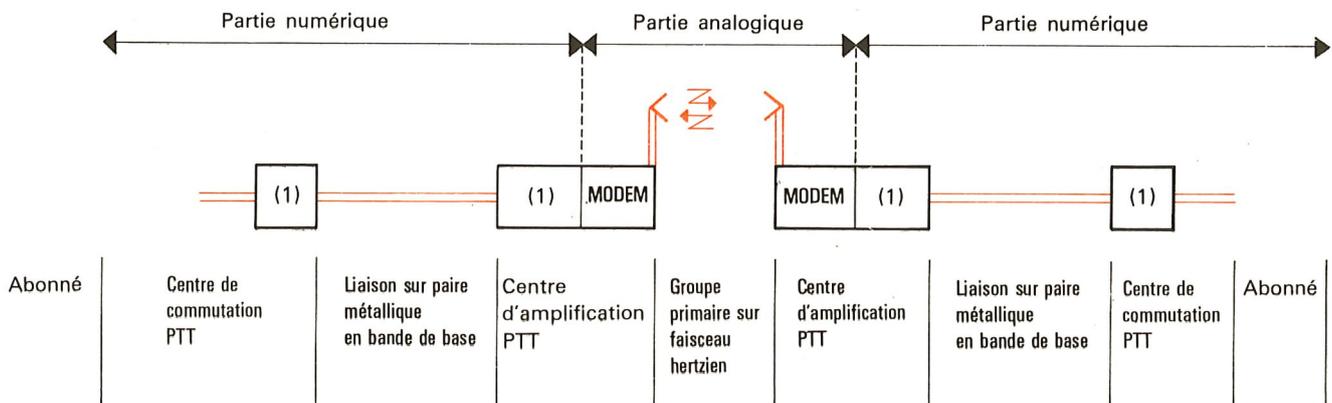


Fig. 43. — Exemple de liaison en bande de base

5.3.4. Circuits numériques à grande vitesse.

5.3.4.1. Liaisons sur groupe primaire (fig. 44).



(1) Équipement d'adaptation.

Fig. 44. — Exemple de liaison sur groupe primaire

Ce sont des liaisons mixtes analogique-numérique :

- sur la partie longue distance, c'est-à-dire entre centres d'amplification des PTT, on utilise toute la bande passante occupée par un groupe primaire téléphonique, soit 48 KHz, pour transmettre une seule liaison; on peut ainsi atteindre un débit de 48 et même 72 Kbits/s;
- des centres PTT aux terminaux d'usagers, la liaison se fait en bande de base sur circuit métallique 4 fils.

5.3.4.2. Circuits numériques 2 400 bits/s à 2,048 Mbits/s.

● Avertissement.

Les réseaux de télécommunications exclusivement aptes à véhiculer des signaux numériques à grande vitesse sont fréquemment désignés par des expressions telles que réseaux MIC, liaisons MIC, services MIC... Ce jargon pseudoprofessionnel étant susceptible d'induire en erreur, ou tout au moins de dérouter le lecteur peu averti, il nous a semblé opportun de résumer brièvement les notions théoriques développées en annexe :

- un système MIC (modulation par impulsions et codage) est un système destiné à transformer les signaux analogiques en signaux numériques;
- le multiplexage temporel est applicable à des signaux numériques de toutes origines : MIC, téléinformatique...;
- un **réseau intégré** (fig. 45) est un réseau téléphonique qui combine un système MIC et une commutation temporelle (impliquant, si besoin est, le multiplexage temporel);
- on appelle circuits numériques les éléments d'un réseau intégré.

En résumé, la modulation par impulsions et codage n'est applicable qu'aux signaux analogiques et il est abusif de parler de réseau, liaison ou service MIC à propos de la téléinformatique qui ne concerne que le traitement et la transmission de signaux numériques. Il est à notre sens préférable de s'en tenir à la formule « transmission de données sur circuits numériques », généralement utilisée par les PTT (1).

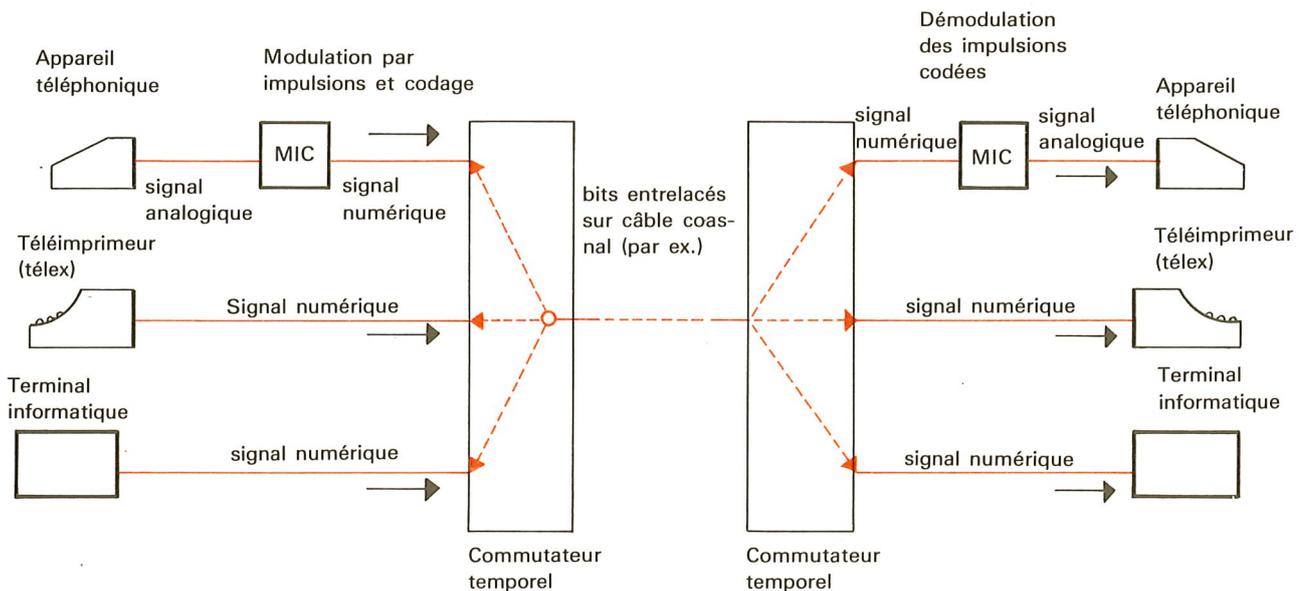


Fig. 45. — Schéma simplifié d'un réseau intégré

● Services proposés.

Pour préparer la réalisation d'un réseau intégré, l'Administration exploite à titre expérimental des liaisons sur circuits numériques à 2,048 M bits/s sur les deux artères Paris - Rennes - Brest (avec ramifications sur Nantes et Lannion) et Paris - Orléans-La Source. Ces liaisons

(1) On relève également dans la *Revue française des télécommunications*, éditée par le CNET, des formules parfaitement claires telles que « transmission de données sur support MIC », « liaison... utilisant le matériel des systèmes téléphoniques en MIC »...

empruntent des canaux multiplexés sur faisceaux hertziens entre centres des PTT et des circuits métalliques 4 fils entre les centres PTT et les équipements d'abonnés.

- Champ d'application des liaisons spécialisées.

Le champ d'application des liaisons spécialisées est d'autant plus vaste que la plage des vitesses est large. On peut citer comme exemples :

- à 1 200, 2 400 et 4 800 bits/s : liaisons multipoint aussi bien pour des traitements par lot que pour une utilisation en mode conversationnel ;
- aux très grandes vitesses : liaisons point à point entre centres de traitement.

5.4. NOUVEAUX SERVICES PROPOSÉS PAR LES PTT.

5.4.1. Service TRANSPLEX.

Le service de téléinformatique TRANSPLEX, créé en 1973, est un service de location de canaux pour la transmission de données numériques de 75 à 600 bits/s.

5.4.1.1. Réseau.

TRANSPLEX est un réseau de liaisons spécialisées sur 4 fils de qualité supérieure reliant entre eux des multiplexeurs temporels installés dans les grandes villes de France. Il s'agit d'un réseau maillé dont les principaux nœuds sont reliés par des liaisons point à point de même gabarit aux centres régionaux de moindre importance (réseaux étoilés).

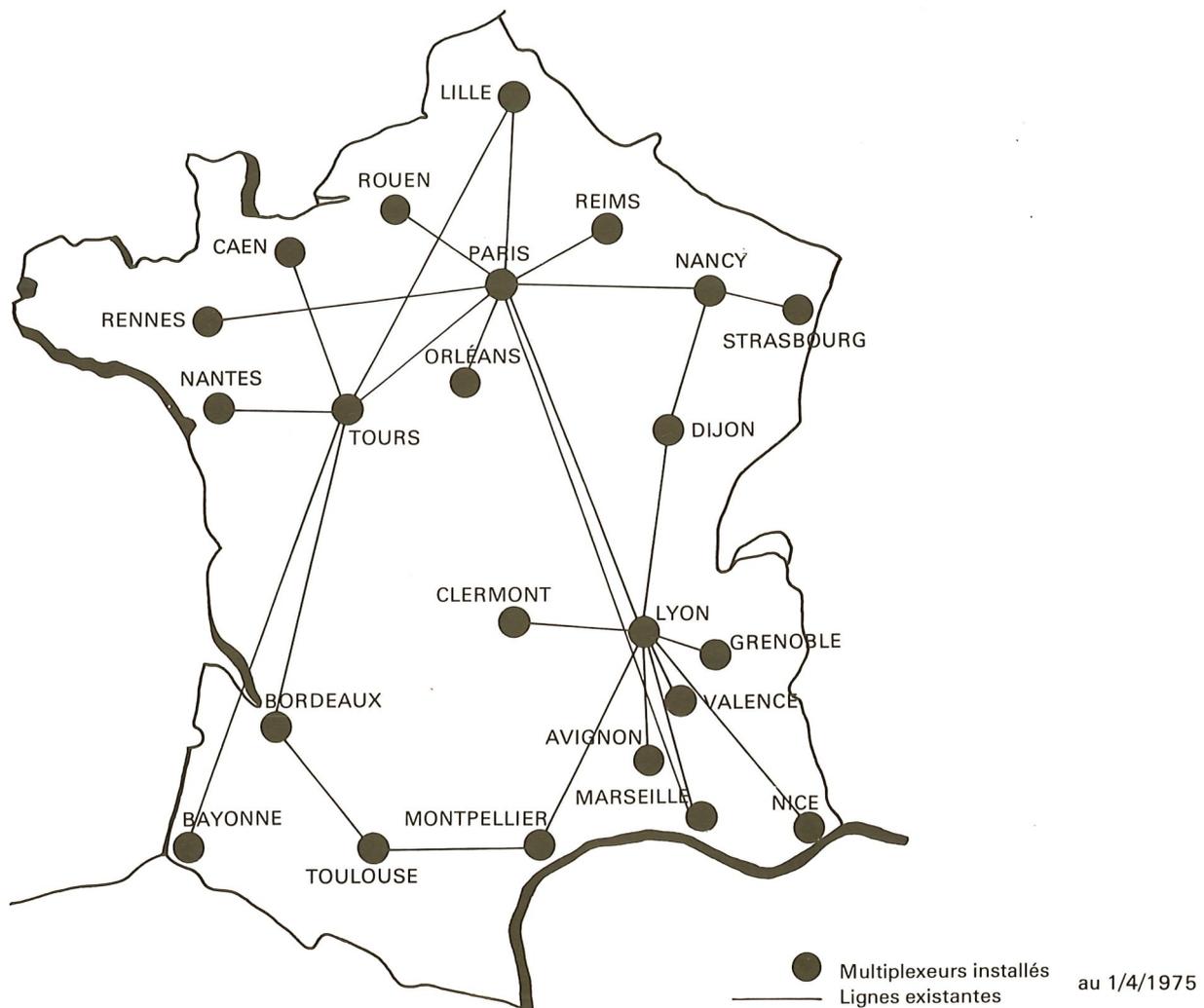


Fig. 46. — Le réseau TRANSPLEX

Sur le plan de la sécurité, toutes les dispositions ont été prises pour assurer la permanence du service : des liaisons et des équipements de secours sont constamment prêts à être substitués aux installations en service en cas de dérangement.

Les multiplexeurs permettent de constituer des canaux de transmission à des vitesses de 75 à 1 200 bauds par découpage d'une trame temporelle transmise à 4 800 bits/s. Ils peuvent gérer jusqu'à 128 canaux à basse vitesse sur 6 liaisons synchrones à haute vitesse.

5.4.1.2. Service offert.

Le réseau admet les transmissions en mode asynchrone à 75, 110, 135, 200, 300 et 600 bauds et il est totalement transparent à tous les codes courants de 5 à 8 bits de données (CCITT n° 2 et n° 5, ASCII, BCD, EBCDIC). Tous les **protocoles de transmission** (1) et tous les modes d'exploitation sont acceptés : bidirectionnel simultané (duplex), alternat (semi-duplex) « polling-selecting »... ; un canal TRANSPLEX est donc pratiquement capable d'acheminer le trafic de n'importe quel équipement de téléinformatique existant dans la gamme des vitesses indiquées.

5.4.1.3. Raccordement au réseau.

Pour réaliser une liaison entre deux équipements de téléinformatique, l'utilisateur loue un canal TRANSPLEX entre les deux nœuds du réseau les plus proches de ceux-ci, il s'y raccorde par l'un des moyens classiques :

- liaison spécialisée télégraphique ;
- liaison spécialisée téléphonique 2 ou 4 fils, point à point ou multipoint ;
- liaison commutée téléphonique (fig. 47).

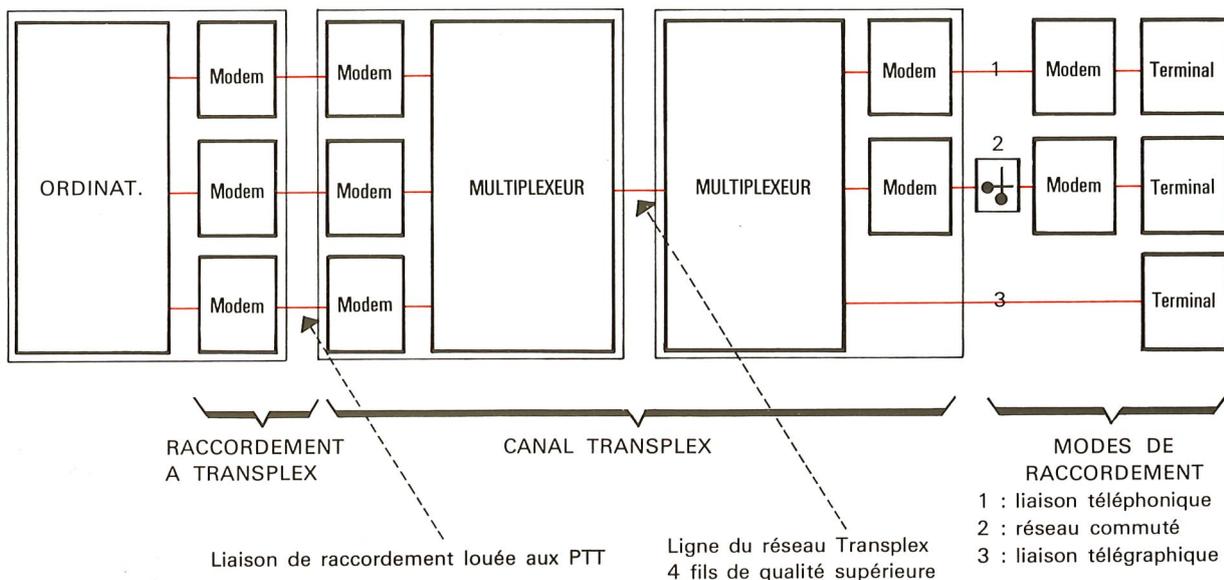


Fig. 47. — Modes de raccordement à un canal TRANSPLEX

Lorsqu'il s'agit de connecter un grand nombre de terminaux à un ordinateur de traitement, les liaisons spécialisées entre celui-ci et son nœud de raccordement au réseau peuvent être regroupées par multiplexage sur un support unique à haut débit. Le service TRANSPLEX loue le multiplexeur destiné à restituer chaque canal à l'équipement de traitement (fig. 48).

(1) Le **protocole de transmission** (ou **d'accès au réseau**) est l'ensemble des règles régissant les échanges entre les abonnés et le réseau.

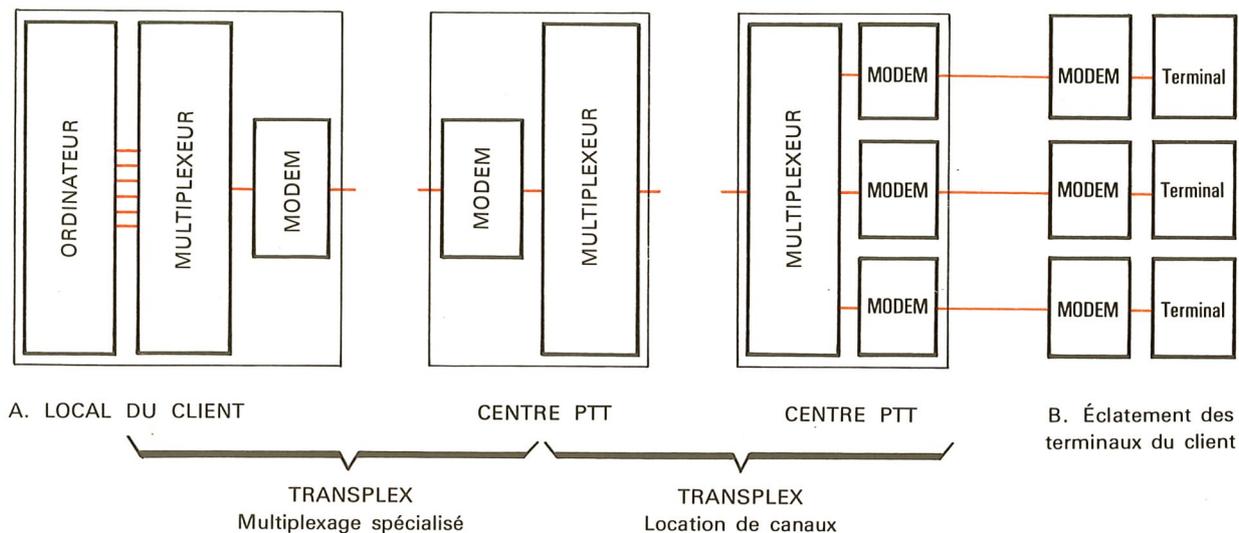


Fig. 48. — Raccordement à un centre de calcul avec multiplexage spécialisé

5.4.1.4. Gestion.

Le service TRANSPLEX a fait l'objet d'un protocole d'accord entre l'Administration, qui fournit les liaisons et multiplexeurs, et la société Télésystèmes qui s'est vue confier la mise en place et la commercialisation du service. Cette dernière coordonne toutes les actions nécessaires à l'établissement des liaisons : négociations commerciales, établissement du contrat et des demandes de raccordement, transmission du dossier à l'Administration, contrôle des travaux de raccordement...

5.4.1.5. Intérêt de TRANSPLEX pour l'utilisateur.

L'intérêt de TRANSPLEX se manifeste sur les plans technique et économique.

Du point de vue technique, chaque canal possède une qualité de transmission égale à celle des lignes spécialisées de qualité supérieure. De plus, les signaux sont régénérés à la sortie du multiplexeur, et peuvent ainsi être transmis à grande distance sans distorsion.

Du point de vue économique, la concentration de plusieurs canaux sur un même support permet d'offrir un tarif de location intéressant par rapport aux moyens classiques de transmission. Malgré la charge supplémentaire introduite par les lignes de raccordement, le gain peut varier de 20 à 50 % selon le cas.

5.4.2. Service TRANSMIC.

Le service TRANSMIC, ouvert à titre expérimental en 1977, est un service de location de canaux pour transmission de données numériques en mode synchrone pour des débits allant de 2 400 bits/s à 2,048 Mbits/s.

5.4.2.1. Présentation générale.

TRANSMIC est un service de liaisons spécialisées numériques. Il permet de réaliser deux types de liaisons :

- à moyens débits :
 2 400, 4 800, 9 600 bits/s avec une jonction V 24,
 48 Kbits/s avec une jonction V 35 ;
- à hauts débits :
 128, 256, 512, 1 024 Kbits/s avec une jonction de type X 24/V 11,
 2,048 Mbits/s avec code HDB 3.

Par rapport aux liaisons spécialisées analogiques classiques, TRANSMIC assure une qualité de service supérieure et fournit un service plus complet allant jusqu'à la jonction numérique.

5.4.2.2. Organisation et constitution du réseau.

Le réseau TRANSMIC est le réseau de télécommunications sur lequel s'appuie le service TRANSMIC. Ce réseau est utilisé pour les besoins propres au service TRANSMIC, mais aussi pour d'autres besoins : artères intercommutateurs TRANSPAC, télécopie, TÉLEX, visioconférence, TRANSPLEX...

Une liaison TRANSMIC comporte une section principale et deux sections terminales (fig. 49).

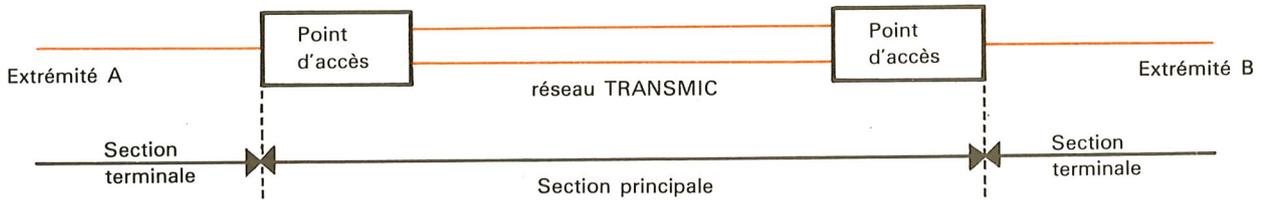


Fig. 49. — Schéma d'une liaison TRANSMIC

● Points d'accès.

Au point d'accès (centre d'exploitation) sont réalisés le multiplexage des conduits numériques et la supervision des liaisons.

Une carte des premiers points d'accès TRANSMIC est donnée figure 50.

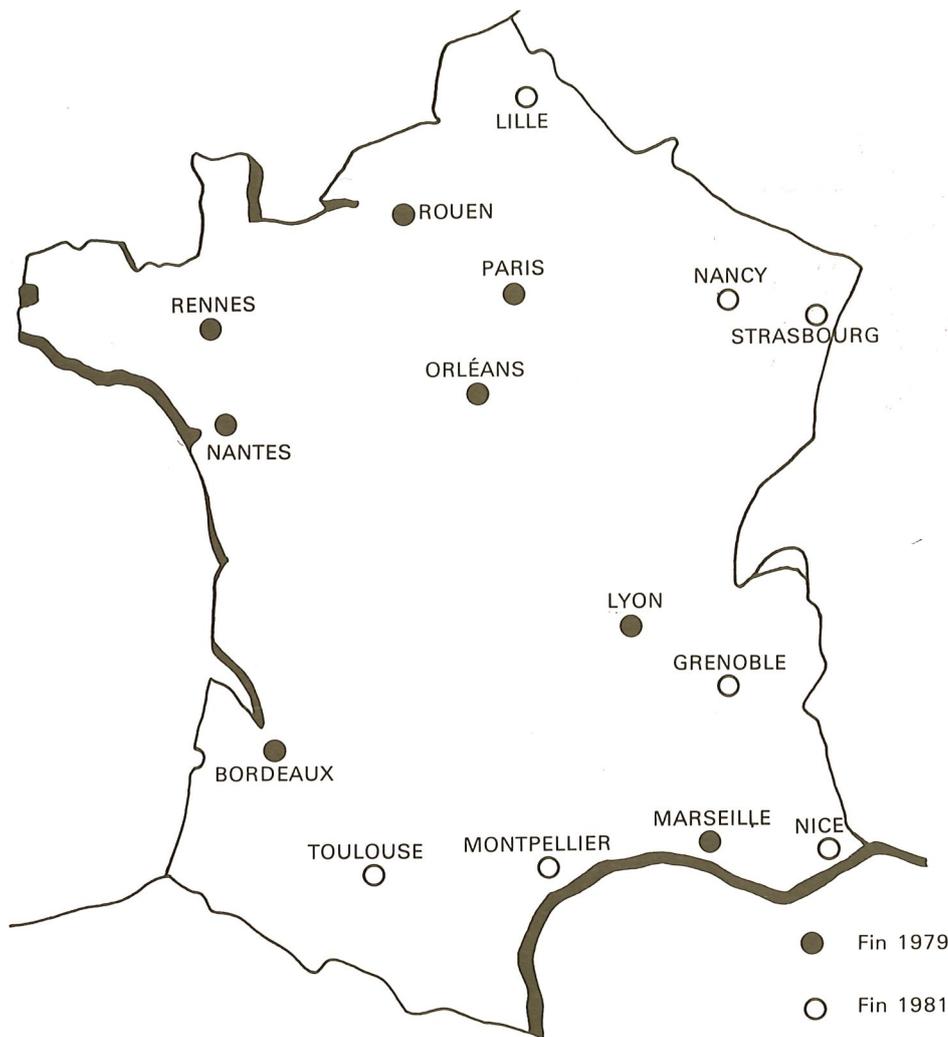


Fig. 50 — Points d'accès TRANSMIC prévus

- Liaisons entre points d'accès.

Les points d'accès sont reliés entre eux soit directement, soit par l'intermédiaire d'un ou plusieurs centres d'exploitation appelés nœuds TRANSMIC et réalisant des fonctions de brassage et de synchronisation.

Afin d'obtenir un taux de disponibilité aussi élevé que possible, les liaisons sont secourues; le basculement normal-secours est automatique.

- Raccordement.

Le raccordement d'une installation d'abonné à un point d'accès du réseau TRANSMIC est réalisé :

- soit par une liaison en bande de base sur paire métallique pour les moyens débits en utilisant les convertisseurs bande de base utilisés pour le réseau TRANSPAC;
- soit par un conduit numérique à 2,048 Mbits/s pour les hauts débits.

5.4.3. Service TRANSPAC.

L'Administration des PTT a ouvert fin 1978 un réseau public de commutation de données par paquet dit TRANSPAC.

5.4.3.1. Constitution du réseau (fig. 51 et 52).

Le réseau TRANSPAC est constitué de commutateurs temporels reliés par un réseau fortement maillé de liaisons sur groupe primaire, admettant au minimum deux voies à 48 et 64 Kbits/s entre chaque nœud. Ces commutateurs sont reliés à leur tour à des unités de raccordement, jouant le rôle de concentrateurs, par des liaisons point à point sur groupe primaire (réseau en étoile); le nombre des commutateurs et points d'accès croîtra avec le développement du réseau.

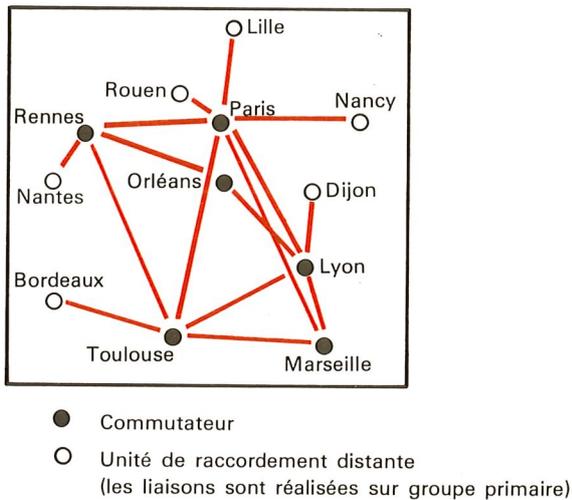


Fig. 51. — Topologie prévue à l'ouverture du réseau TRANSPAC

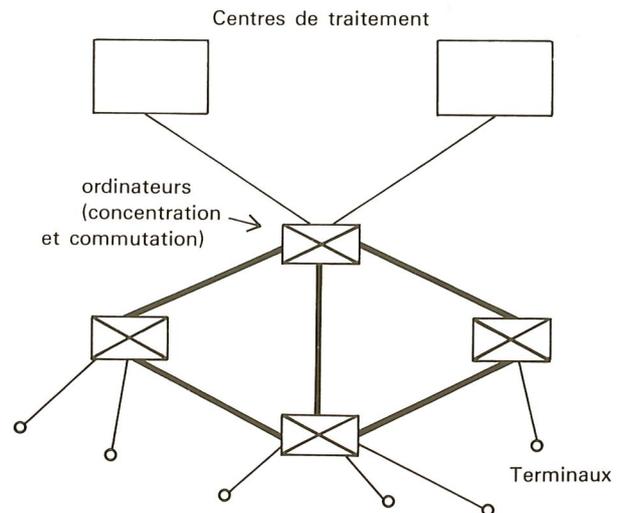


Fig. 52. — Structure d'un réseau de transmission par paquet

5.4.3.2. Transmission par paquet.

La commutation temporelle permet de regrouper sur les liaisons internes du réseau des paquets provenant de différentes communications et d'optimiser ainsi l'occupation de chaque voie : une communication n'emprunte plus que la fraction de la capacité qui lui est nécessaire alors que, dans le cas des circuits loués ou commutés, elle nécessitait l'allocation d'une capacité fixe de transmission.

Parallèlement à ce rendement élevé, le réseau TRANSPAC présente les avantages déjà cités de la commutation de paquets :

- forte disponibilité du réseau grâce à son maillage et à la possibilité de modifier automatiquement des données en cas de défaillance d'un élément (fig. 53);

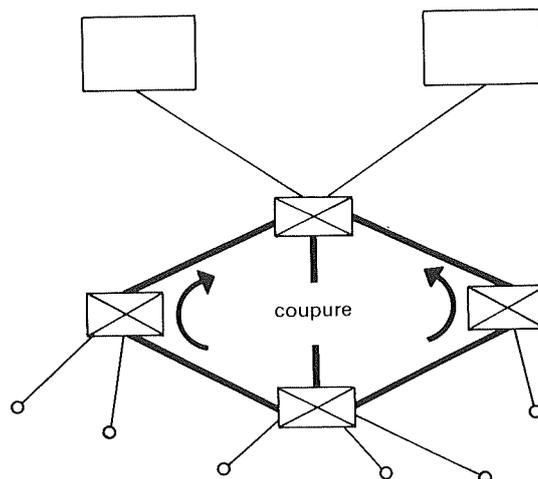


Fig. 53. — Modification de l'acheminement en cas de défaillance d'un élément

- possibilité de procéder à des conversions de vitesses, de codes, de procédures de ligne et de permettre ainsi le dialogue entre matériels informatiques non compatibles;
- protection élevée contre les erreurs de transmission par l'utilisation de codes détecteurs d'erreurs performants et de la retransmission automatique;
- possibilité, pour un ordinateur, de gérer par un seul accès physique au réseau un grand nombre d'échanges simultanés avec des terminaux différents...

5.4.3.3. Services offerts.

Le service TRANSPAC, qui sera accessible à terme en tout point du territoire métropolitain, est destiné à satisfaire la plus grande partie des besoins en transmission de données. Il admet tous les débits compris entre 50 bauds et 48 000 bits/s et toutes les applications de télé-informatique : transmission de données, télétraitement par lot ou en temps partagé, interrogation et mise à jour de fichiers en mode conversationnel, réseaux d'ordinateurs...

● Circuits virtuels.

Ces services seront fournis sur la base du circuit virtuel. Un **circuit virtuel** est une connexion virtuelle établie entre deux installations terminales pour la transmission de messages composés de séquences de paquets. L'ordre des paquets est respecté et il ne peut y avoir de perte de données du fait de l'encombrement du réseau.

De façon analogue à la commutation de circuits, ce type de service implique, préalablement à l'échange de données, qu'une séquence « d'établissement » du circuit virtuel ait été exécutée. Cette séquence se traduit par l'envoi d'un appel de la part du terminal appelant répercuté par le réseau sur le terminal demandé. Le réseau, connaissant alors les caractéristiques des deux installations mises en présence, peut prendre en charge la supervision des échanges et assurer le contrôle, la mise en ordre des paquets et la régulation du trafic en cas d'encombrement des lignes ou de la station terminale réceptrice.

La taille maximale des paquets peut être choisie par les abonnés dans les valeurs suivantes, multiples de 2 : 8, 16, 32, 64 ou 128 octets; ce choix est effectué au raccordement lorsque le circuit virtuel est permanent et à chaque communication lorsqu'il est commuté; il peut être différent pour chacun des deux correspondants.

Les terminaux simples qui envoient leurs messages caractère par caractère dans des codes qui ne sont pas basés sur l'octet peuvent utiliser les circuits virtuels sous certaines conditions, le réseau se chargeant des conversions nécessaires.

● Datagrammes.

Un **datagramme** est un court message composé d'un seul paquet et transmis de façon autonome, sans référence à aucun autre datagramme précédemment ou ultérieurement échangé entre les deux installations terminales mises en relation.

Le service des datagrammes est également offert sur TRANSPAC. Il se caractérise par le fait que les datagrammes ne sont pas nécessairement transmis au destinataire dans l'ordre dans lequel l'émetteur les a confiés au réseau. De plus, si la file d'attente des datagrammes destinés à un abonné qui ne peut pas les recevoir devient trop grande, le réseau doit détruire les nouveaux datagrammes qui se présentent afin d'éviter la saturation des mémoires-tampons, d'où la possibilité de perte d'informations. Il s'agit donc d'un service accessoire, aux possibilités limitées, et moins sûr que le service circuit virtuel.

5.4.3.4. Raccordement au réseau (fig. 54).

Le raccordement d'un équipement d'abonné au point d'accès au réseau le plus proche (commutateur, concentrateur, multiplexeur) peut se faire par :

- liaison téléphonique spécialisée pour tous les débits jusqu'à 48 000 bits/s;
- réseau téléphonique commuté jusqu'à 300 bauds;
- réseau TÉLEX à 50 bauds.

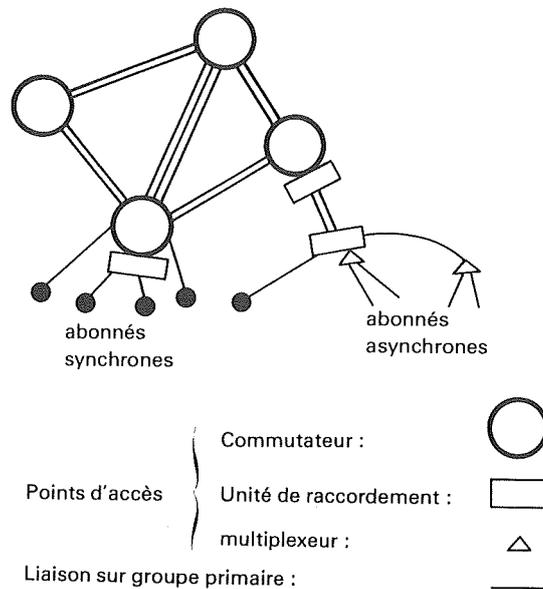


Fig. 54. — Raccordement au réseau TRANSPAC

Le mode d'échange avec le réseau est défini par le protocole standard TRANSPAC. L'accès par un protocole différent du protocole standard est également possible pour les terminaux qui ne peuvent pas être adaptés à celui-ci : des unités de raccordement locales assureront alors la conversion entre les deux types de protocole.

Quelques catégories de terminaux asynchrones, dont les terminaux TÉLEX, ont accès au réseau. Ils sont raccordés à celui-ci par des multiplexeurs locaux ou distants.

Les terminaux synchrones sont raccordés :

- directement sur les commutateurs s'ils sont à proximité et s'ils utilisent le protocole standard;
- par l'intermédiaire d'unités de raccordement locales s'ils utilisent un protocole non standard (conversion de protocole);
- sur des unités de raccordement distantes (concentrateurs) s'ils sont éloignés des commutateurs.

5.4.4. Fourniture de modems par les PTT.

L'Administration peut fournir en location-entretien, non seulement les circuits, mais également les modems placés à leurs extrémités. Cette solution présente un grand intérêt pour l'utilisateur, en diminuant le nombre de ses interlocuteurs : l'Administration leur fournit alors une liaison numérique et c'est à elle qu'incombe l'entière responsabilité de la liaison, de jonction à jonction;

de plus, en cas de dérangement, les PTT disposent d'un service de télédiagnostic qui leur permet de savoir si c'est la ligne ou le modem qui est en cause.

La gamme de modems susceptibles d'être fournis est la suivante :

- modems 600/1 200 bauds;
- modems 2 400 bits/s;
- modems 4 800 bits/s;
- modems pour groupe primaire à 48 ou 72 Kbits/s (installés dans les centres d'amplification).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES (1)

Ouvrages.

- CHÉNIQUE (François), BRUNET (René).
* *Qu'est-ce que la téléinformatique ?*
Paris, Dunod, 1974, 24 cm, 193 pages.
- DUPRAZ (Jacques).
* *Théorie de la communication. Signaux, bruits et modulations.*
Paris, Eyrolles, 1973, 24 cm, 296 pages.
- LAFFAY (Jean).
* *Les télécommunications.*
Paris, Presses Universitaires de France, 1968, 17 cm, 127 pages.
Collection « Que sais-je ? ».
- LETEURTRE (Pierre).
* *Techniques et équipements pour la transmission de données.*
Paris, Institut privé Control Data, 1973, 29,7 cm, 237 pages.
- MACCHI (C.), GUILBERT (J.-F.).
Téléinformatique.
Paris, Dunod, 1979, 24 cm, 680 pages.
- MONTMANEIX (M.-G.).
* *Le téléphone.*
Paris, Presses Universitaires de France, 1974, 17 cm, 123 pages.
Collection « Que sais-je ? ».
- NGHIEM (Phong Tuan).
Transmission des données.
Osny, Édit. Infoprax, 1978, 29,7 cm, f. mobiles.
- * *Téléinformatique et réseaux spécialisés.*
Paris, ministère des Postes et Télécommunications, DGT, centre de promotion de la téléinformatique, 1974, 29,7 cm, 43 pages.
Fichier à mise à jour périodique.
- TRÈVES (J.).
* *Les transmissions de données.*
Paris, CIMAB, Encyclopédie des équipements de bureau et matériels de l'informatique, t. 3, 1975, 29,7 cm, 36 pages.
- VUITTON (Ph.), LECLERQ (Ph.), BOUVIER (M.).
La téléinformatique, clé de la télématique.
Paris, La documentation pratique, 24 cm, 288 pages.
- Anonyme [MANSON (S.), dir.].
* *Traité pratique d'informatique.*
Paris, Techniques de l'ingénieur, 1970, 2 vol., 29,7 cm.

Périodique.

- * *Revue française des télécommunications*, publiée par le secrétariat d'État aux Postes et Télécommunications, direction générale des Télécommunications.

(1) Les ouvrages consultés pour la rédaction de cette brochure sont signalés par un *

ANNEXE

TÉLÉCOMMUNICATIONS

TECHNIQUES ET MOYENS DE TRANSMISSION DE L'INFORMATION

1. INTRODUCTION

1.1. Éléments de la communication	65
1.2. Communication à distance	65

2. TÉLÉGRAPHIE

2.1. Généralités	65
2.1.1. Notions de base et terminologie	65
2.1.2. Principe du télégraphe électrique	66
2.2. Signal télégraphique	66
2.2.1. Généralités et définitions	66
2.2.2. Alphabets à 5 moments	67
2.2.3. Principe de fonctionnement des appareils à moments	67
2.2.4. Autres alphabets à moments	68
2.2.5. Transmission en série et transmission en parallèle	68
2.3. Modulation télégraphique	69
2.3.1. Généralités et définitions	69
2.3.2. Types de modulation télégraphique	69
2.3.3. Vitesse de modulation et débit d'information	69
2.3.4. Largeur de bande et bande passante	70
2.4. Liaisons télégraphiques	71
2.4.1. Types de liaisons	71
2.4.2. Ligne et circuit télégraphique	71
2.4.3. Sens de transmission et modes d'exploitation	71

2.5. Appareils	72
2.5.1. Évolution	72
2.5.2. Télécopieur	72
2.5.2.1. Émission	
2.5.2.2. Réception	
2.5.2.3. Transmission automatique	
2.5.2.4. Évolution des matériels	
3. TÉLÉPHONIE	
3.1. Généralités	73
3.1.1. Principe	73
3.1.2. Conception d'un appareil téléphonique	74
3.1.2.1. Organes de base	
3.1.2.2. Équipement des circuits	
3.2. Modulation téléphonique	75
3.2.1. Signal analogique	75
3.2.2. Bande de fréquence à transmettre	75
3.3. Liaisons téléphoniques	75
3.4. Appareils	76
4. PRINCIPE DES RADIOCOMMUNICATIONS	
4.1. Caractères généraux d'une liaison radioélectrique	76
4.2. Constitution d'un émetteur	77
4.3. Constitution d'un récepteur	78
5. MODULATION	
5.1. Transmission en bande de base	78
5.2. Transmission par courants porteurs	78
5.3. Modulation analogique	78
5.3.1. Modulation d'amplitude	78
5.3.1.1. Principe	
5.3.1.2. Largeur de bande à transmettre	
5.3.2. Modulation de fréquence et de phase	81
5.3.2.1. Aspect théorique	
5.3.2.2. Réalisations pratiques	
5.3.2.3. Bande passante nécessaire	
5.3.3. Avantages et inconvénients des divers types de modulations	81
5.4. Modulation par impulsions codées (MIC)	81

6. MULTIPLEXAGE

6.1. Multiplexage en fréquence ou analogique	82
6.1.1. Principe et terminologie	82
6.1.2. Télégraphie harmonique	83
6.1.2.1. <i>Principe</i>	
6.1.2.2. <i>Contraintes et réalisation pratique</i>	
6.1.3. Téléphonie par courants porteurs	84
6.1.3.1. <i>Multiplexage à simple addition de bande</i>	
6.1.3.2. <i>Multiplexage à modulation de groupe</i>	
6.1.4. Réalisation des liaisons par courants porteurs	85
6.1.4.1. <i>Circuits entre équipements terminaux</i>	
6.1.4.2. <i>Passage 2 fils — 4 fils</i>	
6.1.4.3. <i>Principe du multiplexeur-démultiplexeur</i>	
6.1.4.4. <i>Multiplexeur et concentrateur</i>	
6.2. Multiplexage temporel ou numérique	86
6.2.1. Principe	86
6.2.2. Caractéristiques essentielles	87
6.2.3. Liaisons MIC	87

7. PROPAGATION SUR LES LIGNES

7.1. Lignes bifilaires	87
7.1.1. Caractéristiques électriques	87
7.1.2. Influences électriques entre lignes voisines	88
7.2. Propagation des signaux télégraphiques	88
7.2.1. Phénomènes transitoires et temps de réponse du circuit	88
7.2.2. Distorsions	89
7.3. Propagation des signaux téléphoniques	90
7.3.1. Affaiblissement	90
7.3.2. Distorsions et bruits parasites	90
7.4. Construction et équipement des lignes	90
7.4.1. Montage anti-induction et équilibrage des lignes	90
7.4.2. Pupinisation des lignes téléphoniques	90
7.4.3. Répéteurs	91
7.4.3.1. <i>Répéteurs télégraphiques</i>	
7.4.3.2. <i>Répéteurs téléphoniques</i>	

7.4.4. Équipements divers	91
7.4.4.1. <i>Égaliseur</i>	
7.4.4.2. <i>Correcteur de température</i>	
7.4.4.3. <i>Filtre d'aiguillage</i>	
7.4.4.4. <i>Équipements terminaux</i>	
7.4.5. Conditions d'emploi des circuits 2 et 4 fils	92

8. MOYENS DE TRANSMISSION

8.1. Réseaux de télécommunications	92
8.1.1. Réseaux et services publics	92
8.1.2. Liaison et réseaux privés	93
8.1.2.1. <i>Réseau intérieur privé</i>	
8.1.2.2. <i>Réseau interétablissements</i>	
8.2. Voies de transmission	94
8.2.1. Circuits basse fréquence	94
8.2.2. Voies haute fréquence	94
8.2.3. Câbles à quarte	94
8.2.4. Câbles coaxiaux	94
8.2.4.1. <i>Circuit coaxial</i>	
8.2.4.2. <i>Câble coaxial</i>	
8.2.5. Guides d'ondes	95
8.2.6. Faisceaux hertziens	96
8.2.6.1. <i>Principe et évolution</i>	
8.2.6.2. <i>Le réseau hertzien français</i>	
8.2.7. Satellites	97

9. COMMUTATION

9.1. Commutation de circuits	97
9.1.1. Exemple du réseau téléphonique public	97
9.1.2. Commutation électronique spatiale	98
9.1.3. Commutation 4 fils	98
9.2. Commutation électronique temporelle	98
9.3. Commutation de messages en télégraphie	98
9.3.1. Principe	98
9.3.2. Exemple du réseau télégraphique international	99

1. INTRODUCTION

1.1. ÉLÉMENTS DE LA COMMUNICATION.

Toute communication a pour but la transmission d'une certaine quantité d'information qui constitue le message. Elle implique l'intervention d'un actuateur (émetteur), d'un destinataire (récepteur) et d'un canal de communication (voie de transmission du message).

1.2. COMMUNICATION A DISTANCE.

Tout au long de son histoire, l'homme a tenté de communiquer à distance à l'aide de moyens sonores ou visuels, mais c'est seulement vers le milieu du XIX^e siècle que la connaissance approfondie des phénomènes électriques a donné l'essor indispensable à la télécommunication.

Les premières communications à grande distance par moyen électrique ont utilisé comme voie de transmission du courant une ligne conductrice. Elles ont été réalisées d'abord par la télégraphie (MORSE, 1842), puis par la téléphonie (BELL, 1876). Quelques décennies plus tard, de nouveaux progrès (HERTZ, 1887, BRANLY, 1890, MARCONI, 1896) ont conduit à l'utilisation des ondes électromagnétiques (ondes hertziennes) comme voie de transmission de l'information : les télécommunications sans fil (TSF) ou radiocommunications ont permis de communiquer à des distances de plus en plus grandes, entre stations fixes et stations mobiles.

2. TÉLÉGRAPHIE

2.1. GÉNÉRALITÉS.

2.1.1. Notions de base et terminologie.

La télégraphie est la transmission de l'information à distance à l'aide de signaux. Pour établir une communication télégraphique, il faut disposer d'une liaison télégraphique comprenant :

- un appareil émetteur qui produit les signaux;
- un appareil récepteur qui restitue les signaux reçus;
- une voie télégraphique qui permet l'acheminement des signaux.

Dans le cas le plus simple, la télégraphie électrique par fil utilise du courant continu. Pour permettre la circulation d'un tel courant, la voie télégraphique peut comporter deux conducteurs qui constituent ensemble le **circuit télégraphique** (1) ou un seul conducteur et la terre comme « chemin de retour »; le conducteur unique est alors appelé **ligne télégraphique**.

(1) Plus généralement, on désigne par **voie de transmission** l'ensemble des moyens permettant la transmission de signaux dans un seul sens et par **circuit de transmission** le moyen de transmission dans les deux sens entre deux appareils émetteur-récepteur.

La télégraphie électrique peut être divisée en deux branches distinctes : la **télégraphie alphabétique** qui se préoccupe uniquement de transmettre des textes et la **télégraphie analogique** ou télégraphie des images fixes qui s'attache à la reproduction des formes (télécopie). Nous traiterons uniquement de la télégraphie alphabétique.

2.1.2. Principe du télégraphe électrique.

L'appareil télégraphique le plus simple (**télégraphe MORSE**) est basé sur les propriétés des électro-aimants et constitue en fait une commande à distance d'un relais inscripteur.

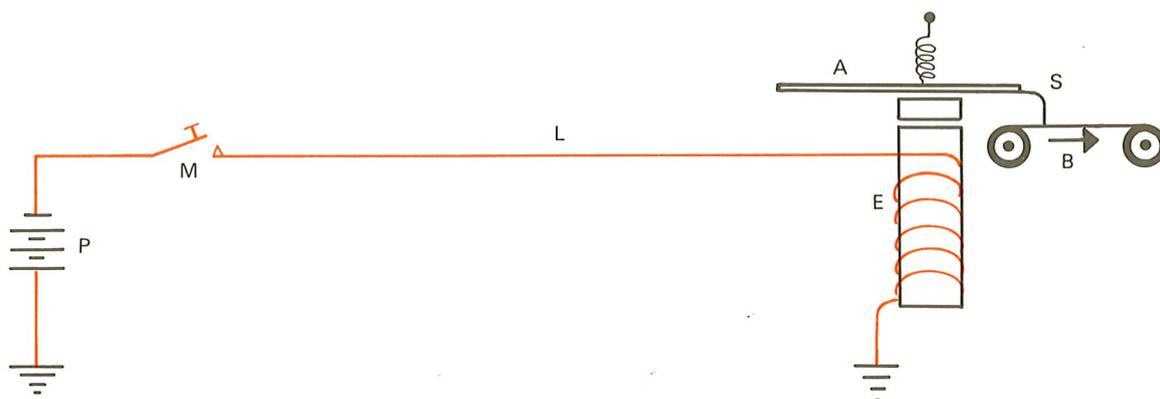


Fig. 1. — Principe de l'appareil télégraphique MORSE

Au poste transmetteur (fig. 1), les pôles d'une pile P sont reliés respectivement à la terre et à la ligne L; un manipulateur M permet d'ouvrir ou de fermer le circuit au rythme des signaux à transmettre (code MORSE).

Au poste récepteur, la ligne aboutit à la bobine d'un électro-aimant E dont l'armature A porte un stylet encreur S. Les signaux reçus se traduisent par des inscriptions plus ou moins prolongées sur la bande enregistreuse B.

2.2. SIGNAL TÉLÉGRAPHIQUE

2.2.1. Généralités et définitions.

La télégraphie des textes comporte la transmission de signes : lettres, chiffres, ponctuation... A chaque signe transmis correspond un signal électrique ou signal télégraphique composé d'un certain nombre de signaux élémentaires. Sur la voie de transmission, le signal télégraphique est traduit par l'ensemble des modifications de l'état électrique correspondant à chaque signal élémentaire : établissement et rupture du courant, inversion de sens du courant... Le tableau indiquant, pour chaque signe, le signal utilisé constitue **l'alphabet** ou **code télégraphique**.

On distingue les alphabets ouverts dont le nombre de combinaisons n'est pas limité et les alphabets fermés pour lesquels il n'existe qu'un nombre fini de combinaisons possibles.

Les alphabets ouverts sont :

- les **alphabets pas à pas** ou **alphabets à positionnement** dans lesquels chaque signe est identifié par un nombre donné de signaux élémentaires ou impulsions. Ce type d'alphabet, abandonné en télégraphie, est encore utilisé dans le cadran d'appel du téléphone automatique : le positionnement des chiffres 1, 2, ..., 9, 0 déclenche 1 à 10 impulsions;
- le **code MORSE** dans lequel le signal est une combinaison de « points » et de « traits » rangés dans un ordre défini par l'alphabet.

Les alphabets fermés sont les **alphabets à moments** dans lesquels chaque signal est composé d'un nombre fixe de signaux élémentaires ou **moments** de même durée qui ne peuvent prendre que deux **états significatifs** dits TRAVAIL et REPOS. Pour un code à n moments, le nombre de combinaisons possibles est limité à 2^n .

Un signal qui, comme le signal télégraphique, est représenté par une grandeur physique variable de façon discontinue (discrète) est dit **signal numérique**. On rencontre fréquemment l'expression **signal digital** pour signal numérique.

La **valence** d'un signal numérique est définie par le nombre d'états que peut prendre chaque signal élémentaire. Le signal à deux états est un signal **bivalent** (fig. 2); la télégraphie a utilisé des signaux à trois états ou **trivalents** (fig. 3). La téléinformatique fait intervenir des signaux **multivalents**.

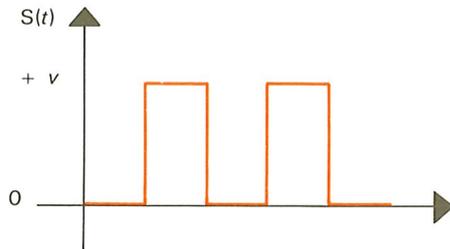


Fig. 2. — Signal bivalent

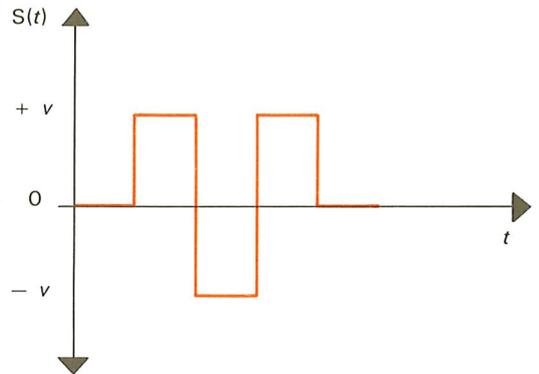


Fig. 3. — Signal trivalent

Les moments d'un signal numérique bivalent sont appelés **éléments binaires** ou, plus couramment et improprement **bits** (de *binary digit* : chiffre binaire); l'état travail est traduit par le chiffre binaire 1 et l'état repos par le chiffre 0.

2.2.2. Alphabets à 5 moments.

Le premier alphabet à moments conçu par le télégraphiste français BAUDOT en 1874 était un alphabet à 5 moments. La télégraphie moderne (téléimprimeurs du service TÉLEX) utilise toujours un alphabet à 5 moments inspiré de l'alphabet BAUDOT : il s'agit de l'alphabet international n° 2 dit code CCITT n° 2.

Ce code ne permet que $2^5 = 32$ combinaisons, mais, dans le téléimprimeur, l'artifice consistant à utiliser 2 combinaisons pour indiquer que ce qui suit est numérique ou alphabétique (inversion lettres-chiffres) porte ce nombre à $(32 - 2) \times 2 = 60$; le nombre de combinaisons utilisées est réduit à 51 caractères graphiques et 6 caractères de commande.

2.2.3. Principe de fonctionnement des appareils à moments.

Les appareils utilisant les codes à moments peuvent fonctionner selon le **mode synchrone** ou isochrone (appareils **rythmiques**) ou selon le **mode asynchrone** ou anisochrone (appareils **arythmiques**).

Dans le mode synchrone, le temps est divisé en intervalles élémentaires égaux et un moment du signal bivalent est transmis dans chacun de ces intervalles. La synchronisation entre les organes émetteur et récepteur est obtenue par divers procédés. Les premiers appareils télégraphiques à moments étaient des appareils rythmiques.

Dans le mode asynchrone (fig. 4), on se contente d'un synchronisme approximatif maintenu durant un temps très court. Avant le début d'un caractère, l'émetteur déclenche l'embrayage des organes de réception par un moment de TRAVAIL supplémentaire appelé *START* et, à la fin du caractère, il déclenche le débrayage par un état de REPOS appelé *STOP*, dont la durée est généralement de 1 à 2 moments. Dans le cas du téléimprimeur classique par exemple, elle est de $1 \frac{1}{2}$ moments et chaque caractère nécessite la transmission de $7 \frac{1}{2}$ intervalles élémentaires.

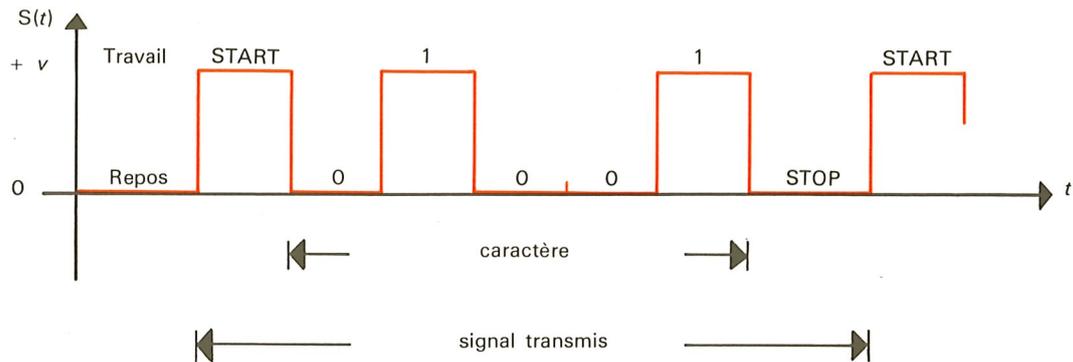


Fig. 4. — Principe de la transmission asynchrone (code à 5 moments)

2.2.4. Autres alphabets à moments.

En 1963, l'*American national standard institute* (ANSI) a défini un code universel à 7 moments dit code ASCII (*American standard code for information interchange*) ; celui-ci offre $2^7 = 128$ combinaisons possibles et permet d'éviter l'inversion lettres-chiffres.

En 1968, un code à 7 moments inspiré du code ASCII a été normalisé conjointement par le CCITT et par l'ISO : c'est l'Alphabet International n° 5, dit code CCITT n° 5. Dans la pratique, on complète ce code par un 8^e moment appelé **bit de parité** (cf. p. 25). Cet alphabet est utilisé dans les téléimprimeurs rapides du réseau télex qui fonctionnent toujours selon le mode asynchrone.

Il existe d'autres codes à 6, 7 et 8 moments ; il s'agit notamment du code DCB (Décimal Codé Binaire) à 6 bits, du code EBCDIC ou extension du DCB à 8 bits et une version à 8 bits de l'ASCII.

2.2.5. Transmission en série et transmission en parallèle.

En télégraphie, les bits qui constituent un caractère sont toujours transmis les uns à la suite des autres sur la ligne. Une telle transmission est dite **en série** (ou en séquence, ou séquentielle).

On verra ultérieurement que, dans certains systèmes, tous les bits d'un caractère peuvent être transmis simultanément par exemple en utilisant une voie par bit. Il s'agira alors d'une transmission **en parallèle**.

On passe de l'un à l'autre de ces modes de transmission à l'aide d'un **convertisseur série-parallèle** ou **parallèle-série** (fig. 5).

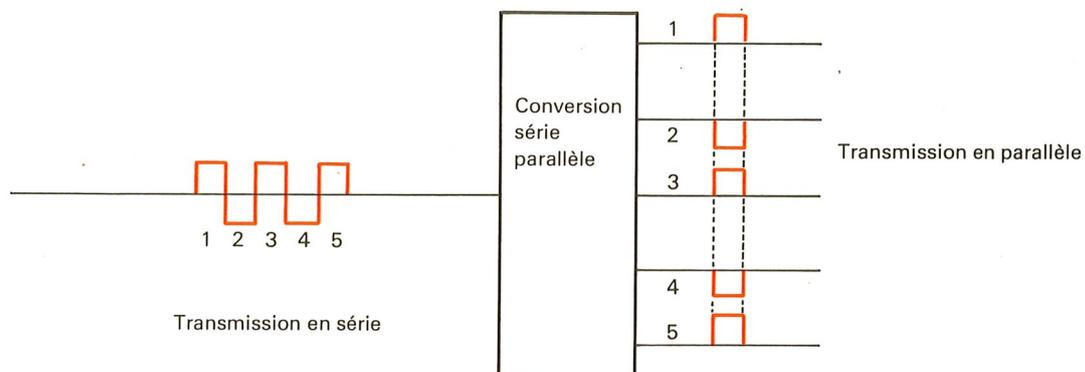


Fig. 5. — Conversion série-parallèle

2.3. MODULATION TÉLÉGRAPHIQUE.

2.3.1. Généralités et définitions.

En télégraphie ordinaire par courant continu, on appelle **modulation télégraphique** l'opération qui consiste à modifier le courant appliqué sur la ligne en fonction du système de signaux utilisé.

A chaque moment du signal correspond un **élément de modulation** (fig. 6) durant lequel le phénomène électrique ne subit pas de perturbation en provenance de l'appareil émetteur. Dans le cas général d'une modulation bivalente il est donc nécessaire, pour caractériser complètement un signal, de connaître l'état TRAVAIL ou REPOS qui correspond à chaque élément de modulation.

On appelle **instant caractéristique** (ou **transition**, ou **front du signal**) l'instant où le courant passe de l'un à l'autre des états significatifs.

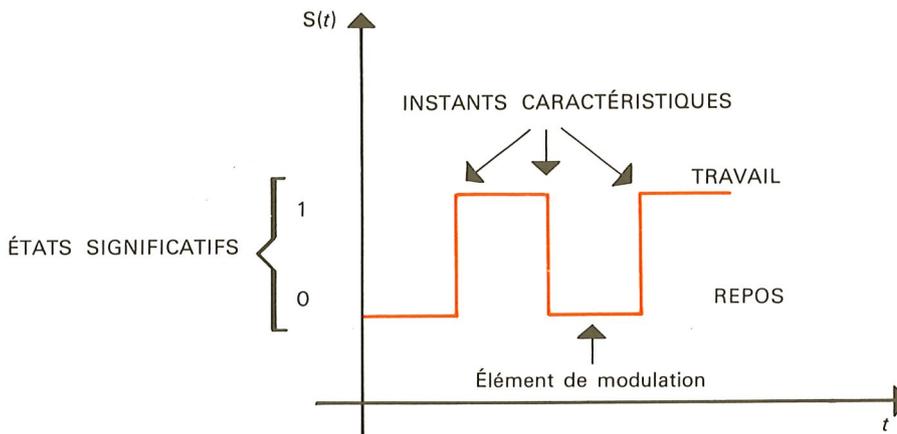


Fig. 6. — Modulation télégraphique

2.3.2. Types de modulation télégraphique.

Les principaux types de modulation du courant continu sont résumés dans le tableau suivant.

Type de modulation	Etat électrique de la ligne (en volts V)	
	Travail : 1	Repos : 0
Par TOUT ou RIEN :		
— par simple courant de travail	+ V	0
— par simple courant de repos	0	+ V
Par double courant	+ V <i>ou</i> - V	- V (1) <i>ou</i> + V
Par changement de tension ou modulation différentielle	+ V ₁	+ V ₂
(1) Type de modulation normalisé par le CCITT pour les liaisons télégraphiques.		

2.3.3. Vitesse de modulation et débit d'information.

Dans le cas de la modulation télégraphique bivalente (signal binaire transmis en série), on appelle :

- **vitesse de modulation** ou **vitesse de signalisation, de transmission...** (V_m) exprimée en **bauds** (Bd) le nombre de signaux élémentaires transmis par seconde ; t étant la durée du signal élémentaire on a $V_m = 1/t$ bauds ;

- **débit binaire** (d) le nombre de bits transmis par seconde (bits/s ou bps). Le signal élémentaire correspond ici à un bit et le débit binaire est égal à la vitesse de modulation : $V_m \text{ (Bd)} = d \text{ (bit/s)}$.

Cette égalité n'est plus vraie lorsque l'on transmet des signaux multivalents permettant d'atteindre, avec les procédés modernes de modulation, des débits binaires supérieurs à la vitesse de modulation. Un signal de valence $v > 2$ et de vitesse de modulation V_m permet en effet un débit $d(\text{bps}) = V_m(\text{Bd}) \cdot \log_2 v$ ($\log_2 v = \text{logarithme de } v \text{ dans le système de numération à base } 2$).

Le **débit d'information** (D) ou quantité d'information transmise dans l'unité de temps est désigné sous divers vocables plus ou moins heureux : on parle indifféremment de débit utile, d'efficacité de transmission, de vitesse de transfert de l'information, de vitesse télégraphique... mesurés tantôt en bits par seconde, tantôt en caractères par seconde et parfois même en mots (de 5 caractères suivis d'un espace soit pratiquement 6 caractères) par minute.

Ces unités, qui dépendent du nombre de moments du code utilisé et du mode de transmission (synchrone ou asynchrone) peuvent être reliées entre elles par les relations suivantes dans le cas d'une modulation bivalente. Soient :

- V_m (bauds) la vitesse de modulation ;
- n le nombre de bits d'information ou moments du code ;
- N le nombre de moments transmis par caractère.

Le débit d'information sera :

$$\begin{aligned} D &= V_m \times \frac{n}{N} \text{ bits/s} \\ &= V_m \times \frac{n}{N} \times \frac{1}{n} = \frac{V_m}{N} \text{ caractères/s} \\ &= \frac{V_m}{N} \times \frac{60 \text{ s}}{6 \text{ (caractères/mot)}} = 10 \frac{V_m}{N} \text{ mots/mn.} \end{aligned}$$

2.3.4. Largeur de bande et bande passante.

Considérons la transmission d'une suite d'intervalles élémentaires de durée t secondes à la vitesse de modulation V_m bauds.

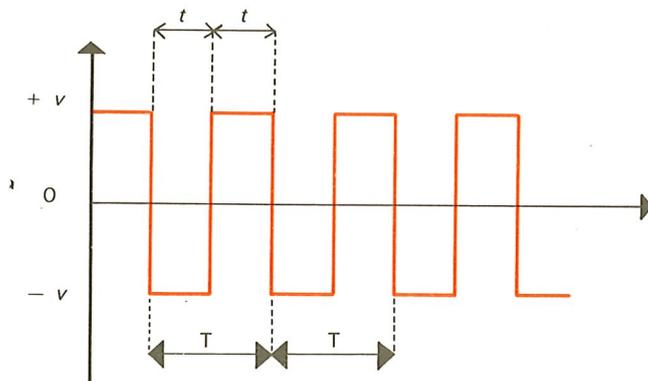


Fig. 7. – Émission d'une suite d'intervalles élémentaires

Si le courant modulé est un courant continu inversé par la modulation (fig. 7), il équivaut à un courant alternatif de période $T = 2t$ et de fréquence fondamentale :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t} \text{ avec } V_m = \frac{1}{t} \text{ soit } f = \frac{1}{2} V_m \text{ hertz}$$

Cette fréquence fondamentale représente la **largeur de bande** occupée par le signal : dans une transmission télégraphique à V bauds, la largeur de bande à transmettre est exprimée en hertz par la moitié de la vitesse de modulation. Ainsi, une transmission à 50 bauds occupe une bande de 25 Hz.

On appelle **bande passante** d'une voie de transmission la largeur de bande que celle-ci peut transmettre dans des conditions satisfaisantes.

2.4. LIAISONS TÉLÉGRAPHIQUES.

2.4.1. Types de liaisons.

La liaison télégraphique la plus simple est la liaison poste à poste ou **point à point** qui réunit deux appareils par une voie permanente.

Des liaisons poste à poste peuvent être établies entre un poste principal et plusieurs postes secondaires sans que ceux-ci aient la possibilité de correspondre entre eux. L'ensemble de ces liaisons constitue un **réseau étoilé** (fig. 8).

Dans un réseau d'interconnexion permanente, chaque appareil est relié avec ses correspondants par une voie particulière. Une telle structure, dite **en maille** ou **réseau maillé** (fig. 9), exige $\frac{n(n-1)}{2}$ branches et n'est réalisable que pour un faible nombre d'appareils.

Dans un **réseau commuté**, chaque appareil dispose d'une seule voie le reliant à un organe, le **central**, chargé d'établir au moment du besoin la liaison entre deux appareils quelconques du réseau. L'ensemble central-appareils satellites constitue un réseau étoilé.

Un central peut être relié à son tour à d'autres centraux, plus ou moins hiérarchisés, pour constituer un vaste réseau à structure complexe.

Avec la technique moderne de commutation par paquet, la notion de circuit physique identifié par une ligne cède la place à la notion de **circuit virtuel** représenté par la voie physique affectée temporairement à un bloc d'informations (paquet).

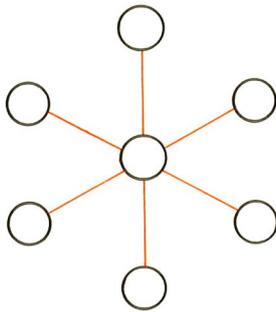


Fig. 8. — Réseau étoilé (6 liaisons point à point)

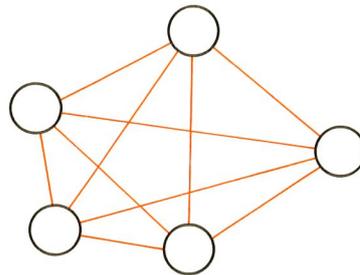


Fig. 9. — Réseau maillé (5 appareils, 10 voies)

2.4.2. Ligne et circuit télégraphiques.

La télégraphie par courant continu utilise généralement une ligne simple fil avec retour du courant par la terre ; elle peut toutefois utiliser un circuit deux fils. Dans le cas de la télégraphie par téléimprimeurs, chaque appareil est relié au central par une ligne bifilaire dont chaque fil est affecté à un sens de transmission avec retour du courant par la terre. En France, le fil réservé à la transmission est appelé **fil TRON** et celui réservé à la réception est appelé **fil RON**.

2.4.3. Sens de transmission et modes d'exploitation.

Une liaison télégraphique est **unilatérale** ou **unidirectionnelle** (*simplex*) lorsqu'elle peut être exploitée dans un seul sens de transmission ; elle est **bilatérale** ou **bidirectionnelle** (*duplex*) lorsqu'elle peut être exploitée dans les deux sens.

Une liaison bidirectionnelle est dite :

- à l'**alternat** ou **semi-duplex**, *half duplex* quand elle ne permet la transmission qu'alternativement dans chaque sens ;
- **simultanée** ou **duplex intégral**, *full duplex* quand elle permet la transmission simultanée dans les deux sens.

2.5. APPAREILS.

2.5.1. Évolution.

Contrairement au téléphone, qui a pu être mis à la disposition du public dès son invention, le télégraphe est resté durant un siècle une affaire de spécialistes.

Le premier télégraphe électrique de MORSE (1842) exigeait la présence d'opérateurs capables de créer manuellement les signaux à l'émission (manipulation) et de les traduire à la réception (lecture au son ou lecture de bande).

L'appareil BAUDOT (1874) assurait déjà l'inscription directe des caractères à la réception mais il nécessitait encore l'intervention d'opérateurs qualifiés à l'émission (manipulation par combinaison de 5 touches à une cadence imposée par le système).

Il a fallu attendre l'apparition du téléimprimeur, dont l'emploi ne s'est généralisé qu'au cours de la seconde guerre mondiale, pour disposer d'un appareil susceptible d'être utilisé par de simples dactylographes, spécialisées en quelques heures. En France, le service de télétypographie par postes d'abonnement a été ouvert en 1946 sous le nom de service TÉLEX.

2.5.2. Téléimprimeur.

Le **téléimprimeur** le plus répandu est l'appareil électro-mécanique à 5 moments du réseau TÉLEX. Il comporte une partie émission et une partie réception, fonctionnellement indépendantes l'une de l'autre (fig. 10).

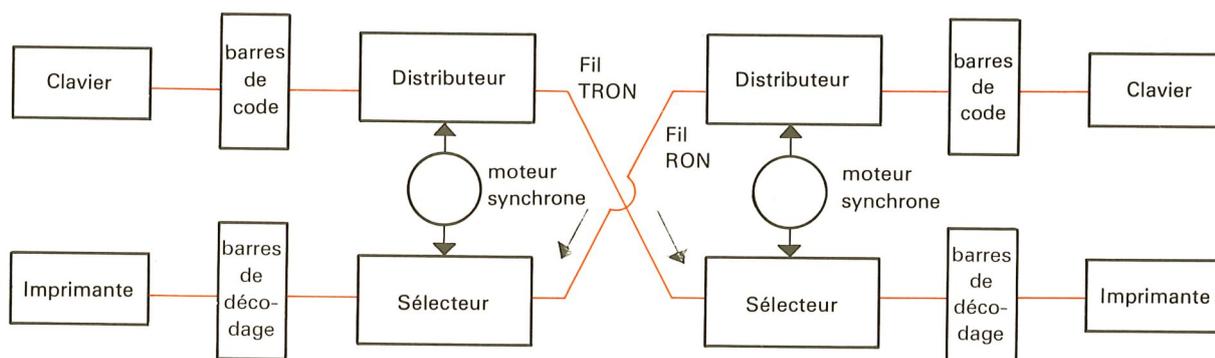


Fig. 10. — Schéma de principe du téléimprimeur (liaison entre 2 appareils)

(Remarque. — Un montage spécial permet d'obtenir l'impression locale des caractères frappés sur le clavier)

2.5.2.1. Émission.

La partie émission est constituée par le clavier, semblable à celui d'une machine à écrire. L'enfoncement d'une touche provoque l'inscription mécanique de la combinaison codée sur des barres de code qui établissent des contacts électriques représentant en parallèle le code du caractère à émettre.

La touche commande également l'embrayage du distributeur qui assure la conversion parallèle-série. Cet organe, qui est entraîné pendant l'émission du caractère par un moteur tournant à vitesse constante, explore en séquence les contacts établis par les barres de code et commande l'émission en ligne (fil TRON); il revient à sa position de repos pendant l'émission du signal *STOP*.

2.5.2.2. Réception.

La partie réception est constituée par le système d'impression dans laquelle l'organe électrique essentiel est le sélecteur ou décodeur série-parallèle. Celui-ci fonctionne suivant le principe inverse du distributeur : son embrayage est commandé par la détection du signal de début de caractère (*START*) et, durant sa rotation, il sélectionne successivement les barres de décodage qui sont positionnées en fonction du signal reçu à cet instant (fil RON). La roue de caractères prend alors la position commandée par les barres de décodage et la fonction correspondante est exécutée (frappe d'un caractère, avance chariot, avance papier...).

2.5.2.3. Transmission automatique.

L'emploi de matériels à transmission automatique dans un réseau exploité par téléimprimeur permet à la fois d'augmenter sensiblement le rendement des voies télégraphiques et d'éviter les manipulations successives à l'occasion d'un transit ou d'une transmission multiple à plusieurs destinataires.

Ces matériels comprennent :

- des claviers perforateurs destinés à la perforation de rubans en papier spécial (fig. 11);
- des transmetteurs automatiques qui, à partir des rubans perforés, effectuent les émissions en ligne de façon continue;
- des récepteurs perforateurs qui, sous l'action des signaux reçus, reproduisent des rubans perforés immédiatement utilisables pour la retransmission vers d'autres correspondants.

Selon les besoins, ces matériels peuvent être combinés entre eux avec des téléimprimeurs ordinaires (exemples : bloc perforateur incorporé au téléimprimeur, ensemble émetteur-récepteur entièrement automatique...).

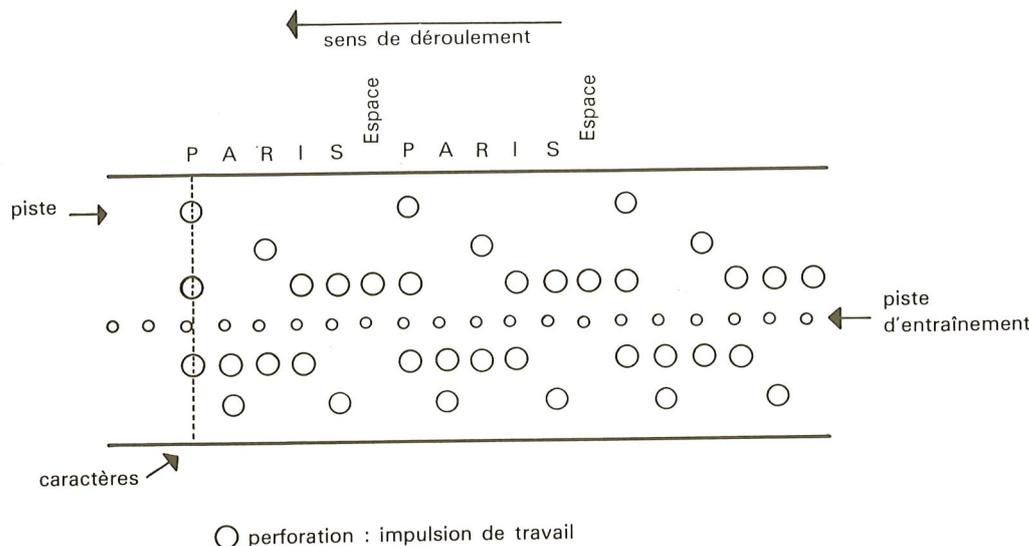


Fig. 11. — Spécimen de bande perforée (très agrandie)

2.5.2.4. Évolution des matériels.

Un téléimprimeur électronique dans lequel les organes mécaniques sont remplacés par des circuits à transistors est maintenant disponible sur le marché français (Société SAGEM). Il s'agit toujours de l'appareil classique fonctionnant à 50 bauds avec le code à 5 moments. Depuis quelques années, un appareil électromagnétique plus perfectionné est proposé par la plupart des constructeurs; celui-ci fonctionne à 110 bauds avec le code international n° 5 (7 bits + 1 bit de parité).

Plus récemment encore, les sociétés SAGEM et SINTRA ont perfectionné ce dernier type d'appareil pour atteindre des vitesses de modulation pouvant aller jusqu'à 300 bauds, avec des possibilités nouvelles d'exploitation.

3. TÉLÉPHONIE

3.1. GÉNÉRALITÉS.

3.1.1. Principe.

La téléphonie repose sur quelques phénomènes électriques et acoustiques simples :

- un noyau de fer doux sur lequel est bobiné un conducteur isolé se comporte comme un aimant lorsque l'enroulement est parcouru par un courant électrique (principe de l'électro-aimant);

- une membrane en métal magnétique placée en regard du noyau de fer doux est attirée plus ou moins fortement selon que le courant qui traverse le conducteur est plus ou moins intense.
- une membrane qui vibre dans l'air produit un son d'une fréquence égale à celle de sa propre vibration. Cette fréquence coïncide avec celle du courant électrique si l'on prend la précaution de polariser le circuit magnétique par un aimant permanent;
- l'enroulement étant parcouru par un courant d'intensité constante, la vibration de la membrane placée devant l'un des noyaux fait varier la **réductance** du circuit magnétique (1), donc le flux embrassé par le noyau, et il naît dans celui-ci des courants induits qui se traduisent par des variations de l'intensité du courant de ligne.

Le dispositif de la figure 12 est donc en mesure de transformer des variations d'énergie acoustique (parole) en variations d'énergie électrique proportionnelles, puis de restituer les vibrations initiales en effectuant la transformation inverse.

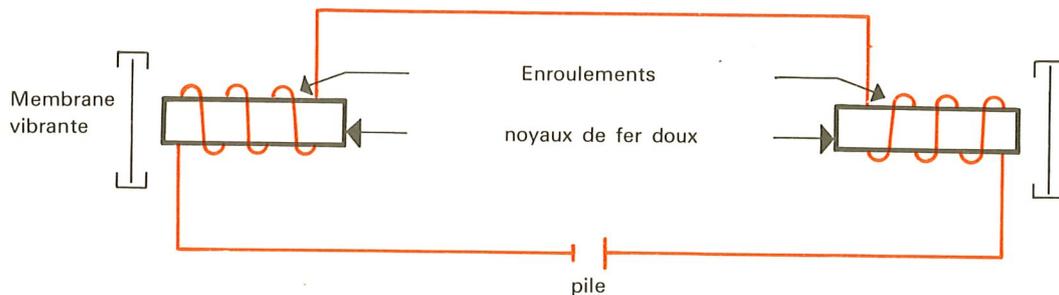


Fig. 12. — Schéma de principe du téléphone

3.1.2. Conception d'un appareil téléphonique.

On peut concevoir sur cette base un appareil susceptible d'opérer les fonctions d'émission et de réception de conversation. Toutefois, pour éviter l'écoute permanente que nécessiterait l'utilisation d'un appareil limité à ces deux fonctions, on a complété celui-ci par des organes d'émission et de réception d'appel.

3.1.2.1. Organes de base.

Un appareil téléphonique capable d'opérer ces quatre fonctions élémentaires comprendra donc :

- un transmetteur de conversation ou microphone. Le transmetteur universellement utilisé est le microphone à charbon (charbon divisé ou grenaille) qui agit comme une résistance variable en fonction de la pression acoustique qu'il reçoit;
- un récepteur de conversation ou écouteur constitué, en principe, par un aimant permanent muni à ses extrémités d'enroulements traversés par le courant de conversation, et par une membrane élastique qui vibre proportionnellement au courant reçu;
- un organe d'émission d'appel manuel ou automatique;
- un organe de réception d'appel ou sonnerie.

3.1.2.2. Équipement des circuits.

Le branchement de ces quatre organes de base aux deux bornes de ligne pose divers problèmes.

- Problèmes de transfert d'énergie : l'adaptateur d'impédance.

Le transfert d'énergie de l'appareil émetteur à la ligne et de la ligne à l'appareil récepteur ne peut se faire avec un rendement acceptable que si les impédances de ces éléments de circuit sont de même nature et de même grandeur. Par construction, cette condition n'est pas réalisée et il est nécessaire de munir l'appareil d'un transformateur spécial dit **bobine d'induction** ou **adaptateur d'impédance**. Ce transformateur est conçu de telle sorte qu'il permette en outre d'atténuer autant que possible l'influence du microphone sur l'écouteur local, d'où son nom plus courant de **transformateur anti-local**.

(1) La **réductance** R_m d'un circuit magnétique est une grandeur assimilable à la résistance R d'un circuit électrique.

- Problème de différenciation d'énergie : les organes séparateurs.

Les circuits émission-réception de conversation et d'appel sont montés en parallèle sur les bornes de la ligne. Or, il faut que le courant commandant une fonction déterminée passe essentiellement par le circuit de celle-ci.

Ce problème est résolu à l'aide des organes séparateurs constitués de commutateurs ; condensateurs et selfs qui aiguillent ou séparent les courants mis en œuvre dans l'appareil : courant continu d'alimentation du microphone et de signalisation, courant de conversation et courant alternatif de 50 Hz ou 25 Hz utilisé pour l'appel.

- Problème d'alimentation du microphone.

Le courant continu nécessaire à l'alimentation du microphone peut être fourni, soit par des piles placées dans l'appareil ou à proximité immédiate de celui-ci (appareil à batterie locale ou BL), soit par une batterie placée au poste central, au moyen des deux fils de ligne (appareil à batterie centrale ou BC).

3.2. MODULATION TÉLÉPHONIQUE.

3.2.1. Signal analogique.

Le courant qui circule sur la ligne reproduit de façon aussi fidèle que possible les vibrations sonores de la voix humaine captées par le microphone. Un signal qui varie de façon continue est dit **signal analogique**.

Le courant en ligne est un **courant ondulé** résultant de la superposition d'une composante continue d'intensité élevée (alimentation) et de composantes alternatives complexes de faible intensité (signal analogique).

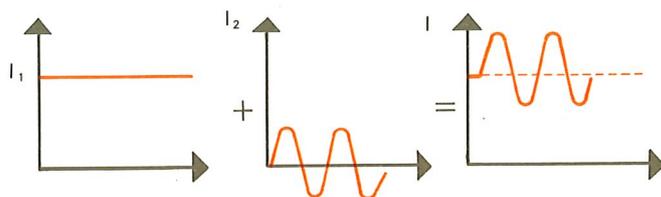


Fig. 13. — Courant continu + courant alternatif = courant ondulé

3.2.2. Bande de fréquences à transmettre.

La voie humaine couvre une bande de fréquences comprise entre quelques centaines et quelques milliers de hertz, mais il est possible de ne transmettre qu'une partie du spectre ainsi couvert sans nuire à l'intelligibilité de la parole.

Selon la normalisation du CCITT, un circuit analogique doit transmettre avec un affaiblissement acceptable les fréquences comprises entre 300 et 3 400 Hz, ce qui correspond à une **bande passante** de 3 100 Hz. Cette bande peut être encore réduite pour certaines applications (transmission radio, par câbles sous-marins, radiotéléphonie mobile).

3.3. LIAISONS TÉLÉPHONIQUES.

Pour des besoins particuliers, deux appareils téléphoniques peuvent être reliés entre eux de manière permanente pour constituer une liaison poste à poste. Toutefois, en raison de la pénétration de la téléphonie dans le public dès son invention, les liaisons téléphoniques sont universellement structurées en réseaux commutés et toute communication pose des problèmes de transmission et de commutation.

Contrairement à la télégraphie, la téléphonie n'utilise jamais de ligne unifilaire avec retour du courant par la terre ; la voie téléphonique normale est un circuit 2 fils.

3.4. APPAREILS.

L'appareil moderne est du type à batterie centrale automatique (BCA). C'est l'appareil classique qui permet, en formant un numéro sur un cadran, d'obtenir directement une communication avec un abonné du même réseau. Son fonctionnement peut se résumer ainsi (fig. 14) :

- Appel : le décrochage du combiné débranche la sonnerie et ferme la ligne au courant continu à travers le cadran, le microphone et un enroulement de l'anti-local. Dès que l'alimentation est établie, on perçoit la tonalité d'invitation à appeler. Pour appeler, on découpe le courant de ligne à raison de une à dix impulsions pour les chiffres 1 à 9 et 0 ; une impulsion comprend une rupture de circuit et une fermeture : elle dure $1/10^{\text{e}}$ de seconde, soit 66 millisecondes pour la rupture et 33 ms pour la fermeture.
- Réception de l'appel (appareil au repos) : sous le poids du combiné, le commutateur commandé par la fourche maintient la ligne ouverte au courant continu et fermée au courant alternatif à travers la sonnerie et le condensateur. L'appel se traduit par l'envoi en ligne d'un courant alternatif de faible fréquence mais de forte intensité qui actionne la sonnerie. Après décrochage du combiné du poste appelé, la ligne est fermée à travers les deux microphones et écouteurs.

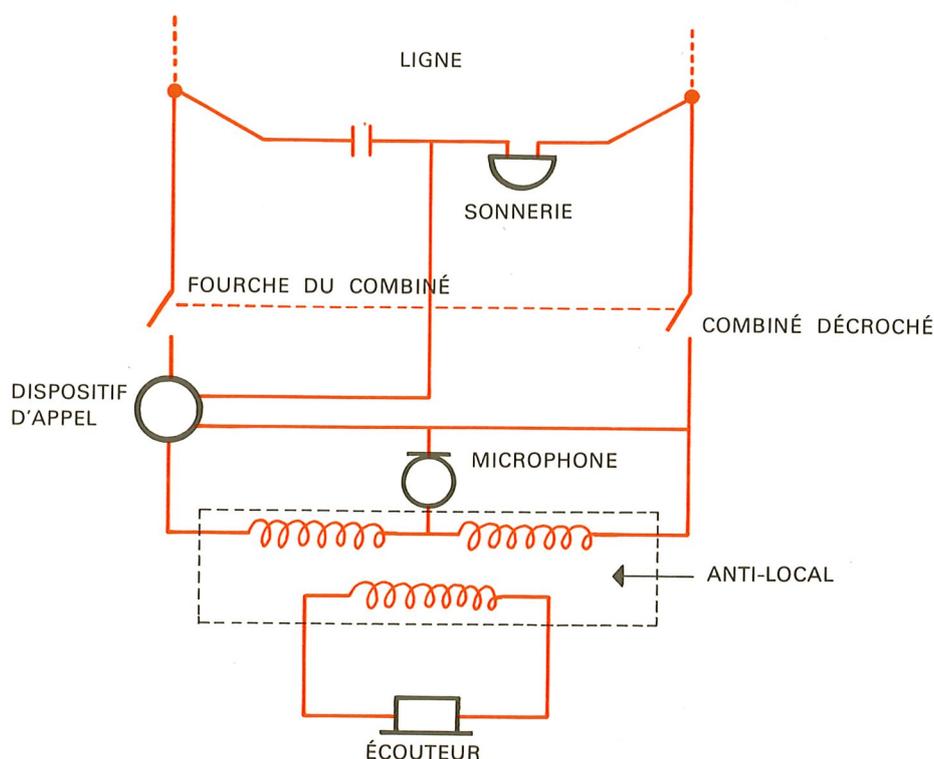


Fig. 14. — Schéma de l'appareil téléphonique automatique

4. PRINCIPE DES RADIOCOMMUNICATIONS

4.1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX D'UNE LIAISON RADIOÉLECTRIQUE.

Le passage d'oscillations électriques de haute fréquence dans un conducteur crée un champ électromagnétique qui se propage sous forme d'ondes hertziennes.

Pour établir une liaison radioélectrique il est donc nécessaire :

- de produire une oscillation électrique de haute fréquence (HF) ;
- de moduler celle-ci au rythme des signaux à transmettre (radiotélégraphie) ou à la fréquence des sons à transmettre (radiotéléphonie) ;

- de rayonner, à partir de l'oscillation HF modulée, une onde électromagnétique au moyen d'un conducteur de longueur finie ;
- de placer, sur le trajet des ondes ainsi produites, un conducteur de même type que le précédent qui deviendra le siège de forces électromotrices induites de même fréquence que celle des oscillations émises ;
- de faire apparaître, à partir de ces forces électromotrices induites de haute fréquence, un courant capable d'agir sur un relais télégraphique ou sur un écouteur téléphonique, c'est-à-dire de procéder à l'opération de démodulation (généralement appelée détection en radio-électricité).

4.2. CONSTITUTION D'UN ÉMETTEUR (fig. 15).

Compte tenu des considérations qui précèdent, un émetteur sera constitué par :

- 1° Un ensemble de circuits fonctionnant sous des fréquences élevées (chaîne HF) comprenant :
 - un étage oscillateur fournissant les oscillations HF ;
 - un ou plusieurs étages amplificateurs HF ;
 - une antenne d'émission.
- 2° Un étage modulateur.
- 3° Une alimentation chargée de fournir, sous les tensions voulues, les courants nécessaires au fonctionnement des différents étages.

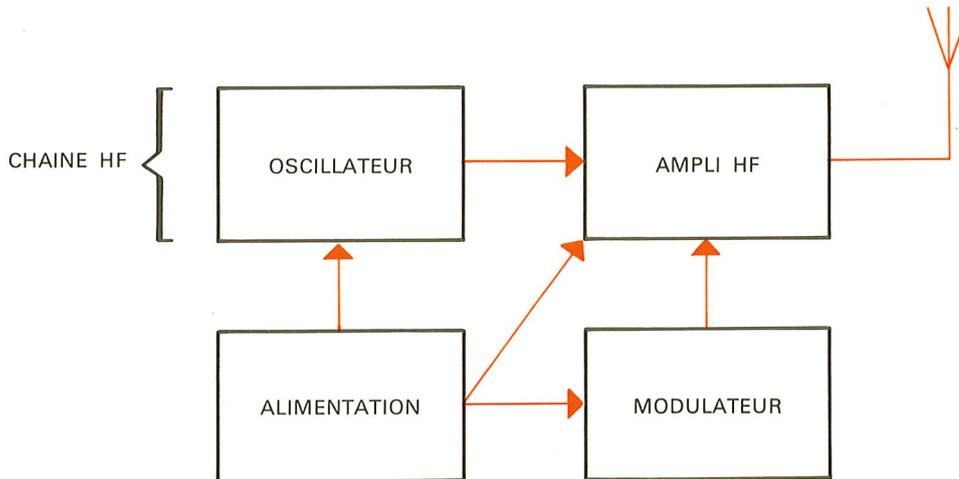


Fig. 15. — Constitution d'un émetteur

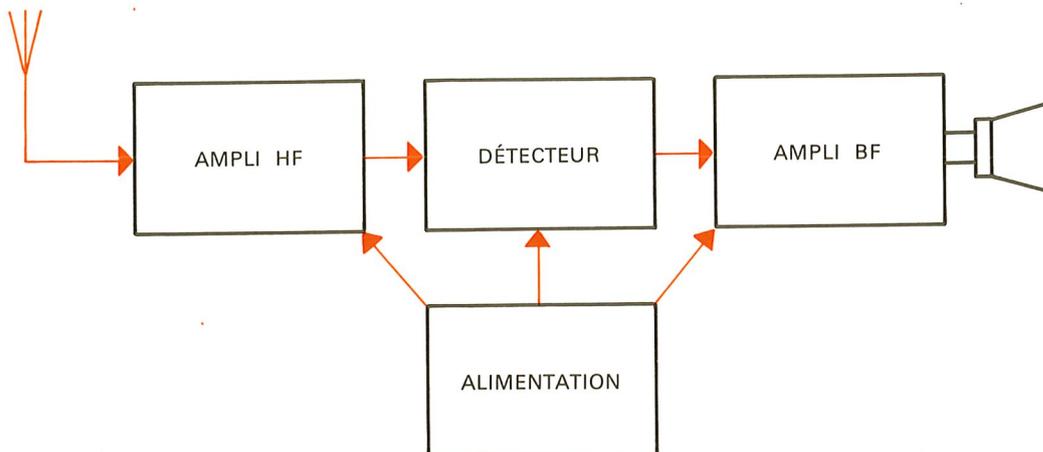


Fig. 16. — Constitution d'un récepteur

4.3. CONSTITUTION D'UN RÉCEPTEUR.

Un récepteur sera constitué par :

- 1° Une antenne de réception.
- 2° Un ou plusieurs étages amplificateurs des forces électromotrices induites dans l'antenne, généralement trop faibles pour être exploitées directement (ampli HF).
- 3° Un étage détecteur, élément essentiel du récepteur.
- 4° Un ou plusieurs étages amplificateurs des signaux à fréquences basses obtenus après détection (ampli BF).
- 5° Une alimentation, comme dans le cas de l'émetteur.

5. MODULATION

5.1. TRANSMISSION EN BANDE DE BASE.

On a défini la modulation comme étant l'opération qui consiste à modifier le courant appliqué sur une ligne de transmission en fonction du signal à transmettre et on a vu que, dans le cas le plus simple, on se bornait à découper ou à inverser un courant continu au rythme des signaux (télégraphie) ou à superposer à celui-ci un courant induit variable à la fréquence de la parole (téléphonie).

Ce mode de transmission de l'information, sans modification du spectre de fréquence du signal qui lui correspond, est dit **en bande de base**.

5.2. TRANSMISSION PAR COURANT PORTEUR.

Un technique plus évoluée consiste à faire circuler sur la ligne un courant alternatif et à moduler celui-ci à la fréquence du signal à transmettre $S(t)$.

Ce courant alternatif, qui sert de support de transmission, est appelé **courant porteur**; il s'agit d'un courant sinusoïdal (dit entretenu pur) d'expression $A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ c'est-à-dire d'amplitude A , de fréquence $f_0 = \frac{\omega_0 t}{2\pi}$ et de phase aléatoire φ_0 .

La modulation a pour effet de faire varier de façon continue l'un des paramètres amplitude, fréquence ou phase, d'où son nom de **modulation analogique**.

5.3. MODULATION ANALOGIQUE.

5.3.1. Modulation d'amplitude.

5.3.1.1. Principe.

Dans la technique de la **modulation d'amplitude** la fréquence f_0 du courant porteur ou **fréquence porteuse** est maintenue constante pendant que son amplitude A varie à la fréquence f_s du signal d'information et proportionnellement à l'amplitude B de celui-ci (fig. 17).

La modulation est dite d'autant plus profonde que B est plus grand devant A et le rapport B/A est appelé **taux de modulation**.

On démontre qu'une telle modulation revient à créer deux nouvelles oscillations appelées **fréquences latérales** d'amplitude $B/2$ et de fréquences respectives $f_0 + f_s$ et $f_0 - f_s$ (fig. 18).

● Cas de la téléphonie.

Si la modulation correspond à la transmission d'un signal complexe formé de nombreux sons fondamentaux et de leurs harmoniques (parole par exemple) on provoque l'apparition de deux bandes de fréquences dites **bandes latérales supérieure** et **inférieure** dont l'ensemble est parfois appelé **bande essentielle** de la transmission (fig. 19).

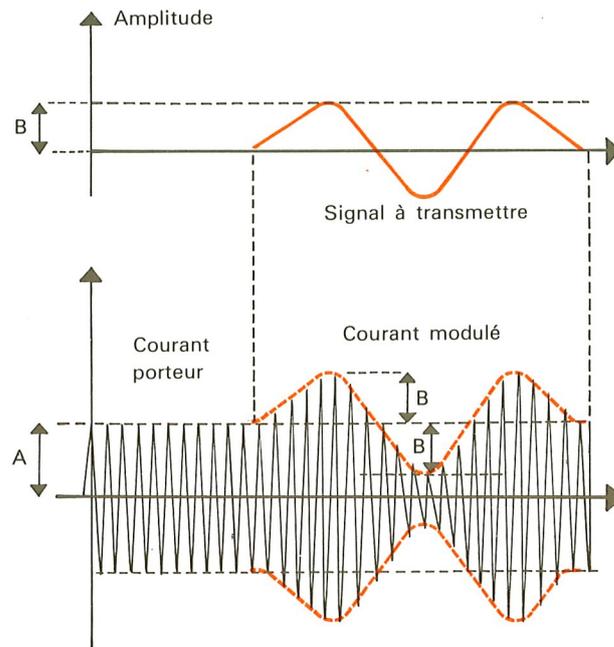


Fig. 17. — Modulation d'amplitude

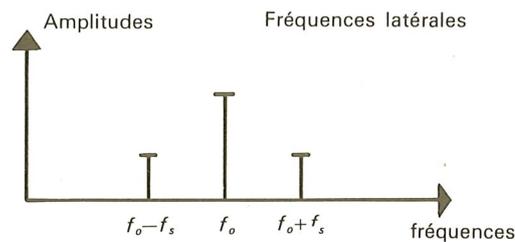


Fig. 18. — Fréquence porteuse et fréquences latérales (spectre de fréquences)

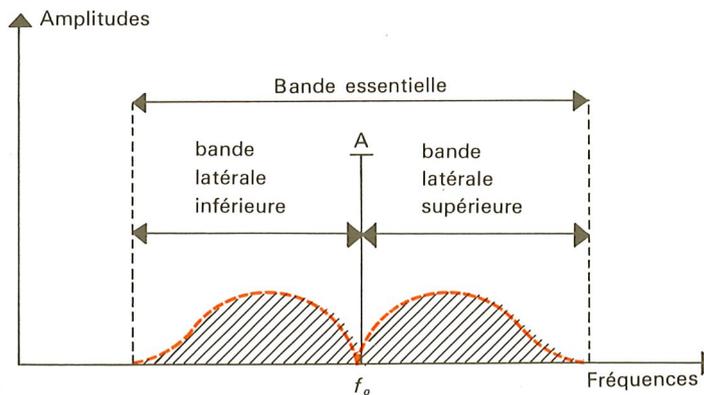


Fig. 19. — Modulation d'amplitude en téléphonie (spectre de bandes)

● **Cas de la télégraphie.**

Les dispositifs de télégraphie à modulation d'amplitude mettent fréquemment en œuvre une modulation par tout ou rien très voisine de celle utilisée en courant continu. Il s'agit alors d'une modulation à 100 % qui peut être à simple fréquence de travail ou de repos (fig. 20).

Si le taux de modulation est inférieur à 100 % ($B < A$), on est ramené au cas de la figure 17.

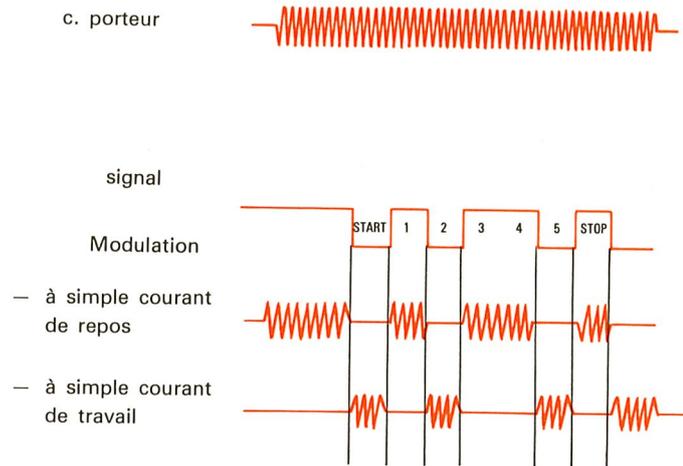


Fig. 20. — Modulation d'amplitude en télégraphie

5.3.1.2. Largeur de bande à transmettre.

Chacune des bandes latérales produites par la modulation d'amplitude est sensiblement égale à la bande de base du signal, ce qui exige une bande passante double de cette dernière. Ainsi, si un porteur de 1 200 Hz est modulé par un signal de 50 bauds, dont la bande de base est de $\frac{50}{2} = 25$ Hz, la bande passante nécessaire sera de 50 Hz, donc équivalente à la vitesse de modulation ($1\ 200 \pm 25 = 1\ 175$ à $1\ 225$ Hz).

Or, les deux bandes latérales contiennent la même information et leur transmission se traduit par un encombrement inutile de la voie.

Pour remédier à cet inconvénient, diverses techniques de modulation d'amplitude peuvent être appliquées :

- La **modulation à bande latérale unique** ou BLU supprime à la fois le signal porteur et l'une des deux bandes latérales, réduisant ainsi la largeur de bande de moitié. Cette technique est surtout utilisée en radio et en téléphonie à courants porteurs, là où la reconstitution du porteur en réception ne pose pas de sérieux problèmes (fig. 21).

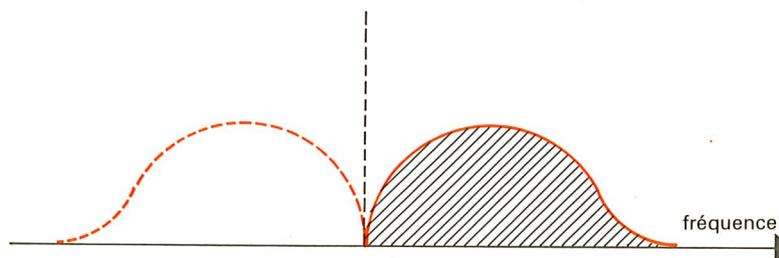


Fig. 21. — Modulation en BLU : bande latérale inférieure et signal porteur supprimés

- La technique de la **bande latérale résiduelle**, ou BLR également appelée bande latérale asymétrique avec porteuse résiduelle supprime une grande partie de la bande latérale non désirée sans toutefois supprimer le signal porteur (fig. 22).

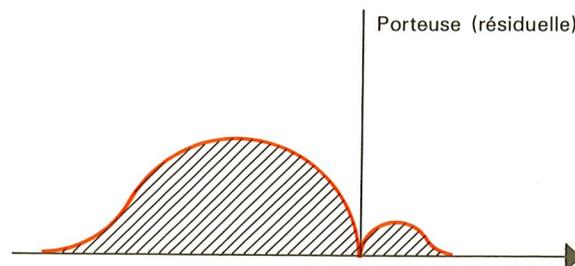


Fig. 22. — Modulation en BLR

5.3.2. Modulation de fréquence et de phase.

5.3.2.1. Aspect théorique.

Dans la **modulation de fréquence**, on fait varier la fréquence $f_o = \frac{\omega}{2\pi}$ du courant porteur au rythme du signal à transmettre. Si on se reporte à la relation $e = A \sin(\omega_o t + \varphi_o)$ on voit qu'en faisant varier systématiquement la fréquence f_o (c'est-à-dire la pulsation $\omega_o = 2\pi f_o$), on fait varier aussi la phase du phénomène ($\omega_o t + \varphi_o$) : à toute **modulation de fréquence** correspond donc une **modulation de phase**. Inversement, on peut considérer une modulation de phase comme équivalente à une modulation de fréquence de caractéristiques telles que la variation de phase correspondante serait celle qui est imposée par le dispositif de modulation.

Dans la modulation dite de fréquence il se produit simultanément :

- une variation de fréquence proportionnelle au courant de modulation (d'amplitude B) et comprise entre les deux valeurs $f_o + kB$ et $f_o - kB$ (k étant un coefficient de proportionnalité);
- une variation de phase proportionnelle à la fréquence de modulation. Dans la modulation dite de phase, les relations précédentes sont inversées : la variation de phase est proportionnelle au courant et la variation de fréquence est proportionnelle à la fréquence de modulation.

On appelle :

- **Déviatio**n ou **excursion de fréquence** la quantité maximum ($\Delta f_o = f_o \pm kB$) dont la fréquence modulée ou fréquence d'émission s'écarte, en plus ou en moins, de la fréquence porteuse ou fréquence de repos.
- **Balancement de fréquence** (*Shift*) le double de la déviation maximum, autrement dit, la plage couverte par la fréquence d'émission lorsqu'elle passe de la valeur inférieure à la valeur supérieure autorisée.

5.3.2.2. Réalisations pratiques.

Il existe divers procédés de modulation de fréquence et de phase. Dans la pratique, les techniques suivantes sont les plus couramment employées :

- Modulation par décalage ou **saut de fréquence** (*Frequency Shift Keying* ou FSK) : chacun des états travail-repos est traduit par l'une des deux fréquences particulières $F_1 = f_o + kB$ et $F_2 = f_o - kB$ (fig. 23). Dans cette technique on emploie couramment deux bandes de fréquences affectées l'une à l'émission et l'autre à la réception des signaux.
- Modulation par décalage ou **inversion de phase** (*Phase Shift Keying* ou PSK) : chacun des états travail-repos est traduit par un changement fixe de phase du signal porteur à partir d'une phase de référence prédéterminée (fig. 23).

5.3.2.3. Bande passante nécessaire.

La modulation de fréquence ou de phase donne théoriquement lieu à une infinité d'oscillations latérales. Dans la pratique, la bande de fréquences à transmettre est égale au balancement mais elle est d'autant plus grande que la déviation maximum est élevée. Elle est sensiblement plus élevée en modulation de fréquence qu'en modulation de phase et, dans les deux cas, elle est supérieure à celle nécessitée par la modulation d'amplitude.

5.3.3. Avantages et inconvénients des divers types de modulation.

Si la modulation d'amplitude a l'avantage de ne nécessiter qu'une faible bande passante, elle présente par contre le grave inconvénient d'être très sensible aux parasites puisque le fait de moduler l'amplitude du porteur revient à en faire varier la puissance.

La modulation de fréquence ou de phase présente les avantages et inconvénients opposés : stabilité de la puissance du porteur, donc faible sensibilité aux parasites, mais encombrement d'une large bande de fréquence.

5.4. MODULATION PAR IMPULSIONS CODÉES (MIC).

La modulation par impulsions consiste à transmettre les signaux analogiques de basse fréquence sous forme d'impulsions pendant des intervalles de temps très brefs dit **intervalles**

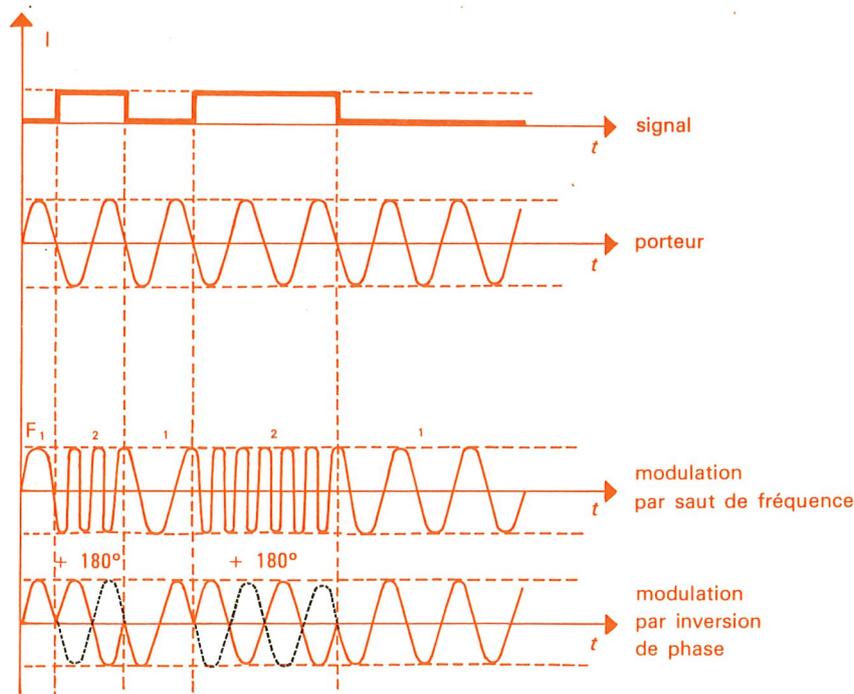


Fig. 23 — Modulations de fréquence et de phase

de temps élémentaire (IT, ceux-ci devant faire apparaître, dans une de leurs caractéristiques, l'amplitude instantanée du signal.

Pour que la restitution du signal soit possible à la réception, la fréquence de répétition des impulsions ou **fréquence d'échantillonnage** doit être au moins égale au double de la plus haute fréquence à transmettre. La norme du CCITT fixe cette fréquence à 8 kHz pour la transmission téléphonique 300-3 400 Hz : 8 000 fois par seconde, soit toutes les 125 micro-secondes, l'intensité du signal BF doit apparaître dans une caractéristique de l'impulsion.

Divers procédés permettent de réaliser cette traduction. Dans la **modulation par impulsions codées** (MIC) ou *Pulse Code Modulation* (PCM), également appelée modulation par impulsions et codage ou modulation codée d'impulsions, elle est opérée par une ou plusieurs impulsions selon un code établi à l'avance. Pour que le système soit praticable, il est nécessaire de limiter le nombre de signaux du code, c'est-à-dire de **quantifier** les amplitudes échantillonnées.

Plusieurs codes peuvent être envisagés. L'un d'eux fait intervenir, comme dans les codes à moments, le nombre et la place des signaux élémentaires : un groupe de q impulsions traduit ainsi 2^q niveaux. Ce code est celui retenu par le CCITT : la norme européenne fixe à 8 le nombre d'impulsions par signal BF quantifié, ce qui permet $2^8 = 256$ niveaux.

La figure 24 résume les étapes essentielles de la MIC à l'émission (modulation) et à la réception (démodulation). Dans le codage simple présenté sur cette figure (code à 4 bits), le premier bit du signal traduit le sens de celui-ci par rapport au niveau zéro (sens positif = 1, sens négatif = 0); le second est toujours zéro; les troisième et quatrième représentent les 4 niveaux possibles : 00, 01, 10, 11.

On verra, dans les chapitres qui suivent, que la transformation des signaux analogiques en signaux numériques opérée par la MIC présente divers avantages.

6. MULTIPLEXAGE

6.1. MULTIPLEXAGE EN FRÉQUENCE (ou multiplexage analogique).

6.1.1. Principe et terminologie.

On vient de voir que la technique des courants porteurs permet de transposer une transmission télégraphique ou téléphonique dans une bande de fréquences autre que celle dans laquelle

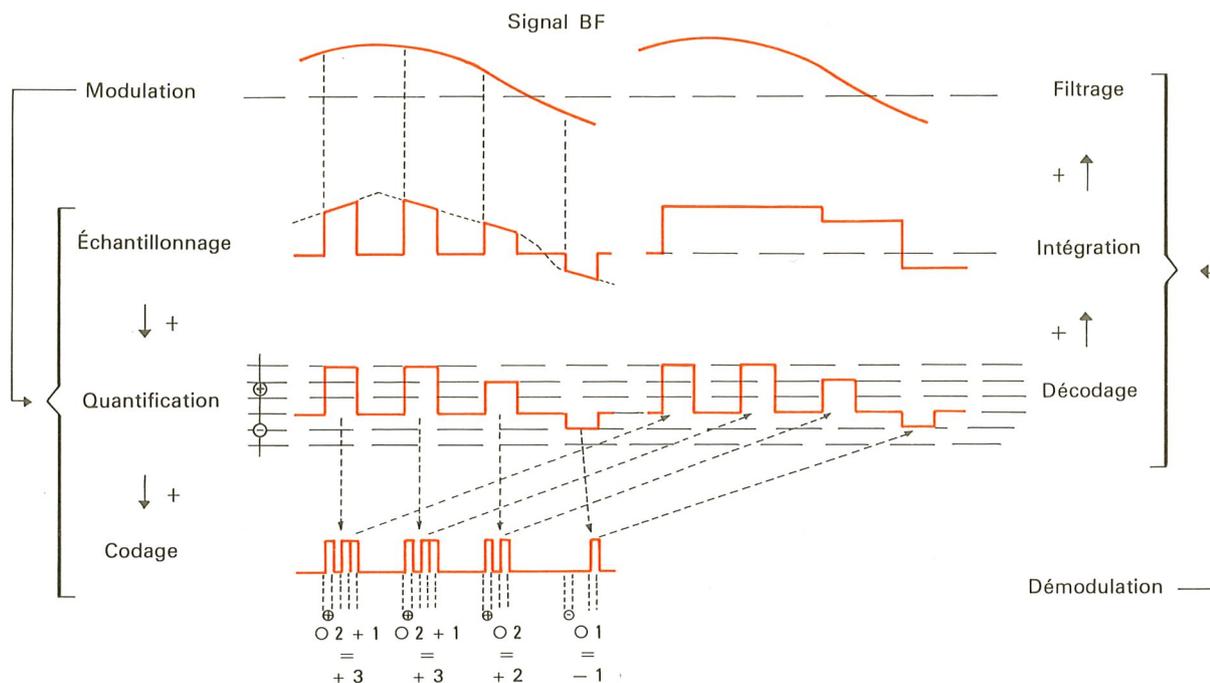


Fig. 24 — Principe de la MIC

elle est émise. On a vu par ailleurs que la bande de base des signaux analogiques pouvait être limitée à 3 kHz environ et que celle des signaux numériques restait faible aux vitesses usuelles de modulation télégraphique ($f_{Hz} = \frac{V}{2}$ bauds, soit 50 Hz pour une transmission à 100 bauds).

Or, la plupart des circuits de transmission anciens et modernes (fils aériens, câbles souterrains, coaxiaux, voies hertziennes) peuvent transmettre une bande de fréquences très étendue. D'où l'idée d'utiliser les courants porteurs pour placer plusieurs voies de transmission à bande étroite sur un même circuit à large bande : de telles liaisons sont appelées **liaisons à voies multiples** ou **liaisons multiplex** et la technique mise en œuvre est le **multiplexage en fréquence**.

L'expression **liaison par courants porteurs** est réservée au cas où le support est un circuit métallique. Quand il s'agit d'une liaison radio, on emploie les vocables **liaison à voie hertzienne**, **câble hertzien**, **faisceau hertzien** ou **radiomultiplex**.

Dans le cas particulier de la télégraphie par courants porteurs, on parle soit de **télégraphie à fréquences vocales**, soit de **télégraphie harmonique**. Ces deux expressions s'expliquent ainsi :

- **Télégraphie à fréquences vocales** : le circuit à large bande utilisé pour grouper plusieurs voies télégraphiques est le circuit téléphonique (ou **circuit analogique**) et, comme celui-ci est spécialement conçu pour transmettre dans les meilleures conditions possibles les **fréquences vocales** comprises entre 300 et 3 400 Hz, on choisit les porteurs dans cette bande de fréquence.
- **Télégraphie harmonique** : dans la bande ainsi choisie, les fréquences de porteurs sont déterminées par des accords internationaux ; ce sont les harmoniques impairs d'une fréquence fondamentale dont la valeur, recommandée par le CCITT et adoptée en Europe, est de 60 Hz. On a donc, ainsi qu'on le verra au paragraphe suivant, des porteurs à $60 \times 7 = 420$ Hz, $60 \times 9 = 540$ Hz, ... $60 \times 53 = 3\,180$ Hz.

A l'origine du procédé, on appelait **multiplex** l'équipement nécessaire à l'établissement des voies (émission) et à la transformation inverse (réception) aux deux extrémités de la liaison. On parle aujourd'hui de **multiplexeur** ou de **multiplexeur-démultiplexeur** (MUX-DEMUX).

6.1.2. Télégraphie harmonique.

6.1.2.1. Principe.

Sur un circuit à large bande, un certain nombre de générateurs produisent des courants alternatifs à fréquences vocales (fig. 25).

A l'émission ces porteurs, modulés par les signaux à transmettre, sont envoyés simultanément sur la ligne. A la réception, chaque porteur est séparé par un filtre passe-bande et les signaux de chaque voie sont ensuite amplifiés, démodulés et enregistrés.

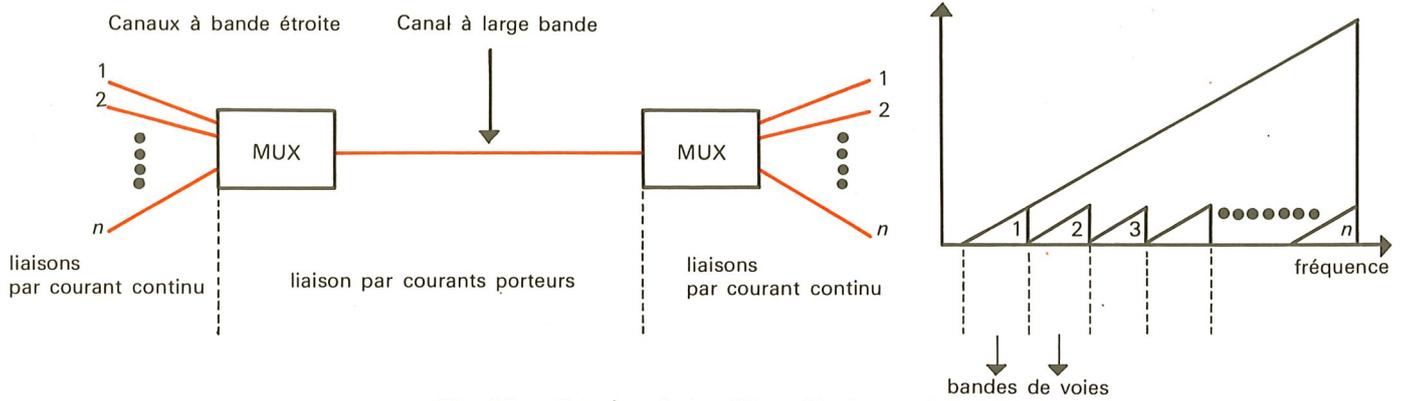


Fig. 25 — Principe de la télégraphie harmonique

6.1.2.2. Contraintes et réalisation pratique.

La bande de base d'une transmission télégraphique à 50 bauds (TELEX) est de 25 Hz mais, pour des raisons de sécurité, la normalisation du CCITT a fixé cette bande à 40 Hz : un porteur de fréquence f modulé à 50 bauds nécessite donc une bande passante de 80 Hz ($f \pm 40$). Il aurait suffi alors de placer les porteurs à 80 Hz les uns des autres pour pouvoir transmettre plusieurs communications sur la même ligne, dans un sens comme dans l'autre. Cependant, les filtres passe-bande utilisés à la réception ne séparent pas les fréquences aussi franchement qu'on le voudrait et on est obligé de laisser entre les bandes passantes de 80 Hz une plage de fréquences inutilisée de 40 Hz, ce qui conduit à séparer les courants porteurs par 120 Hz.

Ces contraintes expliquent la normalisation du CCITT évoquée au paragraphe précédent ; dans la pratique, les fréquences utilisées sont réparties conformément au diagramme représenté figure 26.

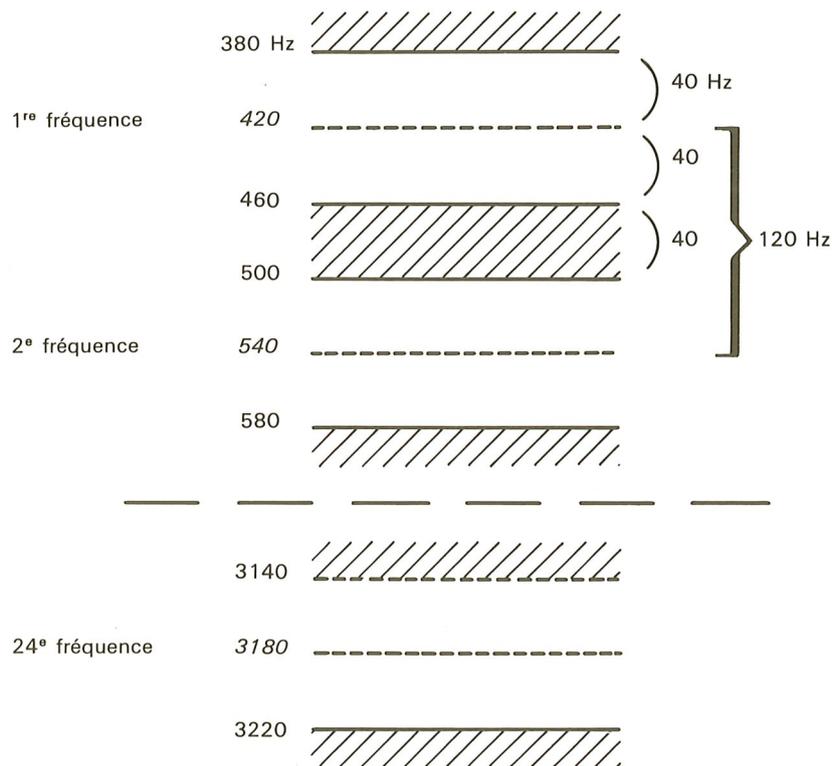


Fig. 26 — Télégraphie harmonique : diagramme de répartition des fréquences

6.1.3. Téléphonie par courants porteurs.

6.1.3.1. Multiplexage à simple addition de bande.

Le multiplexage en fréquence dont nous venons d'exposer le principe est dit à **simple addition de bande** ou simple transposition. Il est appliqué à la téléphonie dans les conditions suivantes :

- Du côté émission, chaque voie téléphonique fait l'objet d'un filtrage de manière à ne transmettre qu'une des bandes latérales de 3 kHz provenant de la modulation (transmission par BLU ou BLR).

- Pour faciliter la séparation des voies à la réception, on affecte à chacune de celles-ci une bande de 4 kHz (bande vocale comprise entre deux bandes de garde de l'ordre de 500 Hz).

Remarque. — On ne peut transposer un grand nombre de voies (12 par exemple) qu'à la condition de faciliter la séparation des bandes latérales. On obtient un élargissement de la plage située entre les deux bandes de chaque voie en effectuant une première modulation à fréquence fixe et peu élevée (généralement 8 kHz) appelée **prémodulation**.

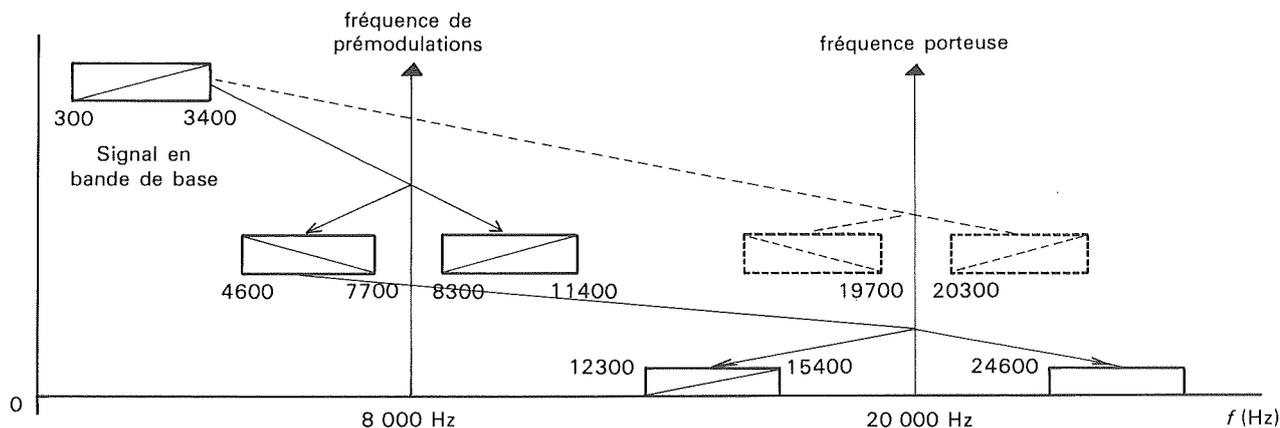


Fig. 27. — Principe de la prémodulation

La modulation directe de la bande vocale à 20 kHz (en pointillé) aurait laissé une plage de 600 Hz entre les deux bandes latérales ($20\,000 \pm 300$) ; la prémodulation à 8 kHz permet de porter celle-ci à 9 200 Hz ($20\,000 \pm 4\,600$).

6.1.3.2. Multiplexage à modulation de groupe.

Le multiplexage à simple transposition se heurte à des difficultés d'ordre technique et ne permet de grouper qu'un faible nombre de voies (3 à 6 dans les matériels anciens, 12 dans les matériels plus modernes), ce qui limite le canal occupé à quelques dizaines de kHz. Or, la bande passante des circuits modernes est nettement supérieure à ces limites : pour l'utiliser au mieux, on a recours à un nouveau procédé dit à **modulation de groupe**.

Celle-ci consiste à considérer comme une voie secondaire l'ensemble des voies primaires ou **groupe primaire** obtenu par simple addition de bande, puis à transposer un certain nombre de groupes primaires pour obtenir un **groupe secondaire**. Si la « capacité » du canal le permet, il est possible de poursuivre le processus et de passer des groupes secondaires au **groupe tertiaire** et même des groupes tertiaires aux **groupes quaternaires**.

Dans la pratique :

- un groupe primaire comprend 12 voies (normalisation du CCITT) occupant une bande de 48 kHz (12×4 kHz) transposée, selon les équipements, dans l'une des plages 12-60 kHz, 60-108 kHz ou 72-120 kHz ;
- un groupe secondaire, obtenu par association de 5 groupes primaires, comprend 60 voies et occupe 240 kHz transposés dans une bande 312-552 kHz ;
- un groupe tertiaire comprend 5 groupes secondaires, soit 300 voies occupant une bande passante de 1 200 kHz ;
- un groupe quaternaire comprend 3 groupes tertiaires, soit 900 voies nécessitant une bande passante de 3,6 MHz.

6.1.4. Réalisation des liaisons par courants porteurs.

6.1.4.1. Circuits entre équipements terminaux (MUX-DEMUX).

Les liaisons par courants porteurs peuvent utiliser des circuits 2 ou 4 fils. Sur un circuit 2 fils, un groupe de fréquences porteuses est affecté à chaque sens de transmission ; c'est

le procédé dit double canal. Sur un circuit 4 fils, chacune des paires est utilisée pour un sens de transmission : c'est le procédé simple canal.

Dans les deux cas, le même nombre N de fréquences ou de paires est réservé à chaque sens et la liaison est dite $N + N$. Si, par exemple, une liaison de télégraphie harmonique à double canal utilise respectivement les fréquences 1 à 6 et 9 à 14 du diagramme donné au § 6.1.2.2., il s'agit d'une liaison « 6 + 6 ».

6.1.4.2. *Passage 2 fils-4 fils.*

Lorsqu'on utilise un circuit 4 fils entre les équipements terminaux, il est nécessaire de relier ceux-ci aux lignes d'abonnés qui, dans la quasi-totalité des cas, sont des circuits 2 fils. Cette opération, dite **passage 2 fils-4 fils** est réalisée à l'aide d'un dispositif (**termineur**) dont la partie essentielle est un transformateur particulier appelé **transformateur différentiel** (ou transformateur hybride).

6.1.4.3. *Principe du multiplexeur-démultiplexeur.*

La composition d'un ensemble MUX-DEMUX varie en fonction des techniques de transposition qu'il met en œuvre : dispositif à simple addition de bande ou à modulation de groupe, avec ou sans prémodulation...

Il remplit dans tous les cas les fonctions suivantes :

- séparation des deux sens de transmission, génération des courants porteurs et transposition des voies BF à l'émission (MUX);
- séparation des voies HF, restitution des signaux originaux et regroupement des deux sens de transmission à la réception (DEMUX).

La séparation des sens de transmission à l'entrée du MUX (passage 2 fils-4 fils) et leur regroupement à la sortie du DEMUX (passage 4 fils-2 fils) sont assurés par le termineur. Les courants porteurs sont produits par des oscillateurs électroniques. La modulation de départ (transposition des voies) et la démodulation d'arrivée (restitution des signaux) sont effectués par des modulateurs-démodulateurs. La séparation des voies HF à la réception est obtenue par filtrage.

Ces fonctions essentielles sont accompagnées de nombreuses opérations complexes, tant à l'émission qu'à la réception : affaiblissement, filtrage, égalisation, amplification des signaux BF ou HF à différents niveaux, sélection de la bande latérale à transmettre sur chaque voie...

6.1.4.4. *Multiplexeur et concentrateur.*

Parce qu'ils permettent de « concentrer » plusieurs voies de transmission à bande étroite sur un même circuit à large bande, les équipements MUX-DEMUX sont parfois appelés concentrateurs, sans autre précision.

Ce terme est à proscrire car il est déjà utilisé pour désigner deux dispositifs très différents l'un de l'autre : les concentrateurs spécifiques à la téléinformatique et les concentrateurs de trafic utilisés sur les réseaux téléphonique et télégraphique.

6.2. MULTIPLEXAGE TEMPOREL (ou MULTIPLEXAGE NUMÉRIQUE).

Le **multiplexage temporel**, également appelé multiplexage à répartition dans le temps ou à division dans le temps (MDT) est exclusivement applicable aux signaux numériques, qu'ils soient « d'origine » (télégraphie, téléinformatique...) ou qu'ils résultent de la transformation des signaux analogiques en impulsions par la technique MIC.

6.2.1. **Principe** (fig. 28).

Un canal numérique à haut débit transmet successivement, par découpage du temps, les données provenant de canaux à débit moindre; à chaque canal est affecté périodiquement un intervalle de temps très bref dans la **trame** pour former un train de données plus important.

À la réception le démultiplexeur, synchronisé avec le multiplexeur d'émission, procède aux opérations inverses : séparation des voies, distribution des données sur les canaux à faible débit...

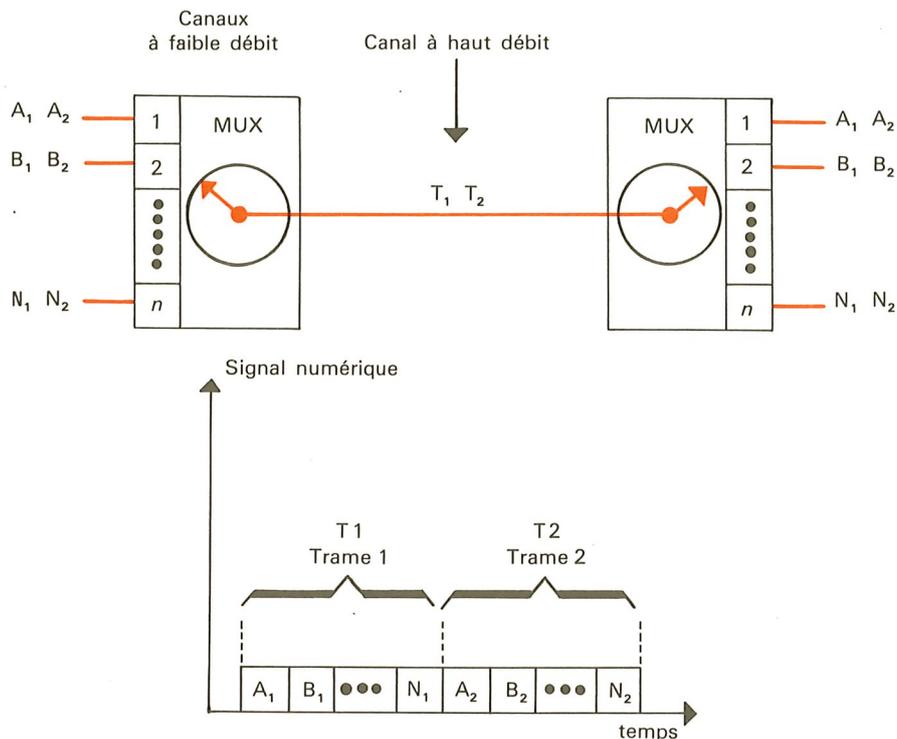


Fig. 28. — Principe du multiplexage temporel

6.2.2. Caractéristiques essentielles.

Le découpage de l'information en éléments A_1, A_2, \dots se fait le plus souvent :

- par bit dans le multiplexage synchrone ;
- par caractère dans le multiplexage asynchrone. Les éléments START et STOP encadrant chaque caractère sont alors supprimés avant l'insertion dans la trame et recréés lors du démultiplexage.

Les multiplexeurs temporels sont dotés d'une mémoire-tampon qui permet de rendre le rythme d'arrivée des signaux sur les canaux lents, indépendant de celui du départ des trames. De plus, ils acceptent généralement les données en provenance de divers types de terminaux.

Ainsi, ceux utilisés sur les réseaux télégraphique et téléphonique français sont **transparents**, c'est-à-dire qu'ils acceptent tous les codes courants de 5 à 8 moments binaires (International n° 2, n° 5, BCD, EBCDIC...) ce qui, dans le domaine de la télégraphie, leur permet de transmettre les signaux des téléimprimeurs à 50, 110 et 200 bauds.

6.2.3. Liaisons MIC.

En France, le nombre de communications simultanées établies sur une voie de transmission en MIC est fixé à 30 + 2 voies pour signalisation et synchronisation. Sur une telle voie dite **circuit numérique** ou **liaison MIC**, le débit binaire est donc égal à : $32 \text{ voies} \times 8\,000 \text{ échantillons/s} \times 8 \text{ bits/échantillon} = 2\,048\,000 \text{ bits/s}$, soit 2,048 Mbits/s.

7. PROPAGATION SUR LES LIGNES

7.1. LIGNES BIFILAIRES.

7.1.1. Caractéristiques électriques.

Dans le cas général d'une ligne bifilaire, les caractéristiques électriques du circuit sont :

- La résistance R du conducteur ;

- L'inductance L due au champ magnétique créé par le courant de ligne et à l'interaction champ-courant;
- La capacité C est constituée par les 2 conducteurs en parallèle;
- Les fuites de courant dues à l'imperfection de l'isolement que l'on traduit par une grandeur inverse d'une résistance dite **conductance de fuite** ou perditance G .

Ces quatre éléments, répartis tout au long de la ligne, sont généralement rapportés à l'unité de longueur pour définir ce qu'on appelle les caractéristiques ou **constantes primaires** de la ligne (R , L , C , et G linéiques).

Ces constantes primaires déterminent les propriétés des lignes :

- la résistance et la conductance de fuite entraînent des pertes d'énergie qui se traduisent par l'**affaiblissement** des tensions et des courants;
- l'inductance et la capacité entraînent des déphasages entre les courants et les tensions et sont à l'origine de diverses distorsions.

Pour étudier de façon plus précise la propagation de l'énergie sur les lignes, on fait appel à des grandeurs complexes, dites **constantes secondaires**, que nous nous bornerons à citer; ce sont :

- L'impédance caractéristique Z_c ;
- La constante ou coefficient de propagation qui peut être dédoublée en constante d'affaiblissement et en constante ou vitesse de phase.

7.1.2. Influences électriques entre lignes voisines.

Les influences électriques d'un fil parcouru par un courant sur les circuits voisins sont à la fois électromagnétiques et électrostatiques.

Les circuits de transmission se présentent comme de longs cadres et le flux électromagnétique qui parcourt l'un d'eux est en partie coupé par l'autre : les communications qui empruntent celui-ci sont perturbées par les courants induits.

L'effet de capacité se manifeste dans tous les cas où deux conducteurs sont en présence, qu'ils appartiennent ou non au même circuit; les variations des charges électriques sur l'un deux provoquent des variations de charges de signe contraire sur l'autre et il en résulte un courant (fig. 29).

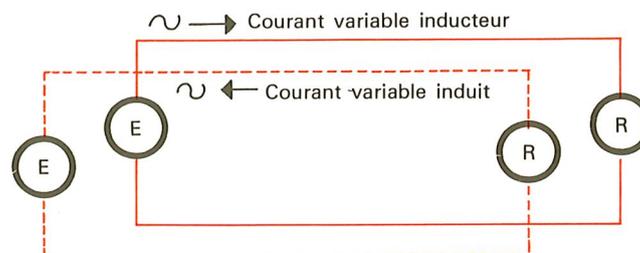


Fig. 29. — Influences électriques entre lignes voisines

7.2. PROPAGATION DES SIGNAUX TÉLÉGRAPHIQUES.

Dans une communication télégraphique, le point important pour la restitution et la traduction du signal à la réception est de recueillir nettement les instants caractéristiques. Or, le signal émis subit des déformations dues aux caractéristiques électriques du circuit.

7.2.1. Phénomènes transitoires et temps de réponse du circuit.

La transmission du courant représentant un signal élémentaire comporte les périodes d'établissement et de rupture du courant dites périodes transitoires et la période de circulation du courant dite régime permanent (fig. 30).

Dans le cas général d'un circuit R, L, C (c'est-à-dire comportant résistance, self et capacité), les variations brutales de la différence de potentiel à ses bornes ne se traduisent pas par

des variations identiques de l'intensité : les phases d'établissement et de rupture du courant sont marquées par des **phénomènes transitoires** (fig. 31) qui peuvent modifier très sensiblement l'allure des signaux transmis. L'étude de ces phénomènes conduit à définir une grandeur $\tau = RC$ appelée **constante de temps** ou **temps de réponse** du circuit et démontre qu'un circuit répond d'autant plus rapidement que cette constante de temps est faible.

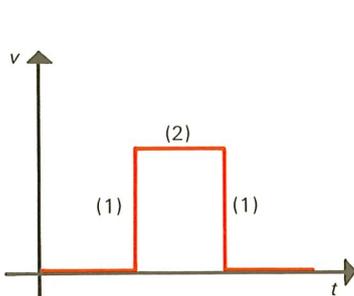


Fig. 30. — Transmission d'un signal élémentaire
(1) Période transitoire
(2) Régime permanent

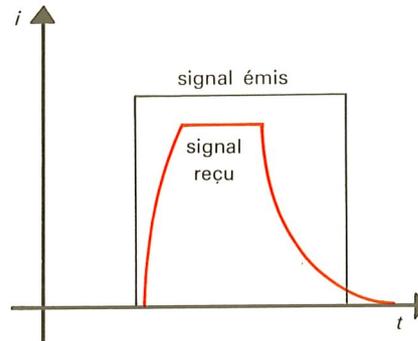


Fig. 31. — Exemple de modification du signal transmis

7.2.2. Distorsions.

Les instants caractéristiques, qui correspondent aux changements brusques de l'état électrique de la voie, sont théoriquement instantanés. Dans la pratique, le régime permanent n'est atteint qu'après un intervalle de temps petit mais non négligeable par rapport à la durée des signaux élémentaires.

Le temps de transmission $t_2 - t_1$, cumul du temps de propagation du signal sur la ligne (théoriquement 300 000 km/s) et du retard dû au phénomène transitoire, constitue le retard à la restitution (fig. 32).

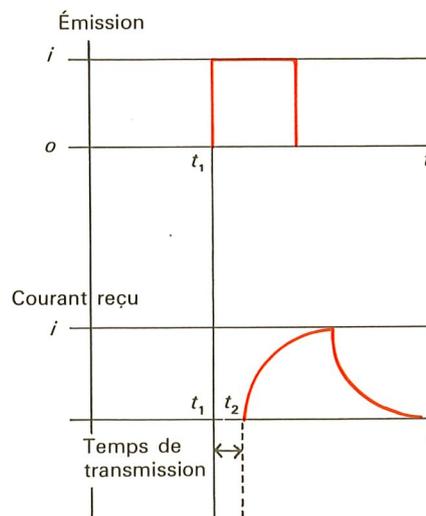


Fig. 32. — Retard à la restitution du signal transmis

Il y a **distorsion** lorsque les retards à la restitution ne sont pas égaux. On appelle :

- Valeur de la distorsion d , la différence entre le plus grand et le plus petit retard à la restitution ;
- Taux ou degré de distorsion δ , le rapport entre la distorsion d et la durée de l'intervalle élémentaire e ($\delta = d/e$).

Diverses distorsions, plus ou moins fortuites, peuvent être également introduites dans la transmission du signal télégraphique.

On appelle **marge** d'un récepteur télégraphique la distorsion maximale des signaux qu'il est capable de traduire correctement. En principe, la marge est toujours inférieure à 50 % ; ainsi, un téléimprimeur correctement réglé tolère jusqu'à 40 % de distorsion.

7.3. PROPAGATION DES SIGNAUX TÉLÉPHONIQUES.

7.3.1. Affaiblissement.

Un poste téléphonique d'abonné est relié au central PTT par une ligne à 2 fils qui lui est propre. Telle quelle, la **ligne** est dite **métallique** ou **pure**. Elle a une caractéristique qui se prête mal à la transmission de la parole : l'affaiblissement croît comme la racine carrée de la fréquence, donc en défavorisant les fréquences les plus élevées qui sont les plus utiles à l'intelligibilité de la parole, et il empêche la transmission au-delà de 20 à 40 km suivant le diamètre du fil.

7.3.2. Distorsions et bruits parasites.

Le signal analogique a une forme complexe et de nombreux facteurs influent sur la qualité de la transmission ; il s'agit notamment :

- de la distorsion du temps de propagation de groupe due à la variation de la vitesse de propagation en fonction de la fréquence ;
- de la distorsion d'affaiblissement due à l'accroissement de l'affaiblissement avec la fréquence ;
- de distorsions particulièrement sensibles aux fréquences basses telles que la distorsion harmonique et la distorsion d'intermodulation ;
- des parasites qui s'ajoutent au signal : bruits de fonds d'origines diverses, signaux en provenance d'autres lignes injectés par diaphonie, distorsions dues au phénomène d'écho, etc.

7.4. CONSTRUCTION ET ÉQUIPEMENT DES LIGNES.

Divers moyens techniques permettent de remédier aux défauts des lignes.

7.4.1. Montages anti-induction et équilibrage des lignes.

Pour éviter les perturbations réciproques des communications (diaphonie) on dispose les fils de manière à équilibrer leurs caractéristiques électriques (R, L, C et G) :

- dans les lignes aériennes fixes, on utilise la disposition en groupe avec croisement à intervalles réguliers des fils d'une seule ligne ;
- dans les lignes bifilaires souples on procède à la torsion des fils ;
- dans les câbles, on adopte la disposition en paire ou en quarte, la torsion des différentes couches de paires ou de quartes, la mise sous écran des conducteurs gênants ou à protéger spécialement...

7.4.2. Pupinisation des lignes téléphoniques.

Les quatre paramètres R, L, C et G déterminent l'impédance caractéristique d'une ligne pour une fréquence donnée.

Dans une bande limitée, on peut rendre ces quatre paramètres indépendants de la fréquence en insérant à intervalles réguliers des bobines de self-induction dites **bobines de PUPIN**. On a alors une **ligne pupinisée** ou **chargée**. Dans la pratique, la distance entre ces bobines est de 1 à 2 km.

La ligne pupinisée se comporte comme un filtre passe-bas : l'atténuation, indépendante de la fréquence jusqu'à une fréquence maximale dite fréquence de coupure, est faible et théoriquement constante dans la bande de fréquences utiles ; dans la pratique, elle passe par un minimum entre 1 000 et 1 500 Hz. La ligne pupinisée est donc beaucoup plus apte à transmettre la parole sur ligne métallique longue.

La fréquence de coupure est d'autant plus élevée que la charge est faible et que le pas de pupinisation (rapprochement des bobines) est plus grand.

7.4.3. Répéteurs.

Les **répéteurs** sont des appareils insérés de place en place sur les lignes de transmission pour compenser les affaiblissements dus au circuit support.

7.4.3.1. Répéteur télégraphique.

L'organe essentiel du répéteur télégraphique est un relais de transmission qui répète les signaux et permet ainsi d'alimenter la ligne par une nouvelle batterie. Un tel dispositif est parfois appelé translation relayante.

7.4.3.2. Répéteur téléphonique.

Le répéteur téléphonique comprend essentiellement un amplificateur électronique. Il fonctionne unilatéralement et n'amplifie pas les courants continus : sa conception varié donc en fonction du type de ligne qu'il doit équiper.

● Répéteur pour ligne BF.

Lorsqu'il est nécessaire d'amplifier les circuits de jonction urbains, on utilise un dispositif dit répéteur à impédance négative. Placé, soit à mi-parcours sur la ligne 2 fils, soit côté central, celui-ci est conçu pour amplifier les signaux circulant dans les deux sens et transmettre aussi les composantes continues nécessaires à la signalisation. Ce dispositif est fréquemment employé sur le réseau téléphonique parisien (CALLIOPE).

● Répéteur pour circuit HF.

Les répéteurs utilisés sur les circuits HF comportent des amplificateurs à niveau réglable et à large bande qui amplifient en bloc l'ensemble des voies transposées. Un amplificateur est affecté à chaque sens de transmission et, si le circuit est à double canal, les deux sens de transmission doivent être séparés avant amplification. Selon que les deux amplificateurs sont réunis ou non dans le même coffret, on parle parfois de répéteurs bidirectionnels ou unidirectionnels.

La distance d'amplification est d'autant plus courte que les fréquences à transmettre sont plus élevées, c'est-à-dire que la capacité du circuit est plus grande. Pour les câbles souterrains, par exemple, elle est de 4,5 km pour 2 700 voies, de 9 km pour 960 voies, de 17,5 km pour de plus faibles capacités.

7.4.4. Équipements divers.

7.4.4.1. Égalisateur.

L'**égalisateur** est un organe destiné à apporter une distorsion d'affaiblissement (en fonction de la fréquence) inverse de celle provoquée par le circuit. Un autre dispositif dit réseau de contre-distorsion joue un rôle à peu près identique. Ces équipements sont généralement utilisés avant amplification des signaux (entrée des répéteurs, des démultiplexeurs...).

7.4.4.2. Correcteur de température.

Les variations de température agissent sur la caractéristique affaiblissement — fréquence d'une ligne de la même manière qu'une variation de la longueur de celle-ci. Sur les câbles coaxiaux, on compense la distorsion d'affaiblissement produite par les variations de température en insérant de place en place des dispositifs appelés **correcteurs de température**.

7.4.4.3. Filtre d'aiguillage.

Sur les coaxiaux, les courants d'alimentation en énergie sont acheminés par les paires coaxiales elles-mêmes. Pour séparer ceux-ci des courants téléphoniques HF, des **filtres d'aiguillage** sont disposés à chaque point d'amplification.

7.4.4.4. Équipements terminaux.

Les équipements terminaux des circuits à grande distance assurent de nombreuses fonctions souvent très complexes, en premier lieu égalisation et amplification, mais aussi couplage, réglage, préaccentuation...

7.4.5. Conditions d'emploi des circuits 2 et 4 fils.

On a indiqué plus haut que les liaisons par courants porteurs pouvaient utiliser des circuits 2 fils ou 4 fils.

Sur les circuits 2 fils (fig. 33), chaque répéteur doit être précédé d'un transformateur différentiel pour séparer les deux sens de transmission (passage 2 fils-4 fils). Ces ensembles présentent toutefois divers inconvénients et leur nombre doit être limité, ce qui réduit la portée des circuits 2 fils aux distances moyennes (maximum de l'ordre de 500 km).

Les circuits 4 fils ne posent pas le problème de séparation des sens de transmission sur leurs parcours (fig. 34), ce qui permet l'emploi d'un nombre théoriquement illimité de répéteurs performants (à grand « gain »). Ils constituent l'essentiel des circuits à grandes distances.

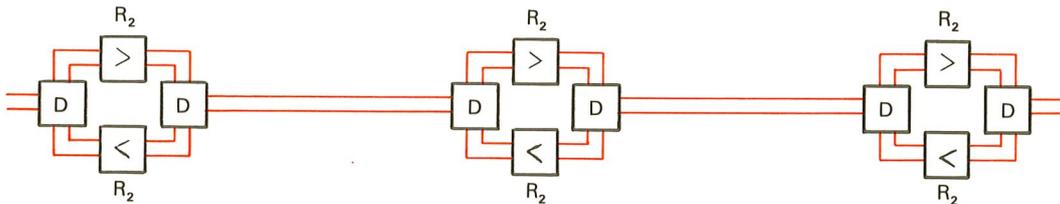


Fig. 33 — Circuits 2 fils; D, différentiels; R_2 , répéteurs 2 fils

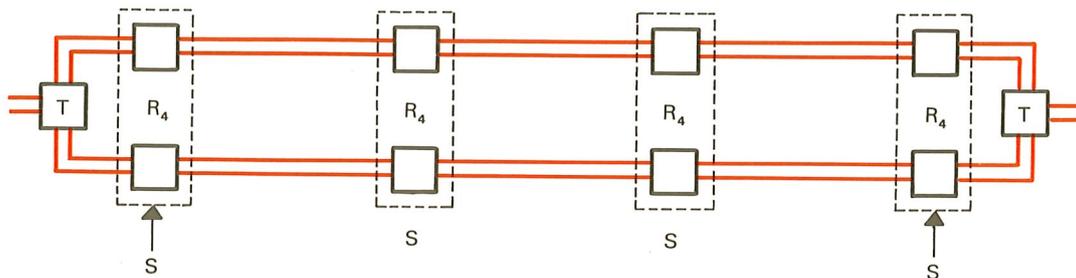


Fig. 34 — Circuits 4 fils; T, équipements terminaux avec différentiels; R_4 , répéteurs 4 fils; S, stations amplificatrices (terminales et intermédiaires)

8. MOYENS DE TRANSMISSION

8.1. RÉSEAUX DE TÉLÉCOMMUNICATIONS.

8.1.1. Réseaux et services publics.

En France, les télécommunications sont un monopole d'État assuré par l'Administration des PTT : le monopole télégraphique a été institué dès l'époque du télégraphe optique (1837) et les premiers réseaux téléphoniques installés par des sociétés privées ont été nationalisés en 1889. Du fait de ce monopole, notre pays dispose exclusivement de deux vastes réseaux nationaux : le **réseau télégraphique** et le **réseau téléphonique**.

L'un et l'autre de ces réseaux comportent :

- une succession de réseaux étoilés autour de nœuds hiérarchisés : éventuellement **concentrateurs** puis commutateurs de capacités croissantes ;
- un réseau maillé ou, plus exactement, partiellement maillé au niveau le plus élevé (**centres nodaux** pour le télégraphe et **centres de transit régionaux** pour le téléphone).

Chaque nœud est relié en principe à deux autres nœuds de telle sorte que, dans tous les cas, la communication puisse emprunter deux voies distinctes (fig. 35).

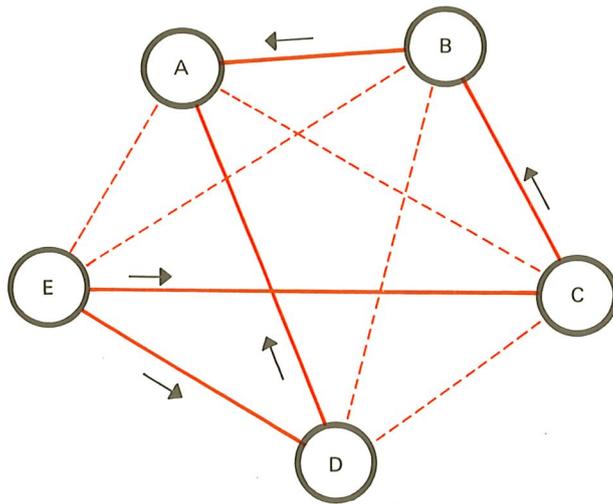


Fig. 35 — Réseau partiellement maillé
 Exemple : une liaison entre E et A sera établie par l'intermédiaire de D ou de C et B

Les réseaux publics sont reliés aux réseaux homologues étrangers par diverses voies de transmissions (câbles ou liaisons radioélectriques) et par divers procédés d'interconnexion (automatique, semi-automatique ou manuel selon l'importance du trafic écoulé).

Cette structure schématique comporte de nombreuses variantes, consécutives notamment à la densité de population desservie. Le réseau télégraphique, sensiblement moins ramifié que le réseau téléphonique, est intégralement automatisé depuis 1961, tandis que l'automatisation du réseau téléphonique n'est pas encore terminée en zones rurales.

8.1.2. Liaisons et réseaux privés.

Par dérogation au monopole, divers types de liaisons à usage privé peuvent être établis et de véritables réseaux privés peuvent même être constitués. Toutefois, dans tous les cas où ceux-ci ont accès, en un ou plusieurs points, à l'un ou l'autre des réseaux publics, les circuits, équipements et matériels utilisés doivent respecter certaines normes et être d'un modèle admis par l'Administration.

8.1.2.1. Réseau intérieur privé.

Dans les limites territoriales d'un établissement public ou privé, l'installation d'un réseau strictement intérieur échappe à toute contrainte administrative et technique.

8.1.2.2. Réseau interétablissements.

Lorsqu'il s'agit d'établir de façon permanente un réseau plus ou moins complexe entre plusieurs établissements éloignés les uns des autres, deux possibilités sont offertes à l'utilisateur.

- Liaisons d'intérêt privé.

Une **liaison** est dite d'intérêt privé lorsqu'elle est établie pour satisfaire les besoins exclusifs du concessionnaire suivant un parcours ne présentant pas d'intérêt pour le réseau général. Même dans le cas où une telle liaison n'a pas accès au réseau général, les circuits et équipements situés hors de l'enceinte des établissements desservis sont construits et entretenus par l'Administration qui en reste le propriétaire et prélève un droit d'usage.

- Liaisons spécialisées.

Une **liaison spécialisée** est une liaison prélevée sur le réseau général pour être mise à la disposition exclusive d'un concessionnaire sous le régime de la location. Cette dérogation a permis la constitution de réseaux privés (télégraphiques et téléphoniques) au moyen du réseau général.

8.2. VOIES DE TRANSMISSION.

8.2.1. Circuits basse fréquence.

L'usage de la télégraphie par courant continu est aujourd'hui limité aux liaisons **extensions** entre postes d'abonnés et centraux télégraphiques et aux connexions entre centraux et stations de télégraphie harmonique.

Les liaisons téléphoniques en bande de base sont elles aussi limitées aux extensions et connexions urbaines de faible portée (de l'ordre de 30 km).

Ces liaisons simples sont réalisées à l'aide de lignes métalliques groupées en câbles légers ou câbles urbains, souterrains ou aéroportés.

8.2.2. Voies haute fréquence.

La télégraphie harmonique et la téléphonie par courants porteurs sont devenues les seuls modes de transmission à moyenne et grande distance ; par ailleurs, l'emploi des circuits numériques tend à se développer. Ces techniques utilisent essentiellement les câbles coaxiaux et faisceaux hertziens comme moyens de transmission entre les centres d'amplification des PTT. Il subsiste toutefois sur les réseaux publics des câbles anciens ou câbles à quartes plus ou moins adaptés aux procédés modernes de transmission HF.

8.2.3. Câbles à quartes.

Les câbles ordinaires à grande distance sont constitués d'un nombre variable de paires de conducteurs isolés. L'unité de câblage est la **quarte** (d'où leur nom de câbles à quartes) composée de deux paires de conducteurs permettant, par un artifice dit **combinaison**, de réaliser 3 circuits sur 2 fils (2 circuits réels et un **circuit** dit **fantôme**). Ces câbles comportent jusqu'à 128 quartes (256 paires) d'une capacité totale de 384 circuits (256 circuits réels et 128 circuits fantômes).

Leurs caractéristiques électriques ont sensiblement évolué avec les techniques de transmission. A l'origine, il s'agissait de câbles pupinisés et équipés de répéteurs ; leur fréquence de coupure, de l'ordre de quelques milliers de hertz, limitait pratiquement leur emploi à une seule voie téléphonique par circuit et la charge réduisait sensiblement la vitesse de propagation des signaux. Avec l'apparition des courants porteurs on a successivement :

- réduit progressivement la charge pour élever la fréquence de coupure et permettre la transmission de plusieurs voies ;
- supprimé totalement la charge et atteint ainsi jusqu'à 12 voies par paire pour un sens de transmission ;
- construit des câbles haute fréquence admettant jusqu'à 60 voies par paire ;
- conçu des câbles à paires symétriques admettant chacune 120 voies.

Puis on est passé au câble coaxial (1938).

8.2.4. Câbles coaxiaux.

8.2.4.1. Circuit coaxial.

Caractéristiques techniques.

Le **circuit** (ou **paire**) **coaxial** est constitué par un fil conducteur plein centré dans un tube cylindrique mince. La dimension d'une paire coaxiale est indiquée par le diamètre du conducteur intérieur et par le diamètre intérieur du conducteur externe. On réalise actuellement des paires 1,2/4,4 mm pour l'équipement des câbles coaxiaux contre 2,6/9,5 mm voici quelques années.

Il existe :

- des coaxiaux rigides dans lesquels le diélectrique isolant est l'air, la distance entre les deux conducteurs étant maintenue rigoureusement fixe par des séparateurs en matière isolante régulièrement espacés (fig. 36) ;
- des coaxiaux souples dans lesquels le diélectrique est une matière isolante souple coulée entre les deux conducteurs. Ces coaxiaux souples, dans lesquels les pertes sont plus importantes que lorsque le diélectrique est l'air, ne sont utilisés que dans les installations mobiles (raccordement des antennes de télévision aux récepteurs par exemple).

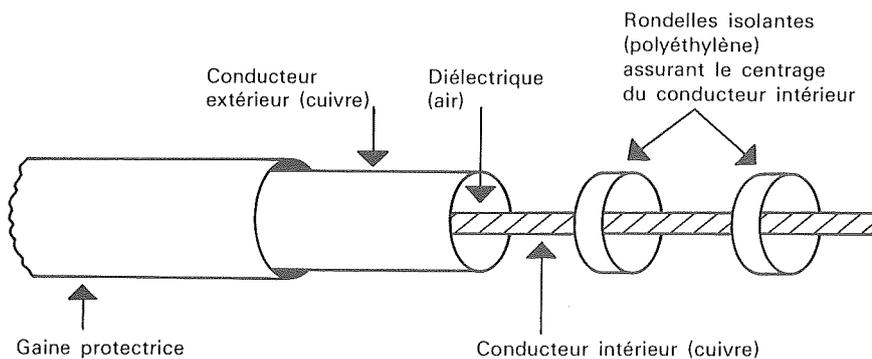


Fig. 36 – Circuit coaxial

Caractéristiques électriques.

Le conducteur tubulaire assure le rôle d'écran et le champ magnétique est théoriquement nul à l'extérieur de l'ensemble coaxial : il n'y a donc pas de perte par rayonnement, ce qui permet d'utiliser ce circuit aux fréquences très élevées des transmissions par courants porteurs. L'affaiblissement aux hautes fréquences se situe dans les limites admissibles, mais si le spectre des fréquences en ligne est très large, la distorsion d'affaiblissement n'est plus négligeable. Les courants et tensions se propagent, comme sur les lignes, à une vitesse voisine de la vitesse des ondes électromagnétiques dans l'air.

La capacité de transmission d'un circuit coaxial peut atteindre jusqu'à 2 700 voies unilatérales, ce qui nécessite une largeur de bande de 12 MHz.

8.2.4.2. Câble coaxial.

Caractéristiques techniques.

Un **câble coaxial** est composé de plusieurs paires coaxiales rigides (4 à 18 et même 24) auxquelles on joint un certain nombre de paires de fils ordinaires réservées à divers usages : télésurveillance, télécommande, localisation des dérangements...

Une enveloppe faite de divers matériaux disposés en couches successives assure la protection de la partie conductrice : isolement électrique, étanchéité, résistance mécanique...

Caractéristiques électriques.

La capacité du câble est fonction du nombre de circuits coaxiaux qu'il contient. Ainsi, un câble à 18 paires peut permettre $18 \times 2\,700 = 48\,600$ canaux, soit 24 300 communications simultanées dans chaque sens (cas du nouveau coaxial souterrain Paris-Lyon posé en 1974).

Cas particulier des câbles sous-marins.

Les câbles sous-marins destinés aux liaisons intercontinentales sont du type coaxial (1). Dans les câbles modernes pour grands fonds, dits câbles légers, la résistance mécanique est assurée par un câble porteur en torons d'acier placé au cœur du conducteur.

Pour augmenter le rendement des câbles sous-marins, très coûteux, on ne transmet en téléphonie qu'une bande de 3 kHz (bande vocale 300/3 200 Hz et garde de 100 Hz entre bandes), ce qui permet d'acheminer 16 voies avec le même encombrement qu'un ensemble normal de 12 voies à 4 kHz; les câbles récents admettent ainsi jusqu'à 4 000 voies.

8.2.5. Guides d'ondes.

Les circuits coaxiaux posent de sérieux problèmes d'affaiblissement aux très hautes fréquences et l'existence d'une fréquence de coupure de l'ordre de 3 MHz pour les coaxiaux

(1) On parle ici des câbles téléphoniques dont l'utilisation remonte à quelques années seulement. Les premiers câbles intercontinentaux sous-marins, dont la pose a commencé dès le milieu du XIX^e siècle, étaient des câbles télégraphiques à conducteur unique (toron de fils de cuivre de quelques centimètres de diamètre) avec retour du courant par la mer.

habituels rend ceux-ci inutilisables dans le domaine des ondes centimétriques ; ils cèdent alors le pas aux guides d'ondes.

Un **guide d'ondes** est un tuyau métallique creux à coupe rectangulaire ou circulaire (diamètre de l'ordre de 10 cm) à l'intérieur duquel les ondes électromagnétiques se propagent par réflexions successives sur les parois. Le conduit forme écran et réduit à la fois les parasites et les pertes par rayonnement, notamment aux fréquences très élevées. L'application de la technique des courants porteurs aux ondes centimétriques véhiculées par les guides devrait permettre d'acheminer des dizaines de milliers de communications téléphoniques simultanées. Leur emploi est actuellement limité à des réalisations expérimentales.

8.2.6. Faisceaux hertziens.

8.2.6.1. Principe et évolution.

Les actuels **faisceaux hertziens** à très haute fréquence sont une version évoluée des premières radiocommunications.

Dans les procédés radioélectriques, on transmet un signal de fréquence basse (du niveau des fréquences vocales par exemple) en lui faisant moduler une onde porteuse de haute fréquence. L'évolution technique a consisté :

- à utiliser des ondes de fréquence de plus en plus élevée (soit de longueur d'onde de plus en plus courte), ce qui a permis de faire tenir de plus en plus de voies dans un même canal ou plage de fréquence. On est ainsi passé des ondes longues ou kilométriques aux ondes moyennes ou hectométriques, puis courtes ou décamétriques et enfin aux ondes centimétriques ou micro-ondes ;
- parallèlement, les antennes de très grande envergure, caractéristiques des émetteurs à ondes longues, ont fait place à des nappes d'aériens de dimensions de plus en plus réduites, mais toujours omnidirectionnelles, c'est-à-dire capables de rayonner les ondes (sphériques) dans toutes les directions. Puis, quand on est arrivé à la technique des micro-ondes et que l'on s'est proposé d'utiliser celles-ci entre points fixes, on a adopté les antennes de forme parabolique permettant, comme le fait un projecteur optique, de joindre le point d'émission au point de réception par un faisceau dirigé et cohérent, avec le minimum de perte.

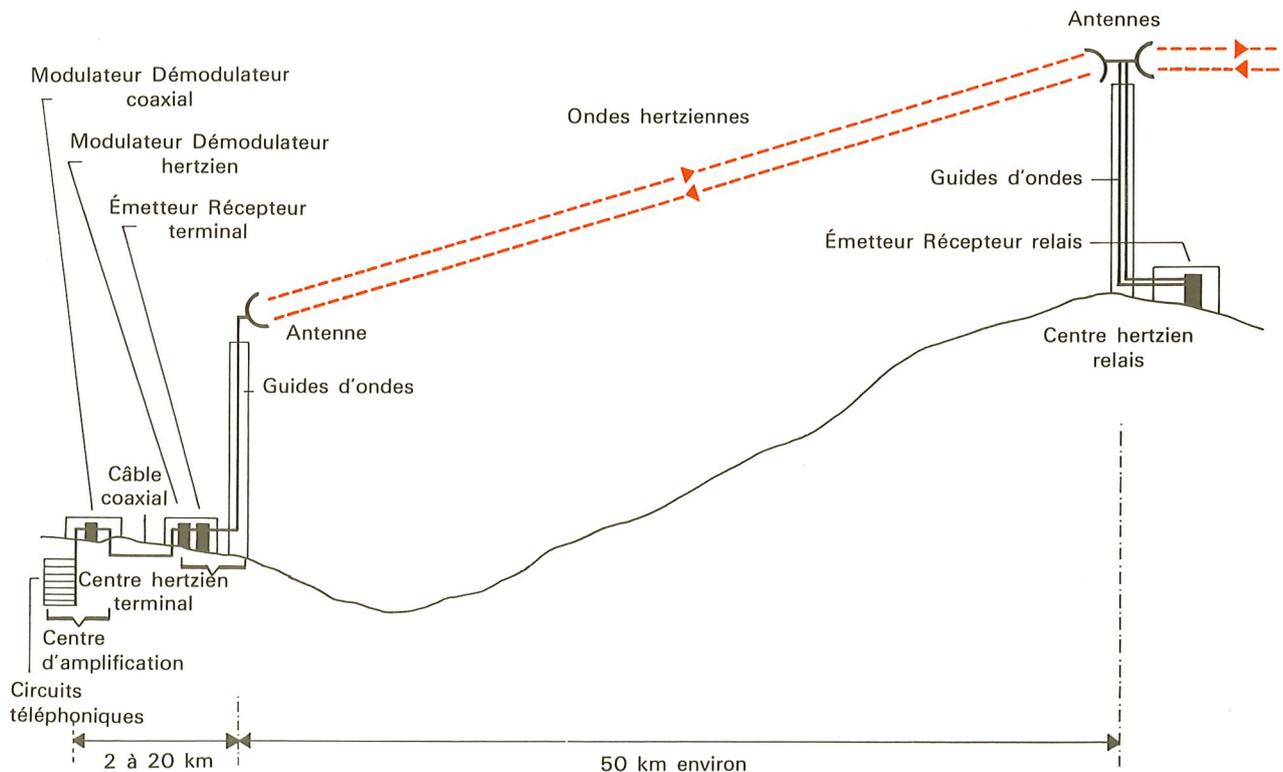


Fig. 37 — Principe d'une transmission téléphonique par réseau hertzien

De tels faisceaux hertziens sont peu sensibles aux perturbations atmosphériques et aux brouillages industriels mais ils restent affectés par le bruit de fond. Ils demeurent en outre affectés d'une sujétion notable : aux très hautes fréquences, les ondes hertziennes ne contournent pas les obstacles terrestres et ne se réfléchissent pas sur l'ionosphère comme le font les ondes longues, moyennes et même courtes. Il leur faut des relais en visibilité optique directe : espacés de 40 à 50 km les uns des autres, ceux-ci doivent être établis sur des tours ou des pylônes implantés sur des points hauts (fig. 37).

Dans chacune de ces stations, l'onde hertzienne est recueillie par l'antenne tournée vers l'amont, puis amplifiée et changée de fréquence avant d'être réémise par une seconde antenne tournée vers l'aval. Chaque antenne est à la fois émettrice et réceptrice. L'ensemble de ces bonds constitue une liaison hertzienne. Au point terminal, le signal est partiellement démodulé et acheminé par câble vers le centre d'exploitation où il est traité de façon à restituer le signal d'origine à fréquence basse.

8.2.6.2. *Le réseau hertzien français*

Le réseau hertzien français pour le téléphone à moyenne et grande distance est constitué par des faisceaux où les communications en BF sont modulées en fréquence et transposées en ondes centimétriques (entre 2 et 7 giga-hertz). Chaque faisceau comporte plusieurs canaux en parallèle, fonctionnant sur des fréquences voisines et offrant chacun une capacité de 600, 960, 1800 et même 2700 communications simultanées (voies).

La longueur des canaux hertziens relevant du service public des télécommunications dépasse actuellement 20 000 km, jalonnés par 250 tours ou pylônes. Le réseau national est constitué de liaisons ayant pour la plupart Paris comme origine (tour de MEUDON depuis 1953 et tour de CHENNEVIÈRES en banlieue est de PARIS mise en service en 1976). Il comporte en outre deux liaisons spécialisées pour la téléinformatique (PARIS-ORLÉANS et « autoroute électronique de l'Ouest » PARIS-RENNES-BREST).

8.2.7. **Satellites.**

Les projets français de transmission par **satellite** sortent de la phase d'expérimentation pour entrer dans une phase de réalisation avec le projet de lancement du satellite TELECOM I (1982). D'ores et déjà, plusieurs milliers de canaux téléphoniques transitent via les satellites du système mondial INTELSAT.

9. COMMUTATION

9.1. COMMUTATION DE CIRCUITS

Au sens général du terme, la **commutation** est la fonction complexe qui consiste, pour chaque communication, à abouter l'une à l'autre les lignes de deux appareils terminaux d'un réseau de télécommunication (téléphone, télégraphe...).

9.1.1. Exemple du réseau téléphonique public

La commutation est assurée dans les centraux téléphoniques où l'on trouve deux sortes d'éléments : les éléments de commande et les éléments de connexion. Les éléments de commande reçoivent les données entrantes, en particulier le numéro envoyé par l'abonné demandeur, les interprètent, décident de l'itinéraire à suivre et envoient les ordres correspondants aux éléments de connexion qui servent de support aux communications et restent en place pendant toute leur durée.

Dans la **commutation manuelle**, la commande est représentée par les opératrices et les connexions par l'ensemble des fiches, jacks et circuits.

Quand la commutation manuelle céda la place à la **commutation électromagnétique** à base de contacts métalliques et de relais, on commença par du semi-automatique : les connexions se firent dans des autocommutateurs mais la télécommande de ceux-ci resta à la charge de manipulateurs humains. Puis ce fut le tour de la commande d'être mécanisée : on vit apparaître des

automates enregistreurs, traducteurs et chercheurs capables d'enregistrer en mémoire les numéros demandés, de les analyser, de se concerter en échangeant entre eux les données de service ou **signalisation** et d'établir les liaisons ; d'autres automates furent chargés de fonctions annexes, telle la comptabilité des taxes. Plus récemment, la technique des relais à tiges (**système crossbar** ou à **barres croisées**) est venue réduire considérablement le temps de réponse. Aujourd'hui, la **commutation électronique** à base de semi-conducteurs commence de relayer l'électromécanique. Pour ce qui concerne le réseau téléphonique français, deux types d'autocommutateurs électroniques ont été réalisés et mis en service à titre expérimental : ce sont les **autocommutateurs spatiaux** qui procèdent toujours par commutation de circuits et les **autocommutateurs temporels** adaptés aux circuits numériques (cf. multiplexage temporel).

9.1.2. Commutation électronique spatiale

Dans le **commutateur spatial** ou système à répartition spatiale, les éléments de connexion sont encore à contacts et relais mais les organes centraux de commande sont remplacés par des dispositifs électroniques de traitement de l'information. Selon leur capacité, ces autocommutateurs ont une logique câblée ou sont à programme enregistré avec ordinateur central ; ils sont éventuellement réunis entre eux par un **canal sémaphore** direct, indépendant du réseau de connexion, sur lequel est concentrée la signalisation (1).

9.1.3. Commutation à 4 fils

Les autocommutateurs modernes permettent la **commutation à 4 fils** qui consiste à séparer les deux sens de transmission dans la traversée des centraux. Comme cette séparation existe déjà sur les circuits à grande distance, elle est ainsi maintenue tout au long de la chaîne de transmission, ce qui permet une diminution sensible de l'affaiblissement.

9.2. COMMUTATION ÉLECTRONIQUE TEMPORELLE

La **commutation temporelle** est en fait un multiplexage à répartition dans le temps : au lieu de continuer à établir pour chaque communication téléphonique un circuit fermé entre deux postes d'abonnés, on transforme les signaux analogiques en impulsions numériques très brèves par la technique MIC et on insère entre celles-ci des impulsions appartenant à d'autres communications ayant subi le même traitement. A chaque extrémité du canal de communication, le commutateur électronique établit les itinéraires correspondant à ces diverses impulsions à la cadence de transmission de celles-ci.

Un réseau téléphonique qui combine ainsi la technique MIC et la commutation temporelle, applicable à tout signal numérique (téléx ou téléinformatique) est dit **réseau intégré** (2).

9.3. COMMUTATION DE MESSAGES EN TÉLÉGRAPHIE

9.3.1. Principe

Dans un réseau télégraphique, la commutation de circuits peut être remplacée par la **commutation de messages**, manuelle ou automatique. Schématiquement, cette technique consiste à recevoir un message, à le garder en attente jusqu'au moment où les circuits d'acheminement seront libres, puis à le retransmettre.

Dans un centre manuel de commutation de messages, les récepteurs sont des téléimprimeurs avec perforateur de ruban et les émetteurs sont des lecteurs de ruban. Des opérateurs effectuent tout le travail de commutation : découpage des rubans perforés message par message,

(1) Deux centraux de ce type sont actuellement en service sur le réseau parisien, l'un à Clamart (central Michelet) et l'autre à Maisons-Laffitte ; un central privé à grande capacité de même conception dessert l'aéroport de Roissy depuis 1972.

(2) Un réseau numérique équipé de trois centraux à commutation temporelle fonctionne dans la région de Lannion où il dessert environ 5 000 abonnés (projet PLATON).

contrôle de la qualité de l'enregistrement et de la ou des adresses de destination, constitution des files d'attente à chaque poste d'émission, demandes et réponses aux demandes de retransmission, tri et traitement des messages de service...

Un commutateur automatique de messages doit être en mesure d'assurer, sans intervention humaine, tous les travaux de réception, contrôle et acheminement des messages. La complexité des opérations à effectuer nécessite la mise en œuvre de logiques câblées chargées des fonctions simples et répétitives et d'un système informatique relativement puissant : mémoire interne et mémoire de masse de grande capacité, travail en multiprogrammation, système moniteur en temps réel capable de gérer un grand nombre de tâches... Le développement de la commutation automatique de messages est donc lié à la généralisation de la commutation électronique.

9.3.2. Exemple du réseau télégraphique international

L'un des principaux avantages de la commutation de messages est de permettre à l'utilisateur d'écouler son trafic sans attendre que la liaison avec son correspondant soit établie.

Cette souplesse d'utilisation du réseau est particulièrement intéressante pour les liaisons à grande distance ; c'est la raison pour laquelle le trafic télégraphique international est aujourd'hui acheminé par ce moyen. Dans chaque pays un centre unique de commutation automatique de messages, relié aux autres centres internationaux par liaisons radioélectriques, câbles sous-marins ou souterrains, satellites..., centralise tout le trafic à destination ou en provenance de l'étranger. En France, ce centre est le Bureau central radioélectrique (BCR) installé à PARIS.

INDEX

a

accusé de réception (procédure de l'...), 26
adaptateur de transmission, de ligne, de communication, 21, 35
adaptateur d'impédance, 74
addressing ou adressage (invitation à recevoir), 27
adresse physique, 24
affaiblissement, 88
alphabets, 66
alternat (liaison à l'...), 71
amplitude, 10
analogique (modulation ...), 83
analogique (signal ..., circuit ...), 12, 75
analyseur de son, 33
anti-local (transformateur ...), 74
arythmique (appareil ...), 67
ASCII (code ...), 68
asynchrone (mode ...), 12, 67
autocommutateur, 98

b

balancement de fréquence, 81
bande de base (transmission, liaison en...), 48, 78
bandes latérales, bande essentielle, 78
bande latérale résiduelle (BLR), 80
bande latérale unique (BLU), 80
bande passante, 71, 75
barres croisées (autocommutateur à ...), 98
batch processing, 16
baud (Bd), 69
BAUDOT (alphabet ...), 67
bidirectionnelle, bilatérale (liaison ...), 71
binaire (élément ..., chiffre ...), 67
binary digit (chiffre binaire), 67
bit, 67
bit de parité, 25, 68
bits par seconde (bits/s, bps), 70

bloc, 23
bobine de PUPIN, 90
bobine d'induction, 74
bouclé (réseau ..., circuit ...), 19
Byte Multiplexor Channel (canal multiple), 37

c

câble à quartes, 94
câble coaxial, 95
câble hertzien (cf. faisceau hertzien), 83, 96
CADUCÉE, 45
canal, 14
canal logique, 24
canal sémaphore, 98
canal simple, multiple, par octet, temps réel, 14, 37
caractère de contrôle, de remplissage, de synchronisation..., 22
CCITT (Comité consultatif international télégraphique et téléphonique), 13
central, 71
centre de transit régional, nodal, 92
champ électromagnétique, 12
circuit analogique, 83
circuit coaxial, 94
circuit de données, 16
circuit de transmission, 65
circuit fantôme, 94
circuit numérique, 87
circuit spécialisé (cf. liaison spécialisée), 40, 93
circuit télégraphique, 65
circuit virtuel, 55, 71
CNET (centre national d'étude des télécommunications), 3
coaxial (circuit ..., câble ...), 94
code, 23, 66
collecteur de données, 16
combinaison, 94
commutation manuelle, électromagnétique, 97
commutation à 4 fils, 98
commutation de circuits, 39
commutation de messages, 40, 98

commutation par paquet, 40
commutation spatiale, 98
commutation temporelle, 98
concentrateur, 38, 92
concentrateur à file d'attente, 38
concentrateur programmé, 36
concentrateur transparent, 38
conductance de fuite, 88
constante de temps, 89
constantes primaires, secondaires des lignes, 88
contrôle d'erreur, de parité, procédure de ..., 25
contrôleur à mémoire programmée, 36
contrôleur de transmission, 18, 36
conversationnel (mode ..., UES de type ...), 16
conversion série-parallèle, parallèle-série, 68
convertisseur de signaux, 36
correcteur de température, 91
coupleur, 22
coupleur téléphonique, 29
courant ondulé, 75
courant porteur, 78
crossbar (barres croisées), 98

d

datagramme, 55
DATEX, 41
DCB (code ...), 68
débit binaire (*d*), d'information (*D*), 70
délimiteur (caractère ...), 24
démodulateur (cf. MODEM), 16, 29
déphasage, angle de ..., 10
déviaton de fréquence, 81
dialogue technique, 23
différé (traitement ..., transmission ...), 16
digital (cf. numérique), 12, 66
distorsion du signal numérique, 89
distorsion du signal analogique, 90
duplex, 18, 71

e

EBCDIC (code ...), 68
échantillonnage, 82
égalisateur, 91
élément binaire, 67
élément de modulation, 69
en ligne (transmission ..., terminal ...), 18
enregistrement sonore, 33

équilibrage des lignes, 90
état significatif, 66
ETCD (équipement de terminaison de circuit de données), 17, 21
étoilé (réseau ...), 71
ETTD (équipement terminal de traitement de données), 17
excursion de fréquence, 81
extension, 94

f

faisceau hertzien, 83, 96
fils RON, TRON, 71
filtre d'aiguillage, 91
filtre électrique, 11
fonctions périodique, alternative, sinusoïdale, 9
fréquence, 10
fréquence d'échantillonnage, 82
fréquence porteuse, 78
fréquences latérales, 78
fréquences vocales (télégraphie à ...), 83
Frequency Shift Keying (FSK), 81
front du signal numérique, 69
full duplex (bidirectionnel simultané), 71

g

groupe primaire, secondaire..., 85
guide d'ondes, 96

h

half duplex, 71
hertz (Hz), 10
hertzien (câble ..., faisceau ..., voie ...), 83, 96
horloge, 22
hors ligne (système ..., transmission ..., terminal ...), 18

i

impédance, 11
instant caractéristique, 69
interface, 20, 22
intervalle de temps élémentaire (IT), 81
inversion de phase (modulation par), 81
invitation à émettre, à recevoir, 27
ISO (International Organisation for Standardization), 13

j

jonction, 20

k

largeur de bande, 70
liaison à voies multiples, multiplex, 83
liaison de données, 18
liaison d'intérêt privé, spécialisée, 40, 93
liaison à voie hertzienne, 83
liaison MIC, 87
liaison par courants porteurs, 83
liaison point à point, multipoint, 19, 71
ligne chargée, pupinisée, 90
ligne métallique ou pure, 90
ligne télégraphique, 65
logique de transmission, 22, 23
longueur d'onde, 12
lot (traitement par ...), 16

m

maillé (réseau ...), 71
marge d'un récepteur télégraphique, 90
message, 23
méthode d'accès, 27
MIC (modulation par impulsions codées), 81
mode asynchrone, synchrone, 12, 67
mode contrôle, texte, transparent, 28
mode conversationnel (traitement en ...), 16

mode de contention, 27
mode supervise, 27
MODEM (modulateur-démodulateur), 16, 29
modulation analogique, 78
modulation d'amplitude, 78
modulation de fréquence, 81
modulation de phase, 81
modulation par inversion de phase, 81
modulation par saut de fréquence, 81
modulation télégraphique (types de ...), 69
modulation téléphonique, 75
moment, 66
MORSE (télégraphe ..., code ...), 66
multiplex, 83
multiplexage à modulation de groupe, 85
multiplexage analogique ou en fréquence, 83
multiplexage à simple addition de bande, 84
multiplexage numérique ou temporel, 37, 86
multiplexage temporel par paquet, 38
multiplexeur (MUX, MUX-DEMUX), 37, 83
multipoint (liaison ..., réseau ...), 19
multiprocesseur, 15
multiprogrammation, 15
multitraitement, 15

n

normalisation, 13
numérique (signal ...), 12, 66
numéro de flux, 24

o

off line (hors ligne), 18
onde, surface d'onde, 12
onde électromagnétique, hertzienne, 12
on line (en ligne), 18
ordinateur frontal, 22, 36
oscillateur, 12

p

paquet, 40
parallèle (transmission en ...), 12, 68
parité (contrôle de ..., bit de ...), 25, 68

passage 2 fils - 4 fils, 86
 période, 9
 phase, 10
Phase Shift Keying (PSK), 81
 phénomènes transitoires, 89
 point à point (liaison ..., circuit ...), 19, 71
polling (invitation à émettre), 27
 porteur (courant ...), 78
 prémodulation, 85
 procédure d'appel, 27
 procédure de l'accusé de réception, 26
 procédure de contrôle, 26
 procédure de ligne, de transmission, 23
 « processeur » frontal, 22
 programme-canal, 34
 propagation (phénomène de ...), 12
 propagation sur les lignes, 87
 protocole d'accès, de transmission, 51
 pulsation, 10
Pulse Code Modulation, PCM (modulation
 par impulsions codées), 82
 PUPIN (bobine de ...), 90
 pupinisation des lignes, 90

q

quantification, 82
 quarte, 94

r

radiocommunications (principe des ...), 76
 radiomultiplex, 83
real time (traitement en temps réel), 16
reflex (système ...), 24
 réluctance, 74
remote batch (traitement par lot)
remote batch processing (traitement par lot
 à distance), 16
 répéteur, 91
 répondeur automatique, 43
 réponse vocale, 33
 REPOS (état ..., moment...), 66
 réseau bouclé, 19
 réseau CADUCÉE, 45
 réseau commuté, 40, 71
 réseau étoilé, 71
 réseau fermé, 19
 réseau intégré, 49, 98

réseau maillé, 71
 réseau multipoint, 19
 réseau ouvert, 20
 réseau primaire, secondaire, 39
 réseau télégraphique, téléphonique public, 92
 réseau TÉLEX, 41
 réseau TRANSMIC, 52
 réseau TRANSPAC, 54
 réseau TRANSPLEX, 50
 RON (fil ...), 71
 rythmique (appareil ...), 67

S

satellite, 97
 saut de fréquence (modulation par ...), 81
selecting (invitation à recevoir), 27
Selector Channel (canal simple), 37
 semi-duplex, 71
 séparateur (caractère ...), 24
 séquentielle (transmission ...), 68
 série (transmission en ...), 12, 68
shift, 81
 signal analogique, 12, 75
 signal bivalent, multivalent (valence du ...), 67
 signal numérique, digital, 12, 66
 signal V 24, 22
 signalisation, 98
simplex, 18, 71
 simultanée (liaison bilatérale ...), 71
 simultanité des traitements, 14
 sinusoïdale (fonction ...), 10
 source de données, 16
 sous-bloc, 23
 sous-canal, 14
 spatiale (commutation ...), 98
start, stop, 67
 station primaire (de contrôle, pilote), secondaire, 27
 synchrone (mode ...), 12, 67
 synchronisation, 22
 synthétiseur de parole, 33
 système autonome, 18

t

taux de modulation, 78
 taux d'erreur, 25
 télégraphe MORSE, 66
 télégraphie alphabétique, analogique, 66

télégraphie (principe de la ...), 65
télégraphie à fréquences vocales, 83
télégraphie harmonique, 83
téléimprimeur, 72
téléinformatique, 13
téléphone à clavier, 32
téléphonie (principe de la ...), 73
télétraitement, 13
TÉLEX (réseau ..., service ...), 41
temps de renversement, 31
temps de réponse d'un circuit, 89
temps différé, partagé, réel ... (traitement en ...), 16
terminal, 16, 22
terminaux (catégories de ...), 33
termineur, 86
time sharing (temps partagé), 16
touch tone (téléphone à clavier), 32
traitement de l'information (techniques de ...), 16
trame, 86
transformateur antilocal, 74
transformateur différentiel, 86
transition du signal numérique, 69
TRANSMIC (service ..., réseau ...), 52
transmission de données, 13
transmission en série, en parallèle, 12, 68
transmission en *simplex*, *duplex*, 18
TRANSPAC (service ..., réseau ...), 54
transparent (mode ...), 29
transparent (multiplexeur ...), 87
TRANSPLEX (service ..., réseau ...), 50

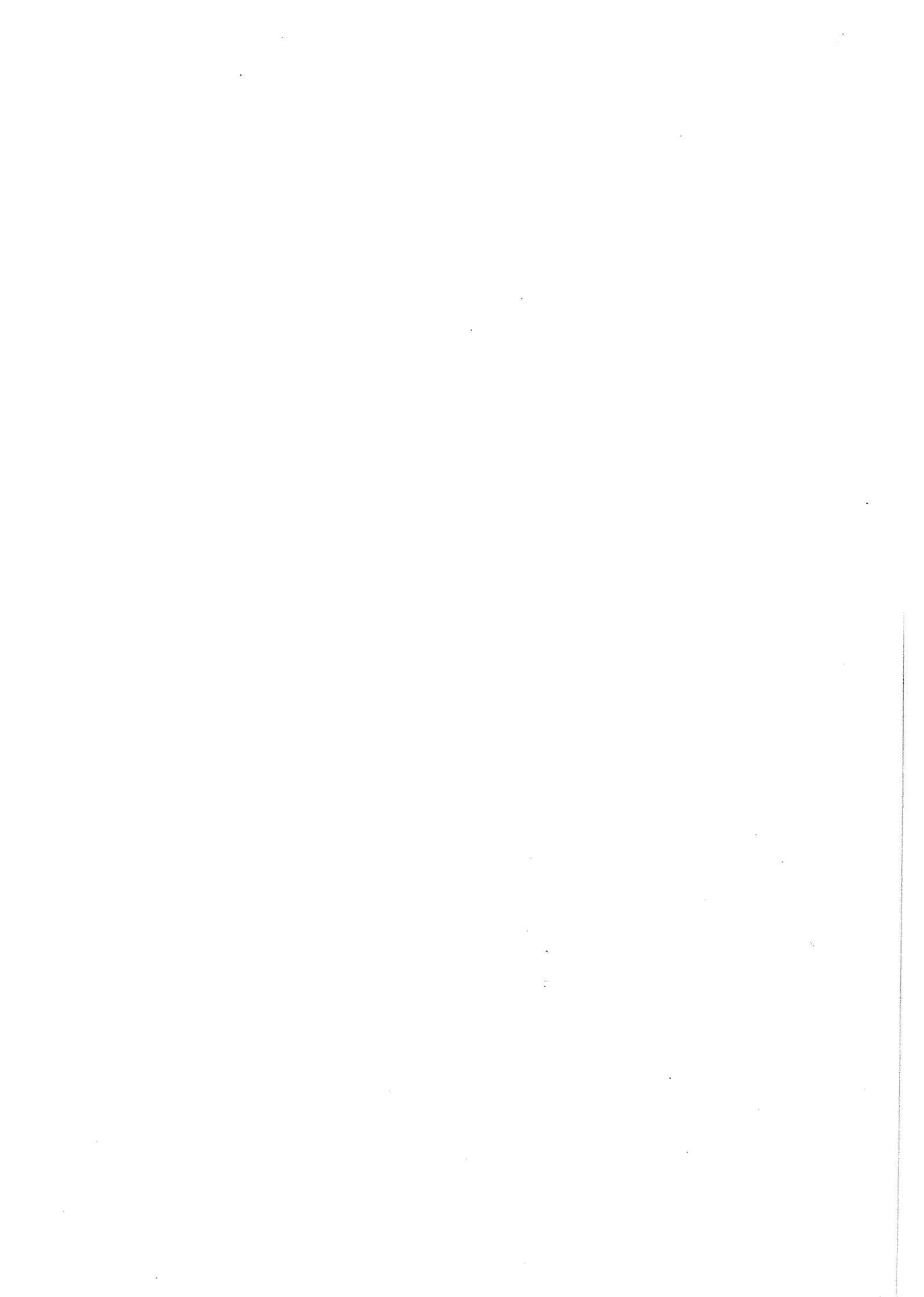
TRAVAIL (état ..., moment ...), 66
TRON (fil ...), 71
turn around time (temps de renversement), 31

U

unidirectionnelle, unilatérale (liaison ...), 71
UIT (Union Internationale des Télécommunications), 13
unité de contrôle (UC), 14
unité de contrôle de transmission (UCT), 18, 21
unité de contrôle et d'adaptation, 21
unité d'entrée-sortie de dialogue, 16
unité de réponse vocale, 33

V

valence du signal numérique, 67
vitesse de modulation, de signalisation ..., 69
vocabulaire, 23
vocoder (analyseur de son), 33
voie de transmission, 65
voie hertzienne, 83
voies multiples (liaison à ...), 83



IMPRIMERIE NATIONALE

9 571011 6 57

Les publications du SCOM

Le Service Central d'Organisation et Méthodes publie une *REVUE TRIMESTRIELLE* et des *BROCHURES SPÉCIALISÉES* portant sur les méthodes d'organisation, ainsi que des *GUIDES* destinés à aider les responsables administratifs à étudier et à résoudre leurs problèmes.

Parmi ces brochures, on peut citer notamment :

- PRATIQUE DES ÉTUDES D'ORGANISATION ADMINISTRATIVE (1978, 132 p.);
- L'ÉTUDE DE PROCESSUS (1977, 96 p.);
- ANALYSE QUANTITATIVE ET MESURE DU TRAVAIL ADMINISTRATIF (1978, 168 p.);
- L'ÉLABORATION DES IMPRIMÉS ADMINISTRATIFS (1979, 144 p.);
- TERMINOLOGIE DE L'INFORMATIQUE DE GESTION (1979, 70 p.);
- IMPLANTATION ET ÉQUIPEMENT DES LOCAUX ADMINISTRATIFS (1977, 112 p.);
- MÉTHODOLOGIE D'EMPLOI DE LA MICROGRAPHIE (1978, 132 p.);
- LA REPRODUCTION DES DOCUMENTS (1979, 60 p.);
- LE DOSSIER DESCRIPTIF DES TÂCHES A AUTOMATISER (1978, 46 p.);
- LE PROBLÈME DES ARCHIVES DANS LES ADMINISTRATIONS PUBLIQUES (1968, 80 p.);
- LE BUREAU D'ACCUEIL DANS LES ADMINISTRATIONS PUBLIQUES (1969, 80 p.);
- LE SERVICE COURRIER (1969, 124 p.);
- MÉMENTO DE LA DACTYLOGRAPHE (1979, 100 p.);
- LES CENTRAUX DE DACTYLOGRAPHIE (1973, 64 p.);
- LE SERVICE DU PERSONNEL (1979, 100 p.);
- NE GASPILLONS PAS LE PAPIER (1979, 18 p.);
- ÉLÉMENTS DE TÉLÉINFORMATIQUE (1980, 105 p.).

Ces publications sont en vente :

Par correspondance :

- au Service de vente de l'Imprimerie nationale (SEVIN) : route d'Auby, 59128 FLERS EN ESCREBIEUX;
- à la Documentation française :
29-31, quai Voltaire, 75340 PARIS CEDEX 07; tél. : 261.50.10; télex : 204826 DOCFRAN PARIS.

Dans les magasins de la Documentation française (29-31, quai Voltaire, 75007 PARIS) et de l'Imprimerie nationale à Paris :

2, rue Paul-Hervieu, 75732 PARIS CEDEX 15; 20, rue La Boétie, 75008 PARIS; 182, rue Saint-Honoré, 75001 PARIS.

Le catalogue des publications et la brochure « Connaissez-vous le SCOM » sont envoyés sur simple demande au SCOM, 20, rue Notre-Dame-des-Victoires, 75056 PARIS RP. Tél. : 770.97.51

quantification
temps différé
faisceau bande numérique
temps réel
démodulateur
commutation spatiale
câble coaxial
multipoint
multiprogrammation
point à point
circ

CADUCÉE
multitraitement télé
base
TR frame mode
duplex
TRANSP
jonction
Baud asy
blo
B
modulation
datagramme
horloge c
commutatio