

# LA TRANSMISSION NUMÉRIQUE

Messages télégraphiques, modulation par impulsions et codage, transmissions de données, numérisation du réseau, à toutes ces expressions un dénominateur commun : la transmission numérique.

Evoquer le télégraphe, c'est mettre en évidence du même coup l'ancienneté d'une technique qui a constitué l'un des tout premiers moyens utilisés pour assurer les télécommunications électriques : les signaux Morse ne s'apparentent-ils pas, en effet, à la transmission numérique ?

Si le procédé n'a pas été exploité plus tôt, dans un domaine plus vaste que celui de la télégraphie, c'est en raison de la complexité des équipements de transmission correspondants qui rendait sa réalisation difficile tant que l'on ne disposait pas d'autres éléments amplificateurs que les tubes à vide.

L'apparition des composants à semi-conducteurs, a contribué à remettre à l'honneur ce mode de transmission qui connaît depuis 1960, un développement considérable dans le monde et une application à l'échelle industrielle.

Quel est donc l'intérêt de la technique numérique ?

Un signal électrique analogique (courant microphonique de conversation par exemple) subit toujours des altérations au cours de son transport sur les lignes de transmission. Par ailleurs, si l'on excepte la technique des courants porteurs, celles-ci ont une capacité d'écoulement limitée au nombre de paires ou voies qu'elles comportent.

Or, le signal numérique présente l'énorme avantage d'être pratiquement insensible au « bruit » (1) et aux distorsions, de pouvoir être régénéré dans son état initial, et en outre, grâce à une « astuce » technique, il permet d'acheminer plusieurs communications sur un seul support physique.

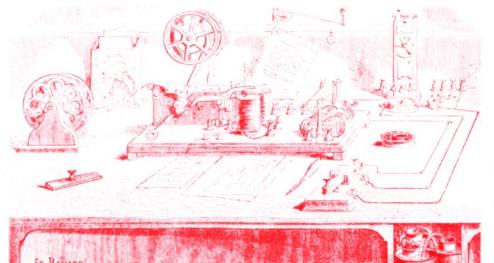


Photo C.N.E.T.

La télégraphie MORSE,  
« ancêtre » de la transmission  
numérique ?

(1) Le « bruit » en télécommunication est un signal électrique indésirable qui se superpose à l'information transmise. Sa puissance peut être telle qu'il rende toute communication impossible. C'est la valeur relative de cette puissance par rapport à celle du signal utile qui définit, indépendamment des autres facteurs, la qualité d'une transmission ; ce qui s'exprime par le rapport  $\frac{\text{bruit}}{\text{signal}}$ . Plus ce rapport bruit est grand plus la réception est « confortable ». A titre d'exemple, citons parmi les bruits qui se

manifestent le plus couramment sur les lignes de télécommunication : les parasites industriels et atmosphériques, la diaphonie, le « souffle » provoqué par certains composants d'amplificateur (résistances, transistors, tubes à vide), les bruits de commutation, etc.

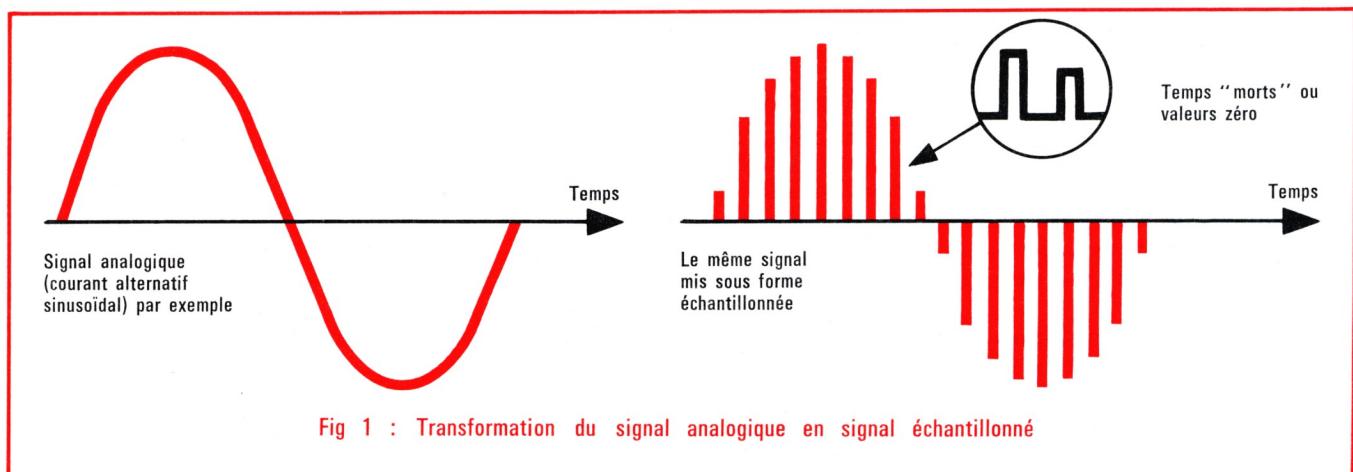
Ces possibilités de multiplexage venant à un moment où les besoins en télécommunication vont croissant, jointes à d'autres avantages, expliquent la vogue actuelle des techniques de numérisation de l'information.

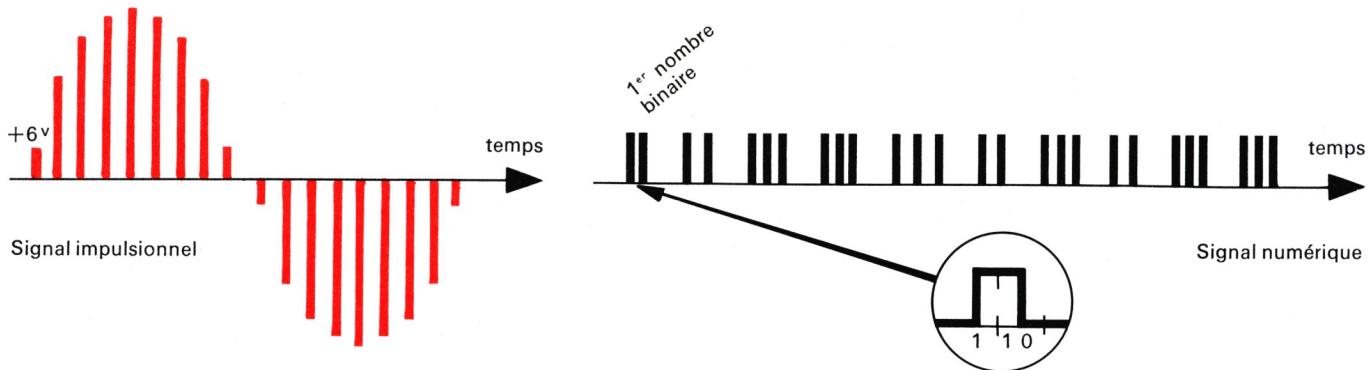
En outre, pour les liaisons courtes (10 à 30 km) il n'était pas rentable de réaliser des multiplexages avec les systèmes à courant porteur classiques ; seule la technique « B.F. » était utilisée. Par contre, les multiplex numériques s'avèrent économiquement viables sur ces distances ; ils vont donc permettre de désaturer certaines parties du réseau régional et local.

Le présent article se propose tout d'abord de définir en termes généraux le signal numérique, puis, dans le cadre de la téléphonie, d'examiner comment un tel signal est obtenu, d'étudier ensuite une réalisation concrète : le système M.I.C. européen normalisé et enfin, d'établir un bilan des avantages offerts.

### Qu'est-ce que la transmission numérique ?

C'est une technique qui consiste, dans une première étape, à mettre l'information (parole, données, images, etc.) sous la forme d'un signal électrique dont l'une des caractéristiques (tension par exemple) au lieu de varier continuellement dans le temps (signal analogique), est périodiquement échantillonnée. On obtient ainsi une succession d'impulsions électriques brèves, d'amplitude variable, séparées par un intervalle de temps « mort », d'une durée supérieure à celle des impulsions (fig. 1).





Dans une seconde phase, on procède à la **numérisation** du signal en mesurant l'amplitude (ou tension) des impulsions et en acheminant le résultat de cette mesure (c'est-à-dire un nombre) sous une forme également impulsionnelle, en code généralement binaire (fig. 2).

Ces impulsions sont dites **logiques**, du fait qu'elles ne peuvent prendre que deux états : 0 ou 1, existence ou non existence. Les spécialistes disent qu'elles sont modulées « par tout ou rien ».

La transmission numérique, comme son nom l'indique, est donc une **transmission de nombres**.

*Fig. 2 : Elaboration d'un signal numérique, par exemple, la première impulsion numérique + 6 v. ; le nombre + 6, traduit en code binaire va donc être acheminé ; dans le temps se succèdent deux impulsions puis une absence d'impulsion : 1,10.*

Toutes les informations peuvent être numérisées, mais, à la fois par mesure de simplification et en raison de son actualité, seule l'application de la technique numérique à la téléphonie sera abordée dans la suite du texte.

### Fabrication du signal numérique

La mise sous forme numérique du signal téléphonique se fait en deux temps :

#### 1 --- Echantillonnage

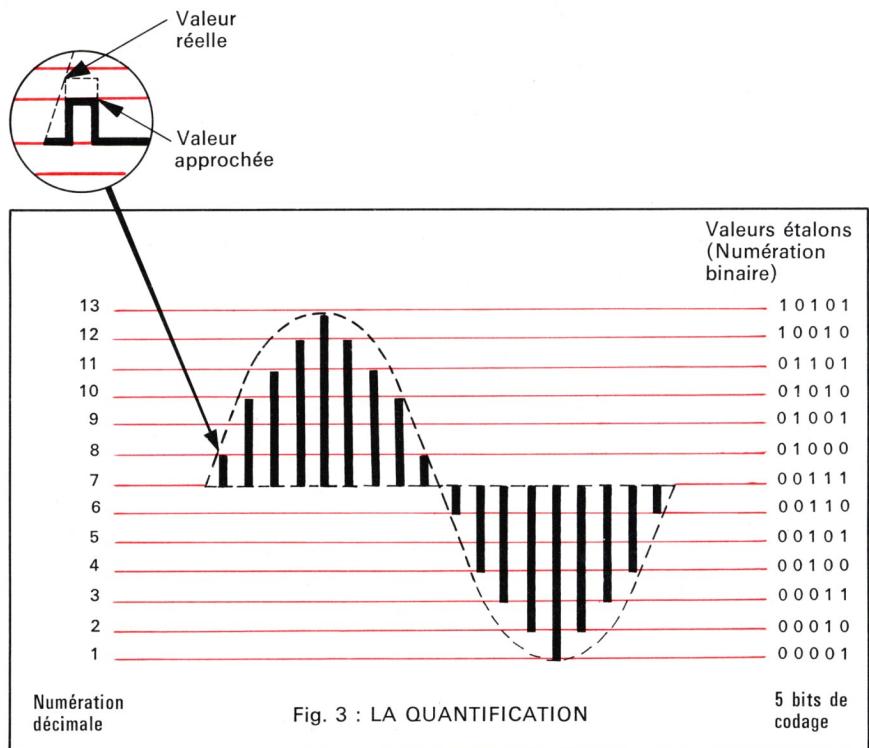
Cette opération consiste à « découper » le signal en impulsions brèves, ou, ce qui revient au même, à prélever des **échantillons** de ce signal.

La théorie enseigne et l'expérience confirme que le signal conserve sa valeur informationnelle si la cadence à laquelle on prélève ces échantillons ou **fréquence d'échantillonnage** n'est pas inférieure à deux fois la bande passante du signal.

Le signal téléphonique étant transmis dans une bande de fréquences limitée à 3 400 Hz, peut donc être remplacé sans inconvenients par une suite d'impulsions séparées par un intervalle de 125 microsecondes,

ce qui correspond à une fréquence d'apparition de  $\frac{1}{0,000\ 125}$  soit 8 000 Hz.

Malgré les intervalles de temps « mort » ou discontinuités existants entre les impulsions, une conversation téléphonique ainsi fragmentée



(2) « bit » : abréviation de « Blnaryt digiT » ; la plus petite quantité d'information possible, par exemple « OUI » ou « NON », « 0 » ou « 1 ». « Élément binaire » (E.B.) est l'expression française correspondante. Les deux versions sont indifféremment employées.

sera, moyennant certaines transformations complémentaires, parfaitement intelligible.

## 2 — Codage

Une fois prélevés, les échantillons sont mesurés ; le nombre obtenu est exprimé ou codé en numération binaire grâce à la combinaison de plusieurs éléments binaires, en abrégé e.b. (ou « bits ») (2). Chaque élément est « matérialisé » sur la ligne de transmission par une impulsion électrique d'amplitude égale à zéro ou à un.

En réalité, pour éviter que le nombre binaire contienne trop de chiffres (ce qui compliquerait inutilement le système et exigerait des performances élevées de la part des lignes téléphoniques) on effectue avant le codage, une deuxième approximation (dans l'espace), l'échantillonnage pouvant être considéré comme une première approximation (dans le temps) : un certain nombre de « paliers » d'amplitude ou **valeurs-étalons** sont prédéterminés et le nombre transmis sera celui du palier qui approche le plus la valeur exacte mesurée (fig. 3). Cette deuxième opération s'appelle la **quantification**. Pour être numérisé, le signal téléphonique subit donc en fait, trois transformations successives : échantillonnage, quantification et codage.

Contrairement à l'échantillonnage, la quantification apporte une altération du signal qui se traduit par un **bruit** dit de « quantification ». Ce bruit sera d'autant moins gênant que les valeurs-étalons seront

plus rapprochées des valeurs réelles. Pratiquement, il s'agit de trouver un compromis qui procure le minimum de bruit sans compliquer trop les installations. Nous verrons plus loin, que ce compromis a été fixé, dans le système M.I.C. européen normalisé, à 256 paliers de quantification (8 bits de codage).

La transformation inverse (numérique-analogique) s'effectue en reconstituant, à partir des nombres binaires reçus, des impulsions d'amplitude proportionnelle à ces nombres et en « intégrant » ces impulsions dans un dispositif approprié (filtre passe-bas) qui restitue au signal sa forme primitive.

La transmission numérique serait moins intéressante si l'on se bornait aux opérations qui viennent d'être décrites. « L'astuce » technique dont il a été question précédemment, consiste à utiliser les espaces où il n'existe rien entre les impulsions, pour y « glisser » des impulsions appartenant à d'autres informations à transmettre. La numérisation s'assortit ainsi d'un **multiplexage** dans le temps (fig. 4).

Le nombre de voies qu'il est possible de réaliser ainsi sur un seul support dépend, d'une part, de la « largeur » de l'espace « vide » existant entre les « trains » d'impulsions représentant les nombres binaires et d'autre part, de la durée de ces « trains ».

Terminons ce paragraphe par deux définitions :

L'association de la technique d'échantillonnage avec celle du codage porte le nom de Modulation par Impulsions et Codage (M.I.C.).

L'alliance de la modulation par Impulsions et Codage avec le multiplexage temporel est désignée sous le nom de « multiplexage M.I.C. ». Nous allons décrire à présent, l'une des versions possibles d'un tel système.

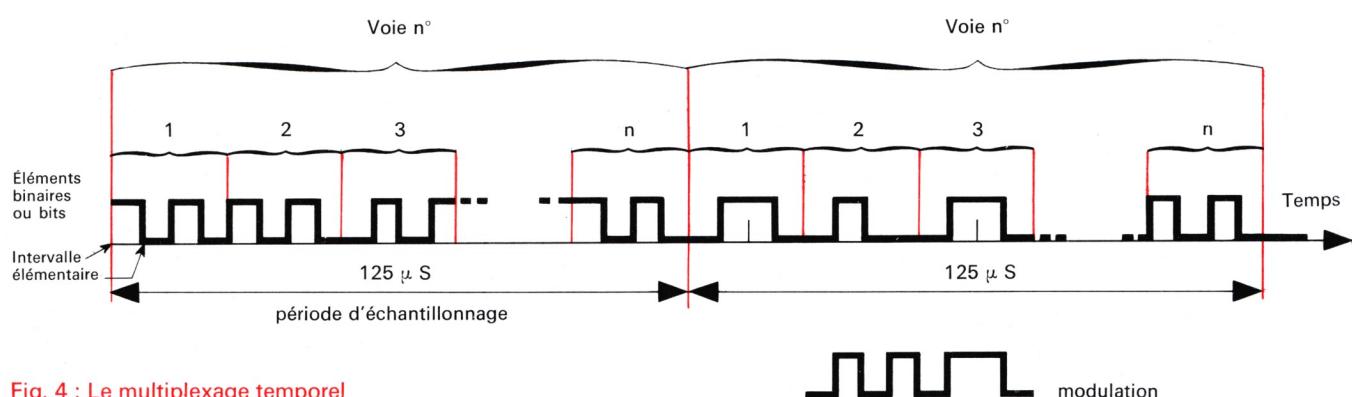


Fig. 4 : Le multiplexage temporel

## Le système M.I.C. européen normalisé

Pour illustrer les considérations générales précédentes, et rester fidèle à l'esprit documentaire des D.I.T., il convient d'examiner une application concrète : le système M.I.C. européen normalisé, appelé aussi système M.I.C. 30 voies ou encore M.I.C.-C.E.P.T.

Un certain nombre de liaisons M.I.C. à 36 voies fonctionnent actuellement en France. Cependant, pour la deuxième génération des systèmes M.I.C., l'Administration a choisi l'un des multiplex recommandés par le Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique (C.C.I.T.T.) : le multiplex à 30 voies et 32 intervalles de temps.

### Caractéristiques du multiplex

(3) Un code numérique est caractérisé par le nombre de signaux élémentaires (correspondant à des bits) qu'il est nécessaire de combiner pour reproduire l'information à transmettre; plus il y a de signaux, plus le nombre de combinaisons possibles est élevé; en binaire, ce nombre est donné par la formule  $2^n$ . Dans le code de 8 bits, le nombre de combinaisons est égal à  $2^8 = 256$ . Ce code permet donc d'exprimer 256 valeurs différentes d'échantillons.

La fréquence d'échantillonnage est de 8 kHz; la **trame**, c'est-à-dire l'ensemble des impulsions binaires existant entre deux échantillons appartenant à la même conversation, dure 125 microsecondes. Le code binaire est à 8 bits (3), chaque nombre binaire comprendra donc 8 chiffres au maximum, représentés par 8 impulsions (ou absence d'impulsions). Le nombre de paliers de quantification est donc égal à  $2^8 = 256$ .

La période d'échantillonnage est divisée en 32 intervalles de temps numérotés de 0 à 31 (en abrégé IT n° 0 à IT n° 31). Chaque inter-

valle de temps dure donc  $\frac{125}{32} \mu\text{s} = 4 \mu\text{s}$ . Les éléments du code binaire

sont numérotés de 1 à 8 et durent chacun  $\frac{4}{8} \mu\text{s} = 0,5 \mu\text{s}$  (fig. 5).

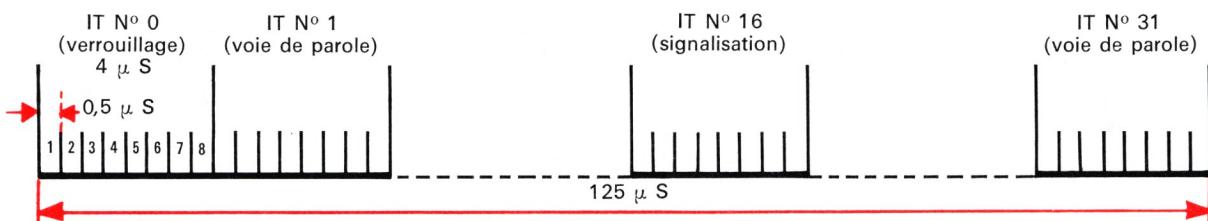
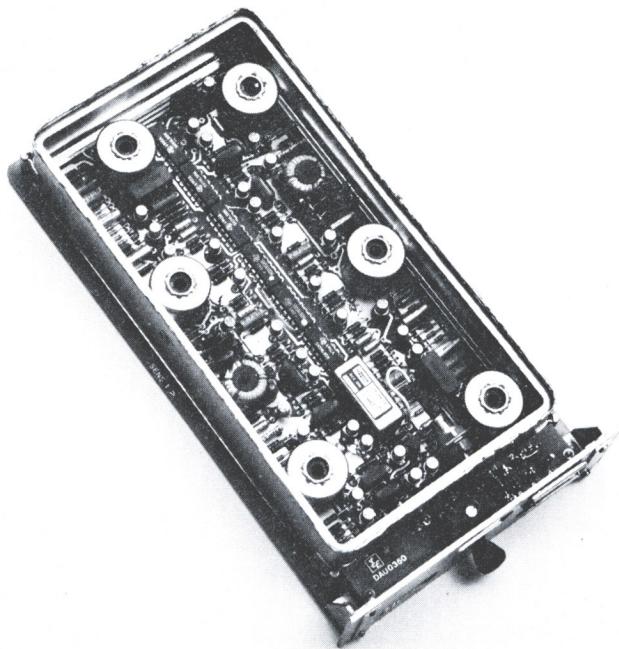


Fig. 5 : Organisation de la trame



Baie d'équipements  
d'extrémité M.I.C.  
30 voies

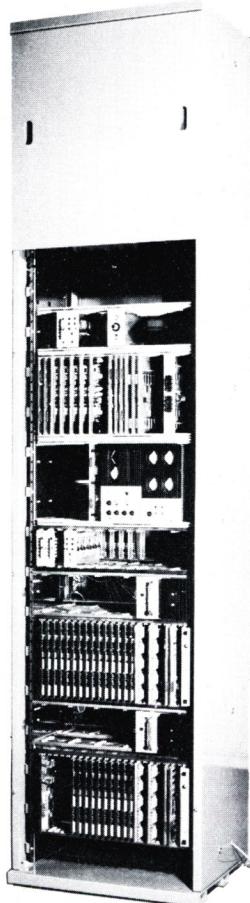


Photo C.N.E.T. - L.T.A.

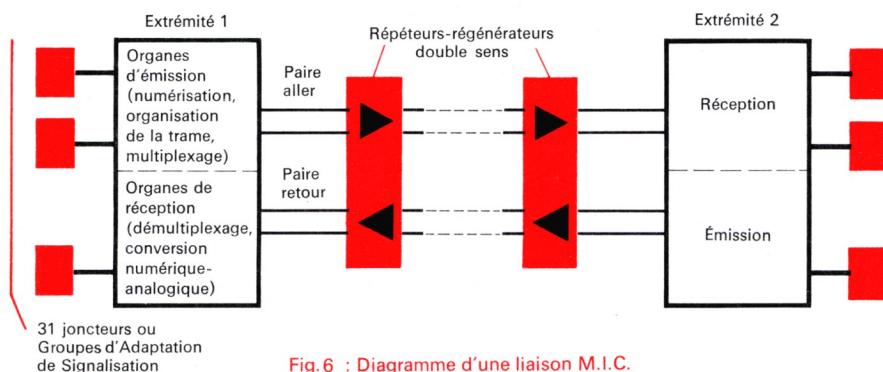


Fig. 6 : Diagramme d'une liaison M.I.C.

Le débit numérique du multiplex est de :  $8\ 000 \times 32 \times 8 = 2\ 048\ 000$  e.b./s ou 2,048 M.e.b./s ou 2,048 M bits/s.

Les 32 voies ainsi formées se répartissent en 30 voies téléphoniques et 2 voies de service assurant, l'une, le repérage des voies à la réception (verrouillage de trame, IT n° 0), l'autre, la signalisation intercentraux (IT n° 16).

La voie affectée à la signalisation étant insuffisante, on associe les éléments binaires de 16 trames pour former une **multitrame**. Ce super signal comporte lui-même un dispositif de verrouillage et permet de constituer 4 voies de signalisation par voie de parole. Comme généralement, il n'en est utilisé que deux au maximum, les 2 voies restantes sont affectées au télégraphe ou à la téléinformatique.

#### Organisation d'une liaison sur câble à paires symétriques (4)

Une liaison M.I.C. 30 voies + 2 comporte les ensembles énumérés ci-après :

(4) Il s'agit d'un exemple; d'autres supports peuvent être utilisés; ainsi, tous les câbles non pupinisés et les faisceaux hertziens, munis d'équipements convenables, sont susceptibles de transmettre des signaux M.I.C.

*Les étapes de la régénération d'un signal numérique (de haut en bas) :*

- signal émis en ligne ;
- le même signal après un parcours de 1 800 m en câble (pris à l'entrée du répéteur-régénérateur) ;
- le signal reçu est d'abord amplifié ;
- puis régénéré (pris à la sortie du répéteur-régénérateur)

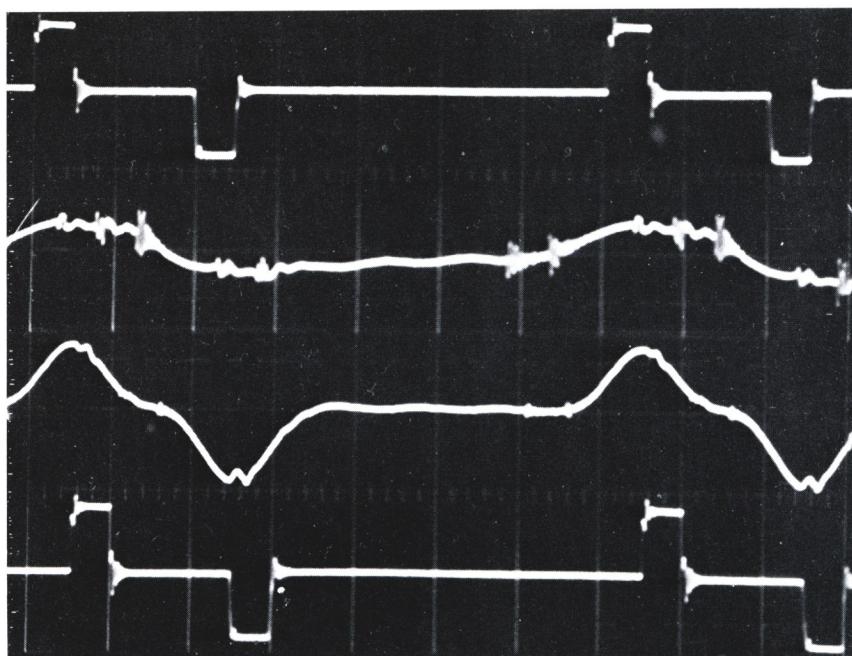


Photo C.N.E.T. - L.T.A.

- des équipements d'extrême assurant notamment, à l'émission, le multiplexage dans le temps des voies (parole et signalisation) la numérisation des signaux et l'organisation de la trame, à la réception, le démultiplexage de toutes les voies, la conversion numérique-analogique et le verrouillage de trame.
- Eventuellement, des ensembles d'organes destinés à permettre l'interconnexion en M.I.C. de centraux appartenant à des systèmes différents ; cette adaptation s'impose en raison de la multiplicité des codes de signalisation ; c'est le rôle des **groupes d'adaptation de signalisation.** (G.A.S.).
- Des équipements divers assurant le transcodage (5), la téléalimentation des répéteurs et la télélocalisation des récepteurs défaillants.
- Reliant les équipements d'extrême décrits ci-dessus, une **ligne de transmission** composée de 2 paires (une paire pour chaque sens), auxquelles s'ajoute une paire auxiliaire commune à plusieurs liaisons et utilisée pour la télélocalisation des répéteurs. Les signaux transmis sur la ligne s'affaiblissent rapidement et doivent être amplifiés puis régénérés : c'est le rôle des répéteurs-régénérateurs.

(5) Pour adapter le signal à la ligne, on convertit le code binaire en un code spécial appelé « HDB 3 » dans lequel chaque élément peut prendre 3 valeurs +1, 0, -1. En outre, le nombre de zéros successifs ne doit pas dépasser 3.

### Les avantages

La transmission numérique M.I.C. comporte de nombreux avantages. Deux d'entre eux ont été évoqués en introduction. Etant donné leur importance, ils méritent d'être analysés plus longuement.

Nous avons vu que le signal de modulation était composé d'impulsions électriques brèves se succédant selon un code binaire. Pour que ce code soit déchiffrable, il suffit que la **présence** ou l'**absence** des impulsions soit bien marquée, leur forme ou leur amplitude important peu.

Cette constatation entraîne une conséquence intéressante : si, à l'entrée des sections d'amplification, l'on s'arrange pour connaître à chaque intervalle élémentaire s'il doit y avoir ou non une impulsion, il est facile de remettre en forme normale une impulsion altérée en cours de transmission : il suffit d'en fabriquer une « neuve » à partir d'un générateur approprié. C'est ce qui fait dire, un peu improprement, que le signal numérique est insensible au bruit et à la distorsion ; en fait, il serait préférable de préciser qu'il est facilement **régénérable**. Cette régénération emporte elle-même deux conséquences : l'absence de cumul des imperfections d'une section d'amplification à l'autre et une qualité de transmission qui ne dépend pratiquement pas de la longueur de la liaison : à la sortie de chaque répéteur-régénérateur, le signal reconstitué est « épuré » du bruit affectant la section de ligne précédente.

Le deuxième avantage important déjà cité est la possibilité offerte par le système M.I.C. de multiplexer dans le temps, plusieurs voies sur un même support. Il n'est pas nécessaire de s'étendre davantage : l'intérêt d'un procédé qui permet de multiplier par 15 au moins, la capacité des lignes de transmission est évident, particulièrement dans une période d'insuffisance de circuits et lignes d'abonnés comme celle que nous connaissons.

D'autres avantages de moindre importance peuvent être signalés. Ils seront simplement énumérés :

- absence de diaphonie entre les voies ;
- possibilité d'utilisation de paires aux performances modestes (notamment, en raison de ses régénéérations successives et de l'élimination périodique du bruit, le signal supporte très bien d'être acheminé par des conducteurs peu protégés contre les risques de diaphonie) ; par exemple, la dépupinisation des câbles existants et leur exploitation en M.I.C. constituent un remède intéressant à la pénurie de lignes de transmissions ;
- adaptation parfaite de la technique M.I.C. aux propriétés des composants à semi-conducteurs. Cette particularité présente un

avantage d'ordre économique appréciable : s'agissant de composants à grande diffusion, non spécifiques aux télécommunications, les coûts sont relativement faibles. En outre, au point de vue de l'entretien, les composants à semi-conducteurs assurent une grande fiabilité aux installations ;

- facilité d'acheminement de la signalisation ; possibilité, en particulier, de transmettre un canal sémaaphore.

Cette liste, bien que non exhaustive, suffit amplement à montrer tout l'intérêt que présente le système M.I.C. dont les avantages justifient les espoirs que l'on place en lui pour améliorer la situation du téléphone.

### **Quelles sont les perspectives d'avenir ?**

Actuellement, les liaisons M.I.C. sont réalisées point à point. Mais dans un très proche avenir, elles seront intégrées dans un réseau commuté numérique. Un tel réseau fonctionne déjà à titre expérimental et en service réel, dans la région de Lannion.

En ce qui concerne la capacité des lignes de transmission, le coefficient multiplicateur de 15 est provisoire. En multiplexant dans le temps plusieurs systèmes M.I.C. 30 voies, il sera possible de transmettre jusqu'à plusieurs milliers de communications sur un seul support : faisceau hertzien, câble coaxial, guide d'ondes et peut-être faisceau laser.

Enfin, une liaison M.I.C. est apte dans son principe et sans précaution spéciale, à transmettre des informations de toute nature : données, télévision, visiophone, etc., pourvu que celles-ci soient mises sous forme numérique.

Ainsi, une telle technique permettra la constitution dans quelques années d'un réseau de télécommunications dont la caractéristique principale résidera dans ses possibilités universelles de transmission.

Nous assistons donc à un « tournant » dans l'évolution des techniques de transmissions, à tel point que certains ont pu dire à ce propos que les télécommunications étaient entrées désormais, dans « l'ère numérique ».



DUKE