

CONSTRUCTION D'UN RESEAU DE DIFFUSION DE DONNEES PAR PAQUETS : LE POINT D'ACCES DIDON*

par Y. NOIREL, Ingénieur TDF

CONSTRUCTION D'UN RESEAU DE DIFFUSION DE DONNEES PAR PAQUETS : LE POINT D'ACCES DIDON*

par Y. NOIREL, Ingénieur TDF

1 INTRODUCTION

Dans un article publié au tout début des études sur DIDON (réf. 1), nous décrivions un multiplexeur vidéo-données en cours de réalisation. Il s'agissait de la traduction sur le plan matériel de la technique de base que constitue le multiplexage par paquets et de choix pouvant se classer en deux catégories :

- a) organisation numérique du paquet (en tête + bloc de données) et description analogique du paquet (normes de modulation et de codage) ;
- b) mode de partage de la ressource disponible.

Rien, au cours de trois années d'utilisation des matériels conçus selon ces choix, ne nous pousse à les remettre fondamentalement en cause.

Les résultats de campagnes de mesure effectuées tant en France qu'à l'étranger (réf. 2, 3, 4) et les impressions tirées de nombreuses discussions internationales confirment les choix effectuées en a) (fig. 1) :

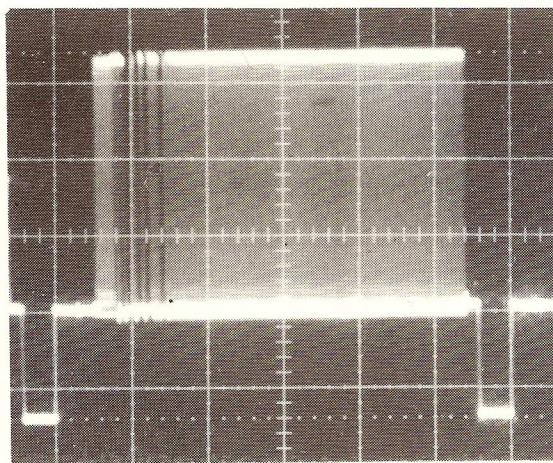


Figure 1

En effet, pour ce qui est de l'organisation numérique du paquet, la nécessité d'un identificateur de voie numérique offrant un champ d'adressage important est une caractéristique jugée aujourd'hui indispensable. Le format, présenté comme étant le seul moyen d'assurer une transparence complète, ne provoque plus les réactions de rejet rencontrées au départ chez les moins « téléradiologiques » de nos interlocuteurs. En ce qui concerne l'indice de continuité, bien

que nous soyons quant à nous persuadés de sa nécessité, il nous reste peut-être un effort à faire afin d'en montrer les utilisations possibles. Quant à la protection de ces informations qui forment le préfixe, la convergence de nos études de laboratoire, basées sur les résultats des campagnes de mesures (et en particulier sur la répartition statistique observée des erreurs), et de contraintes internationales et industrielles nous a conduit à une solution de compromis qui a été expérimentée avec succès lors de campagnes de mesure comparatives des systèmes français et anglais de télécriture menées à l'étranger par divers organismes de diffusion. L'accord international obtenu sur l'ensemble de ces points au niveau de l'U.E.R. (Union Européenne de Radiodiffusion), s'est traduit par la rédaction commune d'un document (réf. 5), contribution de l'U.E.R. au C.C.I.R. (Comité Consultatif International des Radiocommunications).

Les campagnes de mesure en France, effectuées avec une fréquence bit de 6,2 MHz, ont montré que dans l'état actuel des réseaux et avec les équipements de réception aujourd'hui disponibles, 80 à 90 % des usagers de la télévision pouvaient recevoir les données avec un taux d'erreur inférieur à 10^{-4} , donc par exemple bénéficier d'un service de télécriture fiable. Des analyses approfondies faites pendant ces campagnes et destinées à déterminer les causes principales de dégradation ont d'autre part permis d'espérer une amélioration de cette couverture par une spécification plus précise des caractéristiques des émetteurs et réémetteurs (réf. 6). Bien que certains partisans du codage biphasé n'aient pas encore complètement désarmé, il apparaît maintenant que le codage N.R.Z. peut faire face aux situations les plus difficiles par abaissement de la fréquence élément binaire (le codage biphasé peut d'ailleurs être considéré comme un codage secondaire, le codage primaire étant le N.R.Z., qui permet l'introduction de redondance au niveau élément binaire).

Quant aux choix effectués en b), et concernant l'attribution aux différentes sources de données de la ressource disponible, ils ont été faits dans les premiers matériels à des fins de démonstration des caractéristiques du système. Aussi ces matériels ne fournissent-ils actuellement que des accès à des sources de données

locales et pouvant être asservies à travers une jonction parallèle. Ce type de jonction (réf. 7) peut-être considérée comme la jonction « naturelle » de la plupart des équipements informatiques. Toutefois, l'interconnexion à distance de ces équipements nécessite la prise en compte de contraintes, par exemple la sérialisation des données pour leur transmission, et se traduit en ce qui concerne le matériel par l'adjonction, au-delà de cette jonction « naturelle » parallèle, d'une couche d'adaptation au réseau de transmission utilisé. Qui plus est, la jonction parallèle devient le plus souvent inaccessible dans les équipements ordinaires ; ces équipements ne présentent plus alors à l'usager que la jonction caractéristique du réseau sur lequel ils sont destinés à être connectés.

Le problème pratique des raccordements au réseau DIDON des sources de données se trouve donc englobé dans le problème de l'interconnexion de ce réseau de diffusion de données aux réseaux de transmission de données déjà existants.

Ce qui peut apparaître comme un autre aspect de ce problème de raccordement des sources est celui que posent les sources liées à une application exigeant un débit garanti et un certain synchronisme sur la voie numérique utilisée (transmission de son par exemple).

D'autres contraintes nous poussent à faire évoluer les matériels actuels de multiplexage vidéo-données : il s'agit de celles qu'entraînent la construction d'un réseau proprement dit.

S'il est en effet actuellement possible d'établir l'équivalent de liaisons point à point, bien qu'unidirectionnelles, entre un fournisseur d'information et les utilisateurs de cette information, il est difficile de satisfaire les besoins de fournisseurs qui ne souhaiteraient introduire leur information qu'à un certain niveau de la structure arborescente que constitue un réseau de diffusion, et non en tête de cette structure. Cela pourrait être comparé à la structure nationale/régionale de FR3 mais cela est en fait plus complexe car les « décrochages » régionaux de FR3 portent sur la totalité du canal vidéo, alors que, dans notre cas, c'est au niveau de la voie numérique que doit se poser le problème.

Un nouveau type de multiplexeur vidéo-données devra donc permettre :

- l'interconnexion aux autres réseaux de transmission de données ;
- la prise en compte d'applications « synchrones » ;
- l'accès réparti au système de diffusion de données dont il sera la base.

Nous allons voir dans un premier temps quelles sont les implications de ces exigences, puis quelle technique permet de les satisfaire, et enfin quelle est la structure du nouvel équipement de multiplexage développé. Compte tenu des fonctions nouvelles qui lui

sont dévolues, cet équipement a été baptisé « point d'accès DIDON ».

2 CONSEQUENCES FONCTIONNELLES.

En reprenant point par point les objectifs que nous nous sommes fixés dans le paragraphe précédent, nous allons tirer les conséquences quant aux fonctions devant être réalisées.

2.1 Interconnexion aux autres réseaux de transmission de données.

Le niveau physique de l'interconnexion se traduit par la nécessité de disposer d'une structure pouvant accueillir des coupleurs, chaque coupleur étant spécifique d'un réseau considéré. A ce titre, l'accès au réseau DIDON, entrée et sortie, doit être traité par l'intermédiaire d'un coupleur spécialisé.

En ce qui concerne les flux de données, le problème essentiel se pose lors du raccordement à un réseau fournissant des données à une vitesse déterminée sur laquelle l'extrémité réceptrice n'a aucun contrôle. Pour éviter toute perte, le réseau DIDON doit créer une *voie numérique à débit garanti*.

2.2 Prise en compte d'applications « synchrones ».

Si synchrone est entre guillemets dans le titre de ce sous-paragraphe, c'est que ce terme demande à être défini de façon précise. Il peut signifier ici que les informations sont fournies et demandent à être restituées après transmission à un rythme bien régulier.

Il peut également signifier que les informations à transmettre sont liées à l'apparition d'un autre fait et doivent impérativement être prise en compte au moment de cette apparition (par exemple son accompagnant une image transmise de façon numérique ou analogique).

Toutefois, dans tous les cas, on est ramené au problème de la création d'une voie numérique ayant des caractéristiques de débit bien définies, c'est-à-dire *d'une voie numérique à débit garanti*.

2.3 Accès réparti.

L'accès réparti pose le problème de l'insertion de nouvelles données dans un multiplex vidéo-données. Une première méthode vient à l'esprit : retarder le signal d'un temps permettant de s'assurer que la ligne que l'on envisage d'utiliser pour l'insertion d'un paquet n'est pas déjà occupée par un autre paquet. Outre l'emploi d'une ligne à retard à laquelle, en tant que maillon de la chaîne de diffusion, il serait nécessaire d'imposer d'excellentes caractéristiques, cette méthode ne permet pas de tirer profit des principes du découpage en paquets. Elle impose en effet le respect du découpage incident en interdisant un tassement éventuel dont l'effet sur la capacité de transmission disponible serait bénéfique.

Aussi paraît-il préférable d'utiliser la technique de régénération systématique des voies numériques incidentes, c'est-à-dire de l'extraction des données de chacune des voies en vue de leur recréation éventuelle lors du multiplexage avec de nouvelles sources de données. Les sources de données correspondant aux voies numériques incidentes à recréer ne peuvent bien sûr être asservies et sont sujettes à la même remarque que celle faite au paragraphe 2.1 sur les flux de données. La solution, dans ce cas également, est de pouvoir créer des *voies numériques à débit garanti*.

La régénération pure et simple de voies numériques, en restant au niveau paquet, entre bien sûr dans le même cadre et s'accommode de la même technique. Son emploi peut être justifié, par exemple, pour pallier la mauvaise qualité d'un élément du réseau de diffusion ou lors d'un changement de support vidéo ou encore pour assurer la continuité de voies numériques prioritaires...

2.4 Solution.

Les problèmes évoqués dans ce paragraphe, malgré leur diversité apparente, sont donc tous susceptibles de la même solution : la création de voies numériques à débit garanti. La technique à utiliser pour satisfaire ce besoin fera l'objet du paragraphe suivant.

3 TECHNIQUE UTILISEE.

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire, si l'on veut imposer des caractéristiques bien précises au débit d'une voie numérique, de définir de façon tout aussi précise ce que l'on entend par débit d'une voie numérique.

3.1 Débit d'une voie numérique.

Débit maximum. Débit minimum.

Une voie numérique est le lien qu'établit le réseau de diffusion de données par paquets entre une source de données et un terminal utilisant les données fournies par cette source. Elle est délimitée à ses deux extrémités par une jonction numérique (fig. 2) :

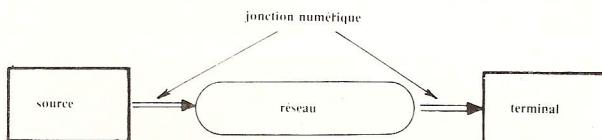


Figure 2

- entre source et réseau côté émission ;
- entre réseau et terminal côté réception.

La ressource totale disponible est par nature discontinue et ce caractère est accentué par son partage entre différents utilisateurs.

La grandeur qui caractérise une voie numérique est le débit d'information sur cette voie. Le caractère discontinue de la transmission impose de définir la période de temps sur laquelle est calculé le débit. On

peut pour cela avoir recours aux paramètres suivants, pour la voie i :

- la taille du tampon d'émission (T_E^i) et la taille du tampon de réception (T_R^i)
- le temps maximum alloué pour le remplissage du tampon d'émission (t_r^i) et le temps maximum alloué pour le vidage du tampon de réception (t_v^i).

La connaissance du débit d'une voie numérique permet de faire face à deux types de contraintes :

- des contraintes d'émission liées au partage de la ressource ;
- des contraintes de réception liées au fonctionnement des terminaux.

Il est en effet capital de ne pas envoyer des données qui seraient perdues pour cause de surcharge des terminaux destinés à les recevoir. Ce problème classique de la téléinformatique prend ici une acuité particulière du fait du caractère unidirectionnel du support de transmission. Une condition suffisante de bon fonctionnement est :

$$T_E^i = T_R^i \text{ et } t_v^i = t_r^i$$

On peut alors définir le *débit maximum* :

$$D_{\max}^i = \frac{R_E^i}{t_r^i} = \frac{T_R^i}{t_v^i}$$

Le non respect des temps limites a des implications différentes selon qu'il s'agit de t_r^i ou de t_v^i :

— Si le temps de remplissage du tampon d'émission est supérieur au temps maximum alloué, la source de données perd une partie de la capacité de transmission qui pouvait lui être allouée. Le débit maximum sur la voie ne sera donc pas atteint.

— Si le temps de vidage du tampon de réception est supérieur au temps maximal alloué, le terminal perd une partie des données émises par la source.

Les paramètres définissant le débit maximum sont à utiliser pour la conception des terminaux destinés à exploiter les données transmises sur une voie numérique caractérisée par ces paramètres.

Le débit sur une voie peut toutefois dépendre de la charge totale du système. Pour compléter la caractérisation d'une voie numérique, il est donc nécessaire de définir le *débit minimum* qui traduit la limite que l'on fixe à cette baisse possible du débit.

3.2 Crédation de voies numériques à débit garanti.

Créer une voie numérique i à débit garanti revient à ne pas accepter pour cette voie un débit minimum inférieur au débit maximum $D_{\max} = T_E^i / t_r^i$, c'est-à-dire à respecter rigoureusement t_r^i , interprété comme étant l'intervalle de temps séparant deux expéditions consécutives du contenu de T_E^i .

Supposons que nous souhaitons créer simultanément un certain nombre de voies numériques à débit garanti. Soit D^i le débit à garantir sur la voie i . La première condition à remplir est bien sûr :

$$\sum_i D^i < C$$

C étant la capacité total de transmission disponible.

Le calcul de la taille minimale que doit avoir le tampon T_E^i devant équiper la voie i peut se faire de la

façon suivante : le système va se mettre dans un état d'équilibre correspondant à une périodicité égale à

$$T = \frac{F}{\inf D^i}$$

F étant la taille maximale d'un bloc.

Il est donc nécessaire que chaque voie numérique dispose à son entrée d'un tampon T_E^i tel que :

$$T_E^i \geq D^i \times t$$

La capacité totale de stockage à l'émission doit donc être :

$$T_E = \sum_i T_E^i \geq t \sum_i D^i$$

$$\text{soit } T_E \geq t \times C$$

Calculons T_E dans le cas où t correspondant à 4 lignes par trame (51,2 keb/s pour $F = 32$ octets) et où t est fixé par une voie à débit très faible (600 eb/s) : on trouve $T_E \geq 21846$ éléments binaires.

4 EVOLUTION DES MATERIELS

Les matériels de multiplexage vidéo-données peuvent être classés en plusieurs générations selon le type de réalisation, câblée ou par logiciel, de deux fonctions principales : la programmation des paramètres et le partage de la ressource.

Sur les matériels de première génération qui constituent la presque totalité du parc actuel, la program-

mation des paramètres est manuelle et le partage de la ressource s'effectue par une logique câblée.

Nous expérimentons actuellement un multiplexeur que nous pouvons considérer comme un matériel de deuxième génération. Le partage de la ressource s'effectue toujours par une logique câblée, offrant simplement par rapport aux matériels précédents la possibilité supplémentaire de créer une voie numérique prioritaire. Mais les paramètres peuvent être téléprogrammés et le multiplexeur fournit un compte-rendu de fonctionnement ; ces fonctions de contrôle et de téléprogrammation sont assurées par un minicomputateur.

Néanmoins, l'analyse des paragraphes précédents montre la nécessité de passer à une troisième génération : celle où les deux fonctions, programmation des paramètres et partage de la ressource, seront assurées par logiciel. Il est en effet difficile de demander à une logique câblée la souplesse nécessaire à la solution des problèmes évoqués. C'est donc une toute nouvelle conception qu'il faut envisager. Elle fait l'objet du paragraphe suivant.

5 STRUCTURE DU POINT D'ACCÈS

5.1 Structure générale.

Le point d'accès peut être considéré fondamentalement comme un nœud de commutation établissant des liaisons entre un ensemble d'entrées et un ensemble de sorties. Ce problème classique trouve une solution classique dans l'adoption d'une structure faite de coupleurs placés sous contrôle d'une unité de commande et de gestion. Nous allons simplement ici proposer une structure générale. L'adaptation de cette structure à l'architecture et aux performances de microordinateurs est le sujet d'études en cours. Cette structure générale est schématisée figure 3 :

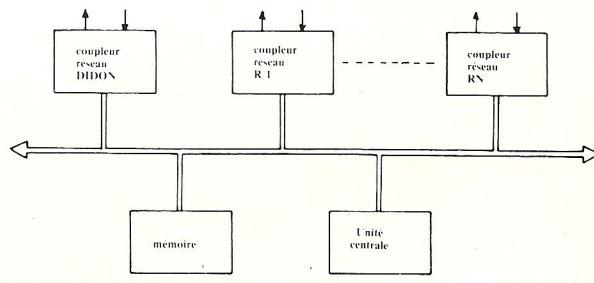


Figure 3

Cette structure est celle des concentrateurs (réf. 8) étudiés dans le cadre du développement de la commutation par paquets (TRANSPAC). Dans chacun des coupleurs réseau R1.... RN est implanté, outre le logiciel de gestion du coupleur, un ensemble de sous-programmes permettant les échanges avec la mémoire commune. Cet ensemble est connu sous le nom de « commutateur de voies virtuelles » (CVV). Une communication inter-réseaux s'établit donc par l'intermédiaire d'une voie virtuelle. La mémoire commune, où sont stockées les données en transit, comporte une table de connexion décrivant les liens établis par les voies virtuelles.

La réalisation actuelle du concentrateur s'appuie sur le système SBC d'Intel. Le format des cartes et l'interface avec le bus (« Multibus ») de coupleurs supplémentaires sont donc fixés.

Pour ce qui est du logiciel, la structure des données en transit est fixée par le CVV qui devra donc être présent sur tout nouveau coupleur.

L'utilisation de microprocesseurs type 8080 fixe le niveau de performance aux environs de 50 keb/s. Pour DIDON, cela correspond à l'utilisation d'environ 4 lignes du signal de télévision par trame, c'est à dire à une application faisant usage de la suppression de trame uniquement. Cela est bien sûr très loin du débit maximum possible mais cela correspond déjà à une classe d'applications qu'il ne faut pas négliger, à savoir celles qui pourraient être mises en œuvre sur les différentes chaînes pendant les heures de programme. En outre, l'évolution de la technologie devrait permettre par simple remplacement des circuits actuels par des circuits plus rapides d'augmenter les performances. En tout état de cause, cette structure fournit un outil de travail déjà prêt et son utilisation nous donnera l'expérience nécessaire à la définition d'une version éventuelle « DIDON plein canal ».

5.2 Le coupleur DIDON.

Pour définir de façon plus précise ce que sera le coupleur DIDON, remarquons que dans la structure définie dans le sous-paragraphe précédent les performances sont limitées essentiellement par le transit des données en mémoire commune. Or, certaines fonctions demandées au point d'accès (réénérgisation, changement de support vidéo) sont des fonctions internes au réseau DIDON. Elles peuvent donc être réalisées à l'intérieur du coupleur de façon plus performante que par l'établissement d'une voie virtuelle (CVV), en privilégiant le lien démodulateur DIDON-modulateur DIDON.

Le coupleur DIDON aura la structure suivante (fig. 4) :

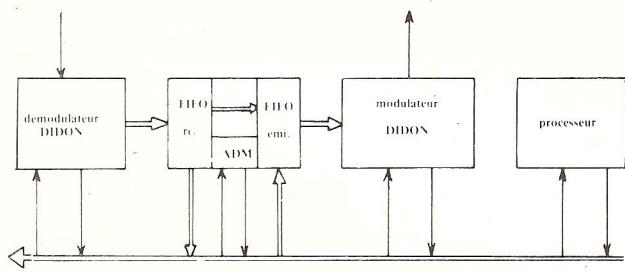


Figure 4

Dans le cas de la régénération simple, la FIFO réception alimente directement la FIFO émission et l'ensemble du coupleur fonctionne de manière autonome par rapport au reste du point d'accès.

Dans le cas où le point d'accès remplit un des rôles pour lesquels il a été spécifiquement conçu (accès réparti, interconnexion de réseaux), les paquets reçus, tamponnés dans la FIFO réception sont dirigés vers la mémoire commune sous le contrôle de l'ADM (accès direct mémoire). Les voies numériques sont

ainsi reconstituées dans cette mémoire commune. Après suppression ou addition de voies sous le contrôle de directives fournies localement ou par l'intermédiaire d'une voie de service, les voies à créer ou recréer donnent naissance à des paquets qui sont stockés dans la FIFO émission avant prise en charge par le modulateur DIDON. Le remplacement de la carte FIFO par une carte « intelligente », capable par exemple d'effectuer sur le plan matériel le tri des voies numériques, augmenterait bien sûr la puissance de traitement.

6 EXEMPLE D'UTILISATION

Prenons l'exemple de l'artère ouest du réseau 3 de TDF (fig. 5) :

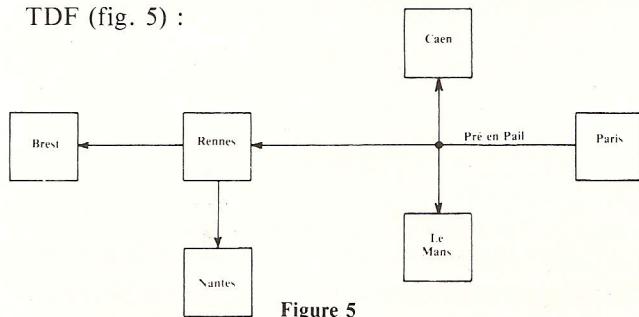


Figure 5

Chaque carré de ce réseau schématisé correspond à un centre émetteur TDF et à un centre de production FR3 (présent ou futur). En restant sur un plan purement technique, chacun de ces carrés deviendrait un point d'accès DIDON lors de la création d'un réseau de diffusion de données.

On voit que dans ce simple exemple, il existe déjà trois niveaux d'entrée dans le réseau :

— premier niveau : Paris où est créé et diffusé le multiplex vidéo-données ;

— deuxième niveau : Caen, Le Mans, Rennes, où est reçu le multiplex créé à Paris, ce multiplex pouvant être modifié (changement de signal d'image, création — suppression de voie numériques) avant sa diffusion ;

— troisième niveau : Brest, Nantes, où est reçu soit le multiplex créé à Paris, soit le multiplex modifié à Rennes, le multiplex pouvant être modifié avant diffusion de la même façon qu'au deuxième niveau.

Il est manifeste que la structure d'un point d'accès permet de centraliser en tête de réseau (Paris) la commande des modifications à apporter sur le multiplex aux différents niveaux. Les commandes seraient alors véhiculées sur une voie numérique réservée à cet effet. Mais ces commandes peuvent également être introduites par une console couplée au point d'accès du niveau auquel s'effectue la modification du contenu de la voie de commande dirigée vers les niveaux inférieurs.

7 CONCLUSION

Le point d'accès DIDON qui vient d'être défini devrait être la « brique » élémentaire utilisée pour la construction d'un réseau de diffusion de données. Il permet, en plus de la fonction de multiplexage assurée

par les matériels actuels, de fournir des entrées à différents niveaux dans le réseau. Il rend beaucoup plus souple le partage de la ressource disponible et il facilite l'interconnexion avec les autres réseaux de transmission de données.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Revue de Radiodiffusion — Télévision n° 40 novembre — décembre 1975. « Un système expérimental de diffusion de données par paquets » Y. NOIREL
 - [2] Revue de Radiodiffusion-Télévision n° 54 septembre-octobre 1978. « Méthodes utilisées et principaux résultats obtenus lors d'une campagne de mesure DIDON dans la région centre-est » G. DUBLET.
 - [3] Swiss PTT Research Department — Septembre 1978. « Data Transmission within the Television channel. Field Trials in Switzerland with three different bit-rates and three types of receivers. »
 - [4] RSI/T/4/79 « Campagne de mesure DIDON en région parisienne : Résultats ». G. DUBLET
 - [5] DOC GT V2 106 version révisée — U.E.R. — Spécifications pour un système proposé de radiodiffusion de données par paquets utilisant le canal de télévision.
 - [6] RSI/T/3/79 « Les émetteurs de télévision et la diffusion de données » J.C. VARDO
 - [7] RSI/1/277/77 « Diffusion de données — Jonctions numériques d'émission et de réception » Y. NOIREL
 - [8] RSI/T/15/76 « Le commutateur de voies virtuelles » A. BACHE — M. LAYEC
-

Tiré à part de la Revue RADIODIFFUSION-TÉLÉVISION — n° 60 novembre-décembre 1979
Éditeur : IPF. (Information-Promotion Françaises) - 12, rue des Fossés-Saint-Marcel - 75005 PARIS