

## RECOMMANDATION UIT-R F.1332\*

UTILISATION DE FIBRES OPTIQUES POUR LE TRANSPORT DE SIGNAUX  
À FRÉQUENCE RADIOÉLECTRIQUE

(Question UIT-R 204/9)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les fibres optiques sont largement utilisées dans les réseaux d'abonnés ou pour le câblage interne des bâtiments;
- b) que les signaux à fréquence radioélectrique transportés par des fibres optiques peuvent être appliqués aux liaisons d'accès des stations de base radioélectriques dans de nombreuses applications hertziennes;
- c) que la technique précitée permet de réduire le volume d'équipement de la station de base radioélectrique;
- d) que la technique précitée présente des avantages en matière de maintenance et d'exploitation,

*recommande*

- 1** que l'on adopte la configuration représentée par la Fig. 1 comme configuration de base d'un système radioélectrique avec fibres optiques dans lequel les signaux à fréquence radioélectrique sont transportés directement par les fibres optiques;
- 2** l'utilisation des systèmes radioélectriques avec fibres optiques dont on peut attendre les avantages suivants:
  - simplification de l'équipement des stations périphériques (SP) et réduction des coûts de maintenance et d'exploitation, grâce à une utilisation intensive de modulateurs et de démodulateurs dans une station centrale (SC);
  - utilisation d'un commutateur de distribution spectrale, présenté dans la Fig. 2, susceptible de réduire le nombre total de canaux radioélectriques nécessaires pour toutes les SP du système d'accès multiple;
- 3** que l'on envisage la mise en œuvre des applications possibles indiquées dans le Tableau 1 pour le service fixe utilisant un système radioélectrique avec fibres optiques;
- 4** que, pour l'exploitation dans les bandes des hautes fréquences, supérieures à environ 10 GHz, on choisisse la fréquence centrale d'un modulateur dans les bandes des fréquences intermédiaires (FI);
- 5** que, pour la conception des systèmes radioélectriques avec fibres optiques, on mette en pratique les informations techniques données dans l'Annexe 1.

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 8 (Groupe de travail (GT) 8A) des radiocommunications et de la Commission d'études 15 (GT 4) de la normalisation des télécommunications.

TABLEAU 1

**Applications possibles pour le service fixe utilisant des systèmes radioélectriques avec fibres optiques**

Zone de service	A l'intérieur des bâtiments	A l'extérieur des bâtiments	
Application	Réseau local hertzien d'entreprises local (RLAN)	Boucle locale hertzienne	Service transportable
Terminal d'utilisateur	Module de réseau d'entreprises local (LAN)	Terminal de système cellulaire pour terminal point à point/point à multipoint (utilisation fixe)	Terminal transportable pour vidéo/données
Fréquences radioélectriques possibles <sup>(1)</sup>	Ondes décimétriques/centimétriques/millimétriques	Ondes décimétriques/centimétriques	Ondes centimétriques/millimétriques
Technique d'accès dans la liaison radioélectrique	AMRT-AMRC	AMRT-AMRC-AMRF	AMRT-AMRC-AMRF

AMRT: accès multiple par répartition dans le temps

AMRC: accès multiple par répartition en code

AMRF: accès multiple par répartition en fréquence

<sup>(1)</sup> Ondes décimétriques: 300-3 000 MHz  
Ondes centimétriques: 3-30 GHz  
Ondes millimétriques: 30-300 GHz.

## ANNEXE 1

**1 Introduction**

Les futurs réseaux numériques à intégration de services (RNIS) à large bande (RNIS-LB) utiliseront sur une grande échelle des fibres optiques dans les réseaux d'abonnés, mettant ainsi en œuvre le concept de la fibre desservant le bureau ou de la fibre desservant l'habitation. D'un autre côté, les clients souhaiteront peut-être recourir aux divers services fournis par un RNIS-LB dans des applications hertziennes. Parmi ces applications, citons la boucle locale hertzienne, les terminaux transportables pour données/vidéo et les ordinateurs personnels transportables utilisés pour les modules des RLAN. Pour répondre efficacement à ces demandes, il y aura lieu de mettre en service des systèmes radioélectriques avec fibres optiques dans lesquels les signaux à fréquence radioélectrique sont transmis directement par des fibres optiques.

La présente Annexe expose le principe de base et le fondement technique de ces systèmes.

**2 Configuration de base des systèmes radioélectriques avec fibres optiques**

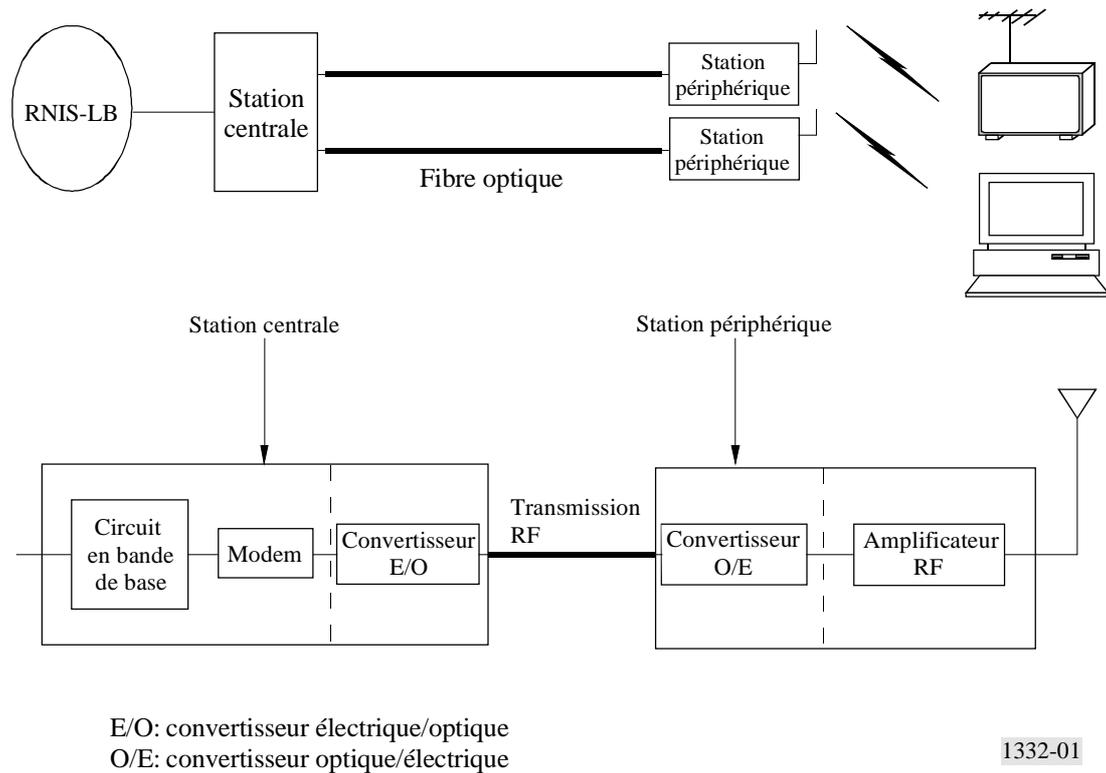
La Fig. 1 montre qu'un système radioélectrique avec fibres optiques se compose d'une SC, de SP et de liaisons à fibres optiques entre ces stations. Un tel système peut former une infrastructure pour des réseaux d'accès qui fournissent des services hertziens sur les terminaux d'utilisateurs.

Dans un équipement radionumérique classique, on installe généralement un modulateur/démodulateur et un amplificateur de puissance dans une même station. En revanche, dans les systèmes radioélectriques avec fibres optiques, une SC est équipée de plusieurs modems qui desservent le plus souvent plusieurs SP (voir la Fig. 2). Dans le système représenté à la Fig. 2, il faut mettre en œuvre dans de nombreux cas une technique d'accès multiple pour satisfaire les demandes de trafic émanant d'un grand nombre de terminaux sans fil. La SC a aussi pour fonction de gérer la technique d'accès en utilisant efficacement le spectre des fréquences. En pareils cas, la relation entre les SC et les SP équivaut à celle des systèmes radioélectriques du type point à multipoint pour les réseaux d'abonnés.

Dans la Fig. 2, un commutateur de distribution spectrale (CDS) installé dans la SC est une des versions des méthodes de gestion centralisée. Ce commutateur est capable d'affecter toute porteuse radioélectrique à toute SP, en fonction de la demande de trafic. Cette technique d'affectation dynamique des voies par CDS est efficace pour réduire la probabilité de blocage. En d'autres termes, pour une valeur fixe de la probabilité de blocage, le CDS réduit le nombre total de voies radioélectriques nécessaires pour toutes les SP.

FIGURE 1

## Configuration de base d'un système radioélectrique avec fibres optiques



Il existe toutefois une limite supérieure, pour des raisons d'ordre technique, à la fréquence radioélectrique pouvant être transmise par des fibres optiques; cette limite est imposée par la vitesse de fonctionnement du convertisseur E/O (et O/E). Dans les cas où l'on a besoin d'un convertisseur E/O (et O/E) à bon rapport coût/efficacité pour la mise en œuvre des systèmes radioélectriques avec fibres optiques, une transmission FI pourrait être indiquée car les convertisseurs fonctionnent dans les bandes FI. Après transmission sur la liaison en fibre optique, les porteuses FI sont converties en fréquences radioélectriques dans la station périphérique (voir la Fig. 3).

### 3 Application des systèmes radioélectriques avec fibres optiques

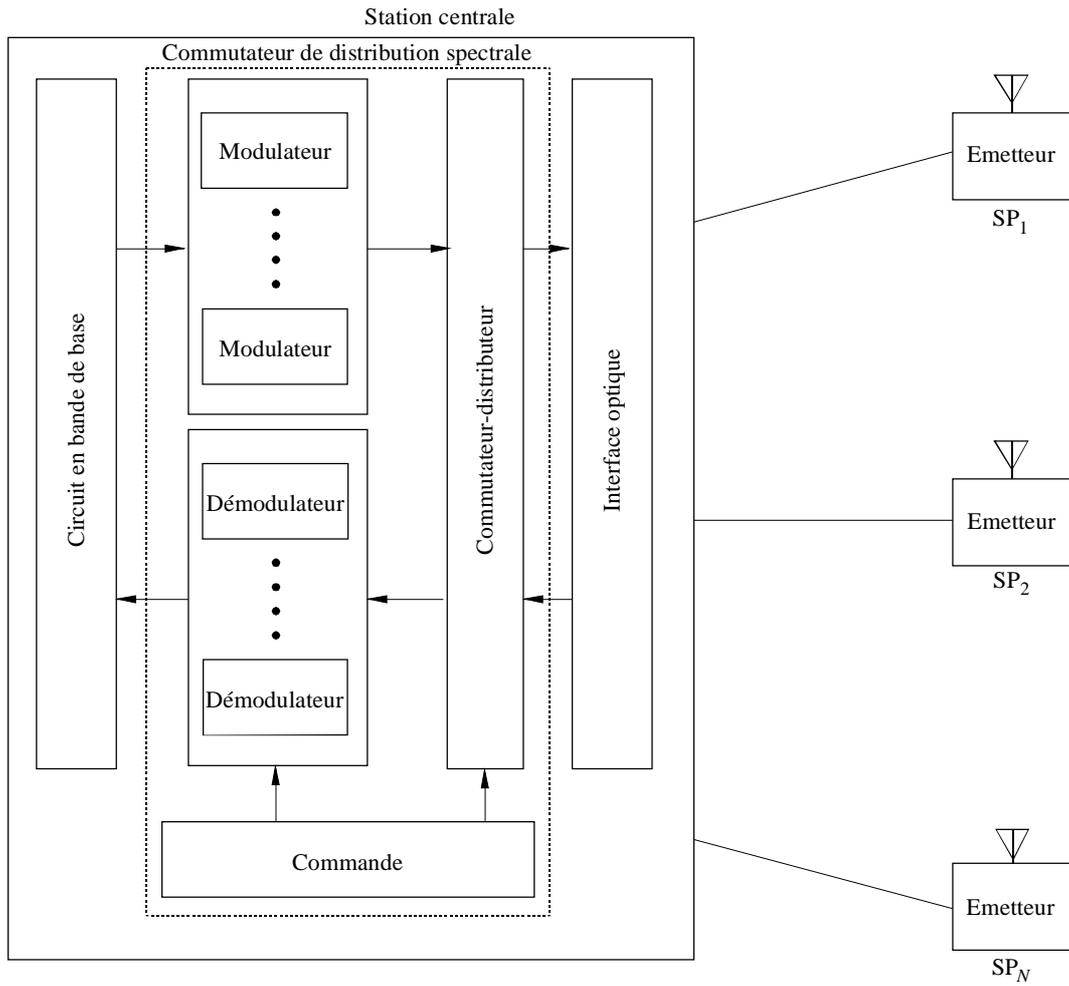
La Fig. 4 illustre deux catégories d'applications des systèmes radioélectriques avec fibres optiques. Dans la Fig. 4a), une SP joue le rôle de module central pour un LAN fonctionnant dans chaque bureau d'une entreprise, tandis que la SC gère l'affectation des voies radioélectriques utilisées par toutes les SP. La Figure met en évidence les avantages suivants des systèmes radioélectriques avec fibres optiques:

- la quantité d'équipement diminue dans une SP, en raison de la séparation entre le modulateur/démodulateur et l'amplificateur de puissance. Cela simplifie le choix des emplacements pour les SP,
- les équipements de la SC sont concentrés dans une seule salle; ce sont les interfaces de réseau et les modules de service qui fournissent le service vocal, le service numérique par paquets, etc. De ce fait, les travaux de maintenance et de remplacement de tel ou tel équipement peuvent être faits efficacement et rapidement.

La Fig. 4b) donne un exemple d'applications en dehors des bâtiments. Une SP fournit une liaison d'accès sans fil à un certain nombre d'habitations situées dans une zone de service. La SC a pratiquement les mêmes fonctions que dans les systèmes mis en œuvre à l'intérieur des bâtiments et on peut s'attendre à bénéficier aussi dans cette application, des avantages signalés plus haut. Dans les systèmes classiques, l'équipement radioélectrique est généralement installé sur un pylône élevé ce qui présente inévitablement des dangers dans les travaux de maintenance. Or, ces travaux peuvent être considérablement réduits dans les systèmes radioélectriques avec fibres optiques.

FIGURE 2

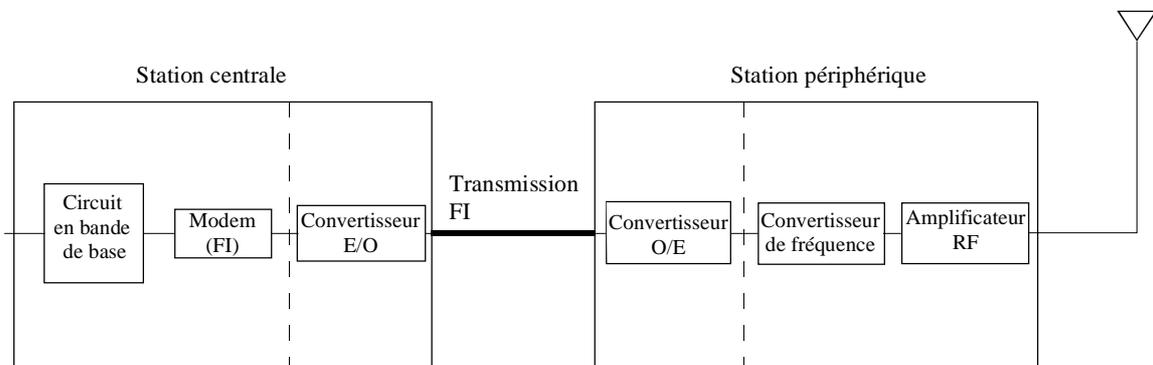
Equipement de distribution du spectre radioélectrique dans la station centrale



1332-02

FIGURE 3

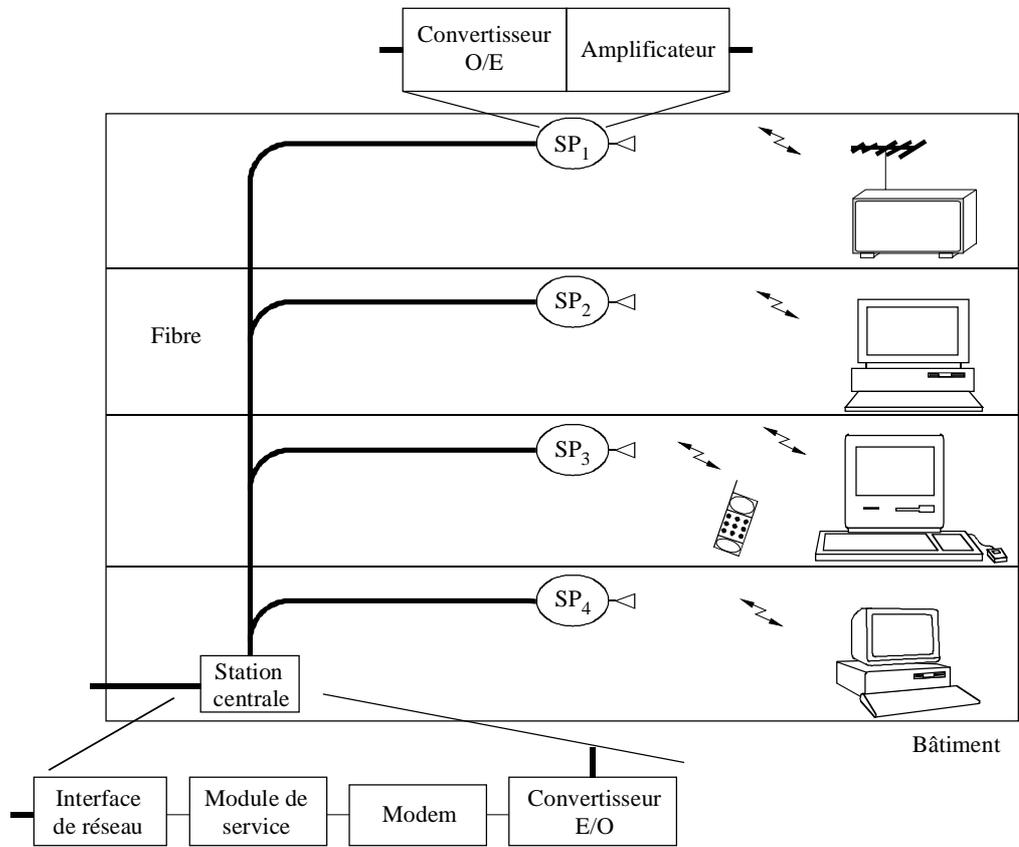
Transmission FI dans les systèmes radioélectriques avec fibres optiques



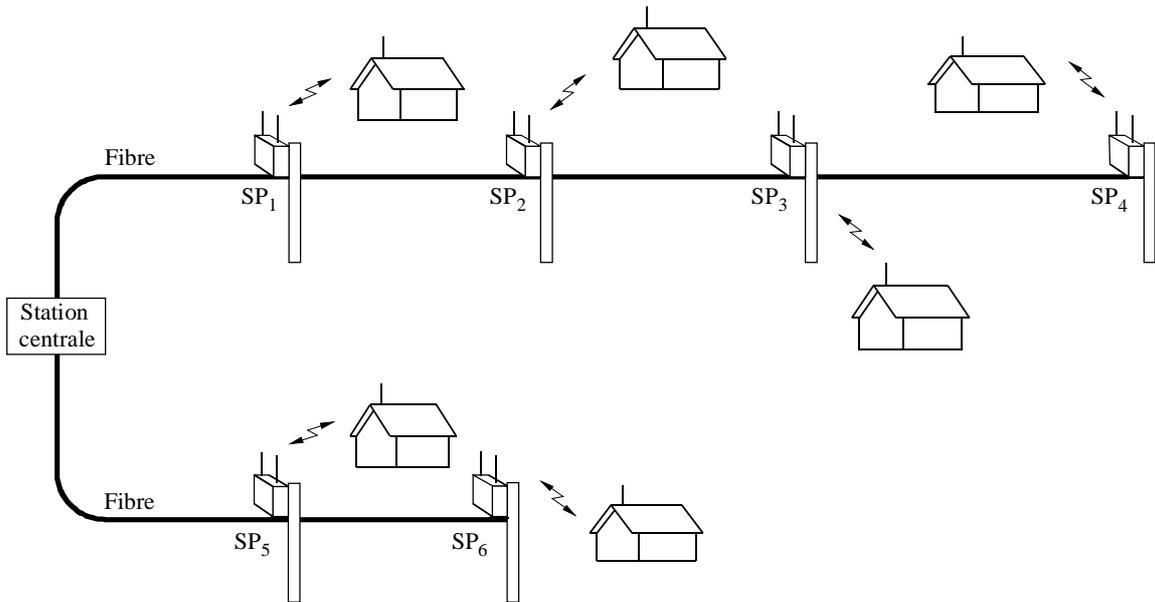
1332-03

FIGURE 4

Exemples d'applications hertziennes mettant en œuvre des systèmes radioélectriques avec fibres optiques



a) Application intérieure



b) Application extérieure

#### 4 Problèmes techniques

Dans les systèmes radioélectriques avec fibres optiques, on applique généralement une technique de multiplexage de la sous-porteuse. Du côté du convertisseur E/O, plusieurs signaux de sortie des modulateurs, avec des fréquences différentes, sont multiplexés dans le combineur. Ensuite, le signal combiné, composé de plusieurs sous-porteuses, module directement la diode laser. De cette façon, les sous-porteuses peuvent être transmises simultanément par la fibre optique. La diode laser produit un signal optique modulé dont l'intensité est proportionnelle au courant électrique d'entrée.

En sens inverse, une photodiode placée dans le convertisseur O/E convertit la puissance optique reçue en puissance électrique, avec une réponse linéaire. Chaque voie radioélectrique désirée est isolée par un filtre électrique après la photodétection.

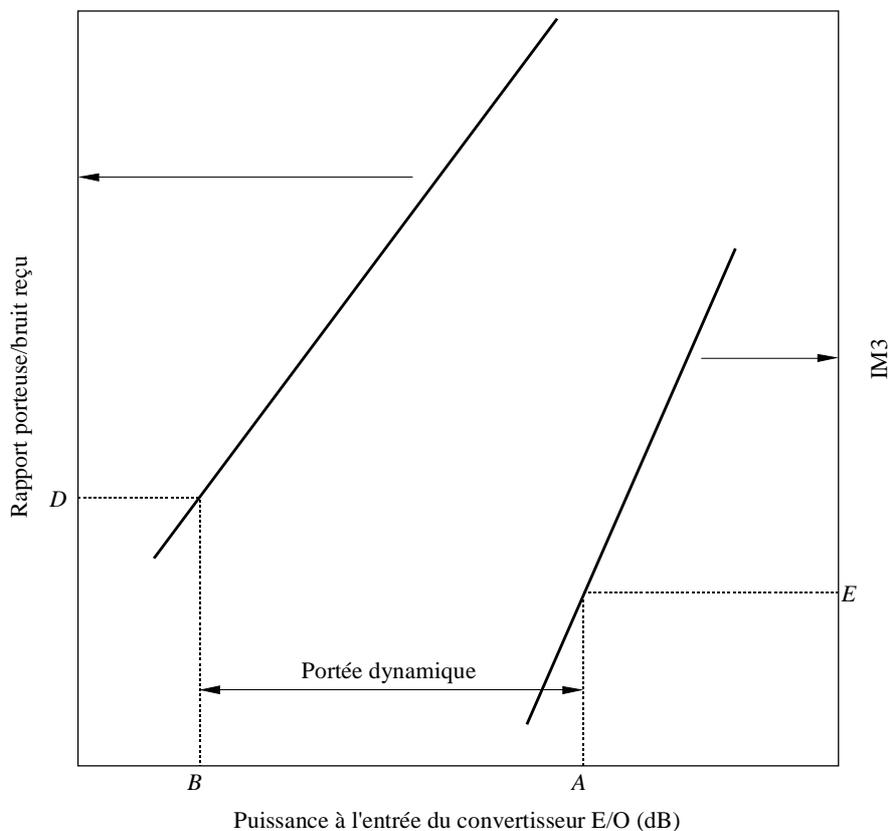
Pour les applications extérieures avec microcellules, la puissance du signal reçu subit un évanouissement lent ou peu profond; elle diminue selon la loi bien connue de l'inverse de la quatrième puissance entre une SP et un terminal sans fil. Lorsqu'une SP n'est plus en position de visibilité directe, le signal reçu décroît brusquement du fait de l'affaiblissement par diffraction.

En règle générale, le récepteur d'une SP reçoit deux signaux ou davantage, dont les niveaux sont très différents; il est donc difficile de choisir un gain adéquat pour tous les signaux. Un système radioélectrique avec fibres optiques doit par conséquent avoir une grande portée dynamique sur la liaison montante (de SP vers SC). C'est ce qu'on appelle un problème d'adaptation à la distance. La dynamique est limitée par le bruit et par le fonctionnement non linéaire de l'ensemble de la liaison. Il est important de remédier à la non-linéarité des dispositifs optiques et de l'équipement radioélectrique.

La limite supérieure du niveau à l'entrée du convertisseur E/O est déterminée en grande partie par la non-linéarité de ce convertisseur. Dans la Fig. 5, le niveau d'entrée  $A$  produit le niveau maximum admissible,  $E$ , de IM3. Par ailleurs, la limite inférieure du niveau à l'entrée du convertisseur E/O dépend de la valeur requise du rapport porteuse/bruit,  $D$ , correspondant au niveau  $B$ . Dans ce cas, la portée dynamique du convertisseur E/O est définie par  $A - B$  (dB).

FIGURE 5

##### Portée dynamique d'une liaison en fibre optique

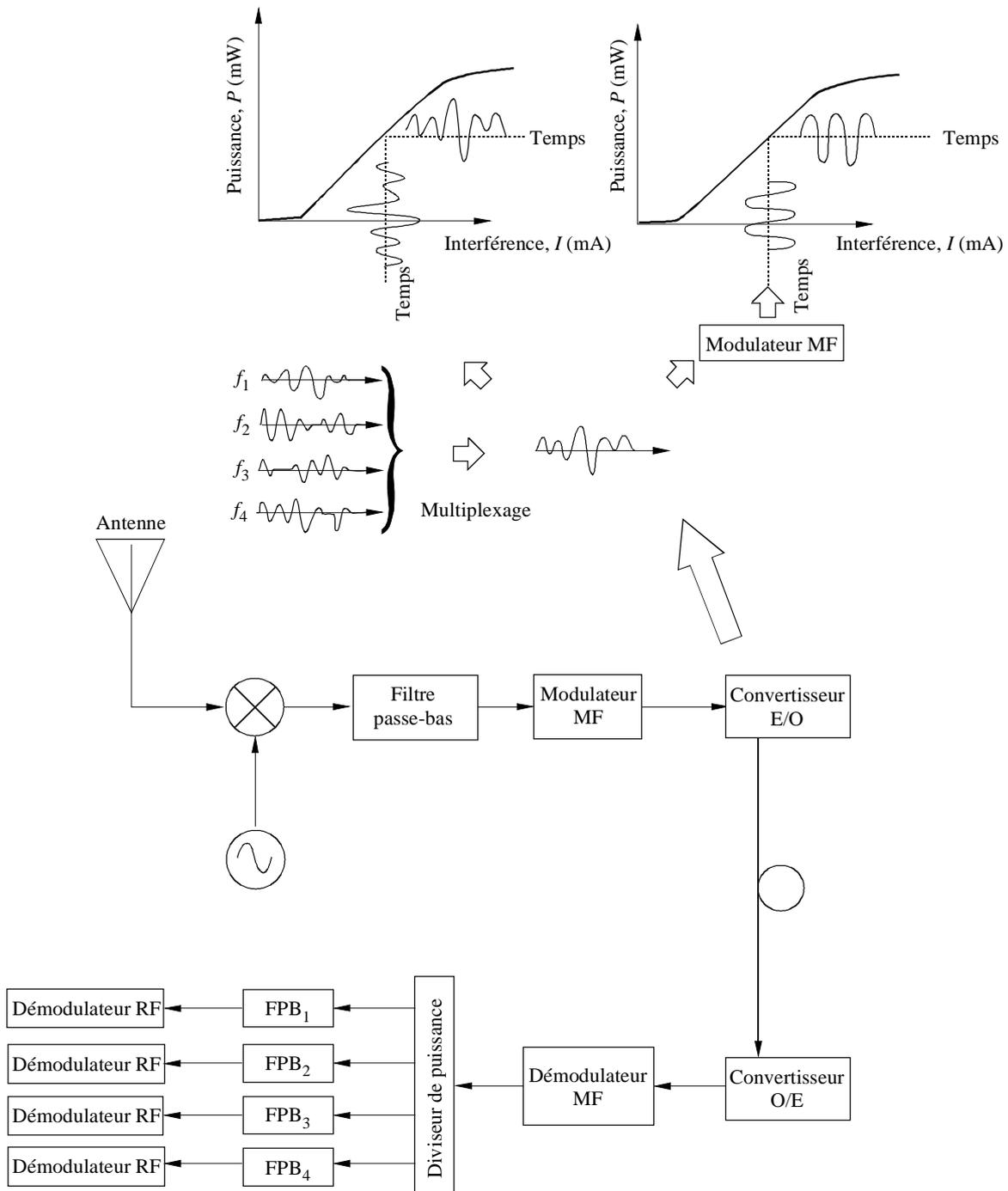


$D$ : valeur requise du rapport porteuse/bruit (niveau de seuil)

$E$ : niveau maximal admissible de IM3

On a proposé une technique améliorée, avec un modulateur MF, pour augmenter la dynamique. Cette méthode est illustrée schématiquement par la Fig. 6. Dans la méthode classique, la porteuse à faible niveau risque d'être affectée par le brouillage IM3 dû à la non-linéarité. En revanche, un modulateur MF permet de maintenir constant le niveau de signal à l'entrée du convertisseur E/O. La valeur de crête du courant d'injection de la diode laser demeure presque constante, bien que la largeur de spectre du signal MF varie avec la fréquence maximale et la tension de crête du signal MF.

FIGURE 6  
Illustration schématique de la technique MF pour la liaison montante

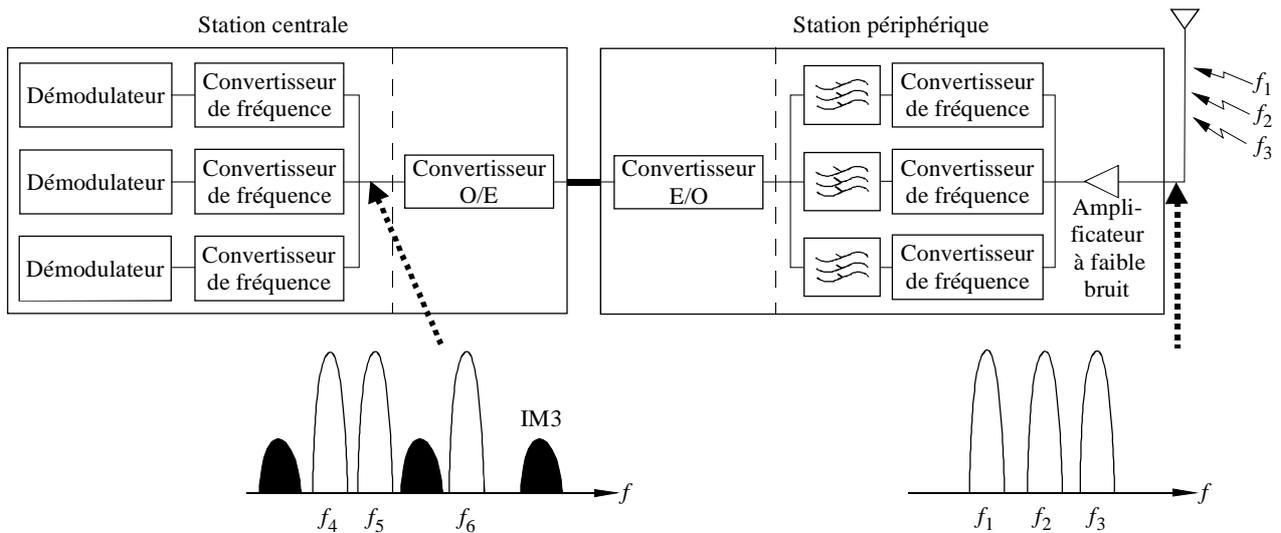


FPB: filtre passe-bande

La Fig. 7 illustre une autre technique qui a été proposée pour augmenter la dynamique: c'est la technique d'extraction du signal et d'aménagement des fréquences sur la fibre. Les signaux non désirés provenant d'autres cellules sont éliminés avant la modulation optique. En extrayant les signaux désirés, de fréquences  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$  dans la SP, et en remplaçant ces fréquences par  $f_4$ ,  $f_5$  et  $f_6$  respectivement, on empêche le signal IM3 à deux fréquences ( $2f_2 - f_1$ ) de brouiller le signal  $f_3$ . La diode laser est modulée par les signaux dont la fréquence a été changée. Bien entendu, la puissance de chaque signal extrait peut être réglée par une commande automatique de gain ou par un limiteur. Etant donné qu'on peut négliger la non-linéarité de la diode laser, la technique d'extraction du signal et d'aménagement des fréquences permet d'accroître l'indice de modulation optique, conduisant à l'amélioration du rapport porteuse/bruit.

FIGURE 7

## Principe de la technique d'extraction du signal et d'aménagement des fréquences



1332-07

Il faut déterminer les pertes optiques admissibles, y compris les pertes dans les connecteurs optiques, pour faire en sorte d'atteindre la qualité souhaitée en matière de rapport porteuse/bruit total, en fonction des diverses méthodes de modulation radioélectrique. Un des paramètres clés est le retard de transmission sur la fibre entre une SC et les SP, notamment dans les systèmes AMRT-DRT (duplex par répartition dans le temps). Ce retard est d'environ  $5 \mu\text{s}/\text{km}$  dans une fibre monomode conforme aux dispositions des Recommandations UIT-T G.652, UIT-T G.653 ou UIT-T G.655. Pour les deux sens de transmission d'une liaison, le retard peut dépasser l'intervalle de garde entre les instants d'émission et de réception.