

## RECOMMANDATION UIT-R S.1420

**QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT DU MODE DE TRANSFERT ASYNCHRONE  
PAR SATELLITE DANS LE RÉSEAU NUMÉRIQUE AVEC INTÉGRATION  
DES SERVICES À LARGE BANDE**

(Questions UIT-R 78/4 et UIT-R 75/4)

(1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les satellites fonctionnant dans le service fixe par satellite jouent un rôle important dans la mise à disposition de communications numériques internationales fiables;
- b) que, en conséquence, la qualité de fonctionnement des satellites doit être suffisante pour permettre la réalisation des objectifs de qualité de fonctionnement définis dans la Recommandation UIT-T I.356 en ce qui concerne les caractéristiques du transfert de cellules de la couche en mode de transfert asynchrone (ATM, *asynchronous transfer mode*) du réseau numérique avec intégration des services à large bande (RNIS-LB);
- c) que, dans la définition des critères de qualité de fonctionnement, il est nécessaire de tenir compte de toutes les caractéristiques spécifiques du support utilisé pour la transmission en mode ATM,

*recommande*

- 1 que les objectifs spécifiés dans la Recommandation UIT-T I.356 (voir la Note 1) soient réalisés dans les parties des connexions englobant des liaisons par satellite qui assurent une transmission en mode ATM dans le RNIS-LB;
- 2 que les objectifs précités soient satisfaits uniquement pendant la durée de l'état de disponibilité de la liaison par satellite (voir la Note 2);
- 3 que le modèle de référence décrit dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation soit considéré comme une base pour l'élaboration de méthodes et de techniques permettant d'atteindre les objectifs de la Recommandation UIT-T I.356 dans le contexte exposé ci-dessus;
- 4 que les allocations des objectifs de qualité de fonctionnement en mode ATM aux parties de connexions englobant des liaisons par satellite incluses dans une communication fictive de référence (CFR) destinée à des systèmes ATM dans le RNIS-LB soient conformes aux allocations présentées dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation;
- 5 que les méthodes de conversion présentées dans l'Annexe 1 soient utilisées dans l'évaluation des niveaux de qualité de fonctionnement des systèmes à satellites conçus pour l'acheminement du trafic en mode ATM (voir la Note 3);
- 6 que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie intégrante de la présente Recommandation.

NOTE 1 – Les systèmes de transmission par satellite qui acheminent du trafic en mode ATM mais ne font pas partie d'une connexion internationale sortent du cadre de la Recommandation UIT-T I.356. En pareil cas, les objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 ne sont pas applicables à ces systèmes de transmission.

NOTE 2 – La Recommandation UIT-T I.357 spécifie les objectifs de disponibilité en mode ATM dans le RNIS-LB pour des connexions semi-permanentes. Un complément d'étude est nécessaire en ce qui concerne la disponibilité des connexions commutées en mode ATM dans le RNIS-LB. La Recommandation UIT-R S.1424 traite des paramètres et des objectifs de disponibilité des systèmes à satellites fonctionnant en mode ATM.

NOTE 3 – L'Annexe 2 contient un texte d'information sur la qualité de fonctionnement générale en mode ATM par satellite.

## Objectifs de qualité de fonctionnement dans la couche ATM du RNIS-LB et méthodes de conversion pour les liaisons par satellite

### 1 Champ d'application

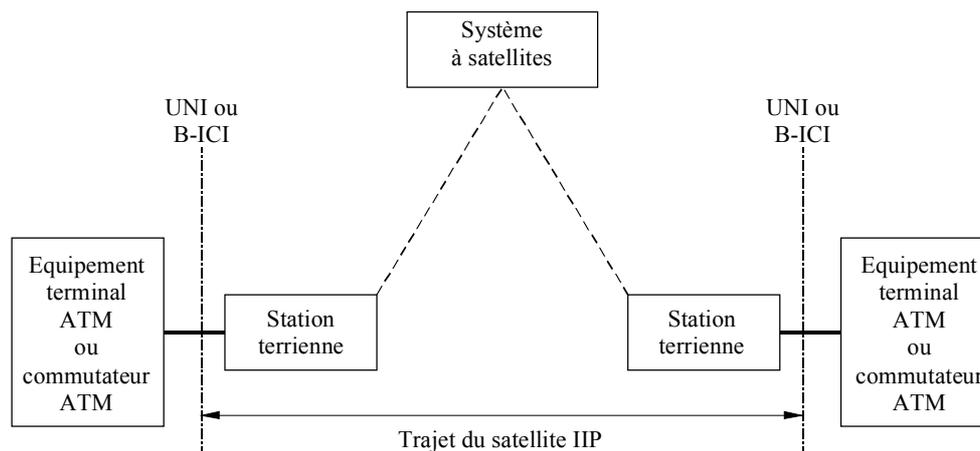
La présente Annexe décrit un modèle de référence applicable à la partie internationale de connexions par satellite en mode ATM ainsi que des méthodes de conversion permettant de passer des paramètres de fonctionnement de la couche ATM au taux d'erreur binaire (TEB) de la liaison par satellite. On trouvera la définition des CFR et les paramètres de fonctionnement en mode ATM des différentes parties des CFR dans la Recommandation UIT-T I.356. L'utilisation de systèmes à satellites dans d'autres parties des connexions doit faire l'objet d'un complément d'étude.

### 2 Modèle de référence

La Fig. 1 représente un modèle de référence qui permet d'interpréter l'allocation des objectifs de qualité de fonctionnement aux parties «spatiales» d'une connexion ATM. Il est à noter que le trajet du satellite peut comprendre les stations terriennes et un satellite transparent unique («récepteur avec sélection de mode par guide d'ondes coudé») ou une série de satellites. Certains systèmes à satellites peuvent être équipés de fonctions de traitement embarqué ou de commutation ATM et comprendre des liaisons inter-satellites (LIS). Le segment de Terre du trajet du satellite en mode ATM comprend les équipements de stations terriennes (antennes, amplificateurs, convertisseurs-élévateurs de fréquences, convertisseurs-abaisseurs de fréquences, modems, etc.) et tout équipement ATM propre au satellite susceptible d'être utilisé sur le trajet du satellite. Le point de mesure international (MPI, *measurement point international*) correspondant à la ligne de démarcation entre le réseau ATM national et le réseau ATM international. Le MPI peut être une interface utilisateur – réseau (UNI, *user-network interface*) ou une interface inter-opérateur à large bande (B-ICI, *broadband inter-carrier interface*). La partie internationale entre opérateurs (IIP, *international inter-operator portion*) désigne la partie entre deux MPI.

FIGURE 1

Modèle de référence relatif à un trajet d'un satellite fonctionnant en mode ATM



1420-01

Les satellites servent notamment à assurer la connectivité entre des réseaux ATM distincts situés dans différents pays. En pareil cas, le réseau ATM de Terre assurera généralement l'interface avec le sous-réseau du satellite par l'intermédiaire d'une UNI (ou B-ICI). Etant donné que ce point d'interface n'est pas toujours situé au même endroit que la station terrienne par satellite, il y a parfois une certaine distance sur la surface terrestre entre le nœud de la passerelle de Terre et la station terrienne.

### 3 Objectifs de qualité de fonctionnement en mode ATM pour les liaisons par satellite

Le présent paragraphe donne une interprétation des objectifs de qualité de fonctionnement définis dans la Recommandation UIT-T I.356 et expose les prescriptions applicables à la ou aux parties «spatiales» d'une connexion ATM.

Les paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement d'un réseau en couche ATM de bout en bout dans le RNIS-LB sont définis dans la Recommandation UIT-T I.356. Pour tenir compte des caractéristiques et des exigences propres aux différents types de trafic, la Recommandation UIT-T I.356 définit diverses classes de qualité de service. La classe 1 (classe sévère) est sensible au temps de transfert et vise à assurer des services à débit binaire constant et à débit binaire variable (DBV) en temps réel (téléphonie et visioconférence par exemple). La classe 2 (classe tolérante) tolère le temps de transfert et sert à assurer des services à débit binaire disponible et à DBV en temps non réel (transmission vidéo et de données par exemple). La classe 3 (classe à deux niveaux) permet d'offrir des services DBV et à débit binaire disponible (transmission de données à grande vitesse) et la classe 4 (classe non spécifiée) sert à fournir des services à débit binaire non spécifié comme le transfert de fichiers et le courrier électronique. On trouvera dans le Tableau 1 les objectifs de qualité de fonctionnement d'un réseau en couche ATM pour ces différentes classes de qualité de service (voir la Note 1). Ces objectifs pourront être révisés ultérieurement compte tenu de l'expérience acquise dans la pratique (voir la Note 2).

NOTE 1 – Au cours d'une réunion tenue en juin 1998, la Commission d'études 13 de la Normalisation des télécommunications a accepté provisoirement d'ajouter dans la nouvelle version de la Recommandation UIT-T I.356 une nouvelle classe de qualité de service appelée classe sévère à deux niveaux. Cette nouvelle classe imposera des valeurs maximales aux temps de transfert de cellules (CTD, *cell transfer delay*), variation du temps de transfert de cellules (CDV, *cell delay variation*), taux de perte de cellules 0 (CLR<sub>0</sub>, *cell loss ratio 0*), taux d'erreurs de cellules (CER, *cell error rate*), débit de cellules insérées à tort (CMR, *cell misinsertion rate*) et aux taux de blocs de cellules gravement errorés (SECBR, *severely errored cell block ratio*), mais non au CLR<sub>0</sub> + 1.

NOTE 2 – Les objectifs de qualité de fonctionnement portant le symbole «U» ne sont pas spécifiés; l'UIT ne fixera donc pas de valeur maximale pour les paramètres correspondants.

TABLEAU 1

#### Définitions des classes de qualité de service et des paramètres de qualité de fonctionnement du réseau

	CTD	2-pt. CDV	CLR <sub>0+1</sub>	CLR <sub>0</sub>	CER	CMR	SECBR
Objectifs par défaut	Pas de valeur par défaut	Pas de valeur par défaut	Pas de valeur par défaut	Pas de valeur par défaut	$4 \times 10^{-6}$	1/jour	$1 \times 10^{-4}$
<i>Classes de qualité de service:</i>							
Classe 1 (classe sévère)	400 ms	3 ms	$3 \times 10^{-7}$	Aucune	Valeur par défaut	Valeur par défaut	Valeur par défaut
Classe 2 (classe tolérante)	U	U	$1 \times 10^{-5}$	Aucune	Valeur par défaut	Valeur par défaut	Valeur par défaut
Classe 3 (classe à deux niveaux)	U	U	U	$1 \times 10^{-5}$	Valeur par défaut	Valeur par défaut	Valeur par défaut
Classe U	U	U	U	U	U	U	U

La classe de qualité de service exigée par chaque application s'inscrit dans le cadre de la procédure de négociation contractuelle entre l'utilisateur et le réseau. Si le réseau peut fournir le niveau de service demandé, la connexion sera établie. Si l'un des objectifs de qualité de fonctionnement ne peut pas être satisfait, la connexion sera refusée. Une fois la connexion établie, le réseau devra veiller à ce que les objectifs de qualité de fonctionnement correspondant à la classe de qualité de service considérée soient satisfaits pendant la connexion.

#### 3.1 Principes de l'allocation de la qualité de fonctionnement en mode ATM

La Recommandation UIT-T I.356 fixe des valeurs maximales pour les objectifs de qualité de transmission en mode ATM. Elle alloue certains des objectifs de qualité de bout en bout aux parties nationale et internationale d'une connexion ATM faisant partie d'une CFR. Les satellites géostationnaires font l'objet d'une allocation spéciale qui repose sur

l'hypothèse selon laquelle les satellites remplaceront de grandes distances sur la surface terrestre, plusieurs nœuds ATM et des parties de la connexion correspondant à des pays de transit. Ces allocations de la qualité de fonctionnement sont définies entre des points de mesure ATM, étant donné qu'elles concernent la qualité de transmission en mode ATM et non des équipements de transmission individuels tels que les systèmes à satellites. En conséquence, l'allocation de l'IIP comprend les installations de Terre et peut comporter des nœuds de commutation en mode ATM ainsi que le système à satellites.

Dans la présente Recommandation, on considère que les installations de Terre n'introduisent pas d'erreurs significatives et que le système à satellites peut recevoir toute l'allocation. En conséquence, il suffit de transposer les objectifs définis en termes de paramètres en couche ATM aux points de mesure ATM en objectifs TEB de la liaison par satellite. Cette hypothèse n'est cependant pas toujours valable pour toutes les configurations de circuits. On trouvera dans le Tableau 2 l'allocation des objectifs à des parties de connexions comportant des liaisons par satellite définie dans la Recommandation UIT-T I.356.

TABLEAU 2

**Allocation des objectifs de la Recommandation UIT-T I.356 à des parties de connexions comportant des liaisons par satellite**

	SECBR et CER (classes 1, 2 et 3) (%)	CLR (classe 1) (%)	CLR (classes 2 et 3) (%)
National	42	35	34,5
IIP(0)	35	25	1
Partie de transit international	36	30	9
IIP(1)	38	30	11
IIP(2)	42	33	21
IIP(3)	48	42	31

Conformément à la Recommandation UIT-T I.356, l'abréviation IIP ( $x$ ) ( $x = 0, 1, 2 \dots$ ) désigne un canal virtuel de la partie IIP pour des pays de transit rang « $x$ » fournissant chacun des fonctions de commutation ou de brassage de conduits virtuels.

### 3.2 Objectifs de qualité de fonctionnement en ATM pour les systèmes à satellites

Il est possible de déterminer les valeurs numériques des paramètres de qualité de fonctionnement ATM en appliquant les allocations du Tableau 1 aux objectifs de qualité de fonctionnement donnés dans la Recommandation UIT-T I.356. A titre d'exemple, on trouvera dans le Tableau 3 les objectifs de qualité de fonctionnement en ATM d'une liaison par satellite utilisée dans la partie internationale avec une qualité de service de classe 1 et dépourvue de fonctions de commutation ou de brassage (voir la Note 1).

NOTE 1 – L'allocation des objectifs de qualité de fonctionnement à des systèmes à satellites géostationnaires comprenant des fonctions de commutation et de traitement ATM appelle un complément d'étude.

## 4 Mise en correspondance des paramètres de la couche ATM et des paramètres de la couche physique

Le présent paragraphe expose une mise en correspondance entre les paramètres de la couche ATM (CLR, CER et SECBR) et le TEB de la liaison par satellite. Elle traite également des autres paramètres de la couche ATM à savoir le CMR, le CTD, CDV et de l'incidence des caractéristiques du système à satellites sur ces paramètres.

TABLEAU 3  
**Objectifs de qualité de fonctionnement en mode ATM applicables à des satellites  
 (qualité de service de classe 1)**

Paramètres de qualité de fonctionnement	Objectif fixé par l'UIT (transmission de bout en bout)	Objectif fixé par l'UIT (transmission par satellite)
CLR	$3 \times 10^{-7(1)}$	$7,5 \times 10^{-8}$
CER	$4 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$
SECBR	$1 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-5}$
CTD	400 ms	320 ms (maximum)
CDV	3 ms	Négligeable
CMR	1/jour	1/72 h <sup>(2)</sup>

(1) Il se peut que dans l'avenir, les réseaux puissent prendre un engagement de taux CLR de  $1 \times 10^{-8}$  pour la classe 1. Ce point appelle un complément d'étude.

(2) L'allocation concernant les équipements de traitement embarqués ATM appelle un complément d'étude.

#### 4.1 Caractéristiques des erreurs dans la transmission par satellite

Lorsqu'on utilise des satellites géostationnaires et des stations terriennes fixes, le canal de transmission du satellite est de type gaussien et les erreurs de transmission par satellite sont caractérisées par le fait qu'elles se présentent en rafales, par suite de l'embrouillage et du codage opérés dans les «modems» des satellites. En règle générale, les erreurs qui ne sont pas corrigées par un décodeur ont tendance à se grouper en rafales, en fonction des algorithmes de décodage utilisés. Une rafale d'erreurs est définie par deux paramètres: la longueur moyenne de la rafale,  $L$  et le nombre moyen d'erreurs binaires par rafale,  $N$ . Le Tableau 4 donne des valeurs de  $L$  et  $N$  pour les codes de correction d'erreur types des transmissions par satellite.

TABLEAU 4  
**Valeurs de  $L$  et  $N$  pour les codes de correction d'erreur communément utilisés  
 dans la transmission par satellite**

Code de correction d'erreur	Longueur moyenne des rafales ( $L$ )	Nombre moyen d'erreurs binaires par rafale ( $N$ )
Codage convolutionnel au débit 3/4 avec décodage Viterbi	29	11,5

On a obtenu les valeurs ci-dessus en procédant à des mesures empiriques des erreurs en rafales. On peut aussi procéder à des déterminations analytiques pour les systèmes de codage complexes, mais il est difficile d'obtenir les résultats, de sorte que des mesures sont nécessaires pour les confirmer.

#### 4.2 CLR

Le mécanisme de contrôle d'erreur sur en-tête (HEC, *header error control*) des cellules ATM est capable de corriger les erreurs simples et de détecter presque toutes les erreurs multiples présentes dans l'en-tête d'une cellule ATM à 5 octets.

Lorsque le mécanisme HEC détecte des erreurs qu'il n'est pas capable de corriger, la totalité de la cellule est mise au rebut et sa charge utile est perdue. Les cellules mises au rebut constituent la principale composante du paramètre CLR.

En présence d'erreurs à distribution aléatoire, le code de correction des bits erronés simples du mécanisme HEC est capable de corriger bon nombre des erreurs rencontrées. En présence de rafales d'erreurs, et si une rafale affecte plus d'un bit de l'en-tête, aucune correction n'est possible, parce que le HEC ne peut corriger que des erreurs binaires simples. Toutefois, certaines suites d'erreurs multiples dans l'en-tête peuvent être interprétées par le mécanisme HEC comme une erreur simple. Il en résulte une correction intempestive ou une correction à tort de l'en-tête, de sorte que la cellule n'est

pas rejetée. Dans ce cas, la cellule ATM est soit éliminée, soit transmise à une destination erronée par le nœud ATM suivant (acheminement erroné). Bien que la cellule soit perdue pour une connexion de bout en bout elle peut être considérée comme correcte par un testeur ATM, qu'il suffit de régler pour mesurer les cellules mutilées à la sortie de la liaison par satellite. Les cellules acheminées par erreur contribueront aussi au CLR si elles sont détectées.

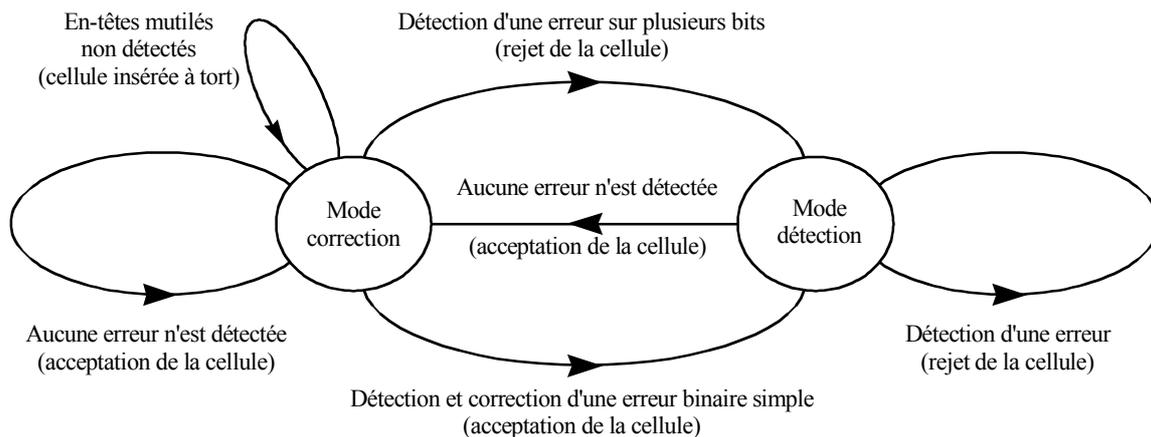
#### 4.2.1 HEC des cellules ATM

Le dernier octet de l'en-tête de cellule ATM à 5 octets est un octet HEC qui sert à la détection et à la correction des erreurs dans l'en-tête. La Fig. 2 montre que la couche ATM utilise un mécanisme HEC ATM qui peut fonctionner en mode correction ou en mode détection.

Le récepteur de la couche ATM fonctionne généralement en mode correction, c'est-à-dire avec détection et correction de toutes les erreurs binaires simples. Toutes les erreurs doubles et quadruples sont uniquement détectées, ce qui entraîne le rejet de la cellule. Un petit pourcentage des erreurs binaires triples est corrigé à tort comme s'il s'agissait d'erreurs binaires simples. Lorsqu'une erreur d'en-tête est détectée (ou corrigée) alors qu'on se trouve en mode correction, le récepteur bascule sur le mode détection. Dans ce mode, le récepteur de la couche ATM est capable de détecter toutes les séquences d'erreurs binaires simples, doubles et triples dans l'en-tête. Il est capable également de détecter la plupart des séquences d'erreurs binaires quadruples. Dans le mode détection il n'y a pas de correction d'erreur. Toutes les erreurs détectées dans l'en-tête entraînent le rejet de la cellule. Si aucune erreur d'en-tête n'est détectée en mode détection, le récepteur bascule sur le mode correction.

FIGURE 2

#### Modes de fonctionnement de l'en-tête des cellules ATM



1420-02

#### 4.2.2 Calcul de la relation entre CLR et TEB

Pour calculer la relation entre le CLR et le TEB, on fait les hypothèses suivantes sur le résultat de pertes de cellules en modes correction et détection:

- en mode correction, tous les événements d'erreurs multiples dans l'en-tête entraînent une perte de cellule. Cette hypothèse ne tient pas compte de la probabilité suivante: probabilité pour que des erreurs multiples non détectées, ou des erreurs multiples corrigées à tort comme étant des erreurs simples, puissent donner des valeurs acceptables dans l'en-tête (et, par conséquent, donner un résultat d'insertion à tort de cellules);
- en mode détection, tous les événements d'erreurs simples ou multiples dans l'en-tête entraînent une perte de cellule.

En partant des hypothèses ci-dessus, on peut écrire:

$$P[\text{perte cellule} \mid \text{mode correction}] \cong 1 - P[\text{absence d'erreurs}] - P[1 \text{ erreur}]$$

$$P[\text{perte cellule} \mid \text{mode détection}] \cong 1 - P[\text{absence d'erreurs}]$$

et

$$P[\text{perte cellule}] = P[\text{mode correction}] \times P[\text{perte cellule} \mid \text{mode correction}] + P[\text{mode détection}] \times P[\text{perte cellule} \mid \text{mode détection}]$$

Comme le récepteur se trouvera en mode détection après chaque correction ou détection d'erreur dans l'en-tête, on a :

$$P[\text{mode détection}] \cong 1 - P[\text{absence d'erreurs}]$$

$$P[\text{mode correction}] \cong P[\text{absence d'erreurs}]$$

En portant ces expressions dans l'équation précédente, on obtient :

$$CLR = P[\text{perte cellule}] \cong 1 - P[\text{absence d'erreurs}] - P[\text{absence d'erreurs}] \times P[1 \text{ erreur}]$$

#### Canal avec erreurs aléatoires

Pour le canal avec erreurs aléatoires, on a :

$$P[\text{absence d'erreurs}] = (1 - TEB)^{40}$$

$$P[1 \text{ erreur}] = 40 \times TEB \times (1 - TEB)^{39}$$

#### Canal avec rafales d'erreurs

En première analyse, on peut caractériser un canal avec rafales d'erreurs en considérant la longueur moyenne des rafales,  $L$ , et le nombre moyen de bits erronés par rafales,  $N$ . En première approximation, la probabilité pour qu'il y ait rafale d'erreurs pendant un court intervalle correspondant à  $K$  bits s'exprime par  $K \cdot TEB/N$ . En conséquence, la probabilité qu'une rafale d'erreurs chevauche un bit donné ( $K = 1$ ) est donnée par :

$$P[\text{rafale}] = TEB/N$$

A supposer qu'une seule rafale d'erreurs affecte l'en-tête et que les rafales d'erreurs ne s'étendent pas sur plus d'un seul en-tête ATM, la probabilité d'absence d'erreurs dans l'en-tête a pour expression :

$$P[\text{absence d'erreurs}] \cong 1 - (TEB/N) (L - 1 + 40)$$

La probabilité d'avoir une seule erreur binaire d'en-tête est donnée par :

$$P[1 \text{ erreur}] = \sum Pe(i) P[\text{rafale}]$$

où  $Pe(i)$  représente la présence d'une seule erreur dans une certaine position de bit,  $i$ , sachant qu'une rafale affecte ce bit; la sommation doit prendre en compte tous les cas dans lesquels la rafale chevauche l'en-tête.

La Fig. 3a) illustre le cas où une seule erreur d'en-tête dans la position de bit  $i \leq \text{minimum}(L - 1, 39)$  correspond aux deux derniers bits (erronés) de la rafale. (A noter qu'une rafale d'erreurs commence et finit avec un bit erroné).

Dans le cas de la Fig. 3, si l'on fait l'hypothèse d'une répartition uniforme et indépendante des erreurs dans la rafale (à l'exclusion du premier et du dernier bit),  $Pe(i) = [1 - P(EB)]^i$ , où  $P(EB)$  représente la probabilité d'un bit erroné entre le premier et le dernier bit de la rafale. La formule est la suivante :

$$P(EB) = (N - 2)/(L - 2)$$

On peut obtenir une topologie symétrique en considérant que l'erreur simple dans la position  $i$  est due au premier bit (erroné) de la rafale d'erreurs, comme le montre également la Fig. 3b). En conséquence, la probabilité de la présence d'une seule erreur dans l'en-tête a pour expression :

$$P[1 \text{ erreur}] \cong (TEB/N) \times 2 \times \sum [1 - P(EB)]^i$$

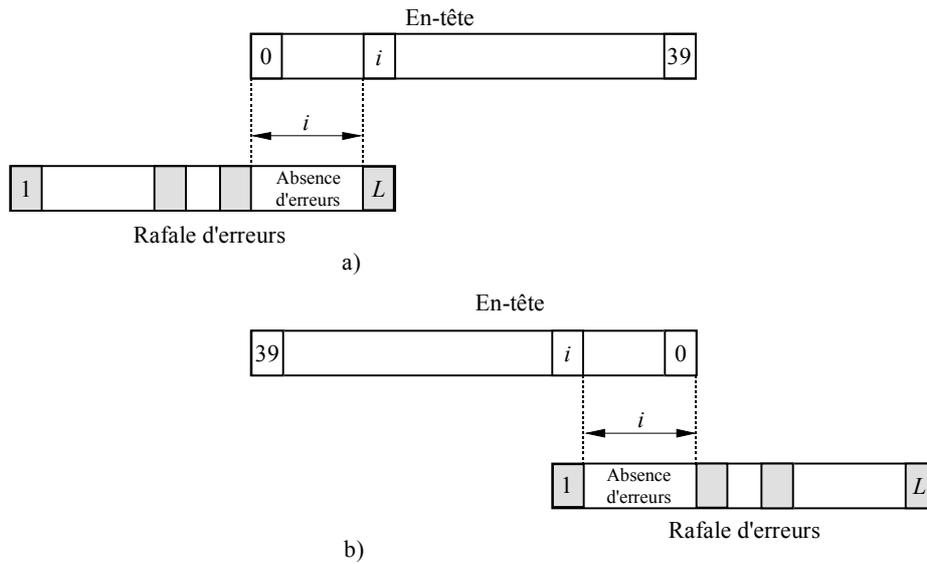
la sommation portant sur  $i = 0, 1, \dots, \text{minimum}(L - 1, 39)$ . Dans le cas de valeurs types de  $N$  et  $L$  ( $N, L \gg 1$ ):

$$P[1 \text{ erreur}] \cong (TEB/N) \times 2/P(EB)$$

A noter que si  $L > 40$  et que l'en-tête est entièrement contenu dans la rafale, il se peut qu'une seule erreur soit introduite par une erreur binaire ne correspondant pas au premier ou au dernier bit de la rafale. La probabilité de cet événement est cependant beaucoup plus faible que celle décrite précédemment et n'est pas prise en compte. A noter également que si  $L \leq 40$  et  $L - 1 < i \leq 39$ , la rafale se produit intégralement à l'intérieur de l'en-tête, auquel cas au moins 2 erreurs se produiront.

FIGURE 3

Erreur simple d'en-tête due au dernier et au premier bit (erronés) de la rafale



La partie ombrée représente un bit erroné dans la rafale.

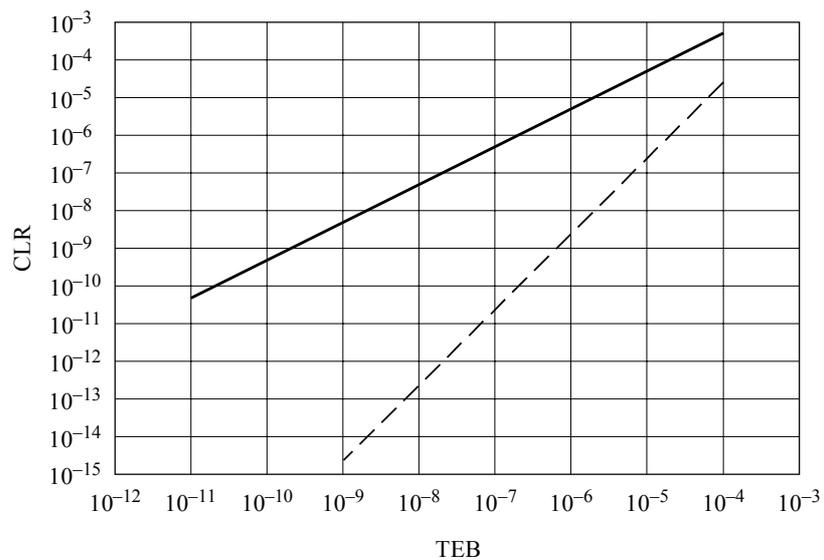
1420-03

#### 4.2.3 Résultats numériques

La Fig. 4 présente deux courbes du CLR en fonction du TEB, dans deux cas différents: erreurs aléatoires et rafales d'erreurs, avec  $L = 29$  et  $N = 11,5$  (valeurs types pour un codage convolutionnel au débit 3/4 avec décodage Viterbi).

FIGURE 4

Variation du CLR en fonction du TEB pour un canal avec rafales d'erreurs ayant les caractéristiques suivantes: longueur moyenne des rafales  $L = 29$  et nombre moyen de bits erronés par rafales  $N = 11,5$



--- Erreurs aléatoires  
 — Rafales

1420-04

Quelques résultats de mesures concernant les codes concaténés sont donnés dans le § 3 de l'Annexe 2.

### 4.3 CER

La définition du CER est la suivante: rapport du nombre de cellules erronées à la somme du nombre total de cellules (erronées et non erronées) correctement transférées. Une cellule correctement transférée est une cellule qui est reçue avec un VPI/VCI (identificateur de conduit virtuel, *virtual path identifier*/identificateur de canal virtuel, *virtual channel identifier*) correct et avec un octet HEC valable. En conséquence, si l'on ne tient pas compte des cellules insérées à tort, un événement d'erreur de cellule se produit si:

- l'en-tête de la cellule contient des erreurs détectées;
- le mécanisme HEC de la cellule corrige une erreur binaire multiple comme s'il s'agissait d'une erreur binaire simple donnant un VPI/VCI incorrect; et
- l'en-tête de la cellule est correct, alors que la charge utile de la cellule contient une ou plusieurs erreurs binaires.

La probabilité des deux premiers événements a été négligée par comparaison avec la probabilité d'un événement d'erreur dans la charge utile. Compte tenu du mode correction et du mode détection d'erreur dans l'en-tête du récepteur, le CER peut s'exprimer de la manière suivante:

$$P[\text{erreurs cellules}] = P[\text{erreurs cellules} \mid \text{mode correction}] \times P[\text{mode correction}] + P[\text{erreurs cellules} \mid \text{mode détection}] \times P[\text{mode détection}]$$

avec:

$$P[\text{mode détection}] \cong 1 - P[\text{absence d'erreurs d'en-tête}]$$

$$P[\text{mode correction}] \cong P[\text{absence d'erreurs d'en-tête}]$$

#### 4.3.1 Calcul de la relation entre CER et TEB

- Pour calculer la relation entre le CER et le TEB, on fait les mêmes hypothèses que pour la relation entre le CLR et le TEB: en mode correction, tous les événements d'erreurs multiples dans l'en-tête entraînent une perte de cellule.
- En mode détection, tous les événements d'erreurs simples ou multiples dans l'en-tête entraînent une perte de cellule.

Sur la base de ces hypothèses, la probabilité d'erreur dans une cellule, en modes correction et détection, a pour expression:

$$\begin{aligned} P[\text{erreurs cellules} \mid \text{mode correction}] &= (1 - P[\text{pertes cellules} \mid \text{mode correction}]) \times \\ &P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode correction}] \cong P[(\text{absence d'erreurs en-tête}) + P[1 \text{ erreur en-tête}]] \times \\ &P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode correction}] \\ P[\text{erreurs cellules} \mid \text{mode détection}] &= (1 - P[\text{pertes cellules} \mid \text{mode détection}]) \times \\ &P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode détection}] \cong (P[\text{absence d'erreurs en-tête}]) \times \\ &P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode détection}] \end{aligned}$$

Le CER est tel que:

$$\begin{aligned} P[\text{erreurs cellules}] &= P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode correction}] \times (P[\text{absence d'erreurs en-tête}] + \\ &P[1 \text{ erreur en-tête}]) \times P[\text{absence d'erreurs en-tête}] + P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode détection}] \times \\ &(P[\text{absence d'erreurs en-tête}]) \times (1 - P[\text{absence d'erreurs en-tête}]) \end{aligned}$$

*Canal avec erreurs aléatoires*

Pour le canal avec erreurs aléatoires:

$$P[\text{absence d'erreurs en-tête}] = (1 - TEB)^{40}$$

$$P[1 \text{ erreur en-tête}] = 40 \times TEB \times (1 - TEB)^{39}$$

$$P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode correction}] = P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode détection}] = 1 - (1 - TEB)^{384}$$

*Canal avec rafales d'erreurs*

Pour le canal avec rafales d'erreurs: longueur moyenne des rafales,  $L$  et nombre moyen de bits erronés par rafale,  $N$ , on a:

$$P[\text{absence d'erreurs en-tête}] \cong 1 - (TEB/N) \times (L - 1 + 40)$$

$$P[1 \text{ erreur en-tête}] \cong (TEB/N) \times \left[ \sum (1 - PEB)^i + \sum (1 - PEB)^{39-i} \right]$$

avec, dans les sommations ci-dessus:  $PEB = (N - 2)/(L - 2)$  et  $i = 0, \dots, \text{minimum}(L - 1, 40 - 1)$ .

Lorsque le récepteur est en mode correction, une cellule valable est reçue s'il y a 0 ou 1 erreur binaire dans l'en-tête. La probabilité d'une erreur dans la charge utile dépend de l'application, ou non, d'une HEC. Lorsqu'il y a 0 bit erroné dans l'en-tête, la probabilité d'existence d'une erreur dans la charge utile est égale à la probabilité d'existence d'une erreur en rafale dans la charge utile, qui s'exprime en première approximation par:

$$PB \cong 384 \times TEB/N$$

Par ailleurs, s'il y a dans l'en-tête 1 bit erroné, corrigé par le mécanisme HEC, ce bit sera le premier bit ou le dernier bit d'une rafale d'erreurs. Si c'est le premier bit d'une rafale, la probabilité de présence d'une erreur dans la charge utile est égale à environ 1. S'il s'agit du dernier bit d'une rafale d'erreurs, cette probabilité est  $PB$ . Par conséquent, dans le mode correction, on a:

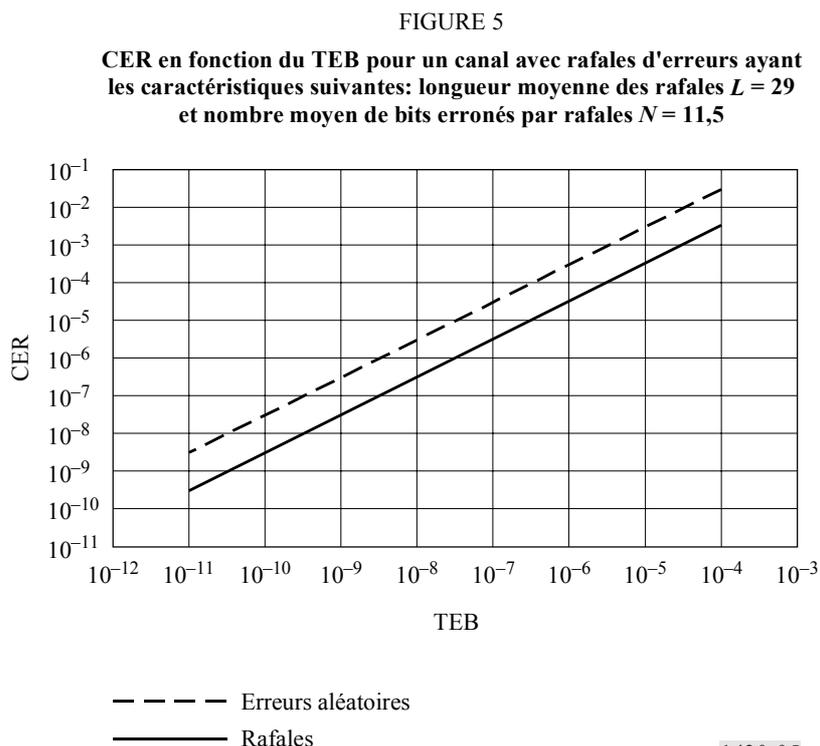
$$P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode correction}] \cong P[\text{absence d'erreurs en-tête}] \times PB + \\ P[1 \text{ erreur en-tête}] \times [0,5 + 0,5PB]$$

En mode détection, une cellule valable est reçue seulement s'il n'y a pas eu d'erreurs dans l'en-tête. La probabilité pour qu'une erreur soit présente dans la charge utile est donnée par:

$$P[\text{erreur charge utile} \mid \text{mode détection}] \cong P[\text{absence d'erreurs en-tête}] \times PB$$

### 4.3.2 Résultats numériques

La Fig. 5 présente deux courbes du CER en fonction du TEB, dans deux cas différents: erreurs aléatoires et rafales d'erreurs, avec  $L = 29$  et  $N = 11,5$  (valeurs types pour un codage convolusionnel au débit 3/4 avec décodage Viterbi).



On trouvera dans le § 3 de l'Annexe 2 certains résultats de mesure concernant les codes concaténés.

## 4.4 SECBR

Le paramètre SECBR est défini dans la Recommandation UIT-T I.356: c'est le rapport entre le nombre total de blocs de cellules gravement erronés et le nombre total de cellules dans une population considérée. Un résultat de bloc de cellules gravement erroné se manifeste lorsque plus de  $M$  résultats de cellules erronées, perdues ou insérées à tort ont été trouvés dans un bloc de cellules reçues. Un bloc de cellules est une suite de  $N$  cellules émises d'une manière consécutive sur une connexion donnée. Les valeurs de  $M$  et  $N$  figurent dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-T I.356.

#### 4.5 CMR

Certaines suites d'erreurs multiples dans le nœud de l'en-tête peuvent être interprétées par le mécanisme HEC comme des erreurs simples; de ce fait, la cellule en cause peut être corrigée à tort au lieu d'être rejetée. Dans ce cas, le nœud ATM peut soit éliminer la cellule, soit la diriger vers une destination erronée (acheminement erroné). Dans la Recommandation UIT-T I.356, le paramètre qui rend compte du nombre total de cellules insérées à tort, observées pendant une période spécifiée, est le CMR.

#### 4.6 CTD

Le CTD global ou latence d'une connexion par satellite est dû à divers facteurs, dont le principal est la propagation en espace libre. Le CTD résulte également du temps de codage et de décodage effectués sur les canaux du satellite (modems). En général, les temps de codage varient en fonction du type de codage et du débit binaire de transmission. Enfin, le temps de transfert peut être imputable aux équipements ATM propres aux satellites installés dans la station terrestre ou embarqués dans l'engin spatial, ces équipements pouvant être à l'origine de délais de file d'attente et de délais de commutation ou de routage.

#### 4.7 CDV

La CDV (ou gigue) pouvant se produire dans une liaison par satellite dépend de plusieurs facteurs. Elle dépend premièrement de la structure de la charge de trafic ou du nombre et de la proportion de conduits virtuels et de canaux virtuels susceptibles d'être utilisés sur le canal ATM. Elle est également fonction de la capacité et du mécanisme de mise en mémoire tampon du commutateur. De plus, cette variation augmente proportionnellement au nombre de nœuds ATM à l'intérieur d'une connexion (ce facteur est parfois de la plus haute importance dans le cas de satellites comprenant des fonctions de traitement embarqué et des LIS). Enfin, la CDV dépend du nombre d'opérations de commutation internes (mise en file d'attente, commutation, routage) résultant des équipements ATM propres aux satellites. L'utilisation de systèmes d'accès multiple peut influencer sur la CDV.

### 5 Relations entre les paramètres de qualité de fonctionnement des Recommandations UIT-T G.826 et UIT-T I.356

La Recommandation UIT-T I.356 spécifie les paramètres et les objectifs de qualité de fonctionnement dans la couche ATM. De son côté, la Recommandation UIT-T G.826 donne les paramètres et les objectifs de qualité de fonctionnement dans la couche physique pour les connexions qui achemineront le trafic ATM ainsi que les paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement en termes d'erreurs pour les conduits numériques internationaux à débit binaire constant qui fonctionnent au débit primaire, ou au-dessus. Les paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 sont les suivants: taux de secondes erronées (ESR, *errored seconds ratio*), taux de secondes gravement erronées (SESR, *severely errored second ratio*) et taux de blocs erronés résiduels (BBER, *background block error ratio*). Par ailleurs, les objectifs de qualité de fonctionnement spécifiés dans la Recommandation UIT-T G.826 dépendent du débit. Une liaison par satellite utilisée dans une connexion G.826 reçoit 35% des objectifs globaux de bout en bout.

Des études et des mesures relatives à des canaux sujets à des rafales d'erreurs ont montré qu'un système à satellites conçu pour satisfaire tout juste aux dispositions de la Recommandation UIT-T G.826 ne satisfera pas forcément aux objectifs de la Recommandation UIT-T I.356 pour les services ATM de classe 1. En conséquence, il est indispensable que les liaisons par satellite destinées à écouler le trafic ATM soient conçues de manière à respecter les spécifications de la Recommandation UIT-T I.356, avec une marge supplémentaire pour faire en sorte que les prescriptions relatives à la qualité de service en mode ATM soient respectées.

## Qualité de fonctionnement, simulée et mesurée, en ATM dans la transmission par satellites

### 1 Introduction

On trouvera dans la présente Annexe les résultats de simulations, de mesures en laboratoire et d'essais en grandeur réelle concernant la transmission par satellite en mode ATM.

### 2 Paramètres de qualité de fonctionnement en ATM dans les systèmes à satellites

La qualité de fonctionnement de la couche ATM sur les liaisons par satellite dépend du TEB et des statistiques concernant les erreurs binaires en rafales. On admet par hypothèse que le bruit thermique dans les télécommunications par satellite a une distribution aléatoire. Toutefois, si on utilise les techniques de CED pour améliorer le TEB, les erreurs binaires se produisent généralement en rafales en cas de défaillance du mécanisme CED. Les rafales d'erreurs ont un effet nuisible sur le transport du trafic ATM: elles peuvent entraîner avec une assez grande probabilité, la présence d'au moins deux erreurs binaires dans les en-têtes des cellules ATM. Il en résulte que les cellules ATM sont rejetées par le mécanisme HEC. Des résultats analytiques et des essais en vraie grandeur ont montré que le CLR imputable à la liaison de transmission a tendance à être directement proportionnel au TEB. Pour cette raison, le CLR est nettement supérieur à celui que l'on obtient en présence d'erreurs aléatoires, qui est généralement proportionnel au carré du TEB.

Les rafales d'erreurs introduites par un modem de satellite à la suite de défaillances de la correction d'erreur ont des longueurs et des occurrences qui varient en fonction des méthodes CED, des méthodes d'embrouillage et des techniques d'entrelacement utilisées, etc. Il est donc impossible de formuler des règles générales pour les relations entre la qualité de fonctionnement de la couche physique et la qualité de fonctionnement de la couche ATM d'une liaison par satellite affectée par des rafales d'erreurs. En revanche, il est possible d'établir des relations spécifiques à un système particulier à l'aide de mesures ou de simulations.

### 2 CER

#### 2.1 Qualité de fonctionnement en matière de CER dans le cas de codes concaténés

##### 2.1.1 Codes CED concaténés

Les variantes envisagées pour les codes concaténés sont les codes de Reed-Solomon (RS) pour le codage externe, les codes en treillis classique et les codes rotationnellement invariants pour le codage interne. On considère que la modulation par quadrature de phase avec détection cohérente, et codage en treillis classique constitue le système de transmission de base auquel le mécanisme CED a été appliqué.

##### 2.1.1.1 Codes RS

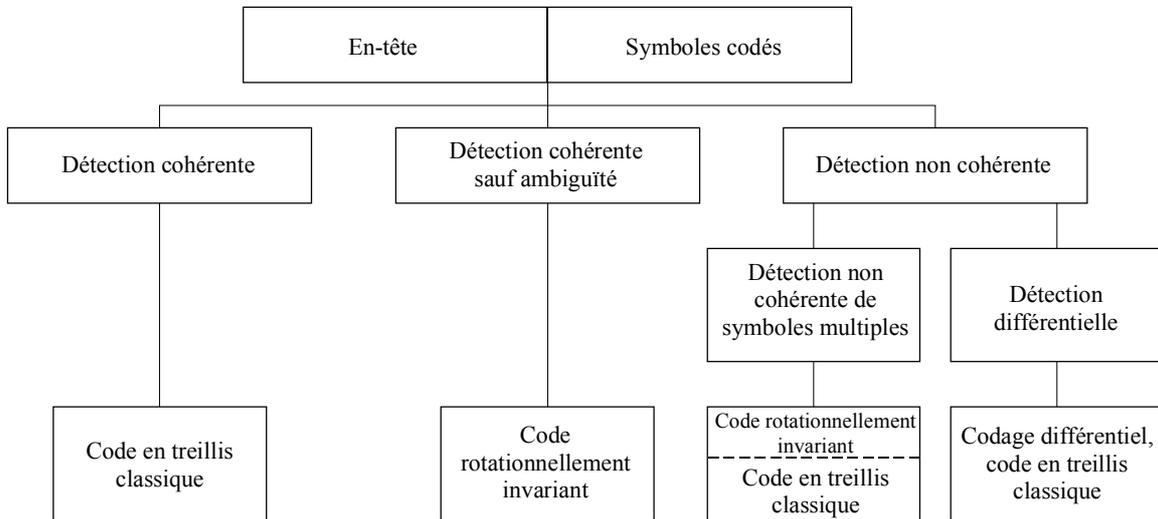
Le code complet RS est l'un des codes les plus performants pouvant être mis en œuvre avec la technologie la plus avancée en matière de logiciels et de matériels. La concaténation des systèmes de codage externe RS dotés de codes internes à convolution permet d'assurer des liaisons de transmission par satellite de bonne qualité et à haute rentabilité. Comme leur nom l'indique, les codes complets traitent les données en bloc. Chaque bloc est ensuite traité individuellement par le codeur et le décodeur. Un code RS particulier peut être appelé code  $(n, k)$ . Le débit de codage (rendement) d'un code a pour expression  $R = k/n$ . On a généralement intérêt à travailler avec des codes à grand débit, car ces codes utilisent efficacement le canal disponible pour la transmission de l'information. Les codes RS ont en général des débits supérieurs à 80%. Ils sont normalement des codes à grand débit à grande longueur de bloc.

Les codes RS conviennent bien s'il y a égalité entre la longueur des blocs du message et la longueur des blocs du code. Ainsi, dans une configuration multipoint avec accès AMRT, on peut adapter la longueur des blocs du code à un nombre entier de cellules ATM; on obtient ainsi la flexibilité voulue pour répartir le trafic entre différentes stations terriennes.

2.1.1.2 Codes internes

La Fig. 6 illustre plusieurs options pour la mise en œuvre du codage interne.

FIGURE 6  
Synchronisation et codage envisageables pour les codes internes

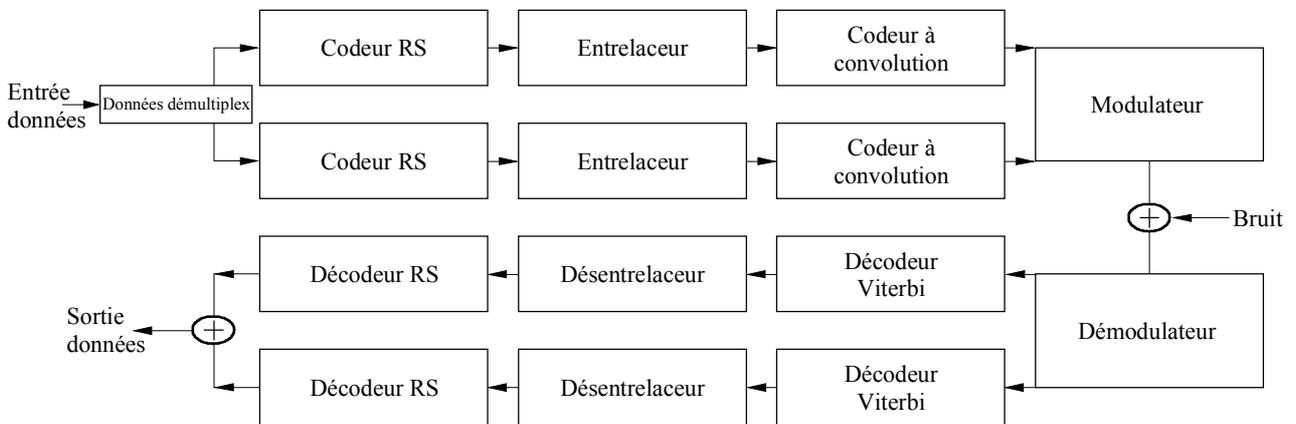


1420-06

On prend également en compte les options d'entrelacement entre les codes externe et interne. Pour les codes externes de type RS, la longueur des blocs est prise en compte dans le bloc élémentaire de cellules ATM. Plus précisément, on utilise 53 symboles et 106 séquences de données de symboles.

Les analyses montrent que la mise en œuvre d'un entrelacement quasi parfait exige une énorme capacité de mémoire tampon, surtout pour les services par satellite avec accès multiple AMRF/AMRT. En conséquence, on a aussi étudié la qualité de fonctionnement réalisable sans entrelacement entre les codes externe et interne.

FIGURE 7  
Schéma de principe d'un système de communication par satellite à commutation ATM embarquée

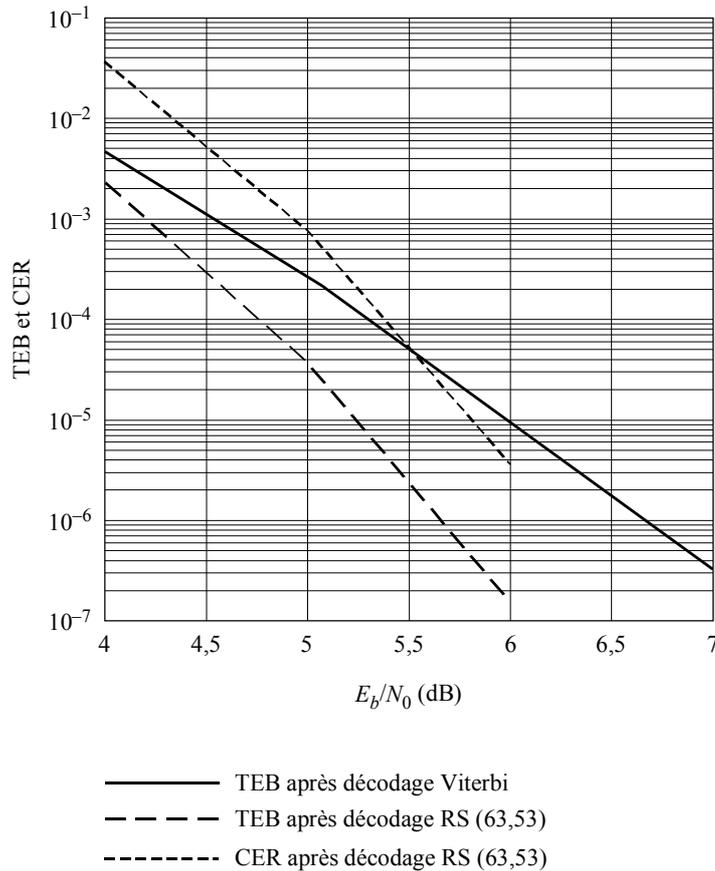


1420-07

## 2.2 Résultats d'une simulation en fonction du rapport $E_b/N_0$ d'un satellite

La Fig. 8 donne les résultats d'une simulation de qualité, en termes de TEB et de CER, en fonction de la valeur du  $E_b/N_0$ , dans le cas d'un code à convolution interne discontinu au débit 3/4 et d'un code externe de type RS (63,53). Cette figure montre que pour  $E_b/N_0 = 6$  dB, on a  $CER \cong 3 \times 10^{-6}$  et  $TEB \cong 1 \times 10^{-7}$ .

FIGURE 8  
CED avec code interne au débit 3/4 et TEB et CER avec codage externe concaténé RS (63,53)



1420-08

On a fait varier la taille du bloc du code externe, en remplaçant une cellule ATM par deux cellules ATM. La Fig. 9 donne les valeurs obtenues pour TEB et CER avec un code externe RS (126,106), sans entrelacement entre les codes externe et interne (code à convolution discontinu au débit 3/4).

A noter que le passage d'une longueur de bloc d'une cellule ATM à deux cellules ATM (avec le même débit de codage) améliore très nettement la qualité. Pour  $E_b/N_0 = 6$  dB, le CER est ramené de  $3 \times 10^{-6}$  à environ  $3 \times 10^{-8}$ . En conséquence, lorsque cela est possible, l'utilisation de cellules multiples pour le codage externe améliore la qualité, moyennant un accroissement minimum de la complexité de mise en œuvre.

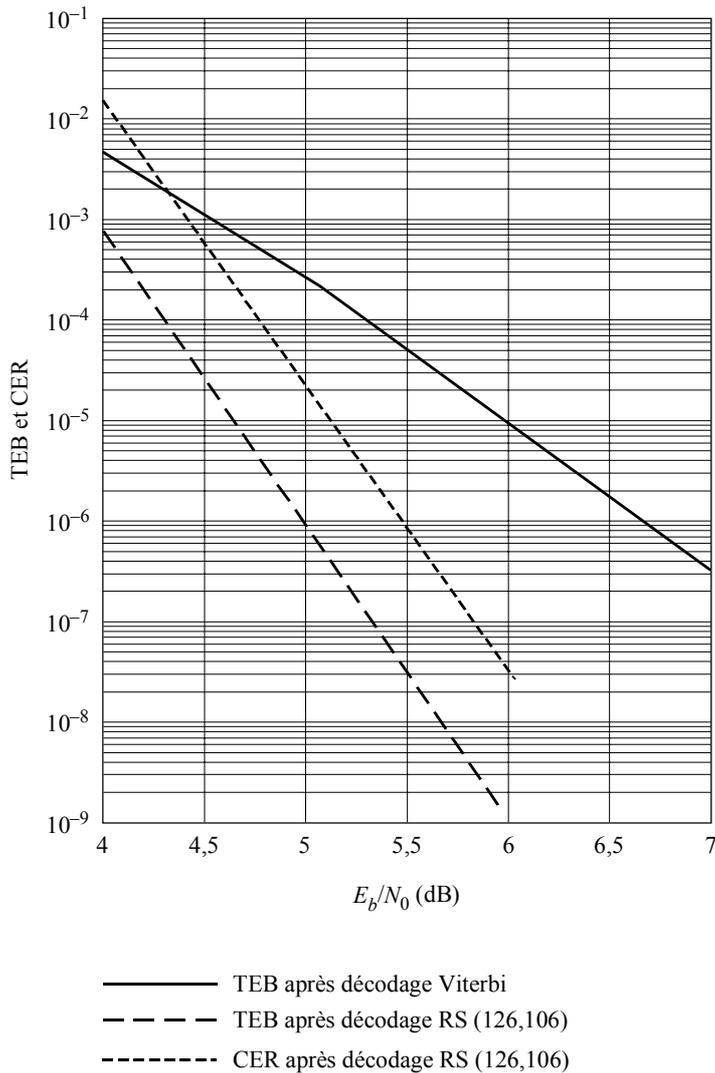
## 2.3 CLR

On trouvera aux § 3.1, 3.2 et 3.3 les résultats de mesures de CLR en fonction du TEB. Les données sur l'incidence des systèmes de traitement embarqué et de traitement des cellules dans le secteur terrien doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

## 2.4 SECBR

Les résultats de mesures du SECBR en fonction du TEB sont présentés au § 3.1.

FIGURE 9  
 CED avec code interne au débit 3/4 et TEB et CER avec codage externe concaténé RS (126,106)



1420-09

**2.5 CTD**

Les caractéristiques et l'incidence des systèmes de traitement embarqué des cellules ainsi que l'incidence des équipements de traitement des cellules du secteur terrien sur le temps de transport des cellules appellent un complément d'étude.

**2.6 CDV**

Les caractéristiques et l'incidence des systèmes de traitement embarqué des cellules des équipements de traitement des cellules du secteur terrien et du verrouillage de trame en AMRT sur la CDV doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

**2.7 CMR**

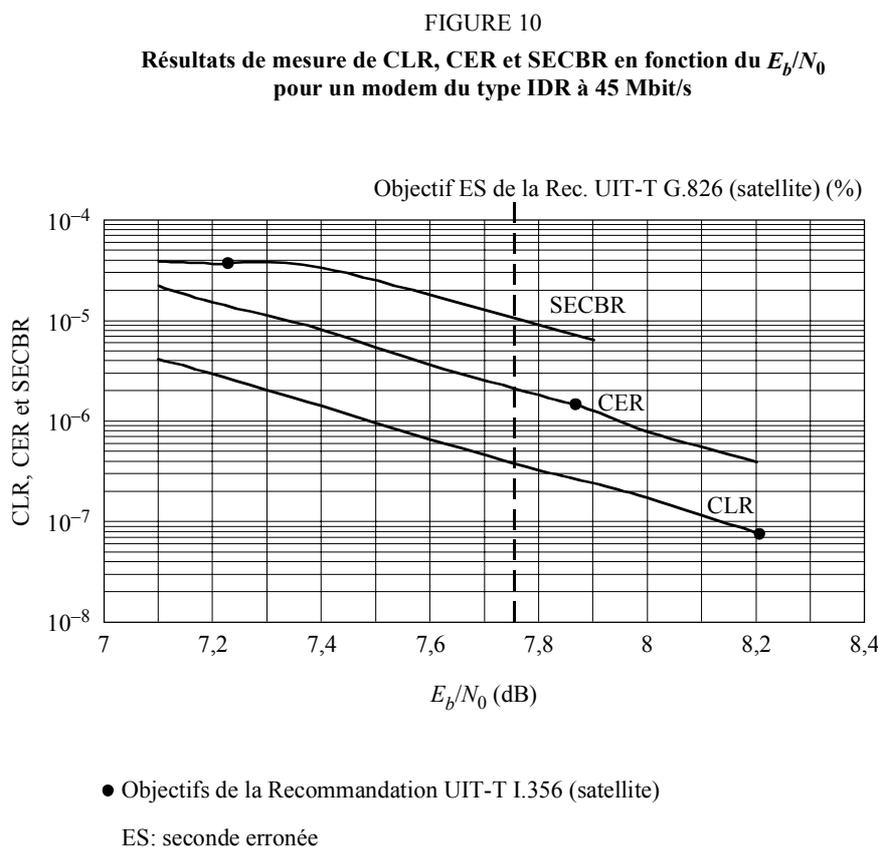
Les caractéristiques et l'incidence des systèmes de traitement embarqué des cellules et des équipements de traitement des cellules du secteur terrien sur le CMR doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

### 3 Résultats de mesure de la qualité de fonctionnement dans les couches physique et en mode ATM

On trouvera dans le présent paragraphe des résultats de mesure permettant de vérifier la qualité de fonctionnement calculée dans la couche ATM sur des liaisons par satellite et sa relation avec la qualité de fonctionnement dans la couche physique. Le § 3.1 donne les résultats de mesure des paramètres ATM en fonction du  $E_b/N_0$  d'un modem; le § 3.2, les résultats d'essais en vraie grandeur portant sur la qualité du débit binaire intermédiaire (IDR, *intermediate data rate*) à 45 Mbit/s; le § 3.3, les résultats de mesure de la qualité de l'accès multiple AMRT à 120 Mbit/s (avec et sans codage BCH au débit 7/8) et de la qualité IDR à 34,368 Mbit/s; le § 3.4, les résultats de mesure de la qualité IDR à 2 048 Mbit/s (avec et sans codage RS).

#### 3.1 Résultats de mesures au débit de 45 Mbit/s

Des mesures en laboratoire (faites par AT&T) concernant des modems de satellite du type IDR à 45 Mbit/s ont permis de mettre en évidence la relation entre, d'une part, le  $E_b/N_0$  du modem et, d'autre part, les paramètres de qualité de fonctionnement suivants de la couche ATM: CLR, CER et SECBR. Le dispositif de mesure comprenait deux modems de satellite du type IDR, un injecteur de bruit et un appareil de mesure ATM. Le dispositif a mesuré le CLR, le CER et le SECBR, au sens des définitions données dans la Recommandation UIT-T I.356. Ces résultats sont présentés dans la Fig. 10.



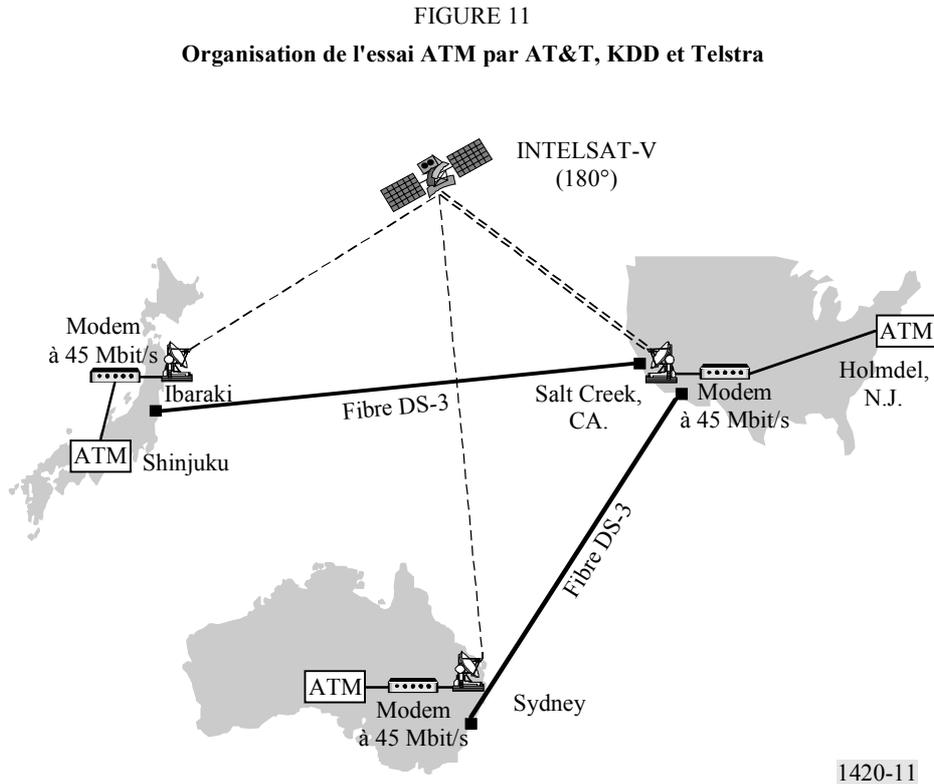
1420-10

La figure indique les objectifs de la Recommandation UIT-T I.356 pour les CLR, CER et SECBR dans le cas d'un satellite fournissant des services de classe 1 en mode ATM. Ces résultats mettent en évidence les relations entre le point de fonctionnement d'un modem et la qualité de fonctionnement de la couche ATM, pour un modem largement utilisé avec codage convolusionnel et décodage Viterbi au débit 3/4. Les résultats montrent également qu'un modem qui satisfait tout juste aux spécifications des paramètres de la Recommandation UIT-T G.826 ne permet pas d'atteindre les objectifs de qualité de fonctionnement ATM de classe 1 prescrits dans la Recommandation UIT-T I.356.

### 3.2 Essais entre AT&T et KDD

On trouvera dans ce paragraphe les résultats d'essais en grandeur réelle effectués par AT&T (Etats-Unis d'Amérique), KDD (Japon) et Telstra (Australie) à l'aide d'un mélange de connexions par fibres optiques et par satellite. L'objectif était de caractériser la qualité de fonctionnement «à long terme» d'installations DS-3 (45 Mbit/s) en mesurant plusieurs paramètres des couches physique et ATM. Ces essais en vraie grandeur se sont déroulés du 24 avril au 5 décembre 1995.

La Fig. 11 montre comment l'essai a été organisé. On a utilisé un répéteur complet pour la bande C (72 MHz) et deux demi-répéteurs, sur le satellite INTELSAT 511 (180°, longitude Est) placé sur une orbite inclinée à environ 3°.



Dans le secteur spatial de l'essai, on a utilisé deux porteuses DS-3 IDR entre les stations terrestres de Salt Creek et d'Ibaraki, et deux autres liaisons DS-3 entre les stations terrestres de Salt Creek et de Sydney (Australie). Chaque station terrestre était reliée à une installation de Terre à fibres optiques qui acheminait les flux d'information DS-3 entre les trois bancs d'essai, situés à Holmdel (Etats-Unis d'Amérique), Tokyo (Japon) et Sydney (Australie). Toutes les liaisons par satellite étaient convenablement égalisées et réglées, de façon à donner un TEB de  $1 \times 10^{-10}$  par temps clair, conformément aux spécifications de qualité de fonctionnement applicables aux porteuses IDR (sans codec RS) transmises par les satellites INTELSAT-VII.

Les résultats présentés se rapportent uniquement à la liaison AT&T-KDD, car celle-ci a été testée pendant plus longtemps et elle était plus perturbée par la pluie que la liaison AT&T-Telstra. On a considéré que ces perturbations accrues étaient plus représentatives des conditions qui prévalent sur d'autres liaisons dans la région du Pacifique. Les essais de la couche physique entre les stations terrestres de Salt Creek (AT&T) et d'Ibaraki (KDD) ont duré plus de 30 jours. Après ces essais, on a mesuré les caractéristiques de transfert des cellules ATM à l'aide des appareils de mesure ATM installés dans les stations terrestres. Après exclusion des événements anormaux, les données de mesure ont été traitées pour fournir les résultats visés dans les Recommandations UIT-R S.1062 et UIT-T G.826. Les données relatives à la couche ATM ont été recueillies par des appareils de mesure ATM placés dans les stations terrestres. Ici également, après exclusion des événements anormaux, on a analysé les données de mesure pour calculer les valeurs des divers paramètres, notamment ceux définis dans le projet de Recommandation UIT-T I.356.

Le Tableau 5 présente les principaux résultats suivants: paramètres de qualité de fonctionnement, objectifs de qualité de fonctionnement ayant servi à évaluer la qualité dans les couches physique et ATM, ainsi que les résultats obtenus avec les liaisons IDR. Les objectifs ont été ajustés en fonction de l'allocation faite aux satellites géostationnaires utilisés dans la partie internationale d'une connexion de bout en bout.



Les essais de la couche ATM ont été effectués après les essais de la couche physique. Les objectifs pour la couche ATM (Tableau 5) correspondent à la nouvelle allocation spécifiée dans la Recommandation UIT-T I.356 pour les systèmes à satellites géostationnaires utilisés dans la partie internationale. Il convient de noter que les valeurs mesurées des CLR et CER sont des moyennes établies sur toute la période de mesure et non des limites supérieures (valeurs correspondant au cas le plus défavorable) spécifiées dans la Recommandation UIT-T I.356. Les moyennes obtenues sur les liaisons IDR étaient meilleures que les limites supérieures de la Recommandation UIT-T I.356, mais avec une faible marge seulement.

Les résultats présentés devraient être représentatifs de la qualité de fonctionnement que l'on peut obtenir sur de nombreuses liaisons DS-3 type IDR pour la bande 14/11 GHz dans le monde entier. Ces résultats montrent qu'une liaison IDR réalisée et exploitée judicieusement satisfait sans difficulté aux objectifs des Recommandations UIT-R S.1062 et UIT-T G.826. Cependant, ils montrent aussi que ce niveau de qualité risque de ne pas suffire pour le trafic ATM. En effet, les objectifs des services de classe 1, définis dans la Recommandation UIT-T I.356 pour les limites supérieures exigent des seuils de TEB voisins de  $1 \times 10^{-9}$ . En conséquence, il est possible que les résultats des essais AT&T-KDD satisfassent à peine à ces objectifs. Les techniques d'amélioration des liaisons, par exemple le codage externe RS et l'entrelacement permettent d'obtenir une meilleure qualité de fonctionnement et de répondre aux exigences du mode ATM (voir le § 6).

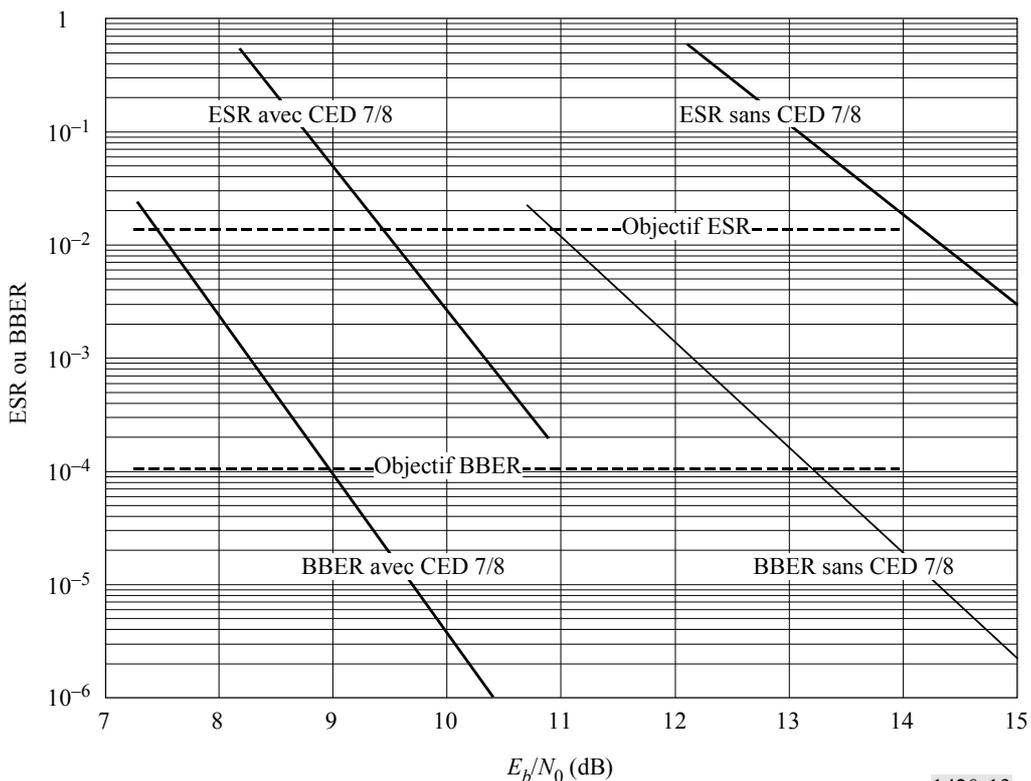
### 3.3 Essais ATM effectués par EUTELSAT

EUTELSAT a réalisé dans son système à satellites des mesures des couches physique et ATM sur des liaisons AMRT et IDR, afin de caractériser la relation entre les paramètres des Recommandations UIT-T G.826 et UIT-T I.356 en fonction de la qualité de fonctionnement des liaisons. Les résultats mettent en évidence le TEB sur ces liaisons en fonction de la qualité de fonctionnement du ( $E_b/N_0$ ) du modem du satellite. Ces résultats sont représentés graphiquement dans les Fig. 13 à 16 pour une interface au débit de 2,048 Mbit/s vers le système AMRT à 120 Mbit/s, et dans les Fig. 17 à 20 pour une liaison IDR fonctionnant à 34,468 Mbit/s.

La Fig. 13 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 en fonction du  $E_b/N_0$  pour le système AMRT, avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation. La figure montre deux séries de résultats: l'une de ces séries se rapporte à des liaisons codées par BCH au débit 7/8 et l'autre concerne des liaisons fonctionnant sans CED.

FIGURE 13

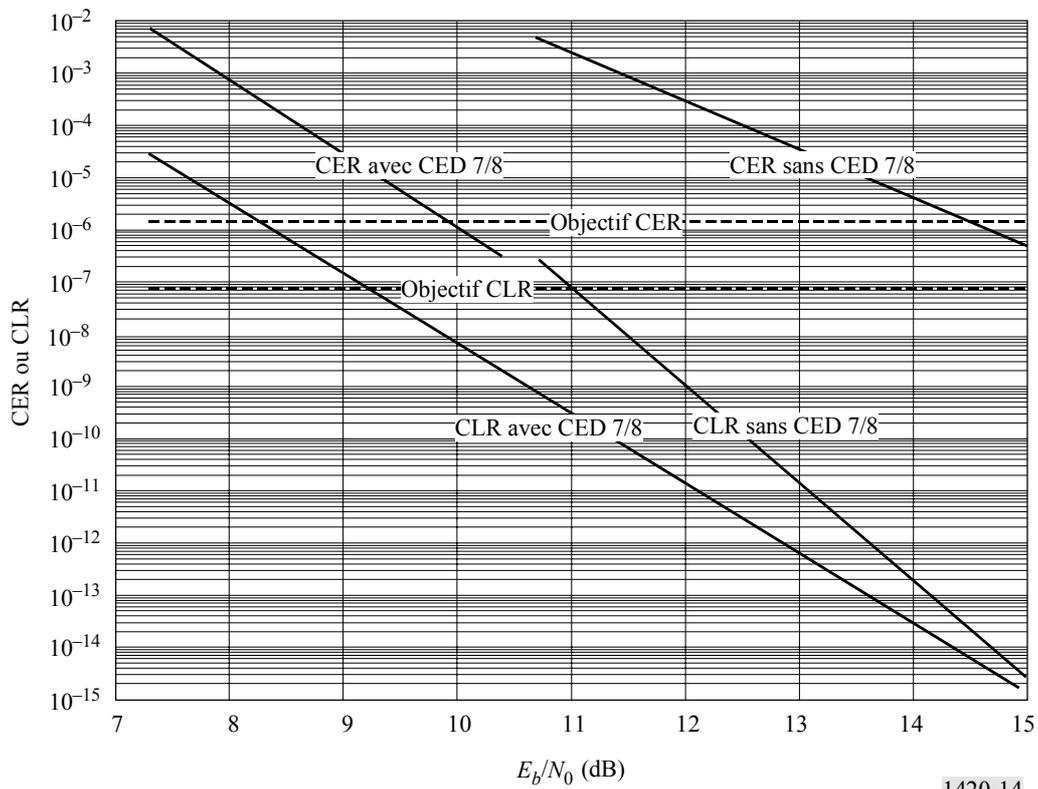
**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 (couche physique) en fonction du  $E_b/N_0$  à l'entrée du démodulateur, pour une interface à 2,048 Mbit/s dans le système AMRT à 120 Mbit/s d'EUTELSAT**



La Fig. 14 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 en fonction du  $E_b/N_0$  pour le système AMRT, avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation. Comme dans la Fig. 13, deux séries de résultats sont présentées: l'une concerne des liaisons codées par BCH au débit 7/8 et l'autre des liaisons fonctionnant sans codage CED.

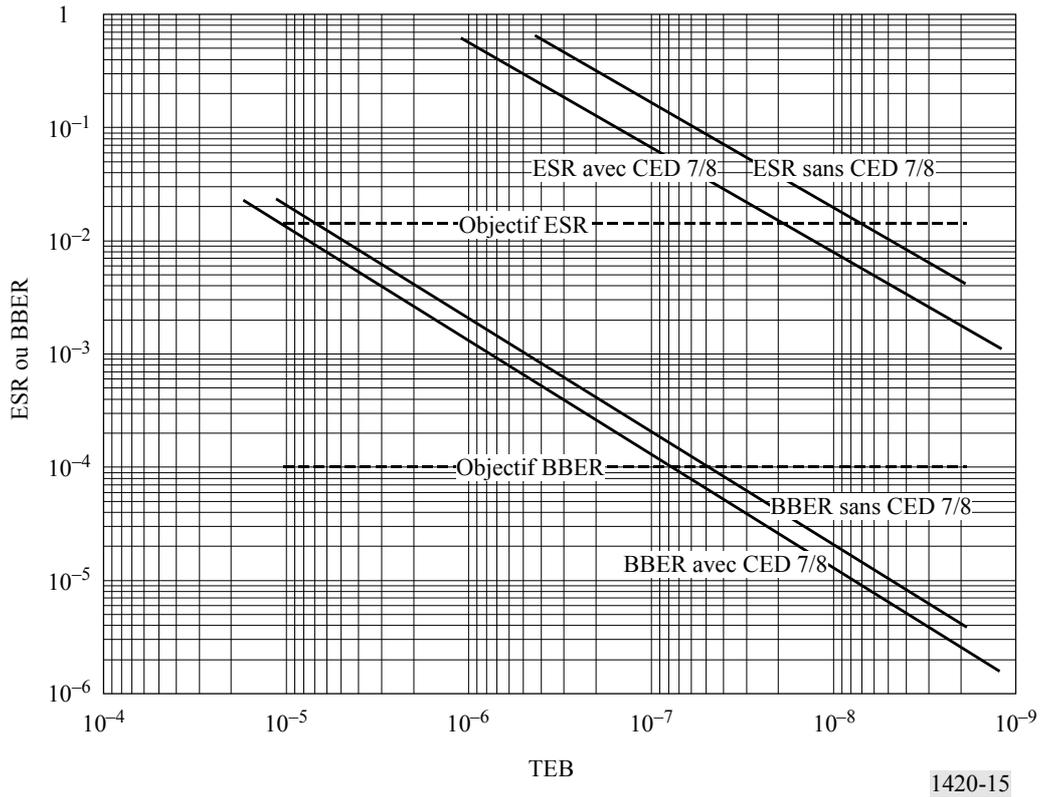
FIGURE 14

**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 (couche ATM) en fonction du  $E_b/N_0$  à l'entrée du démodulateur, pour une interface à 2,048 Mbit/s dans le système AMRT à 120 Mbit/s d'EUTELSAT**



La Fig. 15 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 en fonction du TEB pour le système AMRT, avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation.

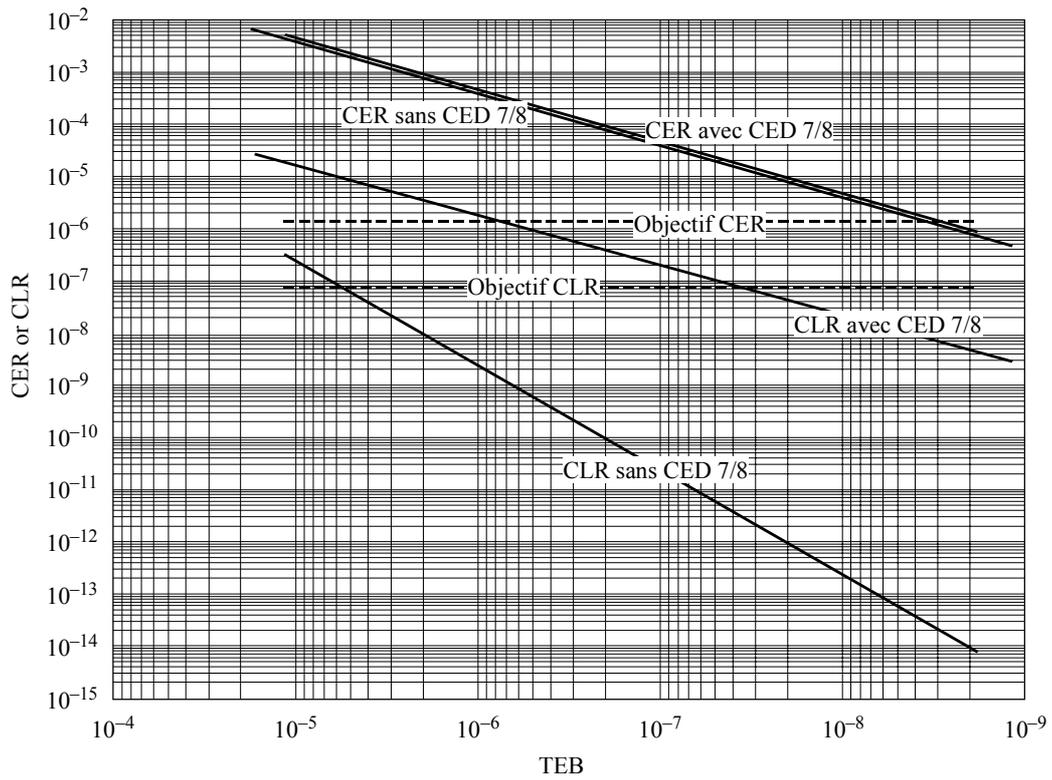
FIGURE 15  
**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 (couche physique) en fonction du TEB à la sortie du démodulateur, pour une interface à 2,048 Mbit/s dans le système AMRT à 120 Mbit/s d'EUTELSAT**



La Fig. 16 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 en fonction du TEB pour le système AMRT, avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation.

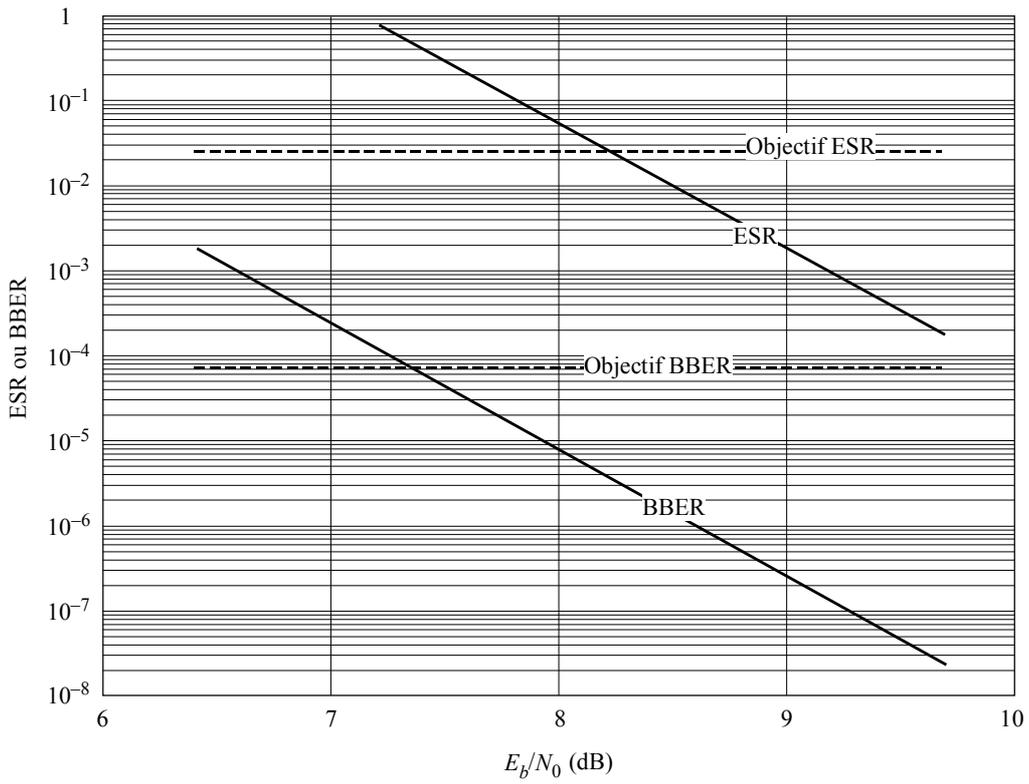
FIGURE 16

**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 (couche ATM) en fonction du TEB à la sortie du démodulateur, pour une interface à 2,048 Mbit/s dans le système AMRT à 120 Mbit/s d'EUTELSAT**



La Fig. 17 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 en fonction du  $E_b/N_0$  pour un système IDR (avec codage convolusionnel au débit 3/4 et décodage Viterbi), avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation.

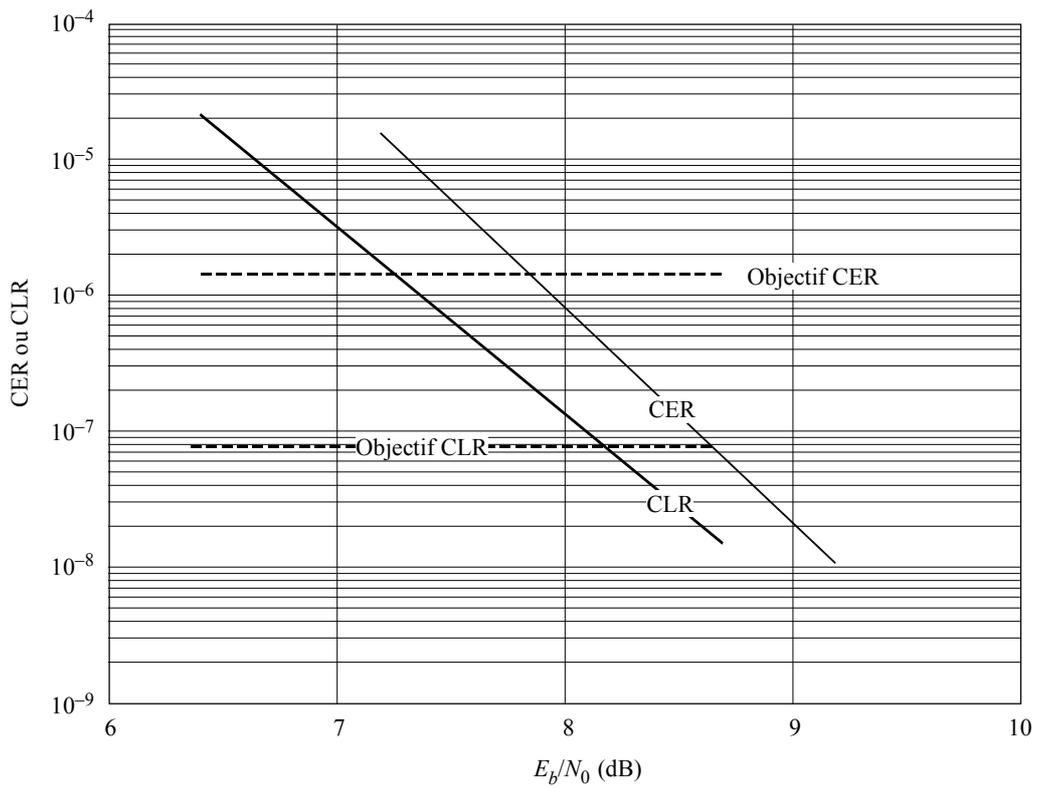
FIGURE 17  
**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 (couche physique) en fonction du  $E_b/N_0$  à l'entrée du démodulateur, pour un modem IDR fonctionnant à un débit d'interface de 34,368 Mbit/s**



La Fig. 18 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 en fonction du  $E_b/N_0$  pour un système IDR (avec codage convolusionnel au débit 3/4 et décodage Viterbi), avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation.

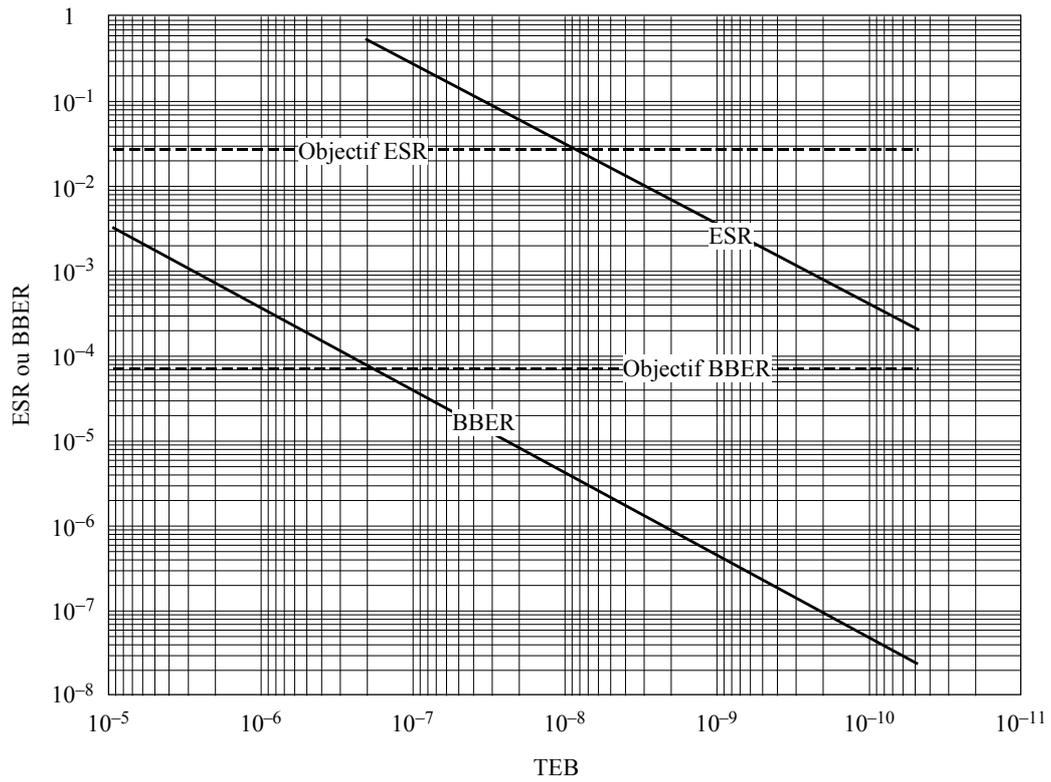
FIGURE 18

**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement pour la Recommandation UIT-T I.356 (couche ATM) en fonction du  $E_b/N_0$  à l'entrée du démodulateur, pour un modem IDR fonctionnant à un débit d'interface de 34,368 Mbit/s**



La Fig. 19 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 en fonction du TEB pour un système IDR (avec codage convolutionnel au débit 3/4 et décodage Viterbi), avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation.

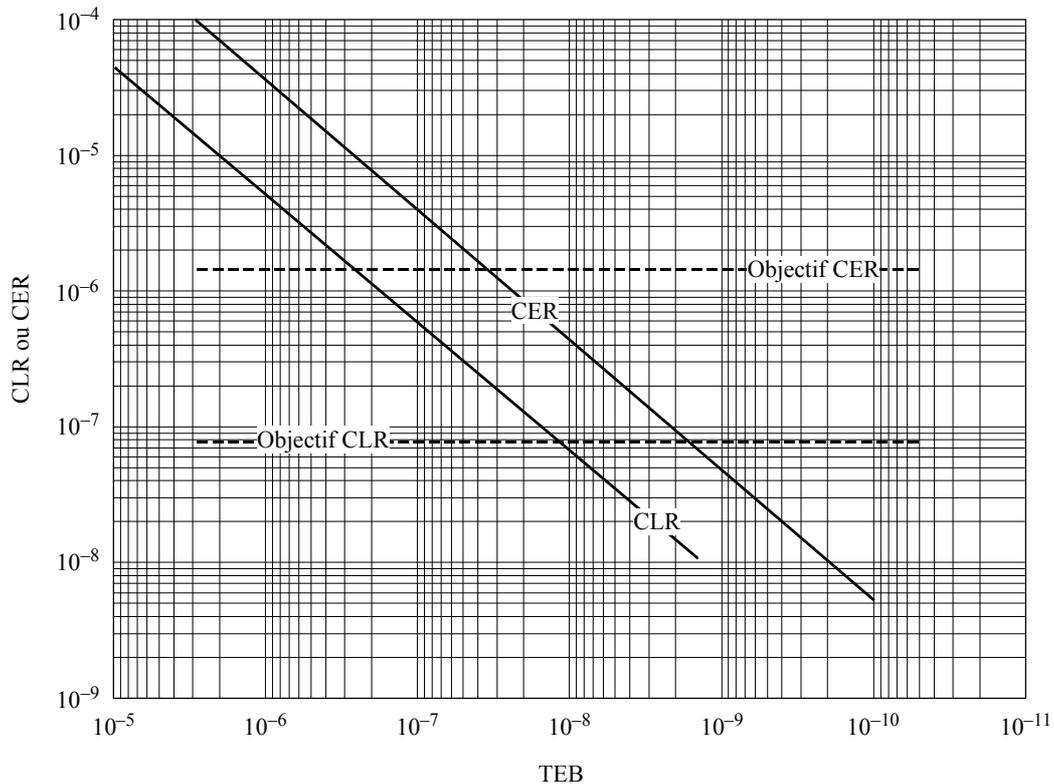
FIGURE 19  
**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 (couche physique) en fonction du TEB à la sortie du démodulateur, pour un modem IDR fonctionnant à un débit d'interface de 34,368 Mbit/s**



La Fig. 20 donne les valeurs des paramètres de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 en fonction du TEB pour un système IDR (avec codage convolutionnel au débit 3/4 et décodage Viterbi), avec indication des objectifs spécifiés dans ladite Recommandation.

FIGURE 20

**Paramètres et objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T I.356 (couche ATM) en fonction du TEB à la sortie du démodulateur, pour un modem IDR fonctionnant à un débit d'interface de 34,368 Mbit/s**



1420-20

### 3.4 Essais ATM d'INTELSAT

COMSAT a effectué des mesures afin d'étudier la relation entre les CLR et CER en fonction du TEB. Les Fig. 21 (CLR en fonction du TEB) et 22 (CER en fonction du BER) illustrent ces relations au débit E1, avec et sans codage RS. Ces figures peuvent être utiles pour passer des spécifications de CLR et CER (Recommandation UIT-T I.356) aux spécifications de TEB utilisées dans la conception des liaisons par satellite.

## 4 Prescriptions en matière d'applications ATM et qualité de fonctionnement de la couche physique

On trouvera ci-après des résultats d'expériences et d'essais de transmission ATM par satellite en ce qui concerne la qualité de fonctionnement dans les applications considérées.

Le mécanisme de transport des cellules en mode ATM ne concerne qu'une couche du système de transmission ATM à trois couches. La couche d'adaptation ATM (AAL, *ATM application layer*) se trouve au-dessus de la couche transport de cellules. Jusqu'à présent, on a défini 4 types de couches AAL: AAL-1, AAL-2, AAL-3/4 et AAL-5. La couche AAL-5 fournit un conduit transparent entre les commutateurs ATM, alors que la couche AAL-1 offre une mémoire tampon qui permet de réduire la CDV. La couche AAL-3/4 comprend des fonctions de détection et de correction des erreurs. Il existe 2 autres couches au-dessus de la couche AAL: la sous-couche de convergence propre aux services de découpage et de réassemblage et la sous-couche convergente qui assure une mise en correspondance entre la couche AAL et l'application considérée. On a utilisé une connexion AAL-5 pour tous les résultats présentés ou obtenus dans la présente Recommandation.

FIGURE 21  
 CLR en mode ATM en fonction du TEB pour un canal IDR au débit E1

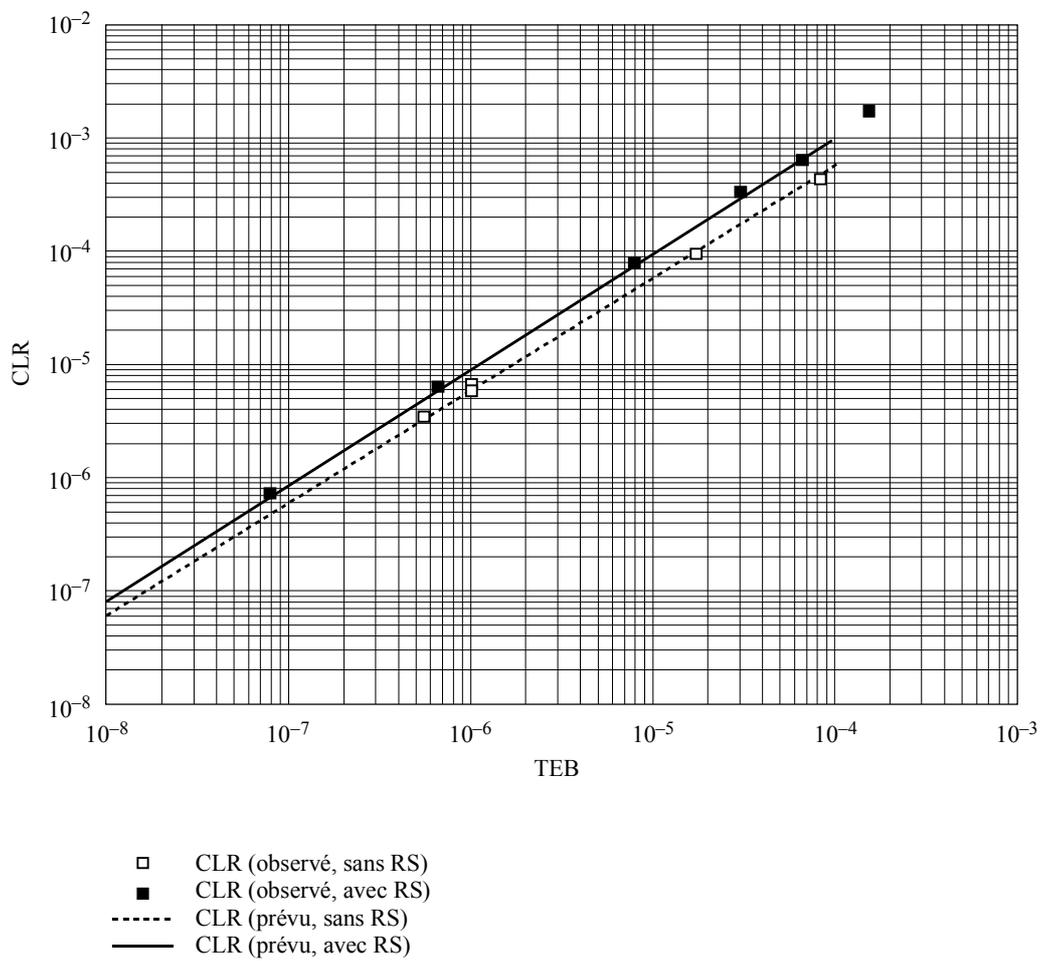
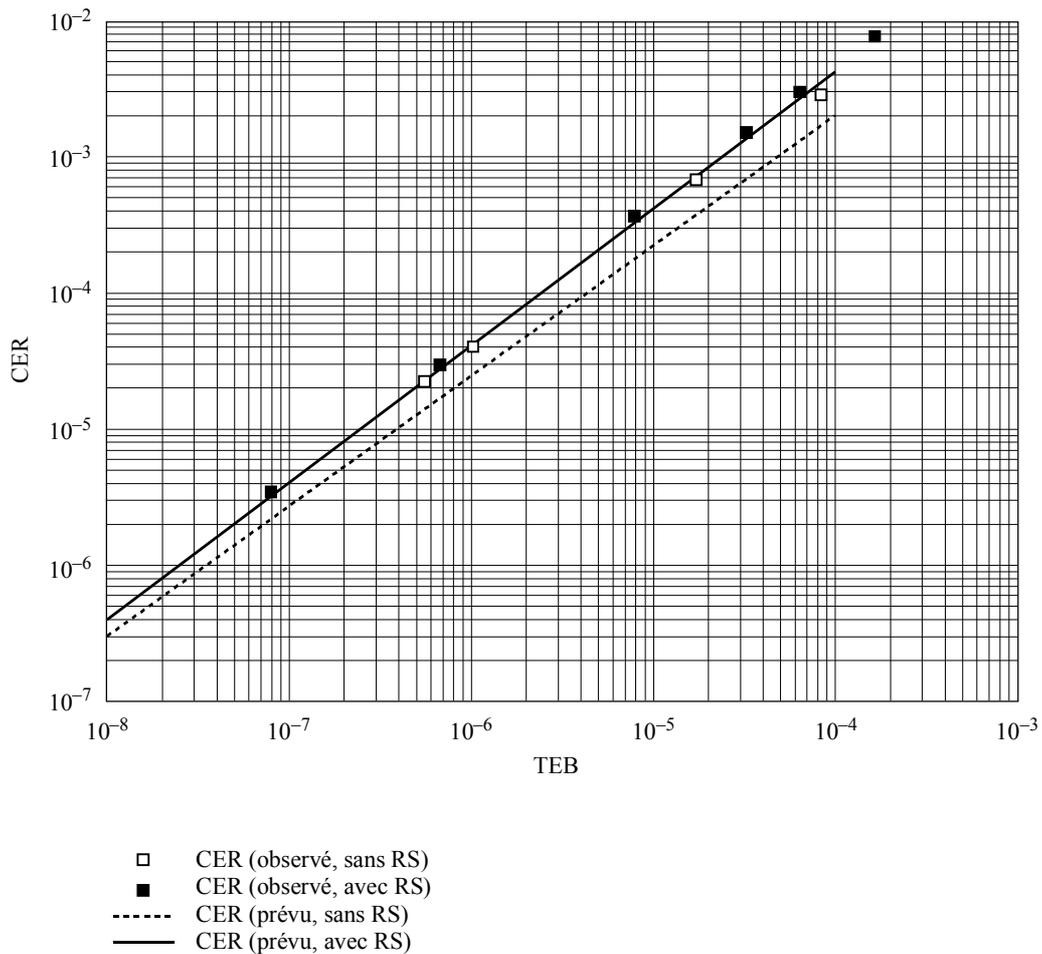


FIGURE 22  
CER en mode ATM en fonction du TEB pour un canal IDR au débit E1



1420-22

#### 4.1 Applications vocales et de transmission de données dans la bande vocale

Les prescriptions à respecter en matière de performance d'erreur pour la prise en charge de données en téléphonie et en bande vocale ne sont pas aussi rigoureuses que celles exigées pour la compression vidéo, mais le fait que le CLR soit élevé et que le retard de bout en bout soit important influera sur la qualité de ces services. Il existe aujourd'hui de nouvelles techniques de compression de la parole qui permettent d'acheminer beaucoup plus d'échantillons de paroles dans chaque cellule ATM. En conséquence, la perte d'une seule cellule aura des conséquences sur un grand nombre de canaux téléphoniques ou introduira une longue pause dans un même canal.

#### 4.2 Applications vidéo

##### 4.2.1 Compression audio/vidéo en MPEG-2 et transport en ATM

La transmission de signaux MPEG-2 en ATM concerne les opérations suivantes: transport de signaux vidéo et audio compressés et combinés, flux d'éléments de programme (PES, *program element streams*) et multiplexage associé et flux de transport. Le signal vidéo peut être compressé dans un rapport pouvant atteindre environ 90:1 avec le système MPEG-2. Le Tableau 6 indique la quantité approximative de données contenues dans une unité d'accès vidéo type à une image B.

TABLEAU 6

**Taille approximative de l'unité d'accès à l'image B**

Fréquence de codage vidéo (MHz)	Taille de l'unité d'accès vidéo (octets)
3	10 000
10	40 000
15	50 000

**4.2.2 Flux de transport MPEG-2**

Le flux de transport MPEG-2 est un protocole de multiplexage qui permet de transmettre, dans un flux unique, des programmes multiples composés des éléments suivants: vidéo, audio, mélange vidéo-audio et données spécifiques des utilisateurs. Le flux de transport est constitué de paquets de 188 octets contenant des informations spécifiques de programmes, par exemple les paquets suivants: tables d'association de programmes (PAT, *program association table*), tables de mappage de programmes (PMT, *program map tables*), tables d'accès conditionnel (CAT, *conditional access tables*), table d'informations de réseau (NIT, *network information table*), référence d'horloge des programmes (PCR, *program clock reference*) et PES. Les paquets de flux d'éléments de programme contiennent les données d'éléments de programme ainsi que l'horodatage des programmes (PTS, *program time stamp*) qui indique le moment où une unité de présentation est présentée au décodeur cible du système, et l'horodatage d'image (DTS, *display time stamp*) qui indique le moment où une unité d'accès est décodée dans le décodeur cible du système.

En raison de la complexité du codage vidéo et audio en MPEG-2 d'une part et du multiplexage du flux de transport d'autre part, il est extrêmement difficile de déterminer la qualité vidéo découlant des erreurs aléatoires introduites dans le flux de transport. Dans certains cas, une erreur pourrait mutiler certains éléments (partie non utilisée d'un flux de transport, bit de poids insignifiant d'une information temporelle ou partie d'une unité d'accès audio ou vidéo) et avoir un effet négligeable sur la qualité du programme. Dans d'autres cas, il pourrait y avoir mutilation d'un bit de poids élevé du rythme ou d'un pointeur stratégique, avec pour conséquence une perte de synchronisation du décodeur. De plus, beaucoup de ces erreurs peuvent être masquées du fait des caractéristiques innovantes des décodeurs. En d'autres termes, il faut bien connaître les formes de réalisation des décodeurs ainsi que les opérations de codage et de multiplexage vidéo et audio pour pouvoir déterminer exactement pourquoi le contenu du programme se dégrade ou pourquoi le décodeur perd sa synchronisation.

**4.2.3 Système MPEG-2 en mode ATM**

On peut découper le flux de transport MPEG-2 et le placer dans des cellules ATM à l'aide de la couche d'application AAL-1 ou de la couche AAL-5. La Fig. 23 illustre le découpage dans la version AAL-5.

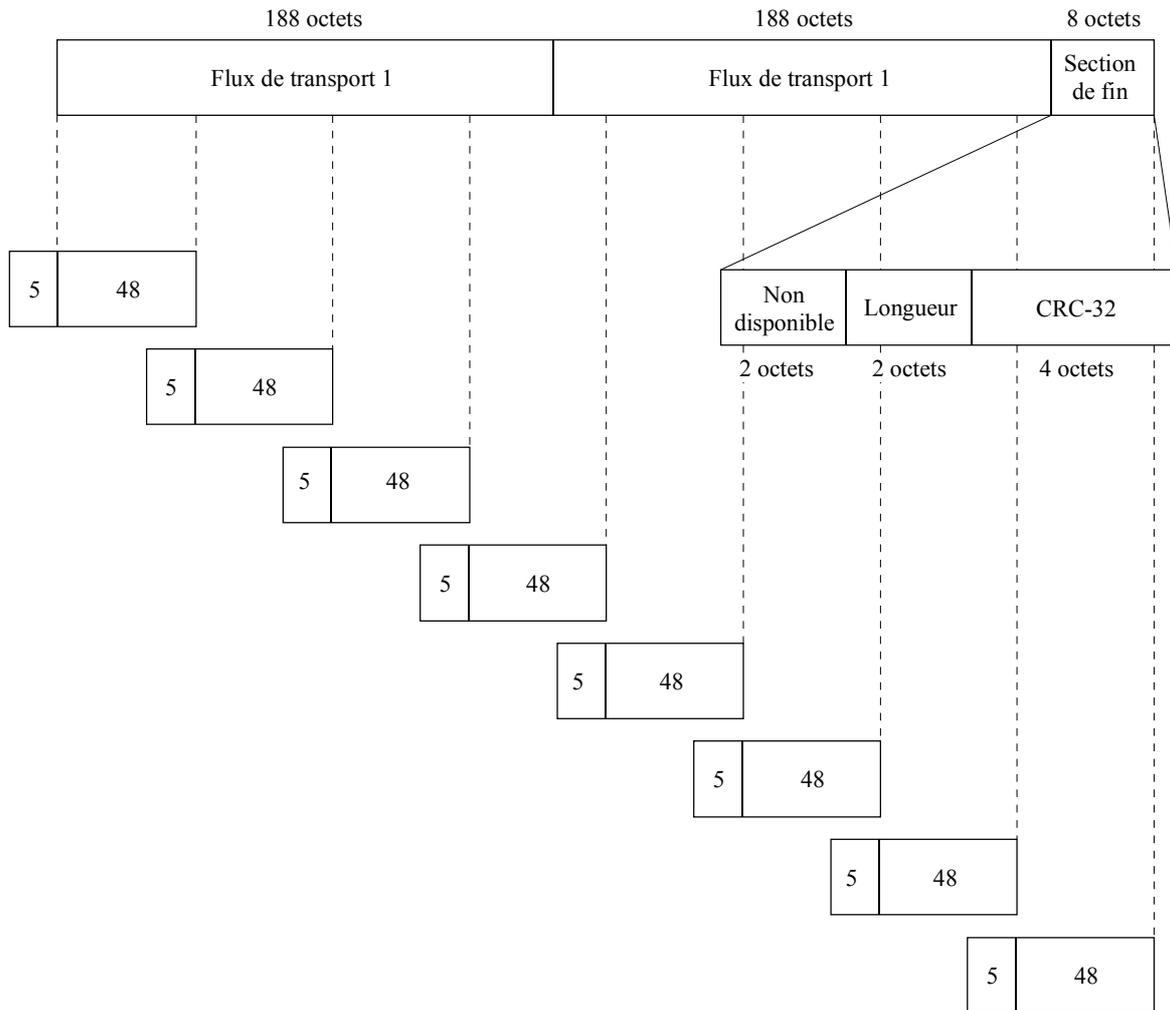
L'abandon, ou non, d'un datagramme AAL-5 mutilé, ou son passage à l'application sont des opérations facultatives. Ainsi, l'abandon d'une cellule ATM peut entraîner la perte de deux paquets du flux de transport, soit un total de 376 octets. L'abandon de la dernière cellule d'un datagramme, qui contient la fin du fanion du datagramme, pourrait entraîner la perte de quatre paquets.

**4.3 Application de données****4.3.1 Trafic Internet en mode ATM par satellite**

Le transport du trafic Internet dans les réseaux ATM est un domaine d'application important à prendre en compte dans la transmission par satellite en mode ATM. Les systèmes à satellites peuvent être utilisés pour le transport fédérateur à grande vitesse et pour l'accès direct et la connectivité avec des utilisateurs distants dans de nombreuses régions du monde.

FIGURE 23

## Sous-couche de convergence de la partie commune en AAL-5



CRC: code de redondance cyclique

1420-23

La plupart des applications Internet assurées par satellite fonctionnent de manière satisfaisante. On craint cependant que les applications à grande vitesse manquent d'efficacité dans la transmission par satellite, en raison des effets de latence (retard) subis par les protocoles de données utilisés par l'Internet. Le problème le plus important posé par la version actuelle du protocole de commande de transmission (TCP, *transmission control protocol*) est l'inefficacité avec laquelle ce protocole traite les flux de données à grande vitesse sur les liaisons fonctionnant avec de grands retards et sa réaction en cas de perte et d'encombrement dans le réseau. Ce problème n'est pas propre à la transmission par satellite et concerne aussi certains services de transmission de données de la gamme des gigabits dans des réseaux à fibres optiques.

Il existe deux grandes options pour améliorer l'actuel protocole TCP: limiter la largeur de bande pouvant être transmise sur un trajet par satellite et agir sur les modalités d'accusé de réception et de retransmission des paquets. Le débit d'une application basée sur une connexion TCP risque d'être limité par la taille de la fenêtre du protocole TCP, cette limitation étant telle que:

- les émetteurs rapides ne dépassent pas les récepteurs lents, et
- les émetteurs ralentissent en cas d'encombrement du réseau.

Pour accroître le débit, on peut augmenter la taille de la fenêtre, quel que soit le type d'installation de transmission utilisée. Cela permet d'envoyer une plus grande quantité de données avant l'attente d'un message d'accusé de réception. Augmenter la taille de la fenêtre permet certes d'accroître le débit lorsqu'il n'y a pas de perte, mais il faut aussi prendre en compte d'autres aspects, notamment les algorithmes de retransmission et le mécanisme de gestion de l'encombrement du protocole TCP. Parmi les solutions possibles proposées jusqu'à présent, on citera:

- l'utilisation de plusieurs connexions en parallèle,
- l'extension de la taille de la fenêtre (RFC-1323),
- l'utilisation d'un mécanisme d'accusé de réception sélectif (RFC-2018) et
- l'utilisation de l'algorithme à démarrage lent (RFC-2001).

La perte de cellules ATM ou l'insertion à tort de cellules (qui peuvent se traduire par des retransmissions de données), et la nature même du protocole ATM peuvent également avoir des conséquences sur la mise en œuvre des protocoles TCP/protocole Internet (IP) en mode ATM. On étudie actuellement des techniques visant à améliorer l'utilisation de ces protocoles en mode ATM.

Pour la conception de ces réseaux, on doit prendre en compte plusieurs paramètres nominaux de systèmes pour obtenir une efficacité de débit élevée. Au nombre de ces paramètres figurent la capacité de mémoire tampon, le principe du rejet des cellules par les commutateurs et les principes appliqués pour le système terminal, les algorithmes de reprise sur erreur et les mécanismes de gestion de l'encombrement.

Il ressort de résultats préliminaires de simulations présentés au Groupe de travail 4B des radiocommunications concernant un satellite destiné à acheminer du trafic à débit binaire non spécifié en mode ATM qu'il suffit d'utiliser une capacité de mémoire tampon optimale d'environ  $0,5 \times$  durée de transmission aller-retour pour obtenir un débit de 98% en trafic TCP infini.

#### 4.4 Résultats de mesures de la qualité de service pour les applications ATM

##### 4.4.1 Résultats de mesures de la qualité de service effectuées par AT&T et Telstra pour les applications ATM sur une liaison IDR

Parallèlement à l'essai ATM mené par AT&T (Etats-Unis d'Amérique), KDD (Japon) et Telstra (Australie), AT&T et Telstra ont effectué un certain nombre de tests, notamment des mesures de la qualité de service dans quelques services et applications. Les applications ATM ont fait l'objet de transmissions entre des laboratoires de recherche situés dans le New Jersey et à Sydney, sur des réseaux en fibres optiques et des liaisons IDR par satellite débitant à 45 Mbit/s. Les résultats présentés ci-après correspondent à quatre applications ATM:

- EMMI (vidéo en formule motion-Groupe mixte d'experts en photographie (JPEG));
- communiqué (visioconférence de bureau);
- téléphonie MIC; et
- télécopie G3.

Le Tableau 7 donne quelques caractéristiques importantes de ces systèmes.

TABLEAU 7  
Applications étudiées

Application	Description
EMMI	Vidéo en formule motion-JPEG; réglée pour fonctionner au niveau de qualité 50. On obtenait ainsi un signal DBV compris entre 10 et 20 Mbit/s environ
Communiqué	Système de visioconférence de bureau; réglé pour fonctionner à 15 images/s. On obtenait ainsi un signal DBV compris entre 0,5 et 1,5 Mbit/s
Téléphonie	Canal de téléphonie MIC 64 kbit/s connecté à un commutateur privé et relié par un circuit à débit binaire constant de type DS1 avec concentration numérique des communications
Télécopie	Télécopieur G3 (sans fonction perfectionnée de correction d'erreurs) connecté à un canal téléphonique du commutateur privé et relié par un circuit à débit binaire constant de type DS1 avec concentration numérique des communications

Des sujets ayant une bonne expérience de chaque application ont évalué les applications de manière subjective en vue de rechercher les dégradations des signaux audibles ou visuels. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8. Dans l'exemple considéré, ces résultats montrent que les objectifs de bout en bout proposés dans la Recommandation UIT-T I.356 ( $CLR = 3 \times 10^{-7}$ ,  $CER = 4 \times 10^{-6}$  et  $SECBR = 1 \times 10^{-4}$ ) ont été atteints avec une petite marge. Toute dégradation supplémentaire donnait une qualité de fonctionnement inacceptable.

TABLEAU 8  
Résultats des essais

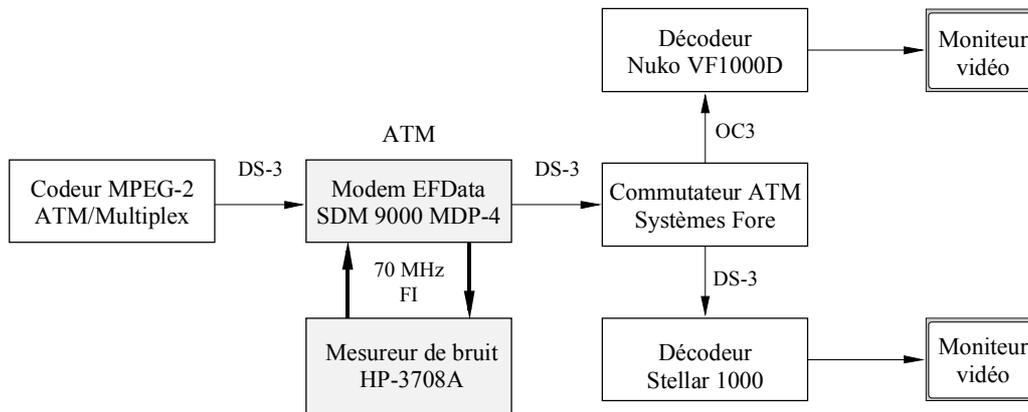
Durée des mesures (min)	$E_b/N_0$	TEB <sup>(1)</sup>	CLR <sup>(1)</sup>	EMMI	Communiqué	Téléphonie	Télécopie
3	10,3	$5 \times 10^{-11}$	0	Excellent	Vidéo et audio: bon	Excellent	Excellent
14	9,4	$5 \times 10^{-10}$	0	Inchangé	Inchangé	Inchangé	Inchangé
8	8,7	$6 \times 10^{-9}$	0	Un peu de scintillation sur les couleurs unies. La qualité reste excellente	Inchangé	Inchangé	Inchangé
7	8,2	$5 \times 10^{-8}$	0	Un peu de miroitement sur le rendu de la peau. La qualité reste très bonne	Taches	Inchangé	Difficulté de lecture des petits caractères
5	7	$5 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-7}$	Un peu de miroitement. Qualité acceptable.	Bon	Inchangé	Difficulté de lecture des petits caractères
14	6,5	$4,2 \times 10^{-6}$	$7,7 \times 10^{-6}$	Le mouvement est saccadé par moments. Un peu de miroitement	Quelques traînées noires, taches, traînées blanches	On a entendu une rafale de bruit, après quoi l'appel a été perdu. Rétablissement de l'appel, avec une bonne qualité. On a entendu une parole très hachée pendant 2 à 3 s, après quoi l'appel a été perdu	La troisième page n'est pas arrivée et a dû être retransmise. Petite perte de netteté
5	5,4	$7,5 \times 10^{-5}$	$8,2 \times 10^{-5}$	Très nette déformation du mouvement. Gel sur la vidéo. Le rebondissement d'une balle semble se geler à mi-parcours et s'interrompre. Miroitement sur le rendu de la peau. Flou sur les lettres et les noms en sous-titres	Traînées, distorsion en drapeau. L'audio commence à s'altérer	Déformation, désintégration. Rafales de bruit, puis coupure de la connexion. Maintenant inutilisable. Se maintient pendant moins d'une minute	Arrêt de la réception. Transmission impossible
3	4,5	$2,99 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	Gel sur la vidéo. Peut-être 5% des images ont été reçues. Déformation de l'audio	L'image est gelée	Impossible d'établir une communication (cinq tentatives). Tonalité de numérotation secondaire, mais pas de retour d'appel ni de sonnerie	Transmission impossible

<sup>(1)</sup> Le TEB a été mesuré par le modem du satellite. Le CLR désigne le taux de cellules non corrigées ou rejetées, c'est-à-dire toutes les cellules dont l'en-tête contenait au minimum deux erreurs. A noter que pour les petits TEB, la mesure de CLR est assortie d'une confiance statistique insuffisante.

### 4.4.2 Essais de laboratoire de la NASA: transmission de la norme MPEG-2 par satellite en mode ATM

Le Lewis Research Center de la NASA a fait des mesures de la qualité de service en mode ATM à l'aide de la norme MPEG-2 (AAL-5) en ATM sur une liaison par satellite simulée. Le but de ces mesures était de déterminer la qualité d'une liaison en espace libre nécessaire pour transmettre des informations multimédias de haute qualité en mode ATM. Les flux de transport MPEG-2 ont été mis en position de ligne de base en présence d'erreurs (distribution binomiale), après quoi on a procédé à une série d'essais de MPEG-2 en mode ATM. Les erreurs ont été créées par un procédé numérique et également sur une liaison FI comportant un modem de satellite et un mesureur de bruit gaussien disponible sur le marché, pour deux versions différentes du décodeur MPEG-2. Le dispositif d'essai est représenté sur la Fig. 24.

FIGURE 24  
Dispositif de mesure en MPEG-2 pour essais de longue durée avec deux décodeurs



1420-24

Les résultats des mesures sont présentés dans le Tableau 9. Ils montrent que les CLR et CER doivent être d'au moins  $1 \times 10^{-8}$  et  $1 \times 10^{-7}$ , respectivement et pourraient exiger une qualité de fonctionnement encore meilleure pour pouvoir fournir dans des conditions satisfaisantes des services tels que la transmission de signaux vidéo MPEG-2 compressés. Il semble cependant que ces résultats s'expliquent par la nécessité d'améliorer la qualité du décodage MPEG-2 en termes de TEB plutôt que par le mécanisme de transport ATM, comme le montrent les essais en ligne de base des flux de transport MPEG-2 affectés d'erreurs par rapport à des cellules ATM erronées véhiculant des flux de transport MPEG-2.

TABLEAU 9  
Résultats des mesures

$E_b/N_0$ (dB)	TEB	CLR	CER	Resynchronisation de décodeur	Erreurs sur les blocs	Nombre total d'erreurs visibles	Durée des mesures (s)	VEPS
7,5	$4,23 \times 10^{-7}$	$1,40 \times 10^{-6}$	$9,95 \times 10^{-6}$	18	8	26	420	$6,19 \times 10^{-2}$
8,0	$7,05 \times 10^{-8}$	$2,93 \times 10^{-7}$	$1,76 \times 10^{-6}$	12	17	29	2 315	$1,25 \times 10^{-2}$

- Les mesures de TEB, CLR et CER portent sur des mires transmises sur la liaison en même temps que les signaux vidéo. Elles donnent des indications sur la liaison, mais il ne s'agit PAS de mesures du flux vidéo lui-même.
- Réglage du modem: codage convolutionnel au débit 3/4/décodage de Viterbi et modulation MDP-4.
- Resynchronisation du décodeur: le décodeur gèle l'image et se resynchronise.
- Erreur sur les blocs: petits carrés visibles dans une partie de l'écran, parfois avec des couleurs changeantes.
- VEPS: erreurs visibles par seconde (*visible errors per second*).

Les résultats de cette étude ont été obtenus avec des systèmes dans lesquels les étages de démultiplexage pour le passage de ATM à MPEG-2 transmettaient des datagrammes AAL-5 mutilés aux décodeurs vidéo. Par ailleurs, les deux décodeurs utilisés étaient réalisés avec des puces de décodage C-Cube<sup>R</sup> CL9100. Il faudra procéder à un complément d'étude pour évaluer l'incidence sur la qualité de service d'autres décodeurs et de systèmes MPEG-2 plus résistants.

## **5 Considérations sur la mesure de la qualité de fonctionnement**

Pour mesurer les paramètres de qualité de fonctionnement énoncés dans la Recommandation UIT-T I.356 pour la couche ATM du RNIS-LB au point le plus proche de la liaison par satellite, il faudra identifier les deux nœuds du réseau ATM de part et d'autre de cette liaison. Les équipements ATM doivent être capables de mesurer la qualité de fonctionnement ATM à long terme (CLR, CER, SECBR, etc.) en cas de mesures non perturbantes et en période hors service. Avec une topologie point à multipoint, les équipements de mesure doivent pouvoir identifier des conduits virtuels et des canaux virtuels individuellement ou en groupes. Les méthodes employées pour mesurer ces paramètres font l'objet d'autres Recommandations UIT-T.

## **6 Techniques permettant d'améliorer la qualité de fonctionnement en mode ATM dans la transmission par satellite**

On trouvera ci-après la description de plusieurs techniques utilisées pour améliorer la qualité de fonctionnement des liaisons par satellite, afin de tenir compte des diverses classes de service ATM, par exemple le codage amélioré, l'entrelacement et la régulation adaptative de la puissance.

### **6.1 Réduction du CER, du SECBR et du CLR**

#### **6.1.1 Entrelacement sélectif**

L'entrelacement permet d'améliorer les fonctions de correction d'erreurs aléatoires d'un code, de telle sorte que ce code peut également être utilisé en présence de rafales d'erreurs. L'entrelaceur réaménage les bits codés sur une longueur correspondant à plusieurs blocs. Cette longueur dépend de l'efficacité de la protection contre les erreurs, qui dépend elle-même de la longueur des rafales rencontrées dans le canal. Globalement, l'entrelaceur étale les effets produits par les longues rafales. Celles-ci apparaissent alors au décodeur comme des erreurs binaires aléatoires indépendantes. La probabilité de rejet de cellules ATM sur des liaisons caractérisées par des rafales d'erreurs est beaucoup plus grande que sur des liaisons affectées par des erreurs aléatoires, le mécanisme HEC pouvant corriger les erreurs sur un seul bit. C'est pourquoi on peut avoir recours à l'entrelacement des éléments binaires pour améliorer la qualité de fonctionnement sur les liaisons par satellite codées.

#### **6.1.2 CED**

L'intérêt de la CED est son aptitude à repérer et à corriger, sans retransmissions, des erreurs limitées introduites par le système de transmission. Des symboles de code supplémentaires sont ajoutés au message transmis, pour fournir l'information nécessaire de détection et de correction. Parmi les techniques de codage CED pouvant être utilisées dans les systèmes à satellites, figurent le code séquentiel, le code à convolution, le code BCH, le code en treillis, le code Turbo et le code RS.

#### **6.1.3 Commande adaptative de la puissance**

On peut avoir recours à la régulation adaptative de la puissance sur la liaison montante ou sur la liaison descendante (ou sur les deux), afin de compenser les évanouissements dus à la pluie.

#### **6.1.4 Régulation adaptative du débit**

Pour procéder à la régulation adaptative du débit, on utilise un codage adaptatif qui permet à un système à satellites d'avoir un débit efficace, tout en conservant sa ressource la plus précieuse, à savoir la puissance du satellite. Ce principe repose sur l'utilisation de techniques de codage modernes puissantes qui permettent d'adapter et de maximiser le débit de transmission de données d'utilisateur compte tenu des conditions propres à la liaison. On peut faire appel à des algorithmes spéciaux pour surveiller de manière dynamique la dégradation ou l'amélioration de la qualité de fonctionnement de la liaison. Cette fonction permet de mettre au point des protocoles de systèmes qui répartissent plus ou moins le débit de transmission des données liaison par liaison. Pour adapter le débit, on peut notamment réguler le débit de codage, qui est défini comme le nombre de bits de données d'utilisateur transmis par chaque symbole de canal. Le symbole de canal peut être un symbole MDP-4 ou un instant généralisé, ou encore la fréquence d'une forme d'onde.

### **6.1.5 Diversité d'emplacement**

La diversité d'emplacement des stations terriennes permet au sous-système terrien d'un système à satellites d'avoir plusieurs liaisons de communication géographiquement dispersées avec le sous-système spatial. Ce dernier peut comporter un ou plusieurs satellites, qui fournissent de multiples liaisons de communication ayant des angles d'élévation différents par rapport aux stations terriennes. La qualité de fonctionnement de ces liaisons varie en fonction des conditions atmosphériques et de la distance parcourue par les liaisons de communication. Toutefois, on peut retrouver un signal de bonne qualité en combinant les signaux provenant des conduits améliorés. Le système à satellites pourrait fournir la disponibilité requise pour assurer des services de transport en mode ATM.

## **7 Formats de transmission numériques employés par les systèmes à satellites en mode ATM**

Le trafic ATM peut être acheminé par des systèmes à satellites au moyen de différents formats de transmission numériques, dont la hiérarchie numérique synchrone (SDH), la hiérarchie numérique plésiosynchrone (PDH), les systèmes de transmission de cellules et les systèmes fondés sur la norme MPEG-2.

### **7.1 SDH**

Voir la Recommandation UIT-T G.707 et les Recommandations de la Série UIT-T I.432.

### **7.2 PDH**

Voir la Recommandation UIT-T G.804.

### **7.3 Systèmes de transmission de cellules**

Voir la Recommandation UIT-T G.707 et les Recommandations de la Série UIT-T I.432.

---