

4B2: Qualité de fonctionnement et disponibilité

RECOMMANDATION UIT-R S.1062-1

**QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT ADMISSIBLE EN TERMES D'ERREUR POUR
UN CONDUIT NUMÉRIQUE FICTIF DE RÉFÉRENCE FONCTIONNANT
À UN DÉBIT ÉGAL OU SUPÉRIEUR AU DÉBIT PRIMAIRE**

(Question UIT-R 75/4)

(1994-1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les satellites du service fixe par satellite jouent un rôle important dans la fourniture de communications numériques internationales fiables;
- b) que la qualité de fonctionnement des liaisons par satellite doit être suffisante afin de respecter les objectifs de qualité de bout en bout et les objectifs de qualité pour l'utilisateur final;
- c) que la qualité de fonctionnement des liaisons par satellite ne dépend pas, en règle générale, de la distance;
- d) que la Recommandation UIT-R S.614 spécifie, pour les liaisons par satellite, des objectifs de qualité de fonctionnement conformes aux objectifs de la Recommandation UIT-T G.821;
- e) que la qualité de fonctionnement en termes d'erreur propre à des connexions fonctionnant à un débit égal ou supérieur au débit primaire a été spécifiée dans la Recommandation UIT-T G.826;
- f) que pour définir les critères de qualité de fonctionnement en termes d'erreur, il faut tenir compte de toutes les sources d'erreur prévisibles, notamment les conditions de propagation variables et les brouillages;
- g) qu'il est possible de concevoir des systèmes à satellites qui satisfassent à des objectifs de qualité de fonctionnement très divers,

recommande

- 1** de faire en sorte que les futures liaisons par satellite et, chaque fois que cela est possible, les liaisons par satellite existantes du réseau public avec commutation fonctionnant à un débit égal ou supérieur au débit primaire soient conçues pour, au minimum, répondre aux spécifications de la Recommandation UIT-T G.826. Un exemple de jeu de gabarits dérivés des paramètres de la Recommandation UIT-T G.826 est présenté dans la Note 1;
- 2** que la méthodologie décrite dans l'Annexe 1 soit utilisée pour générer les gabarits de performance en terme de probabilité d'erreur binaire (PEB) (Note 4) spécifiés dans la Note 1. La même méthodologie peut être utilisée au débit de 155 Mbit/s pour dériver le gabarit de la Note 2;
- 3** que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie de la Recommandation.

NOTE 1 – Afin de respecter toutes les exigences de la Recommandation UIT-T G.826, la valeur de PEB/α , probabilité d'erreur binaire (PEB) divisée par le nombre moyen α d'erreurs par salve (voir le § 3 de l'Annexe 1), à la sortie (c'est-à-dire à l'une ou l'autre extrémité d'une connexion bidirectionnelle) d'un conduit numérique fictif de référence (CNFR) par satellite fonctionnant à un débit égal ou supérieur au débit primaire, y compris 155 Mbit/s, et faisant partie d'une connexion internationale, ne devrait pas dépasser pendant le temps total (mois le plus défavorable) les gabarits de conception correspondant aux valeurs données dans le Tableau 1 et définies dans les gabarits de PEB de la Fig. 4.

NOTE 2 – Bien que la Note 1 respecte toutes les exigences de la Recommandation UIT-T G.826, un gabarit plus sévère peut être souhaitable ou nécessaire pour certaines catégories de services.

TABLEAU 1

Débit (Mbit/s)	Pourcentage de temps total (mois le plus défavorable)	PEB/ α
1,5	0,2	7×10^{-7}
	2,0	3×10^{-8}
	10,0	5×10^{-9}
2,0	0,2	7×10^{-6}
	2,0	2×10^{-8}
	10,0	2×10^{-9}
6,0	0,2	8×10^{-7}
	2,0	1×10^{-8}
	10,0	1×10^{-9}
51,0	0,2	4×10^{-7}
	2,0	2×10^{-9}
	10,0	2×10^{-10}
155	0,2	1×10^{-7}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-10}

Dans ce cas, la PEB à la sortie (c'est-à-dire à l'une ou l'autre extrémité d'une connexion bidirectionnelle) d'un CNFR par satellite, fonctionnant à un débit égal ou supérieur au débit primaire, y compris 155 Mbit/s, ne devrait pas dépasser pendant le temps total (mois le plus défavorable) les gabarits de conception définis par les valeurs données dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Pourcentage de temps total (mois le plus défavorable)	PEB/ α	Pour $\alpha = 10$ PEB
0,2	1×10^{-7}	1×10^{-6}
2	1×10^{-9}	1×10^{-8}
10	1×10^{-10}	1×10^{-9}

NOTE 3 – Les spécifications du CNFR visé dans la présente Recommandation sont données dans la Recommandation UIT-R S.521.

NOTE 4 – Les taux de PEB indiqués aux Notes 1 et 2 peuvent être estimés par des mesures de taux d'erreur binaire (TEB) sur une période de temps suffisamment longue. Une méthode de mesure des TEB en fonction d'un pourcentage de temps est proposée dans l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R S.614.

NOTE 5 – Pour une utilisation commode de la présente Recommandation, les valeurs correspondant aux objectifs indiqués dans les Notes 1 et 2, sont exprimées en termes de temps total et représentent les limites d'un modèle de qualité de fonctionnement en termes de PEB basé sur la méthode décrite à l'Annexe 1. Pour atteindre les objectifs donnés dans les Notes 1 et 2, les erreurs apparaissant pendant les périodes d'indisponibilité ont été exclues des valeurs de ces objectifs. Le lien entre le temps total et le temps de disponibilité est expliqué dans la Note 7. Les objectifs en matière de PEB indiqués dans la Note 1 ne sont pas les seuls qui permettent de satisfaire les exigences de la Recommandation UIT-T G.826. Le concepteur peut utiliser d'autres gabarits de PEB dans la mesure où ces gabarits sont conformes à la Recommandation UIT-T G.826.

NOTE 6 – La présente Recommandation s'appliquera avant tout à des systèmes à satellites fonctionnant en dessous de 15 GHz. L'application des exigences de qualité de fonctionnement indiquées dans la présente Recommandation à des systèmes fonctionnant à des fréquences plus élevées fait l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 7 – L'état d'indisponibilité commence après une période de 10 secondes gravement entachées d'erreurs consécutives. Ces 10 s sont considérées comme faisant partie du temps d'indisponibilité. Une nouvelle période de disponibilité commence après une période de 10 secondes non gravement entachées d'erreurs consécutives. Ces 10 s sont considérées comme faisant partie du temps de disponibilité. Pour des débits égaux ou supérieurs au débit primaire, on entend par seconde gravement entachée d'erreurs une période de 1 s qui comporte au moins 30% de blocs erronés, ou au moins une période gravement perturbée (SDP) (voir le § 3.1.1 et l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-T G.826). Les valeurs des seuils d'indisponibilité pour les PEB peuvent être déterminées pour un état d'indisponibilité atteint avec une probabilité de 0,5. Ces valeurs sont données dans le Tableau 4.

NOTE 8 – Les objectifs indiqués dans les Notes 1 et 2 sont exprimés en termes de pourcentage du mois le plus défavorable. Ces pourcentages mensuels correspondent aux pourcentages annuels suivants:

- 10% du mois le plus défavorable 4,0% de l'année.
- 2% du mois le plus défavorable 0,6% de l'année.
- 0,2% du mois le plus défavorable 0,04% de l'année.

NOTE 9 – On peut avoir intérêt, pour respecter les Notes 1 et 2 à des fréquences supérieures à 10 GHz, à recourir à divers mécanismes de compensation des évanouissements, codage adaptatif avec correction d'erreur directe, contrôle de la puissance ou diversité d'emplacement notamment. On trouvera dans l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R S.522 des précisions sur le fonctionnement en diversité d'emplacement.

NOTE 10 – La méthode préférée de vérification de la qualité de fonctionnement des liaisons numériques par satellite repose sur des mesures en service (ISM). Ces mesures utiliseraient les mécanismes de détection d'erreurs sur les blocs qui sont liés à la taille des blocs et à la structure du système de transmission. La correction d'erreur directe, l'embrouillage et le codage différentiel ont une incidence sur l'interprétation des mesures (voir le § 3 de l'Annexe 1).

NOTE 11 – La qualité de fonctionnement en termes d'erreur décrite dans les Notes 1 et 2 a été établie à partir d'un CNFR faisant partie du tronçon international de la liaison (par exemple, centre de tête de ligne international commuté à centre de tête de ligne international commuté). Il existe d'autres applications du CNFR à l'intérieur de la connexion (par exemple, bureau à bureau) et les objectifs de qualité de fonctionnement en termes d'erreur peuvent être adaptés en conséquence.

NOTE 12 – Les liaisons par satellite actuelles et futures du réseau public avec commutation devraient, chaque fois que cela est possible, être conçues, voire adaptées, de façon à respecter les objectifs de qualité de fonctionnement spécifiés dans la présente Recommandation. Toutefois, il peut s'avérer difficilement réalisable de mettre à niveau un système existant qui a été conçu pour respecter les dispositions de la Recommandation UIT-R S.614.

NOTE 13 – Les méthodes décrites dans la présente Recommandation peuvent s'appliquer aux liaisons par satellite de réseaux privés même si les gabarits de PEB ne sont pas nécessairement appropriés selon la configuration du réseau et les services acheminés.

NOTE 14 – Les objectifs de qualité de fonctionnement doivent être atteints pour les transmissions de bout en bout présentant le débit maximal et non le débit de transmission disponible. Par exemple, si le débit de transmission sur une liaison par satellite est de 6 Mbit/s et si le débit de transmission maximal nécessaire pour connecter deux utilisateurs finaux est de 2 Mbit/s, ce sont les objectifs de qualité de fonctionnement propres à une transmission à 2 Mbit/s qui devront être pris en compte lors de la conception de la liaison par satellite.

ANNEXE 1

1 Définitions, paramètres et objectifs de la Recommandation UIT-T G.826

Conformément à la Recommandation UIT-T G.821, les spécifications de la Recommandation UIT-T G.826 sont exprimées en termes d'intervalles erronés (EI). La terminologie est la même dans les deux Recommandations mais les définitions des paramètres sont différentes. Dans la Recommandation UIT-T G.826, les intervalles erronés sont définis en termes de blocs erronés (EB) et non d'erreurs binaires individuelles. Il s'agit dans la présente Recommandation de vérifier la conformité aux exigences de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826 pendant le service. Le fait que la qualité de fonctionnement soit définie en termes d'erreurs sur les blocs et non d'erreurs binaires a des conséquences importantes pour des systèmes dans lesquels les erreurs ont tendance à se produire en groupes, comme c'est le cas pour des systèmes utilisant l'embrouillage et la correction d'erreur directe (CED). Le bloc utilisé dans la Recommandation UIT-T G.826 est le groupe de bits contigus qui normalement constitue le bloc ou la trame de contrôle propre au système de transmission utilisé.

1.1 Définition des événements de base

Les événements de base sont définis comme suit:

– *Bloc erroné (EB)*

Bloc dont un ou plusieurs bits sont erronés.

– *Seconde erronée (ES)*

Période de 1 s comportant un ou plusieurs blocs erronés. Les secondes gravement erronées définies ci-après constituent un sous-ensemble des secondes erronées (ES).

– *Seconde gravement erronée (SES)*

Période de 1 s comportant au moins 30% de blocs erronés (voir la Note 1) ou au moins une période gravement perturbée (SDP) (voir la Note 2).

Pour les mesures hors service (OOS), il y a période gravement erronée lorsque, en un laps de temps équivalant à la valeur la plus grande entre 4 blocs contigus et 1 ms, on observe soit une altération de tous les blocs contigus imputable à une forte densité d'erreurs sur les bits ($\geq 1 \times 10^{-2}$), soit une perte d'information contenue dans le signal. Pour les besoins du contrôle en service, on considère qu'il y a période gravement perturbée (SDP) quand apparaît un dérangement du réseau. Le terme dérangement est défini dans les Annexes (2, 3 ou 4 de la Recommandation UIT-T G.826) pour différentes structures de réseaux: hiérarchie numérique plésiochrone (PDH), hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou structure cellulaire.

NOTE 1 – Pour des raisons historiques, le pourcentage de blocs erronés retenu pour la définition des secondes gravement erronées (SES) n'est pas le même pour tous les systèmes PDH (voir l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-T G.826).

Pour les besoins de la maintenance, on peut utiliser des valeurs qui diffèrent de 30%, valeurs qui peuvent varier selon le débit de transmission.

NOTE 2 – Des événements SDP peuvent durer plusieurs secondes et annoncer des périodes d'indisponibilité, en particulier lorsqu'aucune procédure de rétablissement/de protection n'est utilisée. Des SDP d'une durée de T s, où $2 \leq T < 10$ (certains exploitants de réseaux appelant ces événements «défaillances») peuvent avoir des conséquences fâcheuses pour le service, déconnexion des services commutés par exemple. La seule limite que la Recommandation UIT-T G.826 impose à la fréquence de ces événements est la limite fixée pour le taux de secondes gravement erronées (SESR).

– *Erreur résiduelle de bloc (BBE)*

Erreur sur un bloc survenant en dehors d'une seconde gravement erronée (SES).

1.2 Définition des paramètres

Les performances en termes d'erreur ne doivent être évaluées que lorsque la liaison est disponible – voir l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-T G.826 pour la définition du critère d'apparition/disparition de l'état d'indisponibilité:

– *Taux de secondes erronées (ESR)*

Proportion de secondes erronées (ES) par rapport au nombre total de secondes du temps de disponibilité pendant un intervalle de mesure déterminé.

– *Taux de secondes gravement erronées (SESR)*

Proportion de secondes gravement erronées (SES) par rapport au nombre total de secondes du temps de disponibilité pendant un intervalle de mesure déterminé.

– *Taux de bloc erroné résiduel (BBER)*

Proportion de blocs erronés par rapport au nombre total de blocs pendant un intervalle de mesure déterminé, exception faite de tous les blocs apparaissant pendant des secondes gravement erronées ou pendant le temps d'indisponibilité.

1.3 Objectifs de qualité de fonctionnement

Les objectifs de bout en bout de la Recommandation UIT-T G.826 sont donnés dans le Tableau 3. Les objectifs dépendent du débit binaire du système de transmission. Des fourchettes sont également données pour les dimensions des blocs pris en charge à ces débits binaires. Comme cela a été dit plus haut, la taille des blocs sera celle qui est associée à la structure de trame du système de transmission. Des fourchettes sont données pour la taille des blocs afin de ne pas compromettre la mise au point des futurs systèmes de transmission. Ces objectifs sont spécifiés pour le temps de disponibilité.

TABLEAU 3

Objectifs de qualité de fonctionnement de bout en bout pour une connexion numérique internationale de 27 500 km fonctionnant à un débit égal ou supérieur au débit primaire

Débit (Mbit/s)	1,5 à 5	> 5 à 15	> 15 à 55	> 55 à 160	> 160 à 3 500	> 3 500
Bits/bloc	2 000-8 000 ⁽¹⁾	2 000-8 000	4 000-20 000	6 000-20 000	15 000-30 000 ⁽²⁾	A l'étude
ESR	0,04	0,05	0,075	0,16	(3)	A l'étude
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	A l'étude
BBER	3×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}	A l'étude

(1) Les conduits VC-11 et VC-12 (Recommandation UIT-T G.709) se caractérisent par un certain nombre de bits par bloc (832 et 1 120 respectivement). Ces chiffres sont situés en dehors de la fourchette recommandée pour les conduits ayant un débit compris entre 1,5 et 5 Mbit/s. Pour des blocs de cette taille, le BBER recherché pour les VC-11 et VC-12 est de 2×10^{-4} .

(2) Etant donné que les taux d'erreur binaire ne devraient pas chuter de façon spectaculaire avec l'augmentation des débits des systèmes de transmission, la taille des blocs (en bits) utilisés pour évaluer les conduits à débit binaire très élevé devrait être comprise entre 15 000 et 30 000 bits. Si l'on maintient une taille de bloc constante pour des conduits à débit binaire très élevé, on recherchera des valeurs relativement constantes pour le BBER et le SESR correspondant à ces conduits.

Le conduit VC-4-4c, tel qu'il est actuellement défini dans la Recommandation UIT-T G.709, est un conduit à 601 Mbit/s pour une taille de bloc de 75 168 bits. Etant donné que cette taille dépasse la taille de bloc maximale définie pour un conduit de ce débit, on admet que la valeur recherchée pour le BBER d'un VC-4-4c utilisant des blocs de 75 168 bits est de 4×10^{-4} . Il n'existe pas actuellement de conduits définis pour des débits binaires supérieurs à celui du VC-4-4c (> 601 Mbit/s). Des tronçons numériques sont par contre définis pour des débits binaires plus élevés et on trouvera ci-après des directives concernant l'évaluation de leur qualité de fonctionnement.

(3) Faute d'informations sur la qualité de fonctionnement des conduits fonctionnant à plus de 160 Mbit/s, aucun objectif en matière d'ESR n'est recommandé à l'heure actuelle. Toutefois, à des fins de maintenance ou de contrôle, les dispositifs de mesure de caractéristiques d'erreur fonctionnant à ces débits devraient pouvoir assurer une évaluation du taux de secondes erronées.

Quelle que soit la distance couverte proprement dite, un bond par satellite du tronçon international ou national se voit allouer 35% des objectifs de bout en bout. Les objectifs de qualité de fonctionnement pour un CNFR par satellite sont donnés dans le Tableau 4 pour des débits de transmission compris entre 1,5 et 3 500 Mbit/s.

TABLEAU 4

Objectifs de qualité de fonctionnement propres à un conduit numérique fictif de référence par satellite pour une connexion numérique internationale ou nationale fonctionnant à un débit égal ou supérieur au débit primaire

Débit (Mbit/s)	1,5 à 5	> 5 à 15	> 15 à 55	> 55 à 160	> 160 à 3 500
ESR	0,014	0,0175	0,0262	0,056	(1)
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	$1,05 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

(1) Faute d'informations sur la qualité de fonctionnement des conduits fonctionnant à plus de 160 Mbit/s, aucun objectif en matière d'ESR n'est recommandé à l'heure actuelle. Toutefois, à des fins de maintenance ou de contrôle, les dispositifs de mesure de caractéristiques d'erreur fonctionnant à ces débits devraient pouvoir assurer une évaluation du taux de secondes erronées.

1.4 Blocs de contrôle

Le bloc utilisé dans la Recommandation UIT-T G.826 est le bloc de contrôle propre au système de transmission utilisé. Le Tableau 5 précise la taille des blocs et le nombre de blocs par seconde pour divers débits de transmission.

TABLEAU 5

Relation entre le débit binaire, la taille des blocs et le nombre de blocs par seconde

Débit binaire (Mbit/s)	Taille des blocs (bits)	Nombre de blocs par seconde
1,544	4 632	333 1/3
2,048	2 048	1 000
6,312	3 156	2 000
44,736	4 760	9 398 63/119
51,84	6 480	8 000
155,52	19 440	8 000

2 Gabarits de probabilité d'erreur binaire

L'ensemble des paramètres et des objectifs définis dans la Recommandation UIT-T G.826 ne convient pas pour la conception du système de transmission. Il doit être transformé en une distribution de la probabilité d'erreur binaire en fonction d'un pourcentage de temps, appelé également gabarit de probabilité d'erreur binaire, de façon que toute transmission numérique conçue pour respecter ce gabarit respecte également les objectifs de la Recommandation. Cette transformation n'aboutit pas cependant à une distribution «unique».

2.1 Probabilité d'occurrence des événements de base

Il est bien connu que les erreurs de transmission observées sur les liaisons par satellite surviennent par salves où le nombre moyen d'erreurs par salve est, entre autres facteurs, fonction de l'embrouilleur et du code de correction d'erreur directe (CED). Un modèle correct de la qualité de fonctionnement numérique sur les liaisons par satellite doit donc tenir compte de cette distribution en salves. La distribution de Neyman-A avec contagion est un modèle statistique qui peut représenter de manière adéquate l'occurrence aléatoire des salves. Dans ce modèle, la probabilité d'occurrence de k erreurs dans N bits, $P(k)$, est donnée par:

$$P(k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\frac{BEP \cdot N}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{j^k}{j!} \left(\frac{BEP \cdot N}{\alpha} \right)^j e^{-j\alpha}$$

où:

α : nombre moyen de bits erronés dans une salve d'erreurs

BEP: probabilité d'erreur binaire.

Si $N = N_B$ représente le nombre de bits dans un bloc de données, la probabilité pour qu'un bloc ne contienne pas d'erreur est donnée par:

$$P(0) = e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \left[\left(\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha} \right)^j / j! \right] e^{-j\alpha} \cong e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \quad \text{pour presque toutes les valeurs de } \alpha.$$

La probabilité d'occurrence d'un bloc erroné, P_{EB} , est donnée par l'équation suivante:

$$P_{EB} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} = 1 - e^{-N_B \cdot BEP_{CRC}(t)}$$

où $BEP_{CRC}(t) = BEP/\alpha$, et BEP_{CRC} est explicitement montré comme une fonction du temps. La probabilité d'occurrence d'une seconde erronée, $P_{ES}(t)$, peut s'exprimer comme suit:

$$P_{ES}(t) = 1 - e^{n \cdot P_{EB}(t)}$$

où n est le nombre de blocs par seconde.

Etant donné que la probabilité d'occurrence de k blocs erronés dans un total de n blocs, $P_{n,k}(t)$, est donnée par:

$$P_{n,k}(t) = \frac{n!}{(n-k)! k!} (1 - P_{EB}(t))^{n-k} P_{EB}^k(t)$$

la probabilité d'occurrence d'une seconde gravement erronée, $P_{SES}(t)$, est:

$$P_{SES}(t) = \sum_{k=0,3n}^n P_{n,k}(t) = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} P_{n,k}(t) = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} \frac{n!}{(n-k)! k!} (1 - P_{EB}(t))^{n-k} P_{EB}^k(t)$$

2.2 Génération des gabarits

Si, par hypothèse, on prend le modèle de forme générale donné à la Fig. 1 et si on utilise les probabilités ci-dessus, on peut calculer le taux de secondes erronées (ESR). L'ESR, nombre total de secondes erronées (secondes comportant un ou plusieurs blocs erronés) divisé par le nombre total de secondes disponibles, T_a , s'exprime comme suit:

$$ESR = \frac{\int P_{ES}(t) dt}{T_a}$$

De même, le taux d'erreurs gravement erronées (SESR) est donné par la formule:

$$SESR = \frac{\int P_{SES}(t) dt}{T_a}$$

Si on suppose que $P_{ES}(t)$ et $P_{SES}(t)$ sont constants par intervalles dans le temps, les ESR et SESR sont donnés par les formules suivantes:

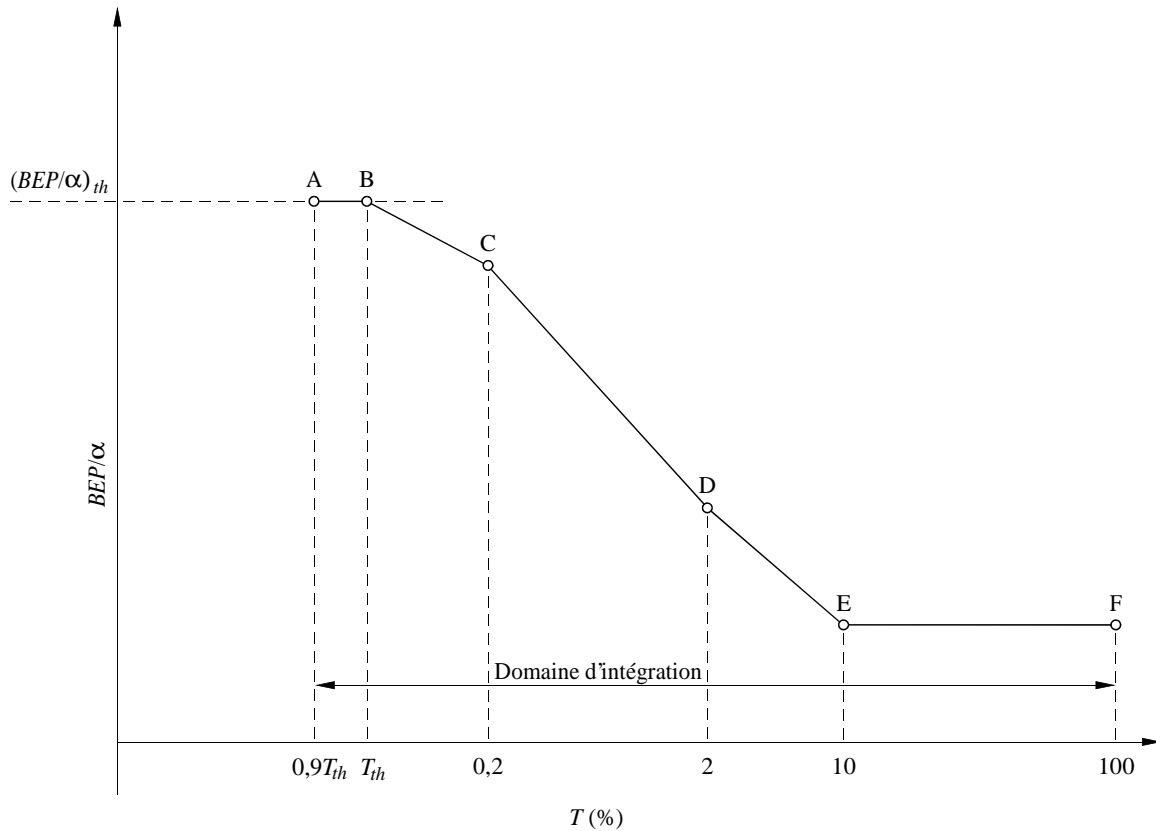
$$ESR = \sum_{i=1}^M P_{ES_i} \cdot \Delta t_i$$

et

$$SESR = \sum_{i=1}^M P_{SES_i} \cdot \Delta t_i$$

où M est le nombre total d'intervalles de temps et $P_{ES_i}(t)$ et $P_{SES_i}(t)$ sont respectivement la probabilité d'occurrence d'une seconde erronée et d'une seconde gravement erronée dans le i ème intervalle de temps et Δt_i est le i ème intervalle de temps divisé par T_a .

FIGURE 1
Forme générale du gabarit



D01

Le taux d'erreur sur les blocs ordinaires (BBER) est défini comme étant le rapport entre le nombre de blocs erronés et le nombre total de blocs pendant les secondes disponibles, à l'exclusion de tous les blocs apparaissant pendant les secondes gravement erronées (SES). Ainsi:

$$BBER = \frac{\int_{T_a} \left(\sum_{k=1}^{0,3n} P_{n,k}(t) \cdot k \right) dt}{n \cdot \left(T_a - \int_{T_a} P_{SES}(t) \cdot dt \right)} = \frac{\sum_{k=1}^{0,3n} \left(\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{n,k}(t) \cdot dt \right) \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)}$$

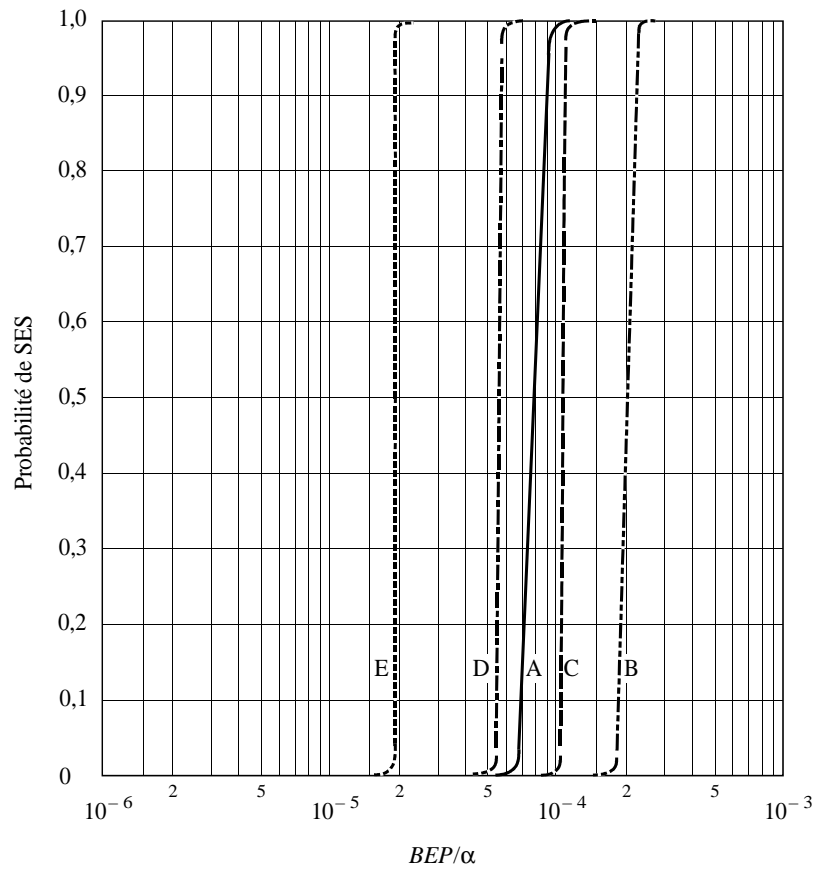
En posant $\overline{P_{n,k}} = \frac{\int_{T_a} P_{n,k} \cdot dt}{T_a}$, le BBER peut s'exprimer comme suit:

$$BBER = \frac{\sum_{k=1}^{0,3n} \overline{P_{n,k}} \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)}$$

Le temps correspondant au seuil d'indisponibilité T_{th} est défini par $P_{SES} = 0,933$. Cette valeur correspond à une probabilité de 0,5 pour que dix secondes gravement erronées interviennent consécutivement.

Les valeurs de BEP_{th}/α correspondantes, pour divers débits binaires, sont présentées sur la Fig. 2 et sont également indiquées dans le Tableau 6.

FIGURE 2
 P_{SES} en fonction de BEP/α



- A: 1,5 Mbit/s
- B: 2 Mbit/s
- C: 6 Mbit/s
- D: 51 Mbit/s
- E: 155 Mbit/s

D02

TABLEAU 6

Débit binaire (Mbit/s)	BEP_{th}/α
1,544	$9,00 \times 10^{-5}$
2,048	$1,90 \times 10^{-4}$
6,432	$1,17 \times 10^{-4}$
51,84	$5,68 \times 10^{-5}$
155,52	$1,89 \times 10^{-5}$

Lors du choix de la valeur de BEP_{th}/α pour la génération des gabarits, il faut cependant se rappeler que les modems subissent une perte de synchronisation à un certain seuil de BEP , désigné ici par BEP_{mod} . Compte tenu de ce qui précède, la valeur de BEP_{th}/α à utiliser est donnée par la formule:

$$BEP_{th}/\alpha = \min (BEP_{th}/\alpha \text{ du Tableau 6; } BEP_{mod}/\alpha)$$

Pour la plupart des modems qui fonctionnent actuellement, la valeur $1,0 \times 10^{-3}$ constitue une bonne approximation de BEP_{mod} .

La méthode ci-dessus aboutira à la génération d'un nombre infini de gabarits conformes aux objectifs de qualité de fonctionnement de la Recommandation UIT-T G.826. Par conséquent, on utilise le processus suivant pour définir un gabarit et pour déterminer les points C, D, E et F du gabarit. (Voir la Fig. 1).

Etape 1 – Fixer les valeurs du gabarit à 100%, 10%, 2% et 0,2% du temps (points C, D, E et F).

Etape 2 – Déterminer la valeur de BEP_{th}/α .

Etape 3 – Choisir une valeur pour le temps correspondant au seuil d'indisponibilité, T_{th} , ($T_{th} < 0,2\%$).

Etape 4 – Tracer une ligne droite entre B et C.

Etape 5 – Calculer les ESR, SESR et BBER par une intégration dans le domaine compris entre $0,9 T_{th}$ et 100%. (Voir la Note 1).

NOTE 1 – D'après les résultats donnés dans la Recommandation UIT-R S.579, correspondant aux événements d'affaiblissement de propagation qui ne conduisent pas à une période d'indisponibilité, un «facteur de disponibilité due à la propagation» de 10% a été utilisé pour réaliser ces gabarits. 10% de T_{th} a donc été intégré dans le temps disponible pour tenir compte des cas où la valeur de BEP est plus mauvaise que celle de BEP_{th} mais où la situation se rétablit en moins de 10 s.

Etape 6 – Choisir une nouvelle valeur de T_{th} et répéter les étapes 4 et 5 jusqu'à trouver les valeurs les plus élevées des ESR, SESR et BBER pour tout $T_{th} < 0,2\%$ du temps.

Si les objectifs de la Recommandation UIT-T G.826 applicables aux ESR, SESR et BBER sont respectés pour tout $T_{th} < 0,2\%$ du temps, on considère que le gabarit défini par les points C, D, E et F respecte les dispositions de la Recommandation UIT-T G.826. Le processus décrit ci-dessus garantit en outre que l'indisponibilité de la liaison est inférieure à 0,2% du temps. Comme conséquence du processus itératif des étapes 4, 5 et 6, toute ligne droite entre les points B et C, où B peut se situer n'importe où entre 0% et 0,2% du temps, respectera les objectifs de la Recommandation UIT-T G.826 et les objectifs d'indisponibilité. La forme générale du gabarit peut alors être simplifiée en prolongeant verticalement le gabarit à partir du point C comme le montre la Fig. 3.

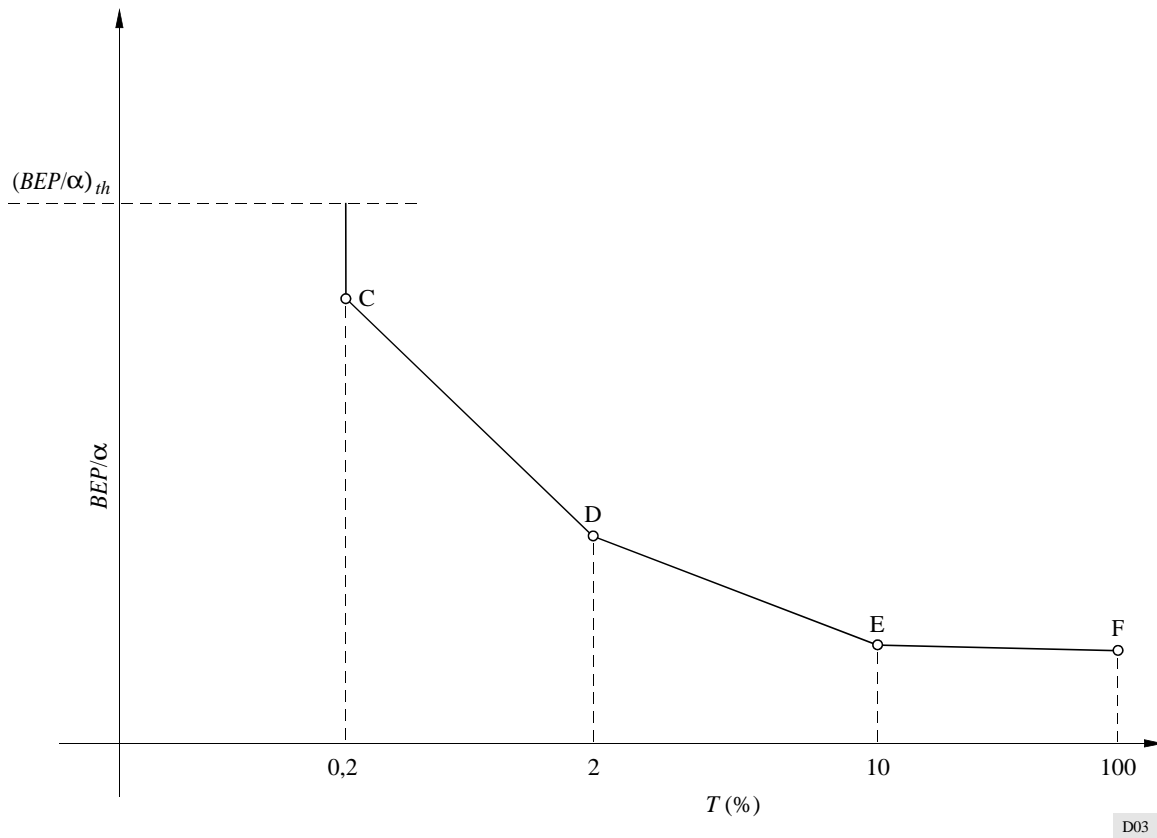
En utilisant le processus décrit ci-dessus et en ajoutant les hypothèses suivantes:

- les valeurs de BEP/α correspondant aux points E et F sont identiques,
- les valeurs de BEP/α correspondant aux points E et D diffèrent d'une décade,

on a généré, à titre d'exemple, un jeu de gabarits pour divers débits binaires de transmission. Ces gabarits sont représentés à la Fig. 4.

Pour l'élaboration de ces gabarits, on a supposé $BEP_{mod} = 1 \times 10^{-3}$. De plus, pour le gabarit correspondant au débit de 1,5 Mbit/s, le rapport entre les valeurs de BEP/α correspondant aux points E et D a été pris égal à 3 (et non à 10 comme pour les autres gabarits) afin d'obtenir un gabarit régulier.

FIGURE 3
Gabarit simplifié



D03

3 Relation entre le taux d'erreur binaire et le taux d'occurrence d'événement d'erreur

Il est bien connu que les erreurs observées sur les liaisons par satellite utilisant des mécanismes de correction d'erreur directe (CED) et d'embrouillage ont tendance à être groupées. Ces groupes d'erreurs, que l'on peut également appeler événements d'erreur, sont aléatoires et leur occurrence suit une distribution de Poisson. Le taux d'erreur sur les blocs résultant est identique à celui qui correspondrait à des erreurs binaires survenant de façon aléatoire (suivant une distribution de Poisson), avec un taux d'erreur binaire TEB/α où α (utilisé au § 2.1 pour tenir compte du fait que les erreurs surviennent par salves) est le nombre moyen de bits erronés dans un groupe. α représente par ailleurs le rapport entre le taux d'erreur binaire et le taux d'événement d'erreur.

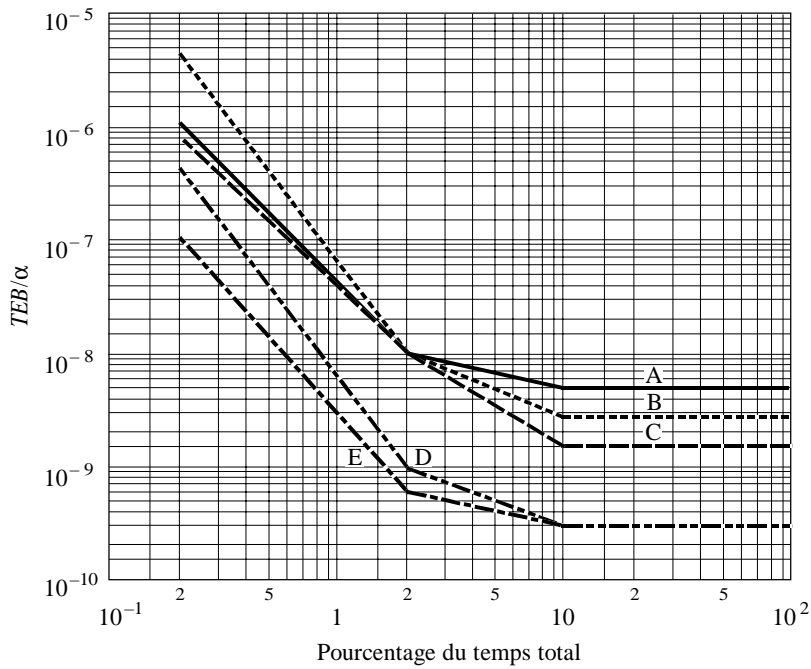
Les propriétés statistiques des groupes d'erreurs dépendent des mécanismes CED et d'embrouillage utilisés. Des simulations et des mesures par ordinateur des différents mécanismes de CED (sans embrouillage ou codage différentiel) ont été utilisées pour déterminer le facteur α . Les résultats sont indiqués dans le Tableau 7.

Des mesures en laboratoire de transmissions numériques INTELSAT de type IDR (CED $R = 3/4$ plus embrouillage) ont abouti à une valeur de 10 pour α pour un TEB compris entre 1×10^{-4} et 1×10^{-11} . Au cours des mêmes mesures, on a obtenu une valeur de 5 pour α dans le cas de transmissions numériques INTELSAT de type IBS (CED $R = 1/2$ plus embrouillage).

Il ressort du Tableau 7 et des résultats des mesures que α pourrait se situer entre 1 et 10 dans les cas considérés. Il faut étudier plus avant d'autres types de mécanismes de CED et d'embrouillage. On pourrait évaluer comme suit l'incidence du paramètre α sur le modèle de qualité de fonctionnement.

Les gabarits donnés aux Fig. 1 et 2 ont été générés avec $\alpha = 10$. Si, par exemple, aucun mécanisme de CED et d'embrouillage ($\alpha = 1$) n'est utilisé, les modèles seraient «décalsés» d'une décade et les exigences en matière de TEB seraient plus strictes (d'une décade).

FIGURE 4
 Gabarits générés pour un bond par satellite



- A: 1,5 Mbit/s
- B: 2 Mbit/s
- C: 6 Mbit/s
- D: 51 Mbit/s
- E: 155 Mbit/s

D04

TABLEAU 7
 Facteur pour divers mécanismes CED

Débit binaire (Mbit/s)	Sans CED	Avec CED		
		1/2	3/4	7/8
1,544	1,0	2,7	5,1	6,6
2,048	1,0	3,4	6,8	8,2
6,312	1,0	2,6	5,1	7,0
51,84	1,0	2,8	5,4	7,2
155,52	1,1	2,8	4,9	7,2

4 Conclusions

Les résultats des études ont montré que les modèles et gabarits nécessaires pour respecter les dispositions de la Recommandation UIT-T G.826 dépendent du débit de transmission. Les gabarits de conception sont également dépendants de la distribution des erreurs, distribution qui est influencée par les mécanismes de CED et d'embrouillage appliqués.

Il faut par ailleurs tenir compte des exigences de service pour définir des gabarits de conception de taux d'erreur admissible.