

RECOMMANDATION UIT-R S.1521

Caractéristiques d'erreur admissibles d'un conduit numérique fictif de référence basé sur la hiérarchie numérique synchrone

(Question UIT-R 75/4)

(2001)

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 pour permettre que soient respectés 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.1062 spécifie, pour les liaisons par satellite, des objectifs de qualité de fonctionnement conformes aux objectifs de la Recommandation UIT-T G.826;
- e) que les caractéristiques d'erreur pour les conduits numériques synchrones internationaux à débit binaire constant destinés à acheminer du trafic en mode de transfert asynchrone (ATM), tel que défini dans la Recommandation UIT-T I.356, ont été spécifiées dans la Recommandation UIT-T G.828;
- f) que, pour définir les critères de caractéristiques d'erreur, il faut tenir compte de toutes les sources d'erreur, notamment les conditions de propagation variables dans le temps 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 que les liaisons par satellite du réseau public destinées à écouler du trafic en hiérarchie numérique synchrone (SDH) et ATM soient conçues, au minimum, pour répondre aux spécifications de la présente Recommandation, qui est basée sur la Recommandation UIT-T G.828.

2 que la méthodologie décrite dans l'Annexe 2 soit utilisée pour générer les gabarits de performance en terme de probabilité d'erreur binaire (BEP, *bit error probability*) nécessaires (voir aussi la Note 2). Afin de respecter toutes les exigences de la Recommandation UIT-T G.828, la valeur de BEP/α , BEP divisée par le nombre moyen d'erreurs α par salve (voir le § 3 de l'Annexe 2) 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 (HRDP, *hypothetical reference digital path*) ne devrait pas dépasser, pendant le temps total (y compris le mois le plus défavorable), les gabarits de conception définis dans le Tableau 1 et les gabarits de BEP de la Fig. 2 de l'Annexe 2;

TABLEAU 1

Débit binaire (kbit/s)	Pourcentage de temps total (mois le plus défavorable)	BEP/ α
1 664	0,2	1×10^{-9}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
2 240	0,2	1×10^{-9}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
6 848	0,2	1×10^{-9}
	2,0	7×10^{-10}
	10,0	6×10^{-10}
48 960	0,2	1×10^{-9}
	2,0	2×10^{-10}
	10,0	1×10^{-10}
150 336	0,2	1×10^{-9}
	2,0	2×10^{-10}
	10,0	9×10^{-11}
601 334	0,2	A déterminer
	2,0	A déterminer
	10,0	A déterminer

3 que les Notes suivantes fassent partie de la Recommandation:

NOTE 1 – Le HRDP auquel il est fait référence est spécifié dans la Recommandation UIT-R S.521.

NOTE 2 – Les rapports de BEP indiqués dans le Tableau 1 peuvent être estimés par des mesures de taux d'erreur binaire (BER, *bit error ratio*) sur une période suffisamment longue. Une méthode de mesure des BER en fonction d'un pourcentage de temps plus court est proposée dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R S.1062.

NOTE 3 – Pour faciliter l'application de la présente Recommandation, les valeurs données dans le Tableau 1 sont exprimées en termes de temps total et représentent les limites d'un modèle de qualité de fonctionnement en termes du BEP basé sur la méthode décrite dans l'Annexe 2. Pour obtenir les chiffres du Tableau 1, les erreurs survenant pendant les périodes d'indisponibilité ont été exclues. Les valeurs du BEP indiquées dans le Tableau 1 ne sont pas les seules qui permettent de satisfaire les exigences de la Recommandation UIT-T G.828. D'autres gabarits de BEP peuvent être utilisés s'ils sont aptes à satisfaire aux prescriptions de la Recommandation UIT-T G.828.

NOTE 4 – La présente Recommandation s'applique aux systèmes à satellites fonctionnant au-dessous de 15 GHz. L'extension à des systèmes fonctionnant à des fréquences plus élevées doit faire l'objet d'un complément d'étude.

NOTE 5 – Une valeur de BEP de 1×10^{-8} a été utilisée comme seuil d'indisponibilité.

NOTE 6 – Les objectifs indiqués dans le Tableau 1 sont donnés en pourcentages du mois le plus défavorable. Ces pourcentages mensuels correspondent aux pourcentages annuels suivants:

- 10% d'un mois = 4,0% de l'année;
- 2% d'un mois = 0,6% de l'année;
- 0,2% d'un mois = 0,04% de l'année.

NOTE 7 – On peut avoir intérêt, pour respecter le Tableau 1 à des fréquences supérieures à 10 GHz, à recourir à divers mécanismes de compensation des évanouissements, tels que le codage adaptatif avec correction d'erreur directe (FEC, *forward error correction*), la régulation de la puissance ou la diversité d'emplacement. On trouvera dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R S.1061 des précisions sur le fonctionnement en diversité d'emplacement.

NOTE 8 – La méthode préférée de vérification de la qualité de fonctionnement des liaisons numériques par satellite repose sur des mesures en service, ces mesures utilisant les mécanismes de détection d'erreur sur les blocs, qui sont liés à la taille des blocs SDH et à la structure du système de transmission. La FEC, l'embrouillage et le codage différentiel ont une incidence sur l'interprétation des mesures (voir le § 3 de l'Annexe 2).

NOTE 9 – Les caractéristiques d'erreur décrites dans le Tableau 1 ont été établies à partir d'un HRDP faisant partie du tronçon international de la liaison (par exemple, de centre de tête de ligne international commuté à centre de tête de ligne international commuté). Il existe d'autres applications du HRDP à l'intérieur de la connexion (par exemple, de bureau à bureau) et les objectifs de caractéristiques d'erreur peuvent être adaptés en conséquence.

NOTE 10 – Les méthodes décrites dans la présente Recommandation peuvent s'appliquer à la conception de liaisons par satellite de réseaux privés.

NOTE 11 – Les objectifs de qualité de fonctionnement doivent être atteints pour les débits de transmission requis, et non pas pour un débit plus élevé créé pour soutenir le multiplexage ou la correction d'erreurs. Par exemple, si le débit de transmission sur une liaison par satellite est de 6 Mbit/s et si le débit nécessaire entre les extrémités est de 2 Mbit/s, ce sont les objectifs de qualité de fonctionnement propres à une transmission à 2 Mbit/s qui doivent être pris en compte.

ANNEXE 1

1 Généralités

La Recommandation UIT-T G.828 définit les paramètres et les objectifs qui sont liés aux caractéristiques d'erreur des conduits numériques synchrones internationaux destinés à acheminer du trafic SDH et ATM. La présente Recommandation reprend tous les paramètres, définitions et objectifs qui y sont définis. Les objectifs donnés dans la Recommandation UIT-T G.828 sont indépendants du réseau physique qui prend le conduit en charge.

La mesure en service des taux d'erreur de la couche SDH est assurée par des codes de parité à entrelacement de bits (BIP) contenus dans les en-têtes SDH.

1.1 Définitions

Dans un souci de commodité, les définitions de la Recommandation UIT-T G.828 sont reprises ici.

Les mesures de caractéristiques d'erreur sont basées sur des blocs dont la taille correspond à la structure de trame SDH et varie selon le débit (voir le Tableau 2).

1.1.1 Un bloc

Un bloc est un ensemble de bits consécutifs associés au conduit; chaque bit appartient à un et à un seul bloc. Des bits consécutifs peuvent ne pas être contigus dans le temps.

1.1.2 Événements relatifs aux caractéristiques d'erreur

- Bloc erroné (EB, *errored block*): Bloc qui contient un ou plusieurs bits erronés.
- Seconde avec erreur (ES, *errored second*): Période d'une seconde comportant un ou plusieurs EB, ou au moins un défaut. La liste des défauts et des critères liés aux caractéristiques est donnée à l'Annexe B de la Recommandation UIT-T G.828.
- Seconde avec erreur grave (SES, *severely errored second*): Période d'une seconde comportant $\geq 30\%$ de EB, ou au moins un défaut. Un ensemble de secondes SES est un sous-ensemble de la ES. Afin de simplifier les mesures, le défaut est utilisé dans la définition de la SES au lieu de définir la SES directement en termes d'erreurs graves sur les bits. Cependant, il faut noter que certaines configurations d'erreurs graves peuvent ne pas donner lieu à un défaut. Une expérience en vraie grandeur permettra d'établir si cela pose des problèmes importants pour la mesure des erreurs.
- Bloc erroné résiduel (BBE, *background block error*): EB ne faisant pas partie des blocs d'une seconde SES.
- Période avec erreur grave (SEP, *severely errored period*): Suite de 3 à 9 secondes SES consécutives. Cette suite se termine par une seconde qui n'est pas une seconde SES. L'événement que constitue une période SEP est donc identique à l'événement que constituent des SES consécutives (CSES), au sens de la Recommandation UIT-T G.784, avec une limite inférieure fixée à 3 s.

On trouvera dans le Tableau 2 la relation entre la taille des blocs, les débits binaires, le code de détection d'erreur (EDC, *error detection code*) et le type de conduit.

TABLEAU 2

Taille des blocs en fonction du débit binaire

Débit binaire (kbit/s)	Type de conduit	Taille des blocs SDH utilisée dans la Recommandation UIT-T G.828 (bits)	EDC
1 664	VC-11, TC-11	832	BIP-2
2 240	VC-12, TC-12	1 120	BIP-2
6 848	VC-2, TC-2	3 424	BIP-2
48 960	VC-3, TC-3	6 120	BIP-8
150 336	VC-4, TC-4	18 792	BIP-8
601 344	VC-4-4c, TC-4-4c	75 168	BIP-8
2 405 376	VC-4-16c, TC-4-16c	300 672	BIP-8
9 621 504	VC-4-64c, TC-4-64c	1 202 688	BIP-8

1.1.3 Paramètres relatifs aux caractéristiques d'erreur

Les caractéristiques d'erreur ne doivent être évaluées que lorsque le conduit est en état de disponibilité. Voir la définition des critères d'entrée ou de sortie de l'état d'indisponibilité à l'Annexe A de la Recommandation UIT-T G.828.

- Taux de secondes avec erreur (ESR, *errored second ratio*): Rapport entre le nombre de secondes ES et le nombre total de secondes pendant la période de disponibilité au cours d'un intervalle de mesure donné.
- Taux de secondes avec erreur grave (SESR, *severely errored second ratio*): Rapport entre le nombre de secondes SES et le nombre total de secondes pendant la période de disponibilité au cours d'un intervalle de mesure donné.
- Taux de blocs erronés résiduels (BBER, *background block error ratio*): Rapport entre le nombre de blocs BBE et le nombre total de blocs pendant la période de disponibilité au cours d'un intervalle de mesure donné. Dans le comptage du nombre total de blocs, on exclut les blocs qui font partie de ceux des secondes SES.
- Fréquence des périodes avec erreur grave (SEPI, *severely errored period intensity*): Rapport entre le nombre de périodes SEP pendant la période totale de disponibilité et cette période totale de disponibilité exprimée en secondes.

1.1.4 Mesures du bloc

Chaque bloc est contrôlé au moyen d'un code EDC intrinsèque de BIP. Les bits du code EDC sont transportés dans l'en-tête SDH. Lorsqu'un état d'erreur est détecté, il n'est pas possible de déterminer si c'est le bloc ou les bits de son code EDC de contrôle qui sont erronés. S'il y a désaccord entre le code EDC et le bloc qu'il contrôle, on suppose donc toujours que le bloc contrôlé est erroné.

2 Objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur

2.1 Objectifs de bout en bout

Le Tableau 3 donne les objectifs de bout en bout pour un conduit fictif de référence (HRP, *hypothetical reference path*) de 27 500 km. Les objectifs qui peuvent concrètement s'appliquer à un conduit réel sont obtenus à partir du Tableau 3 à l'aide des principes d'attribution exposés en détail dans le § 6.2 de la Recommandation UIT-T G.828. Chaque direction du conduit doit permettre d'atteindre indépendamment les objectifs qui sont attribués à tous les paramètres. Les objectifs sont des objectifs à long terme qui doivent être atteints pendant une période d'évaluation de 30 jours consécutifs (un mois) en règle générale.

Les conduits numériques synchrones qui fonctionnent aux débits binaires prévus dans la présente Recommandation peuvent être pris en charge par des sections numériques qui fonctionnent à des débits binaires plus élevés. Ces systèmes doivent être tels que les attributions des objectifs de bout en bout soient respectées. Dans une hiérarchie SDH, par exemple, une section module de transport synchrone STM-1 peut prendre en charge un conduit de type VC-4 et doit donc être conçue de manière que les objectifs spécifiés dans la présente Recommandation pour le débit binaire correspondant à un conduit de type VC-4 soient atteints.

Les objectifs sont attribués aux parties nationales et internationales d'un conduit. Dans l'exemple susmentionné, si la section STM-1 ne correspond pas à une partie nationale ou internationale entière, la valeur nationale ou internationale correspondante qui est attribuée doit être divisée afin de correspondre à la section numérique. Cette question sort du cadre de la présente Recommandation.

TABLEAU 3

**Objectifs de bout en bout relatifs aux caractéristiques d'erreur pour
un conduit HRP numérique synchrone international de 27 500 km
tel que défini dans la Recommandation UIT-T G.828**

Débit binaire (kbit/s)	Type de conduit	Blocs/s	ESR	SESR	BBER ⁽¹⁾	SEPI ⁽²⁾
1 664	VC-11, TC-11	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
2 240	VC-12, TC-12	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
6 848	VC-2, TC-2	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
48 960	VC-3, TC-3	8 000	0,02	0,002	5×10^{-5}	0,0002/s
150 336	VC-4, TC-4	8 000	0,04	0,002	1×10^{-4}	0,0002/s
601 344	VC-4-4c, TC-4-4c	8 000	⁽³⁾	0,002	1×10^{-4}	0,0002/s

- (1) Cet objectif relatif au taux BBER correspond à un taux équivalent d'erreurs sur les bits de $8,3 \times 10^{-10}$, ce qui représente une amélioration par rapport au BER de $5,3 \times 10^{-9}$ pour les débits des conduits de type conteneur virtuel VC-4. Le taux équivalent d'erreur sur les bits est valable en tant qu'indication indépendante du débit sur les caractéristiques d'erreur, puisque les objectifs liés au taux BBER ne peuvent pas rester constants lorsque la taille des blocs croît.
- (2) Valeur provisoire devant faire l'objet d'un complément d'étude.
- (3) Les objectifs qui sont liés au taux ESR ont tendance à perdre leur signification pour des débits binaires élevés. Ils n'ont donc pas été spécifiés pour des conduits fonctionnant à des débits supérieurs à 160 Mbit/s. Néanmoins, un taux ESR élevé indique une dégradation du système de transmission. Pour les besoins de la maintenance, il faut donc effectuer des contrôles du nombre de secondes ES.

2.2 Répartition des objectifs de bout en bout

Les niveaux des caractéristiques prévus sont répartis entre les parties nationales et internationales d'un conduit HRP.

Une subdivision plus poussée de ces objectifs sort du cadre de la présente Recommandation.

2.2.1 Valeur attribuée à la partie nationale

La valeur qui est attribuée à chaque partie nationale est égale à un pourcentage fixe de 17,5% de l'objectif de bout en bout auquel s'ajoute une valeur attribuée en fonction de la distance.

Lorsqu'une partie nationale comporte un bond par satellite, un pourcentage total de 42% des objectifs de bout en bout du Tableau 3 est attribué à cette partie nationale. Ce pourcentage de 42% remplace complètement le pourcentage attribué en fonction de la distance et le pourcentage fixe de 17,5%.

2.2.2 Valeur attribuée à la partie internationale

A tout bond par satellite dans la partie internationale, quelle que soit la distance couverte, est attribuée une valeur de 35% des objectifs du Tableau 3. Ce pourcentage de 35% remplace tous les pourcentages en fonction de la distance ou fixes attribués aux parties de la partie internationale couvertes par le bond par satellite.

3 Objectifs de qualité de fonctionnement du HRDP par satellite

TABLEAU 4

Objectifs de qualité de fonctionnement pour un HRDP par satellite destiné à une liaison internationale SDH

Débit (kbit/s)	1 664 (VC-11)	2 240 (VC-12)	6 848 (VC-2)	48 960 (VC-3)	150 336 (VC-4)	601 334 (VC-4-4c)
ESR	0,0035	0,0035	0,0035	0,007	0,014	(1)
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	$1,75 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-5}$	$0,35 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

(1) Faute de renseignements sur la qualité de fonctionnement de conduits fonctionnant au-dessus de 160 Mbit/s, aucun objectif de taux ESR n'est recommandé actuellement. Néanmoins, le traitement du taux ESR devrait être mis en œuvre dans tout système fonctionnant à ces débits à des fins de surveillance et de maintenance.

ANNEXE 2

Dérivation du gabarit de BEP

1 Introduction

Les paramètres et objectifs définis dans la Recommandation UIT-T G.828 ne sont pas directement adaptés à la conception d'un système de transmission par satellite. Ils doivent être transformés en BEP par rapport à une distribution en pourcentage de temps, appelé aussi gabarit de probabilité d'erreur sur les bits, de telle manière que tout système de transmission numérique conçu afin de respecter le gabarit, respecte aussi les objectifs de la présente Recommandation. La transformation explicitée dans cette Annexe n'aboutit cependant pas à un gabarit unique.

On trouvera ci-après la méthodologie utilisée pour la création d'un gabarit de BEP.

2 Probabilité des événements de base

C'est un fait bien connu que les erreurs de transmission sur des liaisons par satellite apparaissent par salves, le nombre moyen d'erreurs par salve étant, entre autres, fonction de l'embrouilleur et du code FEC. Par conséquent, un modèle adéquat de qualité de fonctionnement numérique de liaisons par satellite doit prendre en compte cette notion de salves.

Un modèle statistique, qui peut représenter de manière adéquate l'apparition aléatoire de salves est la distribution contigüe Neyman-A, où la probabilité d'apparition de k erreurs sur N bits, $P(k)$, est:

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

où:

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

BEP : probabilité d'erreur sur les bits.

Si $N = N_B$ est pris comme le nombre de bits dans un bloc de données, alors la probabilité de zéro erreur dans un bloc est:

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

de α .

La probabilité d'avoir un bloc erroné, P_{EB} , est donnée par:

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

où $BEPCRC(t) = BEP/\alpha$, et le $BEPCRC$ est montré explicitement en fonction du temps. La probabilité d'avoir une ES, $P_{ES}(t)$, peut alors être exprimée comme:

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

où n est le nombre de blocs par seconde.

Puisque la probabilité d'avoir k blocs erronés sur un total de n blocs, $P_{n,k}(t)$, est donnée par:

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

alors, la probabilité d'une SES, $P_{SES}(t)$, est:

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

2.1 Production de gabarits

En supposant une forme générale de gabarit (voir la Fig. 1) et en utilisant la formule de probabilité, la valeur de l'ESR (défini comme le total des ES, c'est-à-dire de secondes avec un bloc erroné ou plus) divisée par le nombre total de secondes disponibles, T_a , est donnée par:

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

De même, le SESR est donné par:

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

Si $P_{ES}(t)$ et $P_{SESR}(t)$ sont supposés être constants par partie dans le temps, alors l'ESR et le SESR peuvent être exprimés comme:

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

et

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

où M est le nombre total d'intervalles de temps, $P_{ES_i}(t)$ et $P_{SESR_i}(t)$ sont les probabilités respectivement d'une ES et d'une SES durant le $i^{\text{ème}}$ intervalle de temps divisé par T_a .

Le BBER est défini comme le rapport des EB au nombre total de blocs durant les secondes disponibles, en excluant tous les blocs durant les SES. De cette manière:

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

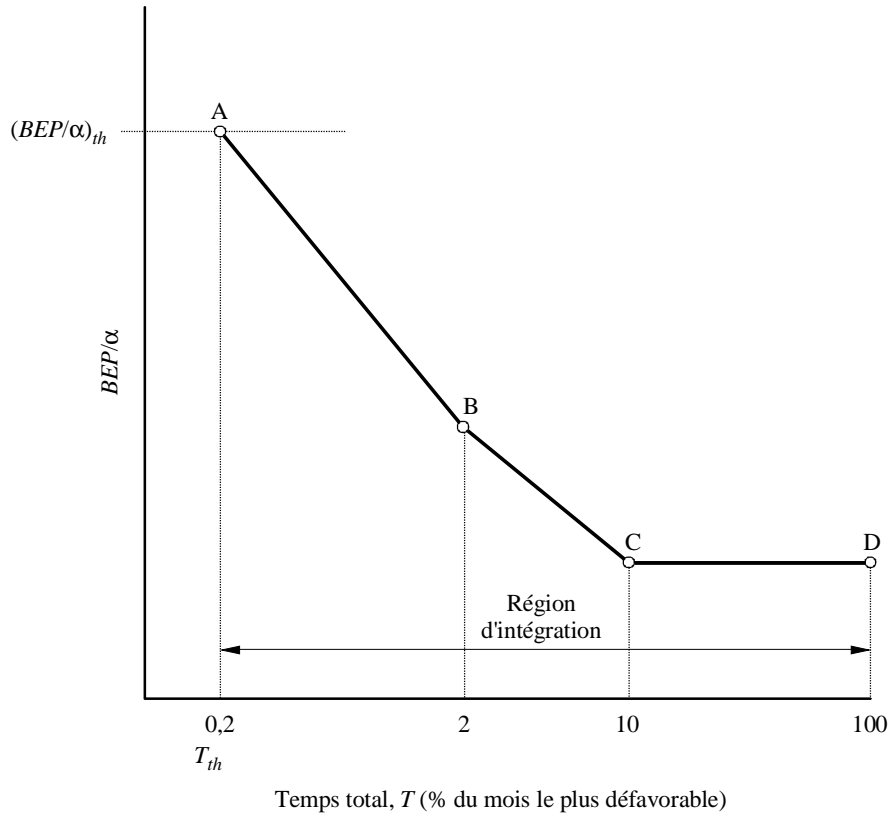
Si $\overline{P_{n,k}} = \frac{\int P_{n,k} \cdot dt}{T_a}$ est fixé, alors le BBER peut être exprimé comme:

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

Cependant, en sélectionnant la valeur de BEP_{th}/α pour la production des gabarits, l'apparition d'interprétations incorrectes de pointeur (IPI, *incorrect pointer interpretations*), qui est cruciale pour le fonctionnement correct des liaisons SDH, doit être prise en considération. Des mesures ont montré que l'IPI augmente de manière significative vers et au-delà d'une BEP de 1×10^{-7} environ, ce qui est sensiblement plus bas que le niveau auquel les modems de satellite perdent la synchronisation. Cela étant, il faudra procéder à des études additionnelles afin de définir un seuil de

BEP pour l'IPI, noté ici BEP_{IPI} , où la liaison par satellite SDH devient indisponible, puisque cela sera le facteur limitatif. Pour les besoins de la présente Recommandation, une valeur de BEP_{th}/α (égale à BEP_{IPI}/α) de 1×10^{-9} a été utilisée.

FIGURE 1
Forme générale du gabarit



1521-01

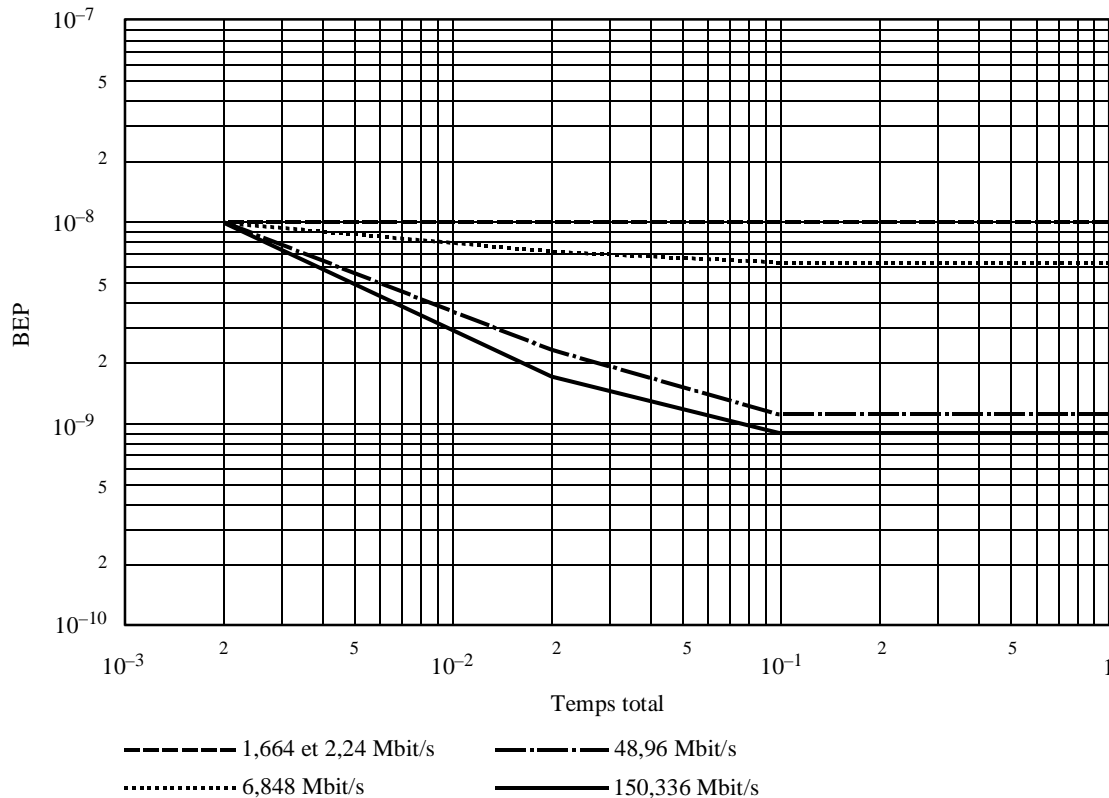
De cette méthode résulteront une infinité de gabarits satisfaisant aux objectifs de qualité de la Recommandation UIT-T G.828. Par conséquent, le processus suivant sera utilisé pour définir un gabarit et pour déterminer les points B, C et D du gabarit (voir la Fig. 2):

- Etape 1:* Fixer la valeur de $BEP_{th}/\alpha = 1 \times 10^{-9}$.
- Etape 2:* Fixer la valeur de seuil du temps d'indisponibilité, T_{th} , ($T_{th} = 0,2\%$) de telle façon que le point A corresponde à la valeur BEP_{th}/α .
- Etape 3:* Fixer les valeurs du gabarit à 2%, 10% et 100% du temps (points B, C et D).
- Etape 4:* Calculer les valeurs des taux ESR, SESR et BBER par intégration sur le domaine entre T_{th} (0,2%) et 100%. En établissant ces gabarits, on suppose que la liaison par satellite est indisponible pour des valeurs de BEP situées au-dessus de BEP_{th}/α .
- Etape 5:* Répéter les Etapes 3 et 4 jusqu'à ce que tous les paramètres (ESR, SESR et BBER) atteignent les objectifs du Tableau 3.

La méthode ci-dessus garantit une indisponibilité de la liaison de 0,2% du temps.

En utilisant la méthode décrite ci-dessus avec les hypothèses additionnelles que les BEP/α correspondant aux point C et D sont les mêmes, un jeu de gabarits pour divers débits de transmission a été généré en tant qu'exemple, et est représenté sur la Fig. 2.

FIGURE 2
Gabarits produits pour des bonds par satellite



$\alpha = 10$
 Seuil de BEP: 1×10^{-8}
 Temps disponible de 0,002 à 1
 Tous les modèles dépassent les critères BBER
 Les modèles pour 1,664 et 2,24 Mbit/s dépassent aussi les critères ESR

1521-02

3 Relation entre le BER et le taux d'événements erronés

Il est bien connu que les erreurs sur les liaisons par satellite utilisant des systèmes FEC et d'embrouillage ont tendance à apparaître par paquets. L'apparition des paquets, que l'on peut aussi appeler événements erronés, suit aléatoirement une distribution de Poisson. Le taux d'erreur sur les blocs résultant est le même que s'il était causé par des erreurs sur les bits aléatoirement distribuées (distribution de Poisson), avec un BER, BER/α , où α (utilisé au § 2.1 pour prendre en compte la nature en salve des erreurs) est le nombre moyen de bits erronés dans un paquet, α représentant aussi le rapport entre le BER et le taux d'événements erronés.

Les propriétés statistiques des paquets d'erreurs dépendent du système FEC/d'embrouillage utilisé. Des simulations sur ordinateur et des mesures de divers systèmes FEC (sans embrouilleur ou codage différentiel) ont été utilisées pour déterminer α . Ces résultats sont donnés dans le Tableau 5.

Des mesures en laboratoire de transmissions numériques de type INTELSAT IDR (FEC, $R = 3/4$ plus embrouilleur) ont donné une valeur $\alpha = 10$ dans la gamme de BER de 1×10^{-4} à 1×10^{-11} . Une valeur $\alpha = 5$ a été déterminée durant les mêmes mesures pour les transmissions numériques de type INTELSAT IBS (FEC, $R = 1/2$ plus embrouilleur).

Les résultats des mesures indiquent que α pourrait se situer entre 1 et 10.

Des études supplémentaires d'autres systèmes FEC/embrouilleur sont nécessaires.

L'impact du paramètre α sur le modèle de qualité de fonctionnement a pu être déterminé comme suit.

TABLEAU 5
Facteur, α , pour divers systèmes FEC

Débit binaire (kbit/s)	Sans FEC	Avec FEC		
		1/2	3/4	7/8
1 664	1,0	2,7	5,1	6,6
2 240	1,0	3,4	6,8	8,2
6 848	1,0	2,6	5,1	7,0
48 960	1,0	2,8	5,4	7,2
150 336	1,1	2,8	4,9	7,2

Les gabarits de la Fig. 2 ont été produits en prenant $\alpha = 10$. Si, par exemple, aucun FEC/embrouilleur n'avait été utilisé ($\alpha = 1$), les modèles auraient été décalés d'une décade et les exigences en termes de BER auraient été plus élevées d'une décade.

4 Conclusions

Les études ont montré que les gabarits requis pour respecter les prescriptions de la Recommandation UIT-T G.828 dépendent du débit de transmission.

Les gabarits de conception dépendent aussi de la distribution des erreurs, qui dépend à son tour du système FEC/embrouilleur utilisé.

Les exigences de service doivent aussi être prises en compte lors de l'établissement des gabarits de conception.