

RECOMMANDATION UIT-R P.842-4*

Calcul de la fiabilité et de la compatibilité des systèmes radioélectriques en ondes décimétriques

(1992-1994-1999-2005-2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation fournit des méthodes de prévision de la fiabilité et de la compatibilité des systèmes radioélectriques en ondes décimétriques.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la fiabilité d'un système radioélectrique est définie comme la probabilité pour qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte;
- b) que la fiabilité est un facteur permettant de qualifier la qualité de fonctionnement;
- c) que la compatibilité est une mesure de la dégradation, causée par le brouillage, de la qualité de fonctionnement d'un système radioélectrique;
- d) que les fiabilités et les compatibilités sont utiles pour le choix des combinaisons préférées des antennes, y compris pour l'optimisation de leur conception, ainsi que des fréquences et des puissances d'émission nécessaires pour atteindre une qualité de fonctionnement désirée,

recommande

que les méthodes suivantes de calcul des divers types de fiabilité et de compatibilité soient utilisées pour la planification et la conception des systèmes radioélectriques.

1 Introduction

Les fiabilités examinées dans la présente Recommandation constituent une hiérarchie, comme l'indique la Fig. 1. Les § 2 à 5 et 9 traitent des fiabilités de référence, le § 6 de la fiabilité globale, le § 7 de la fiabilité dans les réseaux à ondes décimétriques et le § 8 de la compatibilité. Le calcul de la fiabilité de circuit de référence (BCR, *basic circuit reliability*) pour systèmes de modulation numérique est décrit dans le § 9.

Des définitions spécifiques des différents types de fiabilité sont données à l'Appendice 1.

2 Éléments nécessaires au calcul de la fiabilité

Pour le calcul de la BCR, la méthode implique les paramètres suivants: médiane mensuelle de la puissance disponible à l'entrée du récepteur (Recommandation UIT-R P.533), médiane mensuelle de la puissance du bruit atmosphérique, industriel et galactique (Recommandation UIT-R P.372), écarts des déciles supérieur et inférieur par rapport aux puissances médianes mensuelles du signal et

* La Commission d'études 3 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2000 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 44.

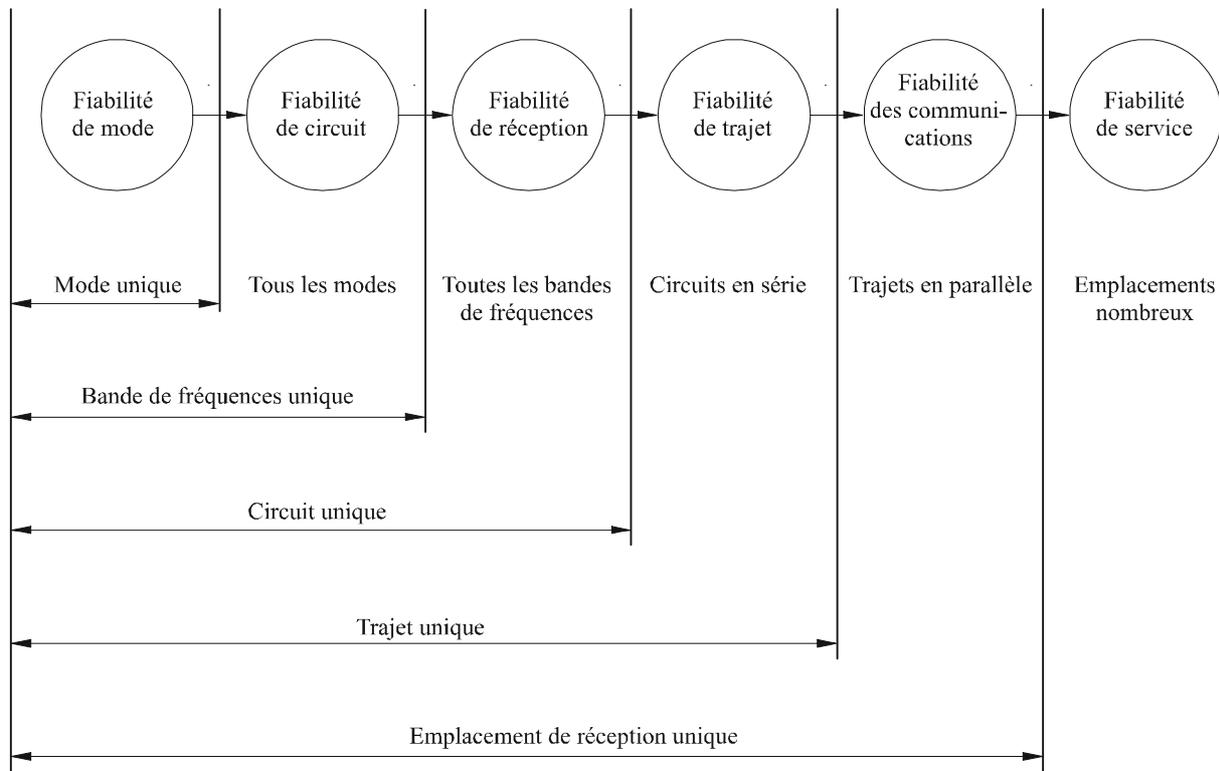
du bruit, à long terme (d'un jour à l'autre) et à court terme (dans l'intervalle d'une heure), rapport signal/bruit S/N requis (Recommandation UIT-R F.339).

3 Calcul de la fiabilité de circuit de référence (BCR)

La BCR peut être estimée en suivant la procédure indiquée au Tableau 1 et en utilisant les informations données par le Tableau 2.

Cette procédure implique le calcul intermédiaire de la puissance à l'entrée du récepteur composite médiane du signal utile (Etape 1), le rapport S/N médian (Etapes 2 et 3), le décile supérieur résultant du rapport S/N (Etapes 4 à 6) et le décile inférieur résultant du rapport S/N (Etapes 7 à 9).

FIGURE 1
Tableau des fiabilités



0842-01

Le rapport S/N requis (Etape 10) est défini par l'utilisateur (on trouvera dans la Recommandation UIT-R F.339 un tableau des valeurs du rapport S/N requis pour obtenir des qualités de fonctionnement spécifiées). On évalue alors la BCR en utilisant la distribution statistique donnée à l'Etape 11.

4 Fiabilité de réception de référence (BRR, *basic reception reliability*)

$$\text{Pour } n \text{ fréquences, } BRR = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BCR(f_i)}{100} \right) \right] \quad \%$$

où $BCR(f_i)$ est la BCR (%) à la fréquence f_i .

Pour une fréquence d'exploitation unique, BRR est égal à BCR.

TABLEAU 1
Calcul de la fiabilité de circuit de référence (BCR)

Etape	Paramètre	Description du paramètre	Source de la valeur du paramètre
1	S	Puissance médiane de bruit disponible à l'entrée du récepteur du signal utile (dBW)	Méthode de prévision P_r au § 6 de la Rec. UIT-R P.533
2	$F_a A$ $F_a M$ $F_a G$	Facteur de bruit médian pour le bruit atmosphérique Facteur de bruit médian pour le bruit artificiel Facteur de bruit médian pour le bruit galactique	Rec. UIT-R P.372
3	S/N	Rapport signal / bruit résultant médian (dB) pour une largeur de bande b (Hz)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}} \right] - 10 \log_{10} b + 204$
4	$D_u S_d$ $D_u S_h$	Ecart du décile supérieur du signal (d'un jour à l'autre) (dB) Ecart du décile supérieur du signal (au cours d'une heure) (dB)	Tableau 2 en utilisant la MUF de référence pour le trajet 5
5	$D_l A$ $D_l M$ $D_l G$	Ecart du décile inférieur (dB): du bruit atmosphérique du bruit artificiel du bruit galactique	Rec. UIT-R P.372 Rec. UIT-R P.372 2
6	$D_u SN$	Ecart du décile supérieur du rapport signal / bruit résultant (dB)	Racine de la somme des carrés de $D_u S_d, D_u S_h$ et $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}}{10^{\frac{F_a A - D_l A}{10}} + 10^{\frac{F_a M - D_l M}{10}} + 10^{\frac{F_a G - D_l G}{10}}} \right]$

TABLEAU 1 (*fin*)

Étape	Paramètre	Description du paramètre	Source de la valeur du paramètre
7	$D_l S_d$ $D_l S_h$	Ecart du décile inférieur du signal (d'un jour à l'autre) (dB) Ecart du décile inférieur du signal (au cours d'une heure) (dB)	Tableau 2 en utilisant la MUF de référence pour le trajet 8
8	$D_u A$ $D_u M$ $D_u G$	Ecart du décile supérieur (dB) du bruit atmosphérique du bruit artificiel du bruit galactique	Rec. UIT-R P.372 Rec. UIT-R P.372 2
9	$D_l SN$	Écart du décile inférieur du rapport signal/bruit résultant (dB)	Racine de la somme des carrés de $D_l S_d$, $D_l S_h$ et $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{F_a A + D_u A}{10}} + 10^{\frac{F_a M + D_u M}{10}} + 10^{\frac{F_a G + D_u G}{10}}}{10^{\frac{F_a A}{10}} + 10^{\frac{F_a M}{10}} + 10^{\frac{F_a G}{10}}} \right]$
10	S/N_r	Rapport signal/bruit requis (dB)	Défini par l'utilisateur
11	BCR	Fiabilité de circuit de référence pour $S/N \geq S/N_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/N - S/N_r) / D_l SN)$ ou 100, la valeur la plus petite étant retenue
		Fiabilité de circuit de référence pour $S/N < S/N_r$ (%)	$80 / (1 + (S/N_r - S/N) / D_u SN) - 30$ ou 0, la valeur la plus grande étant retenue

TABLEAU 2

Décile inférieur (LD) et décile supérieur (UD) des écarts par rapport à la valeur médiane mensuelle prévue du champ du signal (dB), provenant de la variabilité d'un jour à l'autre

Latitude géomagnétique ⁽¹⁾	<60°		≥60°	
Fréquence d'émission/MUF de référence prévue	LD	UD	LD	UD
≤0,8	8	6	11	9
1,0	12	8	16	11
1,2	13	12	17	12
1,4	10	13	13	13
1,6	8	12	11	12
1,8	8	9	11	9
2,0	8	9	11	9
3,0	7	8	9	8
4,0	6	7	8	7
≥5,0	5	7	7	7

⁽¹⁾ Si un point quelconque de cette partie du grand cercle qui passe par l'émetteur et par le récepteur et qui se trouve entre les points directeurs situés à 1 000 km de chaque extrémité du trajet atteint une latitude géomagnétique de 60° ou plus, il faut utiliser les valeurs correspondantes aux latitudes supérieures ou égales à 60° (voir la Recommandation UIT-R P.1239, Fig. 2).

5 Fiabilité de service de référence (BSR, *basic service reliability*)

La détermination de la BSR implique l'utilisation de points de mesure à l'intérieur de la zone de service requise. La BSR est la valeur de la BRR dépassée par un pourcentage requis de points de mesure.

6 Calcul des fiabilités de circuit globale, de réception et de service

Le calcul de la fiabilité de circuit globale (OCR, *overall circuit reliability*) est identique à celui de la BCR, si ce n'est que les puissances reçues en provenance d'émetteurs potentiellement brouilleurs sont additionnées et comparées au signal disponible pour déterminer la distribution au cours d'une heure et d'un jour à l'autre des rapports signal/brouillage *S/I* médians horaires. Cette distribution est entrée avec le rapport *S/I* médian horaire requis pour la qualité de fonctionnement spécifiée afin de déterminer le pourcentage du temps au cours du mois pendant lequel on peut espérer que le circuit fonctionnera de façon satisfaisante en présence de brouillage seulement. Ce pourcentage est comparé avec la BCR, et la OCR est le plus faible de ces pourcentages.

Avec des méthodes similaires à celles appliquées pour le calcul des fiabilités de réception et de service de référence à partir des rapports *S/N*, on peut calculer les fiabilités de réception et de service globales à partir des distributions présumées des rapports *S/I* médians horaires (voir le Tableau 3). On peut trouver le rapport de protection RF requis à l'Etape 3 dans la Recommandation UIT-R F.240 pour le service fixe et dans la Recommandation UIT-R BS.560 pour le service de radiodiffusion.

7 Estimation de la fiabilité dans les réseaux à ondes décimétriques

Dans les réseaux où existent de nombreux circuits entre les terminaux, on peut utiliser les fiabilités de trajet ou des communications (voir la Fig. 1).

TABLEAU 3

Calcul de la fiabilité de circuit globale (OCR)

Etape	Paramètre	Description du paramètre	Source de la valeur du paramètre
1	S	Puissance médiane du bruit disponible à l'entrée du récepteur du signal utile (dBW)	Méthode de prévision P_r au § 6 de la Rec. UIT-R P.533
2	I_1, I_2, \dots, I_i	Puissance médiane disponible à l'entrée du récepteur des signaux brouilleurs (dBW)	Méthode de prévision P_r au § 6 de la Rec. UIT-R P.533
3	R_1, R_2, \dots, R_i	Rapport de protection relatif des signaux brouilleurs (dB)	Défini par l'utilisateur
4	S/I	Rapport signal/brouillage résultant médian (dB)	$S - 10 \log_{10} \left[10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}} \right]$
5	$D_u S_d$ $D_l I_{1d}$ $D_l I_{2d}$... $D_l I_{id}$	Ecart du décile supérieur du signal utile Ecart du décile inférieur des signaux brouilleurs (d'un jour à l'autre) (dB)	Tableau 2 en utilisant la MUF de référence pour le trajet
6	$D_u S_h$ $D_l I_{1h}$ $D_l I_{2h}$... $D_l I_{ih}$	Ecart du décile supérieur du signal utile Ecart du décile inférieur des signaux brouilleurs (au cours d'une heure) (dB)	5 8
7	$D_u S_I$	Ecart du décile supérieur du rapport signal/brouillage résultant (dB)	Racine de la somme des carrés de $D_u S_d, D_u S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1 - D_l I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 - D_l I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i - D_l I_{id}}{10}}} \right]$ et $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1 - D_l I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 - D_l I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i - D_l I_{ih}}{10}}} \right]$

TABLEAU 3 (fin)

Etape	Paramètre	Description du paramètre	Source de la valeur du paramètre
8	$D_l S_d$ $D_u I_{1d}$ $D_u I_{2d}$... $D_u I_{id}$	Ecart du décile inférieur du signal utile Ecart du décile supérieur des signaux brouilleurs (d'un jour à l'autre) (dB)	Tableau 2 en utilisant la MUF de référence pour le trajet
9	$D_l S_h$ $D_u I_{1h}$ $D_u I_{2h}$... $D_u I_{ih}$	Ecart du décile inférieur du signal utile Ecart du décile supérieur des signaux brouilleurs (au cours d'une heure) (dB)	8 5
10	$D_l SI$	Ecart du décile inférieur du rapport signal/brouillage résultant (dB)	Racine de la somme des carrés de $D_l S_d, D_l S_h,$ $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1 + D_u I_{1d}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 + D_u I_{2d}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i + D_u I_{id}}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}} \right]$ et $10 \log_{10} \left[\frac{10^{\frac{I_1 + R_1 + D_u I_{1h}}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2 + D_u I_{2h}}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i + D_u I_{ih}}{10}}}{10^{\frac{I_1 + R_1}{10}} + 10^{\frac{I_2 + R_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{I_i + R_i}{10}}} \right]$
11	S/I_r	Rapport signal/brouillage requis (dB)	Défini par l'utilisateur
12	ICR	Fiabilité de circuit en présence de brouillage seul (sans bruit) pour $S/I \geq S/I_r$ (%)	$130 - 80 / (1 + (S/I - S/I_r) / D_l SI)$ ou 100, la valeur la plus petite étant retenue
		Fiabilité de circuit en présence de brouillage seul (sans bruit) pour $S/I < S/I_r$ (%)	$80 / (1 + (S/I_r - S/I) / D_u SI) - 30$ ou 0, la valeur la plus grande étant retenue
13	BCR	Fiabilité de circuit de référence (%)	Tableau 1
14	OCR	Fiabilité de circuit globale (%)	Min (ICR, BCR)

7.1 Fiabilité de trajet de référence (BPR, *basic path reliability*)

Pour plusieurs circuits, une estimation minimale de la BPR est le produit des BRR pour tous les circuits du trajet, c'est-à-dire:

$$BPR = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BRR_i}{100} \right) \right] \quad \%$$

où BRR_i est la BRR pour un trajet i . Une estimation maximale est la BRR minimale.

Pour un circuit unique, la BPR est égale à la BRR.

7.2 Fiabilité des communications de référence (R)

Pour plusieurs trajets, une estimation minimale de R est donnée par la fiabilité de trajet maximale et une estimation maximale par:

$$R = 100 \left[1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{BPR_i}{100} \right) \right] \quad \%$$

où BPR_i est la fiabilité de trajet de référence pour un trajet i .

Pour un trajet unique, R est égal à BPR.

8 Calcul de la compatibilité

La compatibilité est une mesure de la dégradation subie par un circuit ou un service utiles en présence de brouillage. Dans le cas d'un circuit unique entre points fixes, la compatibilité de circuit (CC) est définie comme le pourcentage du temps pendant lequel un critère spécifié de qualité de service est atteint à l'emplacement du récepteur en présence de brouillage (OCR) par rapport à la valeur qui aurait été obtenue en présence de bruit seulement (BCR):

$$CC = 100 \frac{OCR}{BCR} \quad \%$$

qui est identique au rapport de la fiabilité de circuit globale à la fiabilité de circuit de référence.

Si le service utile s'applique à une zone plutôt qu'à un point de réception unique, la compatibilité peut être définie de deux façons:

- La compatibilité de service dans le temps (TSC, *time service compatibility*) est le pourcentage de temps pendant lequel un pourcentage spécifié de la zone-cible p_A peut être desservi en présence de brouillage (OSR) relatif à la valeur qui aurait été obtenue en présence du seul bruit du milieu ambiant (BSR):

$$TSC = 100 \frac{OSR(p_A)}{BSR(p_A)} \quad \%$$

qui est identique au rapport de la fiabilité de service globale à la fiabilité de service de référence.

- La compatibilité de service de zone (*ASC, area service compatibility*) est le pourcentage de la zone-cible qui peut être desservi pendant un pourcentage de temps spécifié p_T en présence de brouillage A_I relatif à la valeur qui aurait été obtenue en présence du seul bruit du milieu ambiant A_N :

$$ASC = 100 \frac{A_I(p_T)}{A_N(p_T)} \quad \%$$

où la zone A peut être représentée par le nombre de points de mesure qui satisfait les conditions requises.

9 Fiabilité de circuit de référence (BCR) pour systèmes de modulation numérique

Pour un système de modulation numérique, on peut utiliser une méthode approximative simplifiée selon la formule suivante:

$$BCR (\%) = R_{SN} \cdot R_T \cdot R_F$$

où:

R_{SN} : probabilité que le rapport S/N requis, SN_0 , soit atteint

R_T : probabilité que l'étalement dans le temps requis T_0 à un niveau de -10 dB par rapport à l'amplitude du signal de crête ne soit pas dépassée

R_F : probabilité que la dispersion de fréquence requise f_0 à un niveau de -10 dB par rapport à l'amplitude du signal de crête ne soit pas dépassée.

Il sera peut-être nécessaire de choisir des valeurs appropriées pour ces niveaux relatifs, compte tenu de la méthode de modulation utilisée.

Ces trois probabilités distinctes sont évaluées comme suit:

$$R_{SN} (\%) = 130 - 80 / [1 + (SN_m - SN_0)/D_l] \text{ ou } 100, \text{ la valeur la plus petite étant retenue} \quad \text{pour } SN_m \geq SN_0$$

$$= 80 / [1 + (SN_0 - SN_m)/D_u] - 30 \text{ ou } 0, \text{ la valeur la plus grande étant retenue} \quad \text{pour } SN_m < SN_0$$

$$R_T (\%) = 130 - 80 / [1 + (T_0 - T_m)/D_{Tu}] \text{ ou } 100, \text{ la valeur la plus petite étant retenue} \quad \text{pour } T_m \leq T_0$$

$$= 80 / [1 + (T_m - T_0)/D_{Tl}] - 30 \text{ ou } 0, \text{ la valeur la plus grande étant retenue} \quad \text{pour } T_m > T_0$$

$$R_F (\%) = 130 - 80 / [1 + (F_0 - F_m)/D_{Fu}] \text{ ou } 100, \text{ la valeur la plus petite étant retenue} \quad \text{pour } F_m \leq F_0$$

$$= 80 / [1 + (F_m - F_0)/D_{Fl}] - 30 \text{ ou } 0, \text{ la valeur la plus grande étant retenue} \quad \text{pour } F_m > F_0$$

SN_m , D_l , et D_u sont respectivement la valeur médiane mensuelle du rapport S/N , l'écart du décile inférieur et l'écart du décile supérieur par rapport à la valeur médiane (voir la description qui est faite au § 3 d'après les étapes indiquées dans les Tableaux 1 et 2). T_m , D_{Tu} , et D_{Tl} sont les paramètres d'étalement dans le temps correspondants et F_m , D_{Fu} et D_{Fl} sont les paramètres de dispersion de fréquence définis de la même manière.

Avec $D_{Tu} = D_{Tl} = 0,15 T_m$, $D_{Fu} = D_{Fl} = 0,10 F_m$, les valeurs de T_m (ms) et de F_m (Hz) pour une propagation sur une longueur de trajet, D (km) et pour une fréquence f (MHz) sur un trajet dont la MUF de référence est égale à f_b sont exprimées comme suit:

$$T_m = 2,5 \times 10^7 D^{-2} (1 - f/f_b)^2 \text{ ou } 7 - 0,00175D, \text{ la valeur la plus petite étant retenue} \quad \text{pour } D \leq 2\,000 \text{ km}$$

$$= 4,27 \times 10^{-2} D^{0,65} (1 - f/f_b)^2 \text{ ou } 3,5, \text{ la valeur la plus petite étant retenue} \quad \text{pour } D > 2\,000 \text{ km}$$

et $F_m = 0,02 f T_m$

Appendice 1

Les définitions suivantes ont été formulées pour les besoins de la présente Recommandation:

1 Expressions concernant l'exploitation et la conception de systèmes radioélectriques en ondes décamétriques

Fiabilité

Probabilité qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte.

Fiabilité de circuit

Probabilité, pour un circuit, qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte avec une seule fréquence.

Fiabilité de réception

Probabilité, pour un circuit, qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte en tenant compte de toutes les fréquences émises, associées au signal souhaité.

Fiabilité de trajet

Probabilité pour une paire de terminaux, qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte sur un trajet unique entre les terminaux comprenant un ou plusieurs circuits contigus, compte tenu de toutes les fréquences d'émission.

Fiabilité des communications

Probabilité pour une paire de terminaux, qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte compte tenu de tous les trajets existant entre les terminaux; cela inclut toutes les bandes de fréquences associées au signal utile.

Fiabilité de service

Probabilité qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte pour une zone de service, compte tenu de toutes les fréquences transmises.

Fiabilité de zone

Pourcentage des points de mesure dans une zone de service pour lesquels la fiabilité de réception de référence est supérieure à une valeur requise spécifiée.

NOTE 1 – Dans les expressions ci-dessus, on entend par circuit une liaison de transmission entre un émetteur et un récepteur, avec ou sans diversité.

NOTE 2 – Ces expressions sont qualifiées par les mots «de référence» quand il y a seulement un bruit de fond et par l'adjectif «global» quand il y a un bruit de fond et un brouillage.

NOTE 3 – Lorsqu'il y a un bruit de fond et un brouillage, ces expressions peuvent se rapporter soit aux effets d'un seul brouilleur, soit à des brouillages multiples provenant d'émissions dans le même canal ou dans le canal adjacent.

NOTE 4 – Pour de nombreuses applications, il est commode d'adopter comme qualité de fonctionnement spécifiée une valeur donnée du rapport signal/bruit de fond.

NOTE 5 – Ces expressions se rapportent à une ou plusieurs périodes, qui devraient être indiquées.

NOTE 6 – Pour des applications en radiodiffusion, le terme fiabilité de service est remplacé par le terme fiabilité de radiodiffusion et la fiabilité est calculée pour un nombre spécifié de points d'essai à l'intérieur de la zone de service.

2 Expressions concernant les techniques de prévision

Fiabilité de mode

Probabilité, pour un circuit, qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte par un seul mode à une seule fréquence.

Disponibilité de mode

Probabilité, pour un seul circuit, qu'un seul mode à une seule fréquence puisse se propager par réflexion ionosphérique exclusivement.

Réalisation de performance de mode

Probabilité, pour un seul circuit, qu'une qualité de fonctionnement spécifiée soit atteinte par un seul mode à une seule fréquence, étant admis que le mode peut se propager par réflexion ionosphérique exclusivement.

NOTE 1 – Les Notes 4 et 5 du § 1 s'appliquent.
