



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

G.812

(11/1988)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Connexions et circuits téléphoniques internationaux –
Définitions générales

**Conditions sur le rythme de sortie des horloges
asservies destinées à l'exploitation en mode
plésiochrone de liaisons numériques
internationales**

Réédition de la Recommandation du CCITT G.812 publiée
dans le Livre Bleu, Fascicule III.5 (1988)

NOTES

- 1 La Recommandation G.812 du CCITT a été publiée dans le fascicule III.5 du Livre Bleu. Ce fichier est un extrait du Livre Bleu. La présentation peut en être légèrement différente, mais le contenu est identique à celui du Livre Bleu et les conditions en matière de droits d'auteur restent inchangées (voir plus loin).
- 2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

Recommandation G.812

CONDITIONS SUR LE RYTHME DE SORTIE DES HORLOGES ASSERVIES DESTINÉES À L'EXPLOITATION EN MODE PLÉSIOCHRONE DE LIAISONS NUMÉRIQUES INTERNATIONALES

(Melbourne, 1988)

1 Considérations générales

1.1 *Objet de la présente Recommandation*

La présente Recommandation a pour but de spécifier les conditions applicables aux horloges asservies et de faciliter la compréhension des spécifications de rythme correspondantes pour l'exploitation en mode plésiochrone de liaisons numériques internationales.

Remarque – Les Administrations peuvent librement appliquer les dispositions de la présente Recommandation à des horloges asservies autres que celles utilisées sur des liaisons écoulant du trafic international. Le supplément n° 35 donne des directives concernant une méthode de mesure appropriée de la performance des horloges dans le cadre de la présente Recommandation.

1.2 *Erreur relative maximale de phase (temps) sur la durée*

La notion d'erreur relative maximale sur la durée (ERMSD) est utile pour spécifier la performance des horloges asservies. L'ERMSD est analogue à l'ERMSD définie dans la Recommandation G.811 mais la référence est obtenue par un oscillateur réel de haute performance au lieu de l'UTC.

2 Stabilité de phase des horloges asservies

La stabilité de phase d'une horloge asservie peut être décrite par ses variations de phase qui, à leur tour, peuvent être divisées en un certain nombre d'éléments:

- discontinuités de phase dues à des perturbations transitoires;
- variations de phase à long terme (dérapage et décalage de fréquence initiaux);
- variations de phase à court terme (gigue).

On trouvera dans l'annexe A à la présente Recommandation la description d'un modèle de stabilité de phase pour horloges asservies.

2.1 *Discontinuité de phase*

En cas d'opérations d'essai ou de réaménagement internes peu fréquentes à l'intérieur de l'horloge asservie, il convient d'observer les conditions suivantes:

- la variation de phase au cours d'une période quelconque d'une durée maximale de 2^{11} IU ne devrait pas dépasser $1/8$ d'IU;
- pour des périodes de durée supérieure à 2^{11} IU, la variation de phase pour chaque intervalle de 2^{11} IU ne devrait pas dépasser $1/8$ d'IU jusqu'à une valeur totale maximale de $1 \mu\text{s}$;

l'IU correspondant à l'inverse du débit binaire de l'interface.

2.2 *Variations de phase à long terme*

Les caractéristiques de stabilité de phase des horloges asservies doivent tenir compte du comportement de ces horloges dans l'environnement de réseaux réels. Des dégradations telles que la gigue, les paquets d'erreur et les pannes sont des caractéristiques intrinsèques des moyens de distribution du rythme. Les spécifications ci-dessous sont fondées sur le modèle de stabilité de phase pour horloges asservies spécifiées dans l'annexe A. Ce modèle caractérise la performance effective des horloges, reflétant les contraintes qui existent dans les réseaux réels et dans lesquelles les horloges devraient fonctionner de manière satisfaisante. Trois catégories de fonctionnement des horloges doivent faire l'objet de spécifications:

- 1) fonctionnement idéal;

- 2) fonctionnement en présence de contraintes;
- 3) fonctionnement en régime libre.

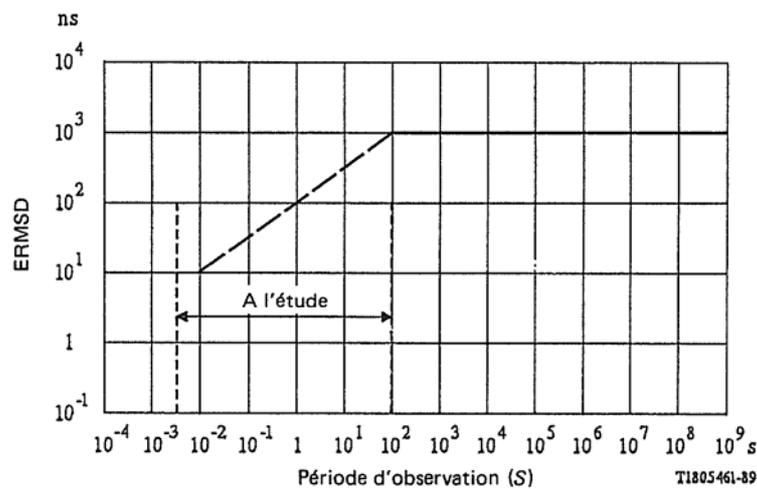
2.2.1 Fonctionnement idéal

Cette catégorie d'exploitation reflète la performance d'une horloge dans des conditions où la ou les références de rythme à l'entrée sont exemptes de dégradations.

L'ERMSD à la sortie de l'horloge asservie ne devrait pas dépasser les limites provisoires suivantes au cours d'une période quelconque de S secondes:

- 1) $0,05 < S < 100$: cette région nécessite des études complémentaires;
- 2) 1000 ns pour $S \geq 100$.

La spécification qui en résulte est résumée à la figure 1/G.812.



Remarque – Pour mesurer les variations à long terme, il est suggéré d'utiliser un filtre passe-bas d'affaiblissement 20 dB/dec et de fréquence de coupure 10 Hz.

FIGURE 1/G.812

**Erreur relative maximale admissible sur la durée (ERMSD)
due aux variations de phase à long terme en fonction
de la durée d'observation S pour une horloge asservie
en conditions de fonctionnement idéales**

2.2.2 Fonctionnement en présence de contraintes

Cette catégorie d'exploitation reflète la performance effective d'une horloge compte tenu des répercussions des conditions réelles de fonctionnement (contraintes). Ces conditions englobent les effets de la gigue, des actions de commutation de protection et des paquets d'erreur. Il en résulte des dégradations du rythme qui seront analysées dans l'annexe A.

Les caractéristiques pour le fonctionnement en présence de contraintes sont à l'étude.

2.2.3 Fonctionnement en régime libre

Cette catégorie reflète la performance d'une horloge asservie dans les cas peu fréquents où il y a perte du signal de référence pendant une durée significative.

L'ERMSD (voir le § 1.2 et la Recommandation G.811) à la sortie d'une horloge asservie ne devrait pas dépasser les limites provisoires suivantes pendant une durée quelconque de S secondes:

$$\text{pour } S \geq 100, \text{ERMSD}(S) = (aS + 1/2 bS^2 + c) \text{ ns}$$

les valeurs provisoirement proposées pour a , b et c sont, comme indiqué dans le tableau 1/G.812 (voir la remarque 5):

TABLEAU 1/G.812

	Horloge de noeud de transit ^{a)} (horloge de couche 2)	Horloge de noeud locale ^{a)} (horloge de couche 3)
a	0,5 (remarque 1)	10,0 (remarque 3)
b	$1,16 \times 10^{-5}$ (remarque 2)	$2,3 \times 10^{-4}$ (remarque 4)
c	1000 (remarque 6)	1000 (remarque 6)

^{a)} Voir la Recommandation G.810 pour les définitions.

Remarque 1 – Correspond à un décalage de fréquence initial de 5×10^{-10} .

Remarque 2 – Correspond à une dérive de fréquence de 1×10^{-9} /jour.

Remarque 3 – Correspond à un décalage de fréquence initial de 1×10^{-8} .

Remarque 4 – Correspond à une dérive de fréquence de 2×10^{-8} /jour.

Remarque 5 – Effets de la température: les effets des changements de la température ambiante sur la performance d'une horloge asservie en régime libre de fonctionnement demandent un complément d'étude.

Remarque 6 – Compte tenu de toute ERMSD qui peut avoir existé au début du fonctionnement en régime libre des effets de reconfiguration interne, etc., dans l'horloge (et, le cas échéant, dans la distribution de rythme). En tout cas, un passage sans heurts entre «idéal» et «libre» est stipulé.

La spécification globale résultante est résumée sur la figure 2/G.812.

2.3 Variations de phase à court terme

Il existe des applications d'horloge dans lesquelles on trouve des composantes d'instabilité de phase haute fréquence. La variation de phase maximale admissible à court terme d'une horloge asservie occasionnée par la gigue est à l'étude.

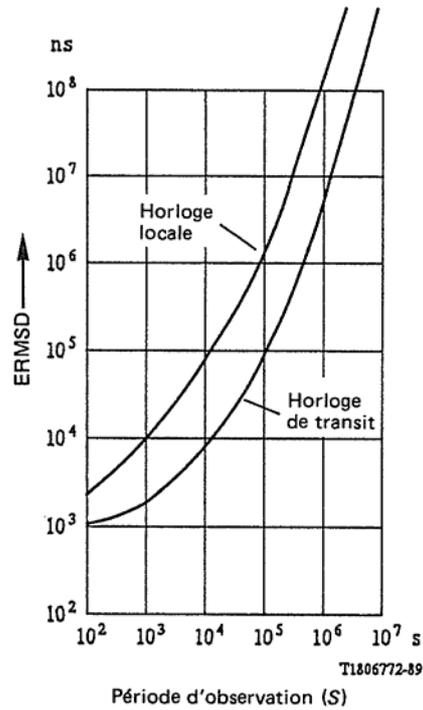


FIGURE 2/G.812

Erreur relative maximale admissible sur la durée (ERMSD) due aux variations de phase à long terme, en fonction de la durée d'observation S pour une horloge asservie en régime libre

ANNEXE A

(à la Recommandation G.812)

Caractéristiques de stabilité de phase d'une horloge asservie

A.1 Le modèle d'horloge asservie est décrit par l'équation suivante:

$$x(t) = y_{\text{bias}} \cdot t + \left(\frac{D}{2}\right) t^2 + e_{\text{mp}}(t) + \int_{\tau=0}^{\tau=t} e_{\text{mf}}(\tau) d\tau$$

dans laquelle:

- $x(t)$ est la phase de sortie (en fonction du temps) par rapport à l'entrée de référence (dimension: temps);
- y_{bias} est un décalage de fréquence relatif résiduel qui peut survenir à la suite d'interruptions sur l'entrée de référence (sans dimensions);
- D est la dérive linéaire de fréquence lorsque l'horloge est en régime libre (dimension 1/temps);
- $e_{\text{mp}}(t)$ est une composante de modulation de phase (MP) de bruit blanc associée à l'instabilité de l'horloge à court terme (dimension d'un temps);
- $e_{\text{mf}}(\tau)$ est une composante de modulation de fréquence (MF) relative de bruit blanc associée au processus d'interruption du signal de référence (sans dimensions).

On comprendra mieux le modèle d'horloge en considérant les trois catégories de fonctionnement des horloges:

- fonctionnement idéal;

- fonctionnement en présence de contraintes;
- fonctionnement en régime libre.

A.1.1 *Fonctionnement idéal*

Pour de brèves périodes d'observation inférieures à la constante de temps de la boucle à asservissement de phase, la stabilité du signal de sortie de la base de temps est déterminée par la stabilité à court terme de l'oscillateur local. En l'absence d'interruptions du signal de référence, la stabilité du signal de sortie prend l'allure asymptotique d'un processus de bruit blanc de phase MP à mesure que la période d'observation s'allonge de manière à être comprise dans la constante de temps de la boucle d'asservissement de phase. On peut considérer le signal de sortie de l'horloge comme une superposition du bruit haute fréquence de l'oscillateur local et de la partie basse fréquence du signal de référence d'entrée. En fonctionnement avec asservissement de phase, le bruit haute fréquence doit être limité et, rendu invisible pour les longues périodes d'observation supérieures à la constante le temps de la boucle d'asservissement de phase.

Dans des conditions idéales, le seul paramètre du modèle à avoir une valeur différente de zéro est la composante du bruit blanc de phase MP.

A.1.2 *Fonctionnement en présence de contraintes*

En présence d'interruptions, la stabilité du signal de base de temps à la sortie se comporte comme un processus de bruit blanc de fréquence MF à mesure que la durée de la période d'observation s'allonge pour être comprise dans la constante de temps de la boucle à asservissement de phase. La présence d'un bruit blanc de fréquence MF peut être justifiée en se fondant sur le simple fait que, en général, les horloges de réseaux extraient du signal de référence de temps des intervalles de temps plutôt qu'une valeur absolue de temps. Toute interruption est, par nature, une brève période au cours de laquelle l'intervalle de temps de référence n'est pas disponible. Lorsque la référence est rétablie, il y a une certaine ambiguïté au sujet de la différence de temps effective entre l'horloge locale et l'horloge de référence. Selon la complexité du système de mise en phase de l'horloge, il peut se produire différents niveaux d'écart de phase résiduel à chaque interruption. Il y a une composante aléatoire indépendante de l'intervalle entre une interruption et la suivante ce qui introduit dans la phase un élément aléatoire et constitue de ce fait une source de bruit blanc de fréquence MF.

En sus de la composante de bruit blanc de fréquence MF, les interruptions peuvent effectivement entraîner un décalage de fréquence entre l'horloge locale et l'horloge de référence. Ce décalage de fréquence (y_{bias}) découle d'une déviation de l'asservissement de phase lors du rétablissement du signal de référence. Il s'agit là d'un point délicat. Cet effet a pour conséquence que, dans le cadre d'un réseau réel, on observe une certaine accumulation de décalages de fréquence sur une chaîne d'horloges. Ainsi, des horloges commandées par la même horloge de référence primaire fonctionnent en fait dans une certaine mesure en mode plésiochrone.

En résumé, en présence de contraintes, les paramètres non nuls du modèle d'horloge sont la composante de bruit blanc de fréquence MF (e_{mf}) et la composante de décalage de fréquence (y_{bias}). La catégorie de fonctionnement en présence de contraintes correspond à une caractérisation réaliste de ce qu'est le fonctionnement «normal» d'une horloge.

A.1.3 *Fonctionnement en régime libre*

En mode libre, les composantes essentielles du modèle d'horloge sont la dérive de fréquence (D) et le décalage initial de fréquence (y_{bias}). Le terme dérive rend compte du vieillissement sensible associé aux oscillateurs à quartz. Le décalage initial de fréquence est associé à la conception intrinsèque de l'oscillateur local.

A.2 *Relation entre le modèle d'horloge asservie et la performance en matière de ETSD*

Il est utile d'étudier la relation entre le modèle d'horloge et l'erreur de temps sur la durée ETSD prévisible. Il est proposé d'utiliser la variance d'Allan à deux échantillons pour décrire la partie stochastique du modèle d'horloge. Les équations suivantes s'appliquent aux trois catégories de fonctionnement:

Fonctionnement idéal

$$\sigma_{\text{EIT}} = \sqrt{3\sigma_{\text{f}}^2 (\tau = t) \cdot t}$$

Fonctionnement en présence de contraintes

$$\sigma_{\text{EIT}} = \sqrt{\sigma_{\text{bias}}^2 + \sigma_{\text{f}}^2 (\tau = t) \cdot t}$$

Fonctionnement en régime libre

$$\sigma_{\text{EIT}} = \left(\frac{D}{2}\right) t^2 + \sqrt{\sigma_{\text{bias}}^2 + \sigma^2(\tau = t) \cdot t}$$

dans lesquelles:

- σ_{EIT} est l'écart type de l'erreur relative sur la durée pour le signal de sortie de l'horloge comparé au signal de référence pendant le temps d'observation t ;
- $\sigma, (\tau)$ est la variance à deux échantillons qui décrit la fluctuation aléatoire de l'horloge;
- σ_{bias} décrit la variance à deux échantillons de la fréquence biaisée.

A.3 *Directives concernant la mesure de la gigue et du dérapage*

La vérification de la conformité avec les spécifications de la gigue et du dérapage nécessite des méthodologies de mesure normalisées pour éliminer les ambiguïtés dans les mesures et dans l'interprétation et la comparaison des résultats de mesure. Le supplément n° 35 contient des suggestions quant à la mesure de la gigue et du dérapage.

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	
Définitions générales	G.100–G.109
Généralités sur la qualité de transmission d'une connexion téléphonique internationale complète	G.110–G.119
Caractéristiques générales des systèmes nationaux participant à des connexions internationales	G.120–G.129
Caractéristiques générales d'une chaîne 4 fils formée par des circuits internationaux et leurs prolongements nationaux	G.130–G.139
Caractéristiques générales d'une chaîne 4 fils de circuits internationaux; transit international	G.140–G.149
Caractéristiques générales des circuits téléphoniques internationaux et des circuits nationaux de prolongement	G.150–G.159
Dispositifs associés aux circuits téléphoniques à grande distance	G.160–G.169
Aspects liés au plan de transmission dans les connexions et circuits spéciaux utilisant le réseau de communication téléphonique international	G.170–G.179
Protection et rétablissement des systèmes de transmission	G.180–G.189
Outils logiciels pour systèmes de transmission	G.190–G.199
SYSTÈMES INTERNATIONAUX ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	
Définitions et considérations générales	G.210–G.219
Recommandations générales	G.220–G.229
Équipements de modulation communs aux divers systèmes à courants porteurs	G.230–G.239
Emploi de groupes primaires, secondaires, etc.	G.240–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	
Systèmes à courants porteurs sur paires symétriques non chargées, organisés en groupes primaires et secondaires	G.320–G.329
Systèmes à courants porteurs sur paires coaxiales de 2,6/9,5 mm	G.330–G.339
Systèmes à courants porteurs sur paires coaxiales de 1,2/4,4 mm	G.340–G.349
Recommandations complémentaires relatives aux systèmes en câble	G.350–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	
Recommandations générales	G.400–G.419
Interconnexion de faisceaux avec les systèmes à courants porteurs sur lignes métalliques	G.420–G.429
Circuits fictifs de référence	G.430–G.439
Bruit de circuit	G.440–G.449
COORDINATION DE LA RADIODÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	
Circuits radiotéléphoniques	G.450–G.469
Liaisons avec les stations mobiles	G.470–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	
Généralités	G.600–G.609
Paires symétriques en câble	G.610–G.619
Câbles terrestres à paires coaxiales	G.620–G.629
Câbles sous-marins	G.630–G.649
Câbles à fibres optiques	G.650–G.659

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série B	Moyens d'expression: définitions, symboles, classification
Série C	Statistiques générales des télécommunications
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	RGT et maintenance des réseaux: systèmes de transmission, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques et circuits loués internationaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information et protocole Internet
Série Z	Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication