



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

Q.706

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

(03/93)

**SPÉCIFICATIONS DU SYSTÈME
DE SIGNALISATION N° 7**

**SYSTÈME DE SIGNALISATION N° 7 –
FONCTIONNEMENT ATTENDU EN
SIGNALISATION DU SOUS-SYSTÈME
TRANSPORT DE MESSAGES**

Recommandation UIT-T Q.706

(Antérieurement «Recommandation du CCITT»)

AVANT-PROPOS

L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes que les Commissions d'études de l'UIT-T doivent examiner et à propos desquels elles doivent émettre des Recommandations.

La Recommandation révisée UIT-T Q.706, élaborée par la Commission d'études XI (1988-1993) de l'UIT-T, a été approuvée par la CMNT (Helsinki, 1-12 mars 1993).

NOTES

1 Suite au processus de réforme entrepris au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT), le CCITT n'existe plus depuis le 28 février 1993. Il est remplacé par le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T) créé le 1^{er} mars 1993. De même, le CCIR et l'IFRB ont été remplacés par le Secteur des radiocommunications.

Afin de ne pas retarder la publication de la présente Recommandation, aucun changement n'a été apporté aux mentions contenant les sigles CCITT, CCIR et IFRB ou aux entités qui leur sont associées, comme «Assemblée plénière», «Secrétariat», etc. Les futures éditions de la présente Recommandation adopteront la terminologie appropriée reflétant la nouvelle structure de l'UIT.

2 Dans la présente Recommandation, le terme «Administration» désigne indifféremment une administration de télécommunication ou une exploitation reconnue.

© UIT 1994

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Paramètres de base associés au fonctionnement attendu en signalisation du MTP.....	1
1.1 Indisponibilité d'un faisceau de routes sémaphores	1
1.2 Difficultés inévitables de fonctionnement du MTP	1
1.3 Temps de transfert des messages	1
1.4 Capacité d'écoulement du trafic de signalisation	1
2 Caractéristiques du trafic sémaphore	2
2.1 Capacité d'étiquetage	2
2.2 Capacité de charge	2
2.3 Structure du trafic sémaphore	2
3 Paramètres associés aux caractéristiques de transmission.....	3
3.1 Application du système de signalisation n° 7 aux liaisons à 64 kbit/s.....	3
3.2 Application du système de signalisation n° 7 aux liaisons utilisant des débits binaires inférieurs à 64 kbit/s	3
3.3 Retards du canal sémaphore sur les liaisons de Terre et les liaisons par satellite.....	3
4 Paramètres ayant une influence sur le fonctionnement attendu en signalisation.....	4
4.1 Réseau sémaphore	4
4.2 Retard dû à la formation de queues	5
4.3 Temps de transfert des messages	15
4.4 Protection contre les erreurs	18
4.5 Dispositions concernant la sécurité de fonctionnement	19
4.6 Défaillances	20
4.7 Priorités.....	20
5 Estimation des temps de transfert des messages	20
5.1 Estimation du T_{CS}	21
5.2 Calcul du T_{od}	21
5.3 Estimations du temps de traitement du processeur au STP T_{ph}	31
6 Fonctionnement attendu en conditions défavorables	32
6.1 Conditions défavorables	32
6.2 Influence des conditions défavorables	32
Annexe A – Calcul des temps de transmission.....	32
Annexe B – Calcul du retard dû à la liaison sortante T_{od}	34
B.1 Calcul des moments $k_{i\text{ème}}$ du temps d'émission de la trame sémaphore de message.....	34
B.2 Calcul approximatif des valeurs à 95% du T_{od}	35
Référence.....	36

INTRODUCTION

Le sous-système transport de messages (MTP) (*message transfer power*) du système de signalisation n° 7 (SS n° 7) est conçu comme un système de transport des messages commun aux différents utilisateurs. Il doit satisfaire aux exigences des différents services utilisateurs. Ces exigences ne sont pas nécessairement les mêmes et peuvent varier en importance et en rigueur.

Afin de satisfaire ces différentes exigences, le MTP a été conçu de manière à répondre aux plus contraignantes d'entre elles, telles qu'elles étaient envisagées au moment de l'élaboration de la spécification. A cette fin, on a particulièrement étudié les besoins du service téléphonique, du service de transmission de données et de la gestion du réseau sémaphore. On admet que si le fonctionnement attendu en signalisation satisfait aux exigences énumérées ci-dessus, il pourra satisfaire également celles des futurs services utilisateurs.

En conséquence, par fonctionnement attendu du système de signalisation, il faut comprendre l'aptitude du MTP à transférer des messages de longueur variable pour différents utilisateurs selon un processus bien défini. Pour obtenir un bon fonctionnement en signalisation, trois groupes de paramètres doivent être pris en compte:

- Le premier groupe correspond aux objectifs qui découlent des besoins de différents utilisateurs. Ces objectifs sont la réduction du temps de transmission de messages, la protection contre tout type de défaillances et la garantie de disponibilité.
- Le deuxième groupe correspond aux caractéristiques de trafic de signalisation, telles que la capacité de charge et la structure du trafic de signalisation.
- Le troisième groupe correspond à l'influence de l'environnement, telle que les caractéristiques des moyens de transmission (par exemple taux d'erreur et paquets d'erreurs).

Ces trois groupes de paramètres ont été pris en considération quand ont été spécifiées les procédures destinées à permettre au MTP de transférer les messages en satisfaisant à toutes les exigences de signalisation des services utilisateurs et pour obtenir un fonctionnement global du système de signalisation qui soit à la fois uniforme et satisfaisant.

SYSTÈME DE SIGNALISATION N° 7 – FONCTIONNEMENT ATTENDU EN SIGNALISATION DU SOUS-SYSTÈME TRANSPORT DE MESSAGES

(Genève, 1980; modifiée à Helsinki, 1993)

1 Paramètres de base associés au fonctionnement attendu en signalisation du MTP

Le fonctionnement attendu en signalisation est défini par un grand nombre de paramètres différents. Afin que ce fonctionnement convienne à tous les services utilisateurs desservis par le MTP qui leur est commun, on a fixé pour ce dernier les objectifs de conception suivants.

1.1 Indisponibilité d'un faisceau de routes sémaphores

L'indisponibilité d'un faisceau de routes sémaphores est déterminée par l'indisponibilité des différents éléments du réseau sémaphore (canaux et points sémaphores) ainsi que par la structure de ce réseau.

L'indisponibilité d'un faisceau de routes sémaphores ne doit pas dépasser un total de 10 minutes par an.

L'indisponibilité d'un faisceau de routes sémaphores dans un réseau sémaphore peut être améliorée par la duplication des canaux, des trajets et des routes sémaphores.

1.2 Difficultés inévitables de fonctionnement du MTP

Le MTP est conçu pour acheminer les messages selon un ordre correct. De plus, les messages sont protégés contre les erreurs de transmission. Une telle protection ne peut toutefois être absolue. En outre, dans les cas extrêmes, l'arrivée hors séquence et la perte de messages dans le MTP ne peuvent être exclues.

Le MTP garantit pour tous les sous-systèmes utilisateurs, l'observation des conditions suivantes:

a) *Erreurs non décelées*

Sur un canal sémaphore employant une liaison sémaphore de données qui a les caractéristiques de taux d'erreur décrites dans la Recommandation Q.702, pas plus d'une trame sémaphore de messages sur 10^{10} contiendra une erreur qui n'est pas détectée par le MTP.

b) *Perte de messages*

Pas plus d'un message sur 10^7 ne devra être perdu par suite d'une défaillance du MTP.

c) *Messages hors séquence*

Pas plus d'un message sur 10^{10} ne devra être remis hors séquence aux sous-systèmes utilisateurs par suite d'une défaillance du MTP. Cette valeur prend en compte également la duplication des messages.

1.3 Temps de transfert des messages

Ce paramètre comprend:

- les temps de traitement aux points sémaphores (voir 4.3);
- les retards dus à la formation de queues, y compris les retards dus aux retransmissions (voir 4.2);
- les temps de propagation sur la liaison sémaphore de données.

1.4 Capacité d'écoulement du trafic de signalisation

Ce point doit faire l'objet d'un complément d'étude (voir 2.2).

2 Caractéristiques du trafic sémaphore

2.1 Capacité d'étiquetage

Le système de signalisation n° 7 est conçu de manière à donner aux étiquettes la possibilité d'identifier 16 384 points sémaphores. Pour chacun des 16 sous-systèmes utilisateurs on peut identifier un certain nombre de transactions; par exemple, dans le cas du service téléphonique, on peut identifier jusqu'à 4096 circuits de conversation.

2.2 Capacité de charge

Etant donné que la charge d'un canal sémaphore varie en fonction des caractéristiques de trafic du service, des transactions des services utilisateurs et du nombre de signaux utilisés, il n'est pas possible de spécifier une limite maximale qui soit générale pour le nombre de transactions des services utilisateurs que peut assurer un seul canal sémaphore. Ce nombre maximal doit être déterminé dans chaque cas, compte tenu des caractéristiques de trafic qui s'y rapportent, de manière à maintenir la charge totale de signalisation à un niveau qui soit acceptable à tout point de vue.

S'agissant de l'encombrement de faisceau de routes sémaphores (voir 11.2.3/Q.704), la dernière méthode mentionnée en 11.2.3.1 ii) b), à savoir la méthode relative au faisceau encombré qui consiste à déterminer le moment où un message d'ordre de transfert sous contrôle doit être transmis, présente des avantages dans le cas d'une répartition asymétrique de la charge dans un faisceau de canaux sémaphores.

Lorsqu'on détermine la charge normale d'un canal sémaphore, il faut tenir compte de l'obligation de prévoir une marge suffisante pour les charges de trafic de pointe.

La charge d'un canal sémaphore est limitée par plusieurs facteurs qui sont indiqués ci-après.

2.2.1 Retard dû à la formation de queues

En l'absence de perturbations, le retard dû à la formation de queues est grandement influencé par la distribution des longueurs de messages et la charge de trafic de signalisation (voir 4.2).

2.2.2 Conditions requises de sécurité de fonctionnement

La plus importante des dispositions concernant la sécurité de fonctionnement est la redondance, associée à la procédure de passage sur canal sémaphore de secours. Comme le partage de charge est appliqué en fonctionnement normal, la charge des différents canaux sémaphores devrait être limitée de telle manière que, dans le cas de passage sur canal sémaphore de secours, les retards dus à la formation de queues ne dépassent pas une limite raisonnable. Cette condition doit être satisfaite non seulement dans le cas de passage sur un seul canal sémaphore de secours prédéterminé mais aussi dans le cas d'une répartition de la charge sur les canaux sémaphores restants.

2.2.3 Capacité de numérotation en séquence

L'utilisation de 7 bits pour la numérotation en séquence limite finalement à 127 le nombre des trames sémaphores envoyées et non encore acquittées.

En pratique, cela n'impose aucune limite à la capacité de charge.

2.2.4 Canaux sémaphores utilisant des débits binaires inférieurs à 64 kbit/s

Une valeur de charge appliquée à un canal sémaphore utilisant des débits binaires inférieurs à 64 kbit/s se traduira par des retards dus à la formation de queues plus élevés que si la même valeur de charge était appliquée à un canal sémaphore à 64 kbit/s.

2.3 Structure du trafic sémaphore

Le MTP dessert les différents sous-systèmes utilisateurs en tant que système commun de transport de messages. En conséquence, la structure du trafic sémaphore dépend essentiellement des types de sous-systèmes utilisateurs desservis. On peut admettre que, tout au moins dans un avenir proche, le service téléphonique représentera la partie principale du trafic sémaphore, y compris dans les réseaux intégrés.

On ne peut toutefois pas encore prévoir de quelle manière le trafic sémaphore sera influencé par l'intégration des services existants ou futurs. On a proposé les modèles de trafic indiqués en 4.2.4 pour permettre d'examiner autant que possible les caractéristiques et les particularités des différents services dans un réseau intégré. Si des conditions requises, nouvelles ou plus strictes, sont imposées à la signalisation (par exemple des délais plus courts) à la suite de l'introduction de services futurs, elles devront être satisfaites en dimensionnant de façon appropriée la charge ou en améliorant la structure du réseau sémaphore.

3 Paramètres associés aux caractéristiques de transmission

Aucune condition requise spéciale de transmission n'est envisagée pour les canaux sémaphores du système n° 7. En conséquence, le système n° 7 dispose des moyens voulus pour se satisfaire des caractéristiques de transmission des liaisons ordinaires. Dans les paragraphes suivants, on indique les caractéristiques réelles attendues – telles qu'elles ont été déterminées par les Commissions d'études compétentes – ainsi que leurs incidences sur les spécifications du MTP.

3.1 Application du système de signalisation n° 7 aux liaisons à 64 kbit/s

Le MTP est conçu de manière à fonctionner de façon satisfaisante avec les caractéristiques de transmission suivantes:

- a) Un taux d'erreur à long terme sur les bits pour la liaison sémaphore de données: inférieur à 10^{-6} [1].
- b) Un taux d'erreur à moyen terme sur les bits: inférieur à 10^{-4} .
- c) Les erreurs aléatoires et les paquets d'erreurs, y compris les longues séries d'erreurs qui peuvent se produire sur la liaison numérique à la suite, par exemple, de la perte de verrouillage de trame ou de glissements d'octet sur la liaison numérique. La période d'interruption maximale admissible est spécifiée pour la surveillance du taux d'erreur sur les trames sémaphores (voir 10.2/Q.703).

3.2 Application du système de signalisation n° 7 aux liaisons utilisant des débits binaires inférieurs à 64 kbit/s

Doit faire l'objet d'un complément d'étude.

3.3 Retards du canal sémaphore sur les liaisons de Terre et les liaisons par satellite

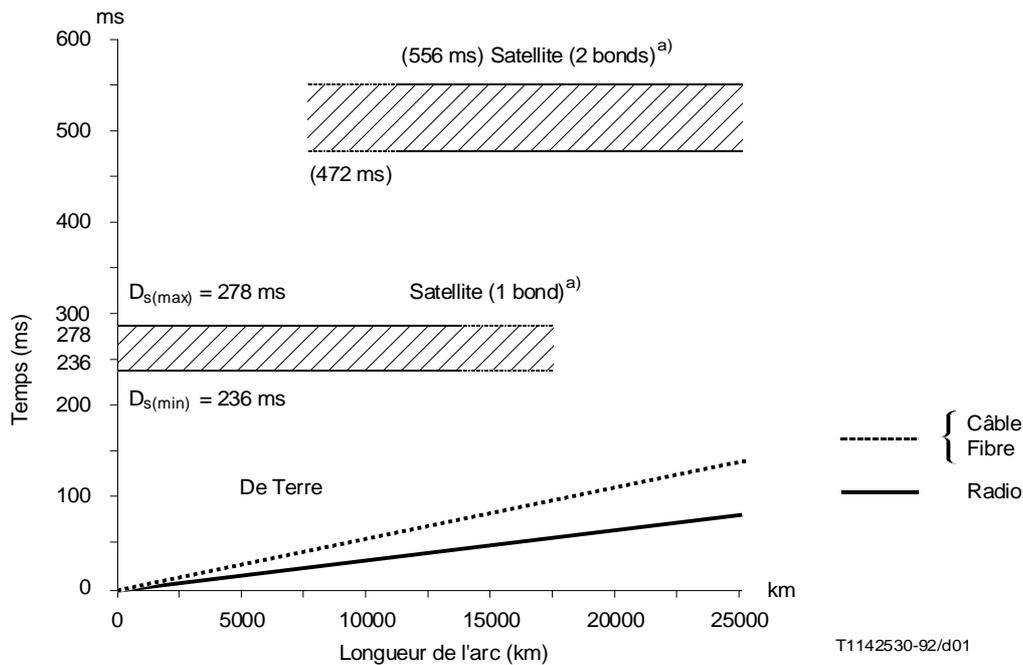
Le temps de propagation sur la voie de données (T_p) est défini en 4.3.2.4. Il est fonction de la vitesse de transmission, de la distance entre les nœuds, de l'espacement des répéteurs et du retard introduit par ces derniers. La vitesse de transmission et les retards introduits par les répéteurs dépendent du type de moyen utilisé pour transmettre les messages. Quatre types de moyens sont pris en considération: les câbles, les câbles à fibres optiques, les radiocommunications de Terre et les systèmes par satellites. (Les systèmes câblés comprennent les câbles en cuivre souterrains traditionnels et les câbles sous-marins.)

Le Tableau 1 contient les valeurs représentatives du temps de transmission et la Figure 1 reproduit graphiquement les résultats des divers moyens de transmission.

TABLEAU 1/Q.706

Temps de transmission calculés pour diverses distances d'appel (moyen de Terre)

Longueur de l'arc (km)	Temps de transmission sur Terre (ms)		
	Câble	Fibre	Radio
500	2,4	2,50	1,7
1 000	4,8	5,0	3,3
2 000	9,6	10,0	16,6
5 000	24,0	25,0	16,5
10 000	48,0	50,0	33,0
15 000	72,0	75,0	49,5
17 737	85,1	88,7	58,5
20 000	96,0	100,0	66,0
25 000	120,0	125,0	82,5



a) Le temps varie en fonction des distances de chaque station terrienne: du point sur la Terre au-dessus duquel se trouve le satellite (voir l'Annexe A).

FIGURE 1/Q.706
**Temps de transmission avec dispositifs de traitement des messages
(moyens de Terre et satellite)**

Les valeurs de bond double ne tiennent pas compte des extensions de Terre et des répéteurs qui peuvent s'avérer nécessaires.

Les formules permettant de calculer les temps de transmission Figurent à l'Annexe A de même que les hypothèses retenues.

En raison du temps de transfert supérieur des liaisons par satellite et des liaisons de Terre qui sont plus longues, le temps de transfert des messages, indiqué à l'article 5, augmente. Les réseaux sémaphores doivent donc être conçus avec soin s'ils doivent répondre aux critères applicables au temps de transfert global (voir la Recommandation Q.709).

4 Paramètres ayant une influence sur le fonctionnement attendu en signalisation

4.1 Réseau sémaphore

Le système de signalisation n° 7 est conçu pour des applications en mode associé et en mode non associé. La section de référence pour de telles applications est le faisceau de routes sémaphores, qu'il s'agisse du mode associé ou du mode quasi associé.

Pour chaque faisceau de routes sémaphores d'un réseau sémaphore, la limite d'indisponibilité indiquée en 1.1 doit être respectée, quel que soit le nombre de canaux sémaphores en série dont il se compose.

Pour satisfaire aux exigences des Recommandations E.721, E.723 et I.352 en matière de temps, il convient, aux fins de la planification des réseaux sémaphores du SS n° 7, de prendre en compte les éléments suivants:

- les temps de traitement aux points sémaphores;
- le nombre de points sémaphores;
- le nombre de points de transfert sémaphores;

- le nombre de canaux sémaphores;
- le temps de propagation de chaque canal sémaphore;
- la charge du canal sémaphore;
- la composition du trafic téléphonique.

4.1.1 Réseau sémaphore international

Doit faire l'objet d'un complément d'étude.

4.1.2 Réseau sémaphore national

Doit faire l'objet d'un complément d'étude.

4.2 Retard dû à la formation de queues

Le MTP prend en charge des messages provenant des différents sous-systèmes utilisateurs sur la base d'un partage dans le temps. Avec une telle méthode, un retard de signalisation se manifeste lorsqu'il est nécessaire de traiter plusieurs messages dans un intervalle de temps donné. En pareil cas, il se forme une file d'attente dont les messages sont émis selon leur ordre d'arrivée.

On peut distinguer deux types différents de retard dû à la formation de queues: retard dû à la formation de queues en l'absence de perturbations et retard total dû à la formation de queues.

4.2.1 Hypothèses pour l'établissement des formules

Les formules permettant de calculer le retard dû à la formation de queues sont essentiellement tirées du modèle de file d'attente $M/G/1$ avec priorité. En l'absence de perturbations, les hypothèses pour l'établissement des formules sont les suivantes:

- a) la distribution du temps d'arrivée est une fonction exponentielle (M);
- b) la distribution du temps de service est une fonction générale (G);
- c) le nombre de serveurs est un (1);
- d) la priorité de service se réfère à la priorité de transmission au niveau 2 (voir 11.2/Q.703); toutefois, la trame sémaphore d'état du canal sémaphore et le fanion indépendant ne sont pas pris en considération;
- e) le temps de propagation en boucle sémaphore est constant, y compris le temps de traitement dans les terminaux sémaphores;
- f) le cas de retransmission forcée de la méthode de retransmission cyclique préventive n'est pas pris en considération.

De plus, pour les formules à appliquer en présence de perturbations, les hypothèses sont les suivantes:

- g) l'erreur de transmission d'une trame sémaphore de message est aléatoire;
- h) les erreurs sont statistiquement indépendantes les unes des autres;
- i) le retard supplémentaire causé par la retransmission d'une trame sémaphore erronée est considéré comme faisant partie du temps d'attente de cette trame;
- j) pour la méthode de retransmission cyclique préventive, lorsque l'erreur s'est produite, les trames sémaphores de deuxième priorité retransmises sont acceptées à l'extrémité de réception jusqu'à ce que le numéro de séquence de la nouvelle trame sémaphore émise en dernier rattrape celui de la dernière trame sémaphore retransmise.

En outre, la formule indiquant la proportion de messages retardés au-delà d'un temps donné découle de l'hypothèse suivante: la fonction de densité de probabilité de la distribution du retard dû à la formation de queues peut être une fonction exponentielle décroissante lorsque la durée du retard est relativement longue.

4.2.2 Facteurs et paramètres

- a) Les notations et facteurs requis pour le calcul des retards dûs à la formation de queues sont les suivants:

Q_a Retard moyen dû à la formation de queues en l'absence de perturbations

σ_a^2 Variance du retard dû à la formation de queues en l'absence de perturbations

Q_t Retard total moyen dû à la formation de queues

σ_t^2 Variance du retard total dû à la formation de queues

$P(T)$ Proportion de messages retardés de plus de T

a Charge de trafic en trames sémaphores de message (non compris la retransmission)

T_m Temps moyen d'émission des trames sémaphores de message

T_f Temps d'émission des trames sémaphores de remplissage

T_L Temps de propagation en boucle sémaphore y compris le temps de traitement dans le terminal sémaphore

P_u Probabilité d'erreur sur les trames sémaphores de message

$$k_1 = \frac{\text{2^e moment de la durée d'émission des trames sémaphores de message}}{T_m^2}$$

$$k_2 = \frac{\text{3^e moment de la durée d'émission des trames sémaphores de message}}{T_m^3}$$

$$k_3 = \frac{\text{4^e moment de la durée d'émission des trames sémaphores de message}}{T_m^4}$$

NOTE – Par suite de l'insertion de zéros au niveau 2 (voir 3.2/Q.703), la longueur de la trame sémaphore émise sera accrue en moyenne de 1,6% environ, mais cette augmentation a un effet négligeable sur le calcul.

b) Les paramètres utilisés dans les formules sont les suivants:

$$\begin{aligned}t_f &= T_f/T_m \\t_L &= T_L/T_m\end{aligned}$$

pour la méthode de base,

$$\begin{aligned}E_1 &= 1 + P_u t_L \\E_2 &= k_1 + P_u t_L (t_L + 2) \\E_3 &= k_2 + P_u t_L (t_L^2 + 3t_L + 3k_1)\end{aligned}$$

pour la méthode de retransmission cyclique préventive (PCR) (*preventive cyclic retransmission*)
 $a_3 = \exp(-at_L)$: charge de trafic causée par les trames sémaphores de remplissage

$$a_z = 1 - a - a_3$$

$$H_1 = at_L$$

$$H_2 = at_L(k_1 + at_L)$$

$$H_3 = at_L(k_2 + 3at_L k_1 + a^2 t_L^2)$$

$$F_1 = at_L/2$$

$$F_2 = at_L(k_1/2 + at_L/3)$$

$$F_3 = at_L(k_2/2 + at_L k_1 + a^2 t_L^2/4)$$

$$q_a = \frac{k_1(a + a_z) + a_3 t_f}{2(1 - a)}$$

$$s_a = \frac{ak_1}{1 - a} q_a + \frac{k_2(a + a_z) + a_3 t_f^2}{3(1 - a)}$$

$$t_a = \frac{3ak_1 s_a + 2ak_2 q_a}{2(1 - a)} + \frac{(a + a_z)k_3 + a_3 t_f^3}{4(1 - a)}$$

$$Z_1 = 2 + P_u(1 + H_1)$$

$$Z_2 = 4K_1 + P_u(5k_1 + 3H_1 + H_2)$$

$$Z_3 = 8k_2 + P_u(19k_2 + 27k_1 H_1 + 9H_2 + H_3)$$

$$Y_2 = s_a + 4k_1 + F_2 + 2\{q_a(2 + F_1) + 2F_1\}$$

$$Y_3 = t_a + 8k_2 + F_3 + 3\{s_a(2 + F_1) + q_a(4k_1 + F_2) + 2F + 2 + 4k_1 F_1\} + 12q_a F_1$$

$$\alpha = \frac{1 - a\{2 + P_u(1 + at_L)\}}{2 + q_a + at_L/2}$$

$$q_d = \frac{aZ_2 + \alpha Y_2}{2(1 - aZ_1)}$$

$$s_d = \frac{aZ_2}{1 - aZ_1} q_d + \frac{aZ_3 + \alpha Y_3}{3(1 - aZ_1)}$$

$$q_b = \frac{q_a + 1 + F_1}{1 - a}$$

$$s_b = \frac{s_a + k_1 + F_2}{(1 - a)^3} + \frac{2\{q_a(1 + F_1) + F_1\}}{(1 - a)^2}$$

$$q_c = \frac{q_d + 1 + P_u(1 + H_1)}{1 - a}$$

$$s_c = \frac{s_d + k_1 + P_u(3k_1 + H_2)}{(1 - a)^3} + 2 \frac{q_d + P_u\{q_d(1 + H_1) + 2H_1\}}{(1 - a)^2}$$

$$P_v = P_u a \frac{q_a + 2 + at_L/2}{1 - 2a} \left(1 + P_u \frac{a + a^2 t_L}{1 - 2a} \right)$$

4.2.3 Formules

Les formules permettant d'obtenir la moyenne et la variance des retards dus à la formation de queues sont décrites dans le Tableau 2. La proportion de messages retardés de plus d'un temps donné T_x est:

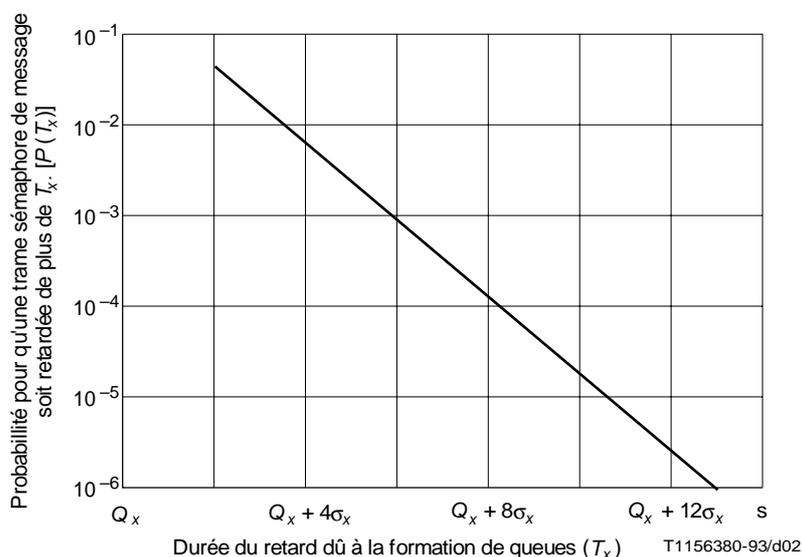
$$P(T_x) \cong \exp\left(-\frac{T_x - Q_x + \sigma_x}{\sigma_x}\right)$$

où Q_x et σ_x sont respectivement la moyenne et l'écart type du retard dû à la formation de queues. Cette approximation convient bien s'il n'y a pas de perturbations. S'il y a des perturbations, la distribution réelle peut s'en écarter davantage. La Figure 2 illustre la relation entre $P(T_x)$ et I_x .

TABLEAU 2/Q.706

Formules applicables au retard dû à la formation des queues

Méthode de correction des erreurs	Perturbations	Moyenne Q	Variante σ^2
De base	Absentes	$\frac{Q_a}{T_m} = \frac{t_f}{2} + \frac{ak_1}{2(1-a)}$	$\frac{\sigma_a^2}{T_m^2} = \frac{t_f^2}{12} + \frac{a[4k_2 - (4k_2 - 3k_1^2)a]}{12(1-a)^2}$
	Présentes	$\frac{Q_t}{T_m} = \frac{t_f}{2} + \frac{aE_2}{2(1-aE_1)} + E_1 - 1$	$\frac{\sigma_t^2}{T_m^2} = \frac{t_f^2}{12} + \frac{a[4E_3 - (4E_1 E_3 - 3E_2^2)a]}{12(1-aE_1)^2} + Pu(1 - P_u) t_L^2$
Retransmission cyclique préventive	Absentes	$\frac{Q_a}{T_m} = q_a$	$\frac{\sigma_a^2}{T_m^2} = s_a q_a^2$
	Présentes	$\frac{Q_t}{T_m} = (1 - P_u - P_v) q_a + P_u q_b + P_v q_c$	$\frac{\sigma_t^2}{T_m^2} = (1 - P_u - P_v) s_a + P_u s_b + P_v s_c - \frac{Qs(2,t)}{T_m^2}$



Q_x Retard moyen dû à la formation de queues (voir la Figure 3)
 σ_x Ecart type (voir la Figure 4)

FIGURE 2/Q.706

Probabilité pour qu'une trame sémaphore de message soit retardée de plus de (T_x)

4.2.4 Exemples

En utilisant les modèles de trafic du Tableau 3, des exemples de retards dus à la formation de queues sont détaillés dans les hypothèses décrites au Tableau 4.

Les valeurs ont été calculées avec un taux d'erreur sur une trame sémaphore de message de 10^{-3} qui se rapproche d'une probabilité d'erreur sur les bits de 10^{-5} . La probabilité d'erreur des liaisons sémaphores de données (de Terre et par satellite) est souvent meilleure que 10^{-7} ; les effets des retards dus à la formation de queues sont alors minimes.

NOTE – Les valeurs du Tableau 3 ont été déterminées sur la base de messages TUP. Avec l'utilisation de l'ISUP et du TC et l'accroissement de la longueur des messages qui en découle, il est probable que ces valeurs soient augmentées lors d'études ultérieures.

TABLEAU 3/Q.706

Modèles de trafic

Modèle	A	B	
Longueur des messages (en bits)	120	104	304
Pourcentage	100	92	8
Longueur moyenne des messages (en bits)	120	120	
k_1	1,0	1,2	
k_2	1,0	1,9	
k_3	1,0	3,8	

TABLEAU 4/Q.706

Liste d'exemples

Figure	Méthode de contrôle d'erreur	Retard dû à la formation de queues	Perturbations	Modèle
3	Base/PCR	Moyenne	Absence	A et B
4	Base/PCR	Ecart type	Absence	A et B
5	Base	Moyenne	Présence	A
6	Base	Ecart type	Présence	A
7	PCR	Moyenne	Présence	A
8	PCR	Ecart type	Présence	A

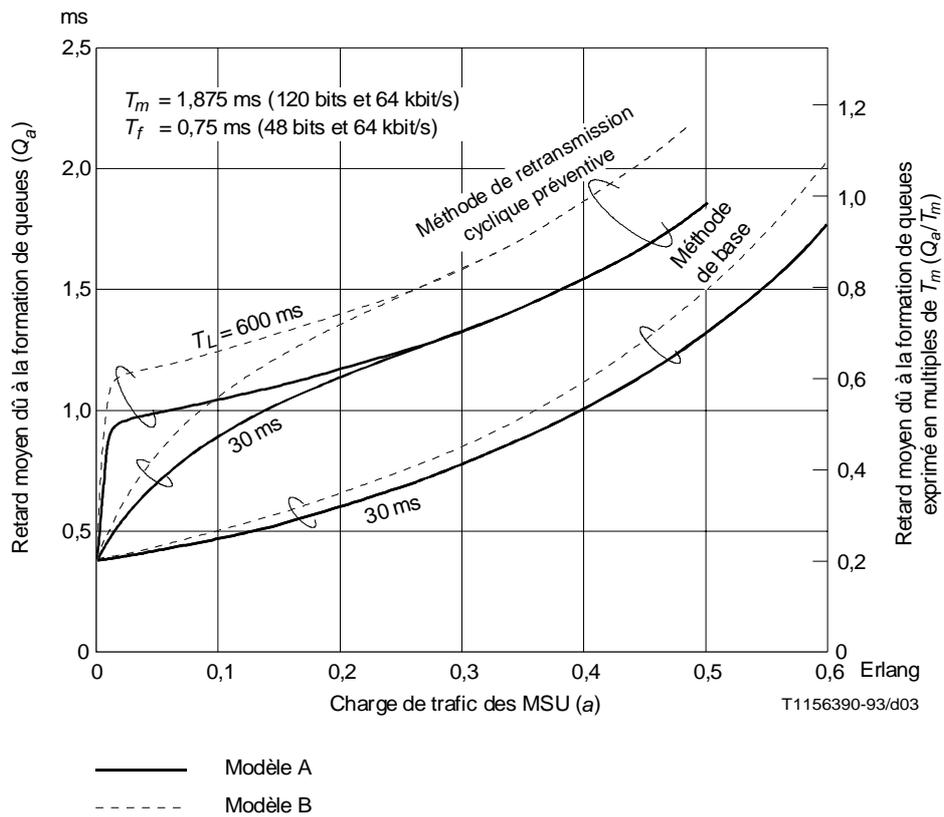


FIGURE 3/Q.706

Retard moyen dû à la formation de queues sur chaque voie
de trafic en l'absence de perturbations

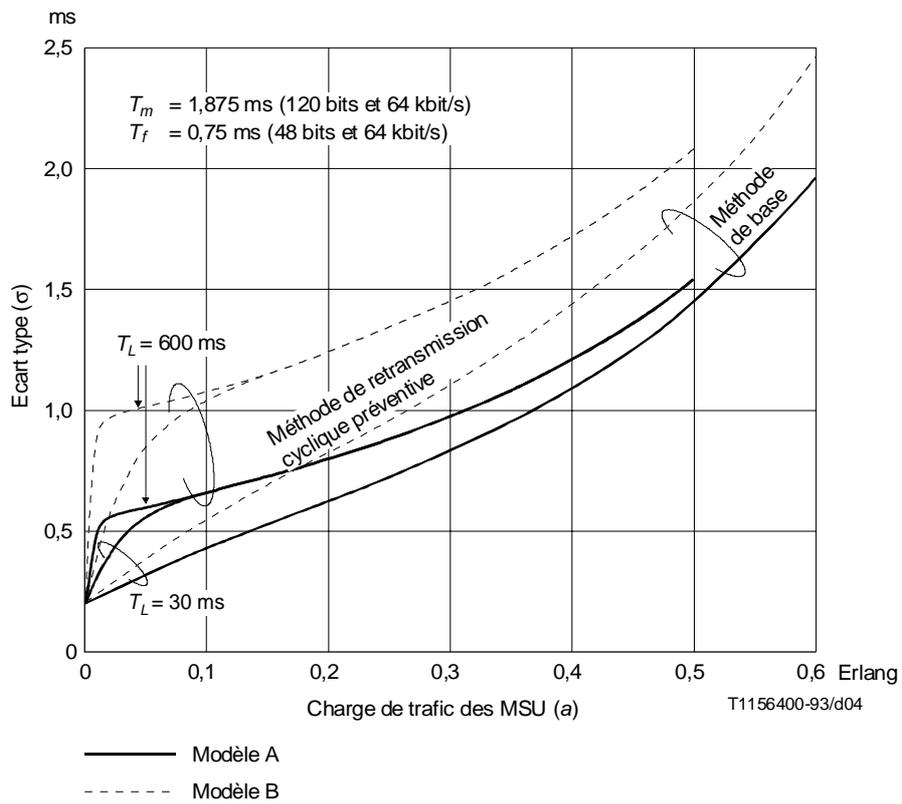


FIGURE 4/Q.706

Ecart type du retard dû à la formation de queues sur chaque voie de trafic en l'absence de perturbations

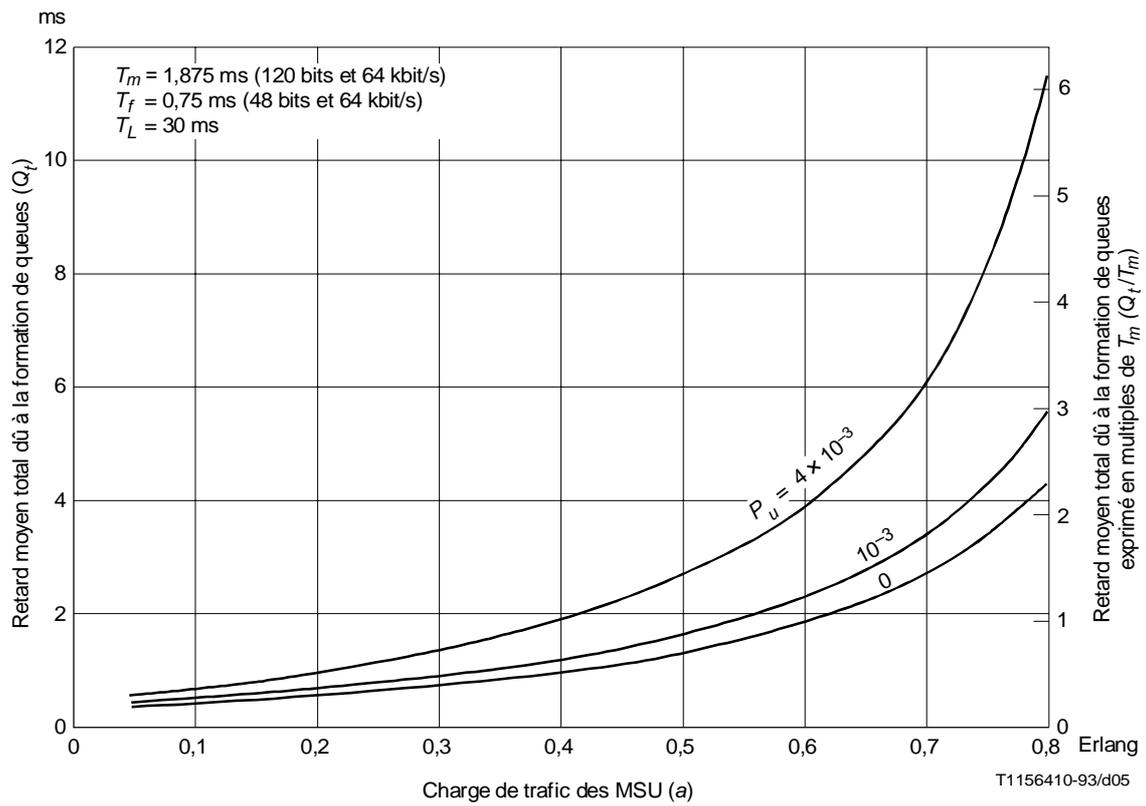


FIGURE 5/Q.706

Retard total moyen dû à la formation de queues sur chaque voie de trafic – Méthode de base de correction des erreurs

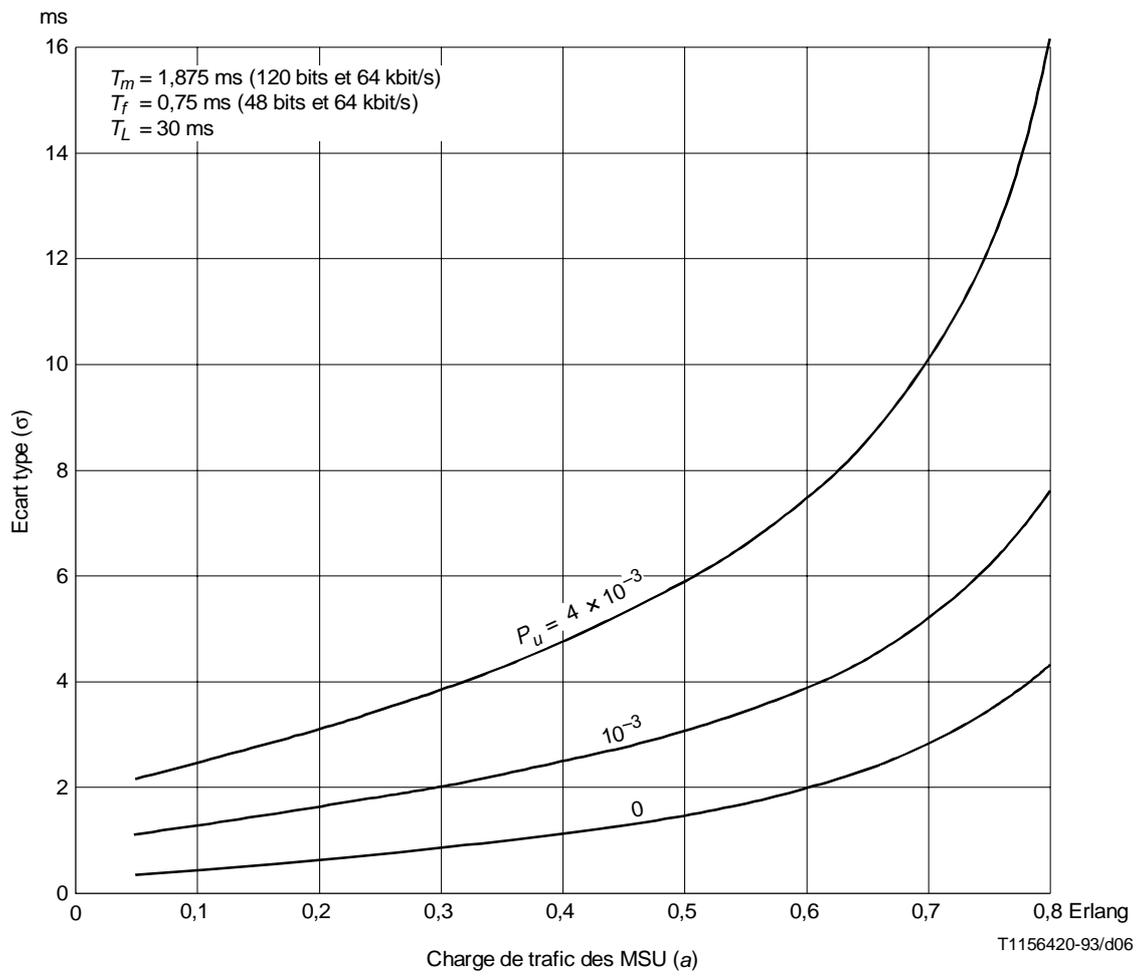


FIGURE 6/Q.706

**Ecart type du retard dû à la formation de queues sur chaque voie de trafic –
Méthode de base de correction des erreurs**

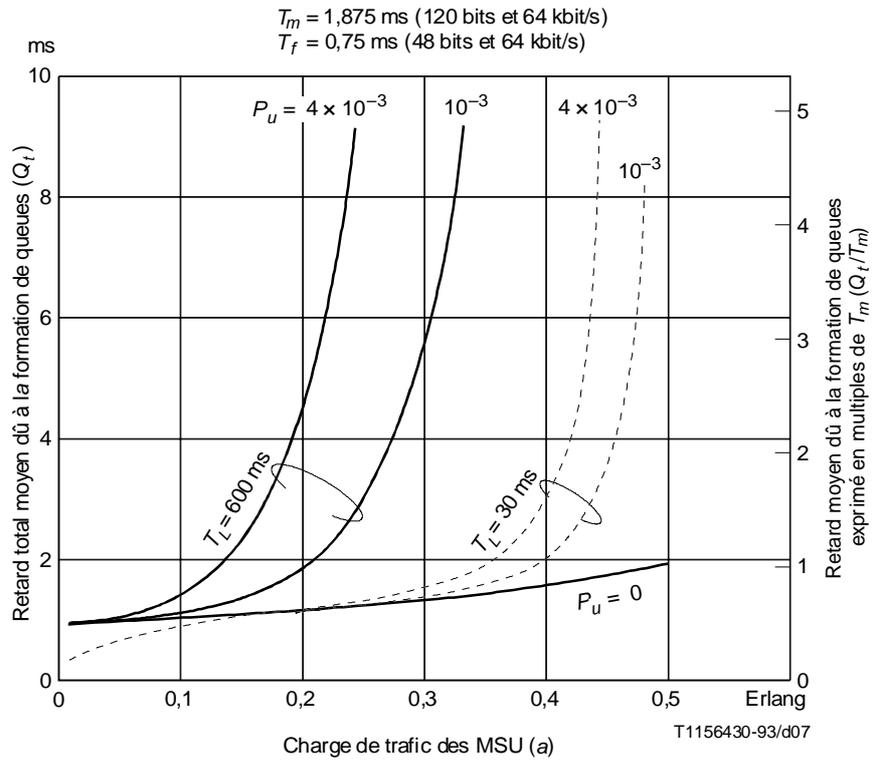


FIGURE 7/Q.706

Retard total moyen dû à la formation de queues sur chaque voie de trafic –
Méthode de correction des erreurs par retransmission cyclique préventive

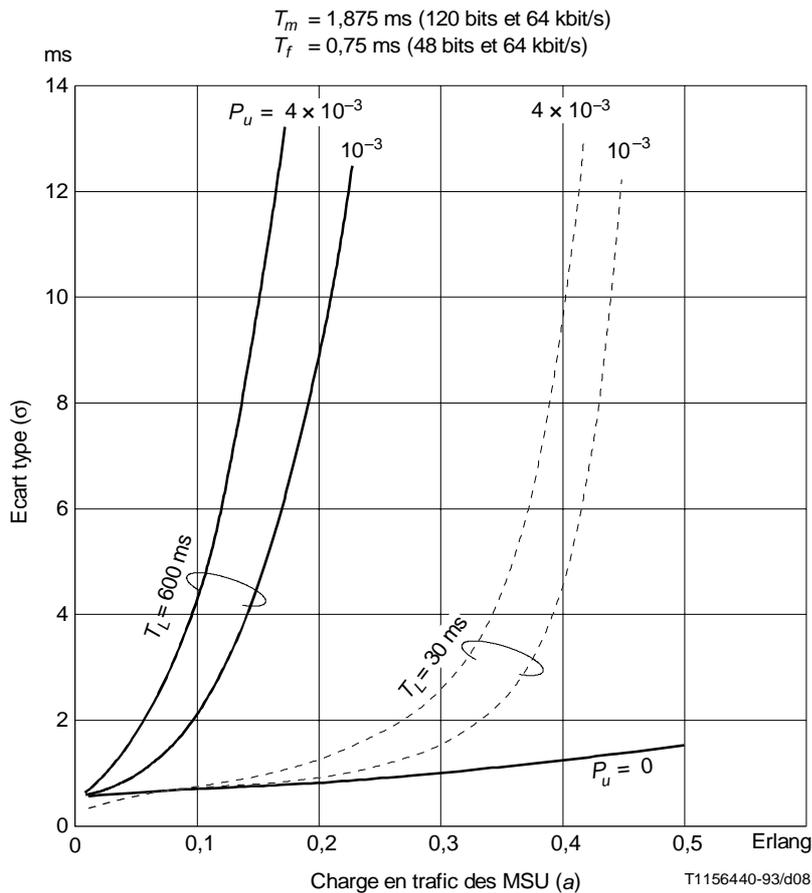


FIGURE 8/Q.706

**Ecart type du retard dû à la formation de queues sur chaque voie de trafic –
Méthode de correction des erreurs par retransmission cyclique préventive**

4.3 Temps de transfert des messages

Dans une relation sémaphore, le MTP transporte les messages du sous-système utilisateur d'origine vers le sous-système utilisateur de destination en utilisant plusieurs trajets. Le temps total nécessaire de transfert des messages dépend des composantes a) à d) (énumérées ci-dessous) du temps de transfert des messages sur chaque trajet.

4.3.1 Composantes du temps de transfert des messages et points de référence fonctionnels

Un trajet peut comprendre les éléments fonctionnels du réseau sémaphore et les composantes de temps de transfert suivants:

- a) Fonction d'émission du MTP au point d'origine ce qui comprend le retard dû à la formation de queues (voir la Figure 9).
- b) Fonction de point de transfert sémaphore comprenant le retard dû à la formation de queues (voir la Figure 10).
- c) Fonction de réception du MTP au point de destination (voir la Figure 11).
- d) Temps de propagation sur la liaison sémaphore de données (voir la Figure 12).

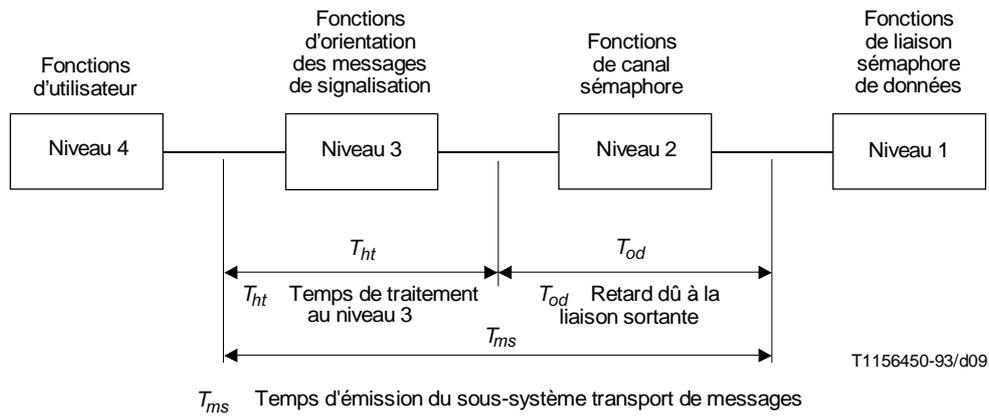


FIGURE 9/Q.706

Schéma fonctionnel de temps d'émission du sous-système transport de messages

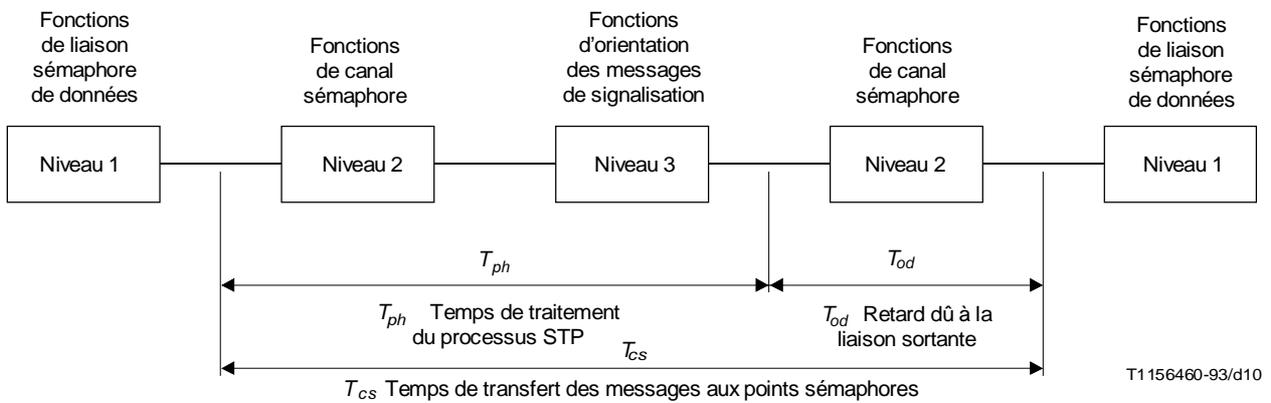


FIGURE 10/Q.706

Schéma fonctionnel du temps de transfert des messages aux points de transfert sémaphores

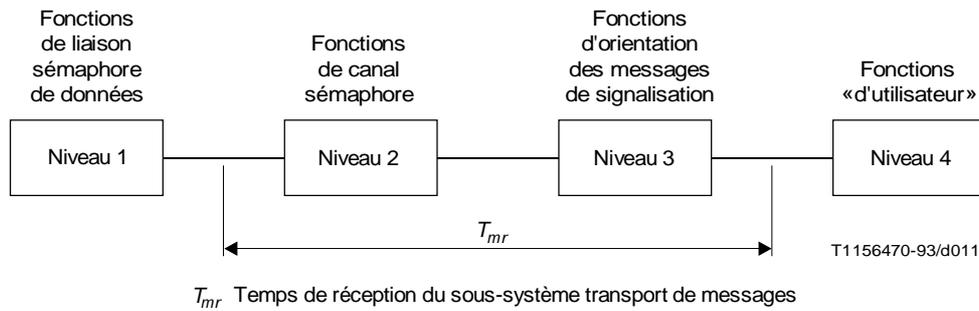


FIGURE 11/Q.706

Schéma fonctionnel du temps de réception du sous-système transport de messages (T_{mr})

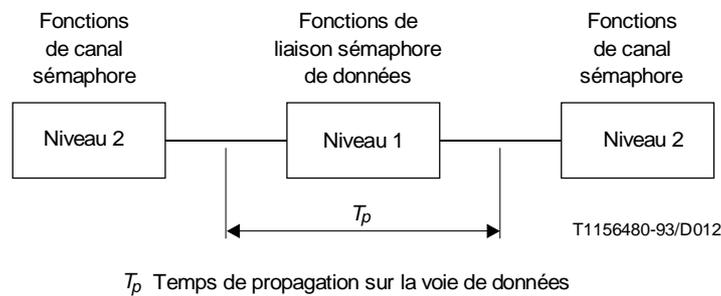


FIGURE 12/Q.706

Schéma fonctionnel du temps de propagation (T_p)

4.3.2 Définitions

Pour les besoins de la présente Recommandation, les définitions suivantes s'appliquent:

4.3.2.1 temps d'émission du MTP T_{ms} : T_{ms} est la période qui commence au moment où le dernier bit du message quitte le sous-système utilisateur et qui prend fin lorsque le dernier bit de la trame sémaphore entre pour la première fois dans la liaison sémaphore de données. Il comprend le retard dû à la formation de queues en l'absence de perturbations, le temps de transfert du niveau 4 au niveau 3, le temps de traitement au niveau 3, le temps de transfert du niveau 3 au niveau 2 et le temps de traitement au niveau 2.

4.3.2.2 temps de transfert des messages aux points de transfert sémaphore T_{cs} : T_{cs} est la période qui commence au moment où le dernier bit de la trame sémaphore quitte la liaison sémaphore de données d'arrivée et qui prend fin lorsque le dernier bit de la trame sémaphore entre pour la première fois dans la liaison sémaphore de données de départ. Il comprend aussi le retard dû à la formation de queues en l'absence de perturbations, mais non le retard supplémentaire dû à la formation de queues causé par la retransmission.

4.3.2.3 temps de réception du MTP T_{mr} : T_{mr} est la période qui commence au moment où le dernier bit de la trame sémaphore quitte la liaison sémaphore de données et qui prend fin lorsque le dernier bit du message entre chez le sous-système utilisateur. Il comprend le temps de traitement au niveau 2, le temps de transfert du niveau 2 au niveau 3, le temps de traitement au niveau 3 et le temps de transfert du niveau 3 au niveau 4.

4.3.2.4 temps de propagation sur la voie de données T_p : T_p est la période qui commence au moment où le dernier bit de la trame sémaphore entre dans la voie de données à l'extrémité d'émission et qui prend fin lorsque le dernier bit de la trame sémaphore quitte la voie de données à l'extrémité de réception, en l'absence ou en présence de perturbations de la trame sémaphore.

4.3.2.5 retard dû à la liaison sortante T_{od} : T_{od} est la période qui commence au moment où le dernier bit de la trame sémaphore de message entre dans le tampon de retransmission du niveau 2 et qui prend fin lorsque le dernier bit de la trame sémaphore de message entre dans la liaison sémaphore de données sortante. Il comprend le retard dû à la formation de queues au niveau 2 en l'absence de perturbations et le temps d'émission. Le temps d'émission commence au moment où le premier bit de la trame sémaphore de message entre dans la liaison sémaphore de données sortante et prend fin lorsque le dernier bit de la trame sémaphore de message entre dans la liaison sémaphore de données sortante.

4.3.2.6 temps de traitement au niveau 3 T_{ht} : T_{ht} est la période qui commence au moment où le dernier bit de la trame sémaphore de message quitte le sous-système utilisateur et qui se termine lorsque le dernier bit de la trame sémaphore de message entre dans le tampon de transmission du niveau 2. Il comprend le temps de transfert du niveau 4 au niveau 3, le temps de traitement au niveau 3 et le temps de transfert du niveau 3 au niveau 2. Il ne comprend pas le retard dû à la liaison sortante.

4.3.2.7 temps de traitement du processeur au STP T_{ph} : T_{ph} est la période qui commence au moment où le dernier bit de la trame sémaphore de message quitte la liaison sémaphore de données entrante et qui prend fin lorsque le dernier bit de la trame sémaphore de message entre dans le tampon de transmission du niveau 2, associé à la liaison sémaphore de données sortante. Il ne comprend pas le retard dû à la liaison sortante.

4.3.3 temps total de transfert des messages: Le temps total de transfert des messages T_o se rapporte à la relation sémaphore. T_o commence au moment où le message quitte le sous-système utilisateur (niveau 4) au point d'origine et prend fin lorsque le message entre dans le sous-système utilisateur (niveau 4) au point de destination.

La définition du temps total de transfert des messages et les définitions des différentes composantes du temps de transfert des messages donnent les relations suivantes:

- a) En l'absence de perturbations

$$T_{oa} = T_{ms} + \sum_{i=1}^{n+1} T_{pi} + \sum_{i=1}^n T_{csi} + T_{mr}$$

- b) En présence de perturbations

$$T_o = T_{oa} + \Sigma(Q_t - Q_a)$$

où

T_{oa} Temps total de transfert des messages en l'absence de perturbations

T_{ms} Temps d'émission du MTP

T_{mr} Temps de réception du MTP

T_{cs} Temps de transfert des messages aux points de transfert sémaphores

n Nombre de STP

T_p Temps de propagation sur la voie de données

T_o Temps global de transfert des messages en présence de perturbations

Q_t Retard total dû à la formation de queues (voir 4.2)

Q_a Retard dû à la formation de queues en l'absence de perturbations (voir 4.2).

NOTE – Pour $\Sigma(Q_t - Q_a)$, tous les points sémaphores impliqués doivent être pris en considération.

4.4 Protection contre les erreurs

Pendant la transmission, les trames sémaphores sont exposées à des perturbations qui pourraient se traduire par des informations de signalisation erronées. La protection contre les erreurs ramène les effets de ces perturbations à un niveau acceptable.

La protection contre les erreurs se fonde sur la détection d'erreur par codage redondant et sur la correction d'erreurs par retransmission. Le codage redondant s'effectue par génération de 16 bits de contrôle par trame sémaphore, d'après le polynôme décrit en 4.2/Q.703. En outre, la protection contre les erreurs ne doit pas introduire de perte, de répétition ou de séquence erronée de message sur un canal sémaphore.

Toutefois, dans une relation sémaphore, des situations anormales, causées par des défaillances, risquent de se produire, de sorte que la protection contre les erreurs du canal sémaphore concerné ne puisse garantir l'ordre correct des messages.

4.5 Dispositions concernant la sécurité de fonctionnement

Les dispositions concernant la sécurité de fonctionnement ont une influence primordiale sur le respect des conditions de disponibilité énumérées en 1.1 pour une relation sémaphore.

Dans le cas du SS n° 7, les dispositions concernant la sécurité de fonctionnement sont essentiellement constituées par redondance et passage sur canal sémaphore de secours.

4.5.1 Types de dispositions concernant la sécurité de fonctionnement

D'une manière générale, il faut faire une distinction entre les dispositions concernant la sécurité de fonctionnement pour les différents éléments du réseau sémaphore et les dispositions concernant la sécurité de fonctionnement pour les relations sémaphores. Dans un réseau sémaphore, toute disposition concernant la sécurité de fonctionnement peut être utilisée, mais il faut veiller à satisfaire aux conditions requises de disponibilité.

4.5.1.1 Dispositions concernant la sécurité de fonctionnement pour les éléments du réseau sémaphore

Les éléments du réseau, qui constituent un trajet sémaphore lorsqu'ils sont interconnectés, soit possèdent par construction des dispositions concernant la sécurité de fonctionnement et ceci depuis le début (par exemple duplication des organes de commande des commutateurs et des points de transfert sémaphores), soit peuvent être dupliqués si besoin est (par exemple liaisons sémaphores de données). Toutefois, pour des raisons de sécurité, la duplication des liaisons sémaphores de données ne s'effectue que si ces liaisons dupliquées sont indépendantes les unes des autres (par exemple routage sur des trajets physiques différents). Dans les calculs de disponibilité pour un ensemble de trajets sémaphores, il faut particulièrement veiller à ce que les différents canaux sémaphores soient indépendants les uns des autres.

4.5.1.2 Dispositions concernant la sécurité de fonctionnement des relations sémaphores

Dans les réseaux sémaphores fonctionnant en mode quasi associé, où plusieurs canaux sémaphores en cascade desservent une relation sémaphore, les dispositions concernant la sécurité de fonctionnement des éléments du réseau ne garantissent pas, en principe, une disponibilité suffisante pour cette relation. Il convient donc de prendre les dispositions de sécurité de fonctionnement appropriées en prévoyant des ensembles de trajets sémaphores redondants qui doivent, eux aussi, être indépendants les uns des autres.

4.5.2 Conditions requises de sécurité de fonctionnement

Un réseau sémaphore doit être pourvu d'une redondance et d'une capacité suffisante pour bien fonctionner.

4.5.3 Temps nécessaire pour entreprendre le passage sur canal sémaphore de secours

Si les liaisons sémaphores de données sont défaillantes du fait de taux d'erreur trop élevés, le passage sur canal sémaphore de secours est déclenché par le dispositif de surveillance des erreurs sur les trames sémaphores (voir 8/Q.703). Avec ce dispositif, le temps qui s'écoule entre l'apparition de la défaillance et le déclenchement du passage sur canal sémaphore de secours dépend du taux d'erreur sur les messages (une interruption complète se traduira par un taux d'erreur de 1).

Le passage sur canal sémaphore de secours provoque d'importants retards supplémentaires dus à la formation de queues. Pour réduire la durée de ceux-ci autant que faire se peut, le volume de trafic sémaphore affecté par une défaillance est ramené au minimum par utilisation du partage de charge sur tous les canaux sémaphores existants.

4.5.4 Temps de réponse à un passage sur canal sémaphore de secours

Deux temps de réponse sont associés à un passage sur canal sémaphore de secours. Ces deux temps sont des valeurs maximales (et non des valeurs normales). Ils sont définis pour que 95% des événements qui surviennent, dans un point sémaphore, dont la charge est supérieure de 30% à la normale, les respectent.

Ces temps de réponse sont mesurés de l'extérieur du point sémaphore.

4.5.4.1 Temps de réponse à une défaillance

Ce temps est le temps mis par un point sémaphore pour reconnaître qu'un passage sur canal sémaphore de secours est nécessaire. Ce temps commence lorsque le canal sémaphore est indisponible et se termine lorsque le point sémaphore envoie un message d'ordre de passage sur canal sémaphore de secours (ou d'ordre de passage d'urgence sur canal sémaphore de secours) au point sémaphore distant. Un canal sémaphore est indisponible lorsqu'une trame sémaphore d'indication d'état «hors service» (SIOS) (*status indication out of service*) ou indication d'état «isolement de processeur» (SIPO) (*Status indication processor outage*) est envoyée ou reçue sur ce canal sémaphore.

Temps de réponse à une défaillance (maximum permis): 500 ms.

4.5.4.2 Temps de réponse à un message d'ordre de passage sur canal sémaphore de secours

Ce temps est le temps mis par un point sémaphore pour répondre à un message d'ordre de passage (d'urgence ou non) sur canal sémaphore de secours. Ce temps commence lorsque le point sémaphore reçoit un message de passage (d'urgence ou non) sur canal sémaphore de secours, et se termine lorsque le point sémaphore envoie un message d'accusé de réception de passage (d'urgence ou non) sur canal sémaphore de secours.

Temps de réponse à un message d'ordre de passage sur canal sémaphore de secours (maximum permis): 300 ms.

4.6 Défaillances

4.6.1 Défaillance d'une liaison

Pendant la transmission, les messages peuvent être sujets à des perturbations. On peut mesurer la qualité de la liaison sémaphore de données par son taux d'erreur sur les canaux sémaphores.

Le dispositif de surveillance des erreurs sur les trames sémaphores déclenche le passage sur canal sémaphore de secours lorsque le taux d'erreur sur les trames sémaphores est d'environ 4×10^{-3} .

Le taux d'erreur auquel le SS n° 7 doit faire face constitue un paramètre qui a une influence décisive sur son efficacité.

Par suite de la correction d'erreurs par retransmission, un taux d'erreur élevé provoque des retransmissions fréquentes des trames sémaphores de message et, en conséquence, de longs retards dus à la formation de queues.

4.6.2 Défaillance des points sémaphores

Doit faire l'objet d'un complément d'étude.

4.7 Priorités

Il n'est pas envisagé d'établir des priorités découlant de la signification des différents signaux. D'une manière générale, on applique le principe «premier arrivé, premier servi».

Bien que l'indicateur de service offre la possibilité de déterminer les priorités en fonction du service utilisateur, de telles priorités d'utilisateur ne sont pas encore prévues.

Les priorités de transmission sont déterminées par les fonctions du MTP. Elles dépendent uniquement de l'état présent du MTP et sont complètement indépendantes de la signification des signaux (voir 11/Q.703).

5 Estimation des temps de transfert des messages

Les estimations doivent tenir compte des points suivants:

- longueur de la trame sémaphore;
- charge de trafic sémaphore;
- débit binaire de signalisation;
- temps de propagation en boucle sur le canal sémaphore (de Terre ou par satellite);
- méthode de correction des erreurs utilisée;
- taux d'erreur sur les bits.

Les estimations sont présentées sous la forme suivante:

- valeurs moyennes;
- valeurs à 95%.

Les valeurs se rapportent à un débit binaire de signalisation de 64 kbit/s. La charge normale de trafic sémaphore est la charge pour laquelle le point de transfert sémaphore est construit. On prend pour hypothèse une valeur moyenne de 0,2 erlang par canal sémaphore.

5.1 Estimation du T_{cs}

Les estimations du T_{cs} pour un point de transfert sémaphore figurent dans le Tableau 5.

TABLEAU 5/Q.706

Temps de transfert des messages à un point de transfert sémaphore (T_{cs})

Charge de trafic sémaphore du point de transfert sémaphore	(T_{cs}) ms	
	Moyenne	95%
Normale	20	40
+ 15%	40	80
+ 30%	100	200

NOTE – Les valeurs de ce tableau ont été déterminées d'après des messages TUP.

La distribution des longueurs de messages est celle qui figure dans le Tableau 3.

Pour les sous-systèmes utilisateurs définis après le TUP, il est courant que les messages soient plus longs. Les valeurs moyennes du T_{cs} ne sont alors pas données globalement mais on peut les calculer en ajoutant les valeurs moyennes du T_{od} et du T_{ph} .

5.2 Calcul du T_{od}

Le retard dû à la liaison sortante, T_{od} , est calculé avec les paramètres suivants:

- temps de propagation en boucle (de Terre ou par satellite);
- méthode de correction (BEC ou PCR);
- perturbations (erreurs dans les messages);
- charge de la liaison (0,2 ou 0,2 erlang);
- longueur du message (15 ... 279 octets).

5.2.1 Hypothèses

5.2.1.1 Perturbations

Le retard dû à la liaison sortante, T_{od} , ne comprend pas les retransmissions dues à des perturbations. Les méthodes de correction BEC et PRC ont néanmoins des effets différents en cas de perturbations.

Deux niveaux de perturbations sont pris en compte:

- probabilité d'erreur sur les bits de 10^{-5} (se rapporte à l'hypothèse relative à la probabilité du taux d'erreur message de 10^{-3} utilisée pour les Figures 5 à 8 pour des longueurs de messages de 120 bits); et
- probabilité d'erreur sur les bits de 10^{-7} .

Le premier taux de 10^{-5} correspond aux graphiques précédents (Figures 5, 8) du 4.2.4. Le deuxième taux (10^{-7}) est plus représentatif des liaisons sémaphores de données conçues conformément à la Recommandation G.821 et à ses règles de répartition associées.

5.2.1.2 Temps d'émission

Le débit binaire sur la voie retenue est de 64 kbit/s. Le temps d'émission est donc $T_m = n \times 0,125$ ms, n représentant le nombre d'octets dans une trame sémaphore de message.

5.2.1.3 Temps de propagation en boucle

Le temps de propagation en boucle sur le canal sémaphore, y compris le temps de traitement dans le terminal sémaphore, T_L , est censé être de:

- 30 ms pour les liaisons de Terre;
- 600 ms pour les liaisons par satellite.

5.2.1.4 Charge du canal

La charge de trafic retenue est de 0,2 erlang pour une charge normale et de 0,4 erlang après le passage d'un canal parallèle.

5.2.1.5 Retard dû à la formation de queues

Les formules permettant de calculer le retard dû à la formation de queues qui figurent dans le Tableau 2 sont utilisées pour la méthode de base de correction des erreurs et pour la méthode de correction des erreurs par retransmission cyclique préventive en présence et en l'absence de perturbations. Ces formules sont essentiellement tirées du modèle de file d'attente $M/G/1$ avec priorité (voir 4.2.1).

La longueur des trames sémaphores de message est comprise entre 9 octets et 279 octets. Les longueurs de messages moyennes représentatives de 15, 23 et 50 octets ont été utilisées à la suite d'une distribution exponentielle négative, ce qui simplifie le système de formation de queues à $M/M/1$. Lorsque la longueur moyenne du message est de 279 octets, la longueur est constante, ce qui ramène le système de formation de queues à $M/D/1$ (distribution du temps de service déterministe).

Pour une longueur moyenne de trame sémaphore de message de 140 octets, les valeurs des temps de retard sont comprises entre celles du système $M/M/1$ de formation de queues (cas le plus défavorable) et celles du système $M/D/1$ de formation de queues (meilleur cas). La durée du retard se calcule en ajoutant $2/3$ des résultats $M/M/1$ et $1/3$ des résultats $M/D/1$ pour des trames sémaphores de message dont la longueur moyenne est de 140 octets.

Pour le calcul des moments $k_1 \dots k_3$, voir l'Annexe B.1.

5.2.1.6 Valeurs à 95%

Les valeurs à 95% des retards dus à la formation de queues ont été calculées de manière approximative à l'aide de la formule donnée en 4.2.3. Pour plus de précisions, se reporter à l'Annexe B.2.

5.2.1.7 Retard dû à la liaison sortante T_{od}

Le retard dû à la liaison sortante, T_{od} , correspond à la somme du retard dû à la formation de queues et du temps d'émission pour des valeurs moyennes et des valeurs à 95%.

5.2.2 Résultats pour le retard dû à la liaison sortante (T_{od}) avec un taux d'erreur de 10^{-5}

Les Tableaux 6 et 7 contiennent les valeurs du retard dû à la liaison sortante (T_{od}). Les Figures 13 à 16 représentent ces mêmes valeurs sous forme graphique.

NOTE – L'expression $P_b = 0/1$ e-5 signifie que les lignes correspondant à $P_b = 0$ et $P_b = 1.e-5$ sont quasiment identiques, e-5 équivalant à 10^{-5} .

TABLEAU 6/Q.706

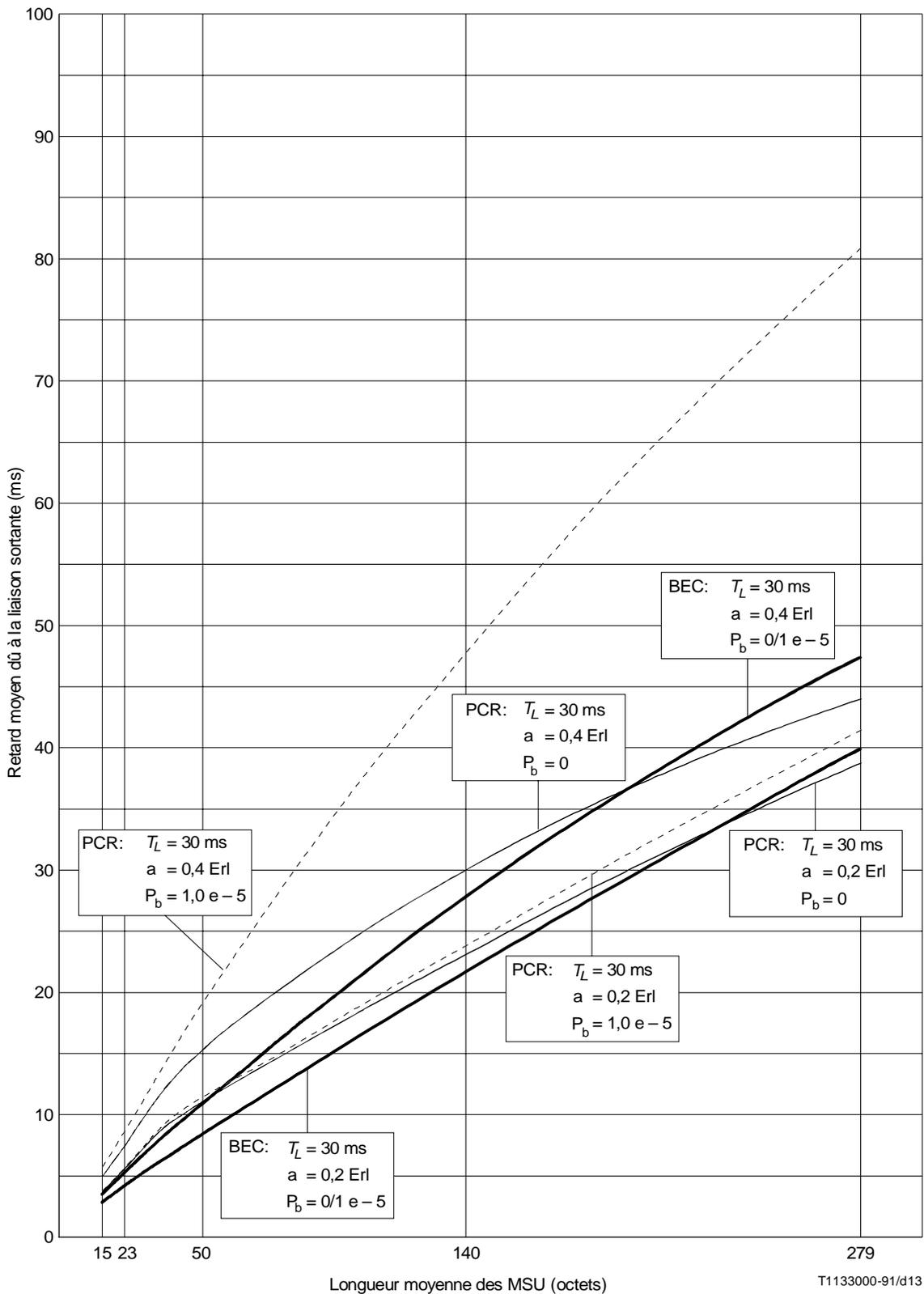
Retard T_{od} dû à la liaison sortante avec la méthode de base de correction d'erreurs

a [Erl]	T_L [ms]	Perturbations	Valeur	Retard dû à la liaison sortante (ms)				
				MSU – Longueur (octets)				
				15	23	50	140	279
0,2	30	Non	Moyenne	2,7	4,0	8,3	21,5	39,6
			95%	9,3	14,0	30,1	66,0	61,5
		Oui	Moyenne	2,8	4,1	8,4	21,9	40,4
			95%	10,8	15,4	31,4	68,0	64,8
	600	Non	Moyenne	2,7	4,0	8,3	21,5	39,6
			95%	9,3	14,0	30,1	66,0	61,5
		Oui	Moyenne	29,6	31,2	36,9	55,0	80,3
			95%	248,4	254,2	275,0	329,4	363,8
0,4	30	Non	Moyenne	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			95%	12,2	18,6	40,0	88,7	87,1
		Oui	Moyenne	3,8	5,4	11,2	28,3	48,1
			95%	14,3	20,4	41,7	91,4	91,3
	600	Non	Moyenne	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			95%	12,2	18,6	40,0	88,7	87,1
		Oui	Moyenne	86,3	88,5	96,9	121,9	152,0
			95%	490,1	496,4	521,2	586,6	626,9
<p>a Charge de trafic par MSU (sans retransmission)</p> <p>T_L Temps de propagation en boucle sur le canal sémaphore dans le terminal sémaphore probabilité moyenne d'erreur sur les bits $< 10^{-5}$ en présence de perturbations.</p>								

TABLEAU 7/Q.706

Retard T_{od} dû à la liaison sortante avec la méthode retransmission cyclique préventive

a [Erl]	T_L [ms]	Perturbations	Valeur	Retard dû à la liaison sortante (ms)					
				MSU – Longueur (octets)					
				15	23	50	140	279	
0,2	30	Non	Moyenne	4,2	6,4	11,3	23,1	38,7	
			95%	12,5	18,9	38,1	71,1	58,6	
		Oui	Moyenne	4,2	6,2	11,4	24,0	41,3	
			95%	12,8	19,3	39,5	80,4	84,5	
	600	Non	Moyenne	4,2	6,5	14,1	35,7	56,0	
			95%	12,6	19,4	42,2	93,1	86,2	
		Oui	Moyenne	5,0	7,4	15,5	39,3	63,0	
			95%	27,8	34,9	60,3	127,2	149,0	
	0,4	30	Non	Moyenne	5,0	7,6	15,3	29,9	43,8
				95%	15,0	22,9	48,3	93,8	79,8
			Oui	Moyenne	5,6	8,7	18,9	47,5	81,1
				95%	26,3	42,5	106,2	310,9	448,2
600		Non	Moyenne	5,0	7,7	16,7	41,8	63,9	
			95%	15,0	23,0	50,0	111,4	108,9	
		Oui	Moyenne	47,2	55,1	84,8	183,5	282,5	
			95%	379,7	422,7	586,2	1103	1470	



T1133000-91/d13

- BEC Méthode de base de correction d'erreurs (*basic error correction*)
- PCR Méthode par retransmission cyclique préventive
- T_L Temps de propagation en boucle sur le canal sémaphore, y compris le temps de traitement dans le terminal sémaphore
- a Charge de trafic par MSU, sans retransmission
- P_b Probabilité d'erreur sur les bits

FIGURE 13/Q.706

Retard moyen dû à la liaison sortante – $T_L = 30$ ms

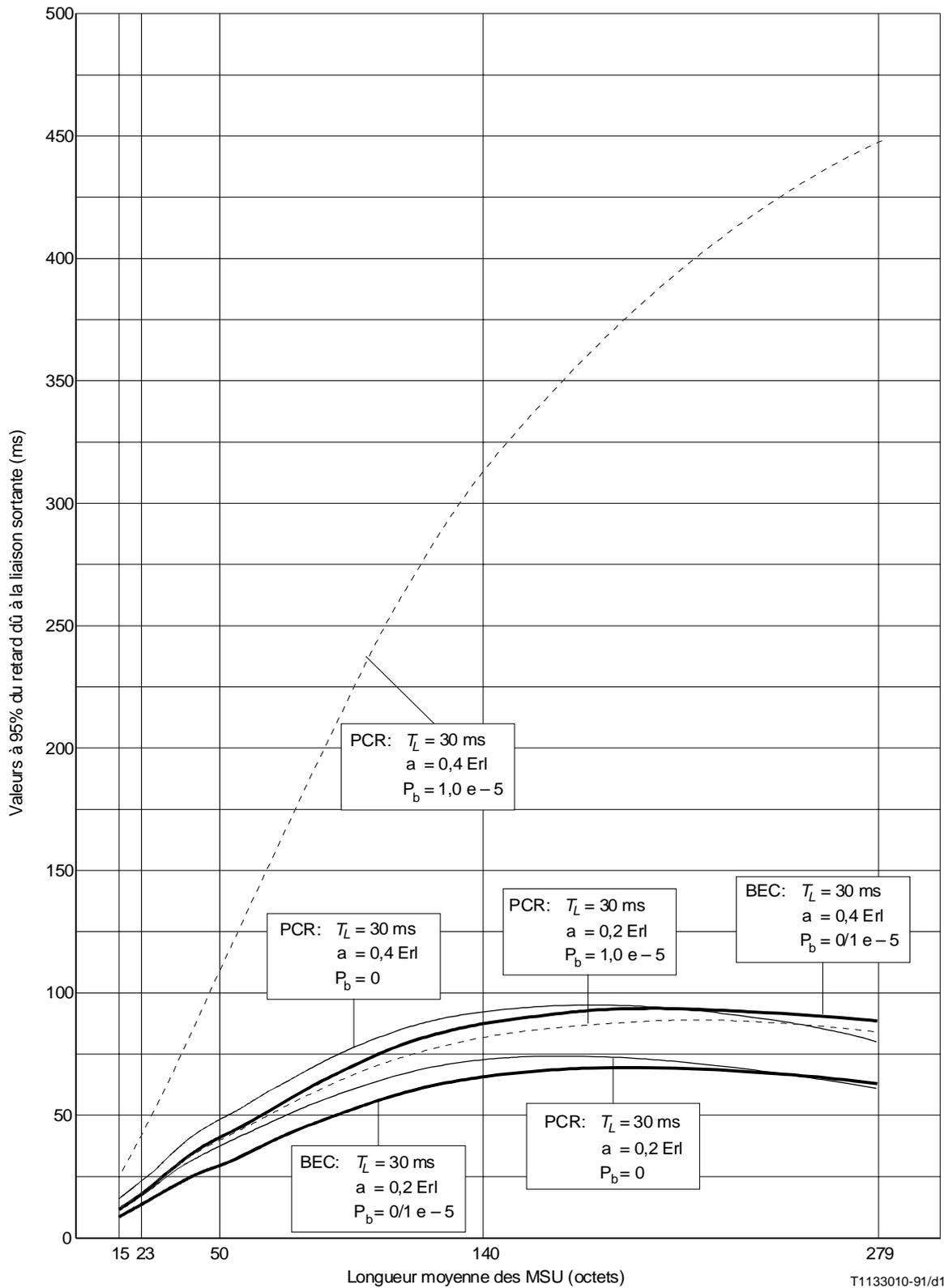


FIGURE 14/Q.706
 Valeur à 95% du retard dû à liaison sortante – $T_L = 30$ ms

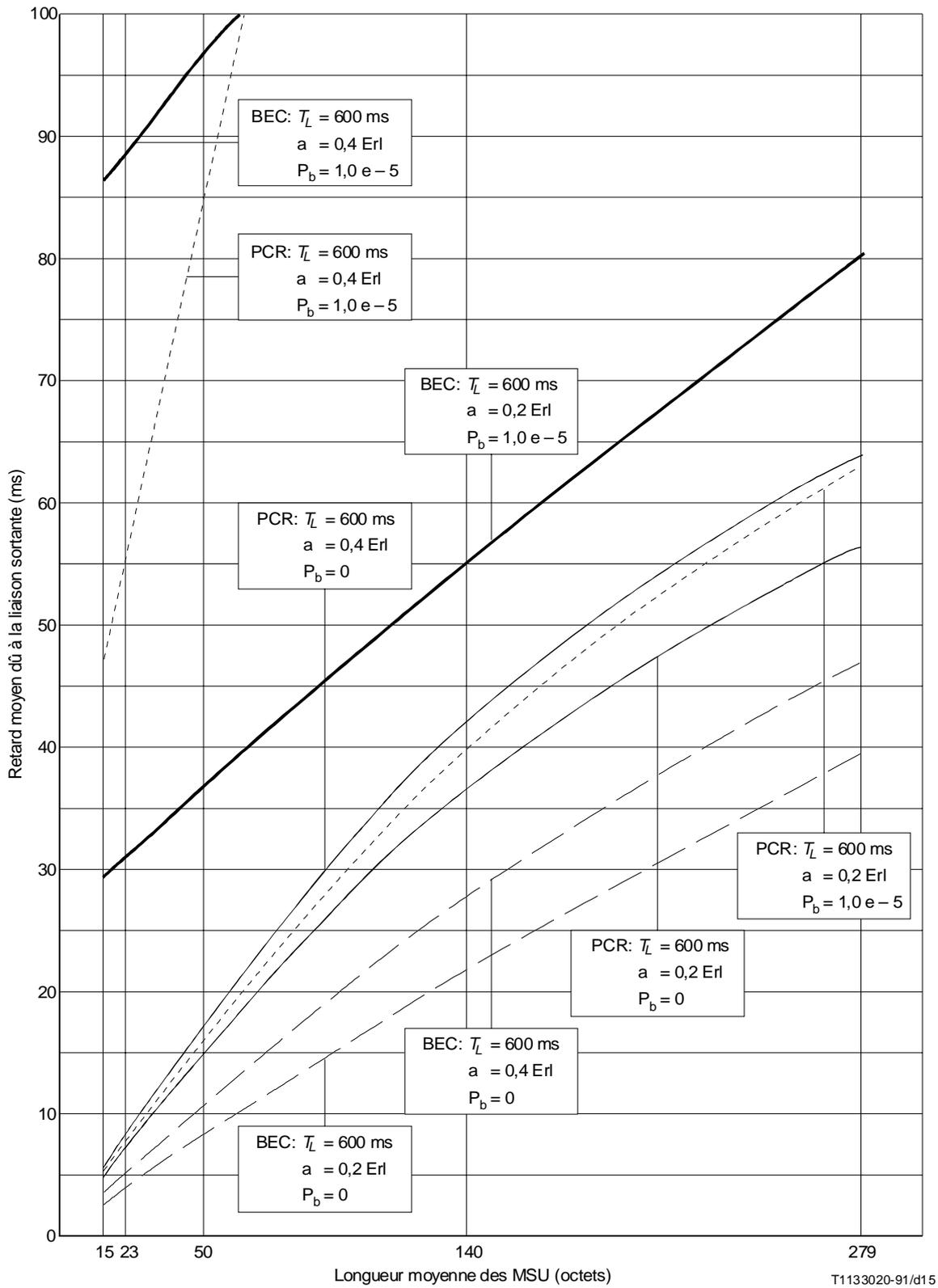
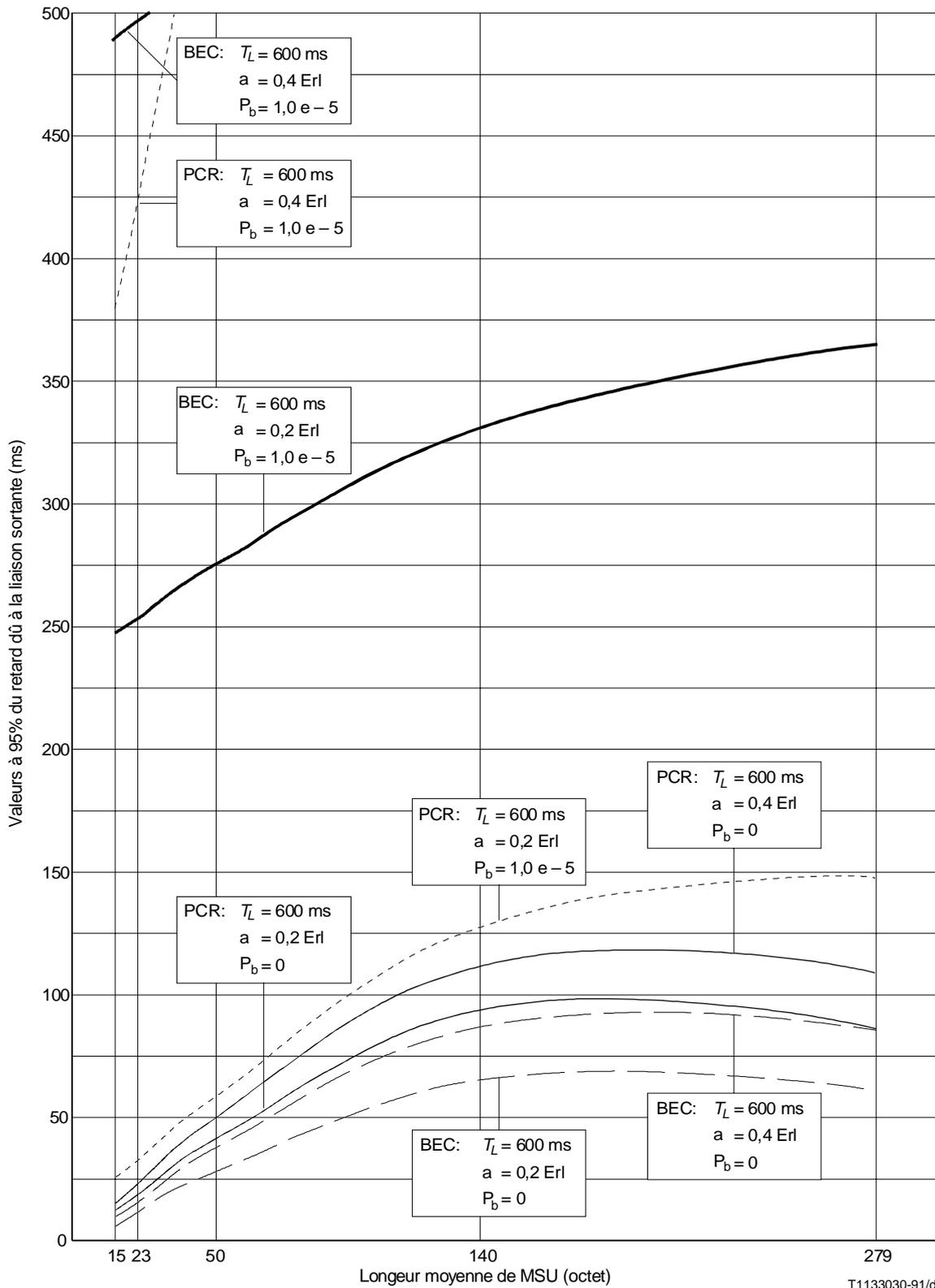


FIGURE 15/Q.706
Retard moyen dû à la liaison sortante – $T_L = 600$ ms



T1133030-91/d16

FIGURE 16/Q.706

Valeur à 95% du retard dû à la liaison sortante – $T_L = 600$ ms

5.2.3 Examen des résultats avec un taux d'erreur sur les bits de 10^{-5}

Il est possible de dégager certaines conclusions des Tableaux 6 et 7 ainsi que des Figures 13 à 16.

De plus, les courbes correspondant à $P_b = 0$ des Figures 13 et 15 se rapprochent beaucoup des résultats correspondant à $P_b = 10^{-7}$ (voir les Tableaux 9 et 10).

5.2.3.1 Liaisons de Terre

- Normalement, seule la méthode de base de correction des erreurs est utilisée sur les liaisons de Terre.
- Les perturbations prises comme hypothèse n'influent quasiment pas sur le retard.
- Les valeurs moyennes du T_{od} passent à 40-50 ms pour les messages longs.
- Les valeurs à 95%, pour le T_{od} passent à 100 ms. (La légère baisse des messages dont la longueur est proche de 279 octets peut s'expliquer par les différentes distributions de longueur – voir 5.2.1.5.).
- Les valeurs correspondant à la méthode de correction des erreurs par retransmission cyclique préventive (PCR) indiquées sur les Figures 13 et 14 ne sont que théoriques mais mettent en évidence les limites de cette méthode pour les charges élevées (0,4 erlang).

Pour une longueur moyenne de MSU de 140 octets, les valeurs des temps de retard sont comprises entre celles du système $M/M/1$ de formation de queues (cas le plus défavorable) et celles du système $M/D/1$ de formation de queues (cas le meilleur). Ces valeurs sont donc calculées de manière approximative en superposant les résultats de $M/M/1$ (pondération 2/3) et ceux de $M/D/1$ (pondération: 1/3), tous ces résultats concernant une longueur moyenne de MSU de 140 octets.

Pour le calcul des moments $k_1 \dots k_3$, voir l'Annexe B.1.

5.2.3.2 Liaisons par satellite

- La méthode utilisée pour les liaisons par satellite est d'ordinaire la méthode par retransmission cyclique préventive (PCR).
- Cette méthode fonctionne bien à condition toutefois que la charge de la liaison ne soit pas trop élevée. Le retard moyen dû à la liaison sortante (Figure 15) est correct pour la méthode PCR à 0,2 erlang, qu'il y ait ou non des perturbations. Le T_{od} passe à 65 ms. En cas de perturbations, la méthode BEC passe à 80 ms à 0,2 erlang.
- Toutefois, avec une charge de 0,4 erlang, la méthode PCR ne présente pas d'avantages lorsqu'il y a des perturbations à moins que les taux d'erreur sur les bits de la liaison soient inférieurs à la valeur de 10^{-5} prise comme hypothèse.

5.2.4 Résultats pour le T_{od} avec un taux d'erreur sur les bits de 10^{-7}

Il faudrait éviter les valeurs très élevées du retard dû à la liaison sortante (T_{od}) calculées en 5.2.3. Pour réduire ces valeurs, on peut:

- ramener la charge de la liaison bien au-dessous de 0,4 erlang;
- utiliser des liaisons avec de faibles taux d'erreur sur les bits.

Les calculs suivants montrent qu'à 10^{-7} , l'effet sur le T_{od} est très faible.

La probabilité d'erreur des trames sémaphores de message indiquée dans le Tableau 8 est calculée à partir du taux d'erreur sur les bits à l'aide de la formule suivante:

$$P_u(n) = 8 \times n \times 10^{-7},$$

n correspondant à la longueur moyenne des messages en octets.

TABLEAU 8/Q.706

Probabilité moyenne d'erreur d'une MSU en fonction de la longueur moyenne de la MSU

Longueur de la MSU (octets)	15	23	50	140	279
Probabilité d'erreur de la MSU $P_u(n)$ [%]	0,0012	0,0018	0,004	0,0112	0,0223

Les Tableaux 9 et 10 indiquent les valeurs du retard dû à la liaison sortante (T_{od}) pour une probabilité d'erreur sur les bits de 10^{-7} .

5.2.4.1 Liaisons de Terre

Les valeurs du retard dû à la formation de queues sont légèrement inférieures quand le taux d'erreur sur les bits de la liaison passe de 10^{-5} à 10^{-7} .

5.2.4.2 Liaisons par satellite

Les valeurs du retard dû à la formation de queues sont bien plus faibles quand le taux d'erreur sur les bits de la liaison passe de 10^{-5} à 10^{-7} .

TABLEAU 9/Q.706

Retard T_{od} dû à la liaison sortante avec la méthode de base de correction des erreurs

a [Erl]	T_L [ms]	Perturbations	Valeur	Retard dû à la liaison sortante (ms)				
				MSU – Longueur (octets)				
				15	23	50	140	279
0,2	30	Non	Moyenne	2,7	4,0	8,2	21,5	39,6
			95%	9,3	14,0	30,1	66,0	61,5
		Oui	Moyenne	2,7	4,0	8,2	21,5	39,6
			95%	9,3	14,1	30,1	66,0	61,5
	600	Non	Moyenne	2,7	4,0	8,2	21,5	39,6
			95%	9,3	14,0	30,1	66,0	61,5
		Oui	Moyenne	3,0	4,3	8,5	21,9	40,1
			95%	28,9	32,7	46,0	79,2	76,9
0,4	30	Non	Moyenne	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			95%	12,2	18,6	40,0	88,7	87,1
		Oui	Moyenne	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			95%	12,2	18,6	40,0	88,7	87,1
	600	Non	Moyenne	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			95%	12,2	18,6	40,0	88,7	87,1
		Oui	Moyenne	4,3	6,0	11,6	28,5	47,9
			95%	44,0	48,4	64,5	107,4	106,9
a Charge de trafic par MSU (sans retransmission) T_L Temps de propagation en boucle sur le canal sémaphore, y compris le temps de traitement dans le terminal sémaphore. Probabilité moyenne d'erreur sur les bits $< 10^{-7}$ en présence de perturbations.								

TABLEAU 10/Q.706

Retard T_{od} dû à la liaison sortante avec la méthode retransmission cyclique préventive

a [Erl]	T_L [ms]	Perturbations	Valeur	Retard dû à la liaison sortante (ms)					
				MSU – Longueur (octets)					
				15	23	50	140	279	
0,2	30	Non	Moyenne	4,2	6,1	11,3	23,1	38,7	
			95%	12,5	18,9	38,0	71,1	58,6	
		Oui	Moyenne	4,2	6,2	11,3	23,1	38,7	
			95%	12,8	18,9	38,0	71,3	59,0	
		600	Non	Moyenne	4,2	6,5	14,1	35,7	56,0
				95%	12,6	19,4	42,2	93,1	86,2
	Oui		Moyenne	4,2	6,5	14,1	35,8	56,1	
			95%	13,0	19,7	42,5	93,7	87,4	
	0,4	30	Non	Moyenne	5,0	7,6	15,2	29,9	43,8
				95%	15,0	22,9	48,2	93,8	79,8
			Oui	Moyenne	5,0	7,6	15,3	30,1	44,2
				95%	15,2	23,3	49,7	101,0	96,1
600			Non	Moyenne	5,0	7,7	16,7	41,8	63,9
				95%	15,0	23,0	50,0	111,4	108,9
		Oui	Moyenne	5,3	8,0	17,1	42,8	65,3	
			95%	30,2	38,1	67,1	141,5	153,9	

5.2.5 Conclusions

Il ressort des résultats indiqués en 5.2.3 et 5.2.4 que les liaisons par satellite doivent être exploitées à un taux d'erreur sur les bits inférieur à 10^{-5} , 10^{-7} par exemple, pour être acceptables lorsque les messages sont longs et/ou lorsque la charge de la liaison est supérieure à 0,2 erlang. Pratiquement, la plupart des liaisons par satellite actuelles sont exploitées à un taux d'erreur sur les bits égal ou inférieur au taux de 10^{-7} spécifié dans la Recommandation G.821. Les liaisons futures seront exploitées avec un même taux d'erreur.

5.3 Estimations du temps de traitement du processeur au STP T_{ph}

Les temps de retard du T_{ph} dépendent des mises en œuvre. Le matériel de mise en œuvre dépend quant à lui de l'état de la technologie au moment de sa mise au point. Les progrès technologiques réduiront sans doute les valeurs des retards indiqués dans ce paragraphe.

Les valeurs de T_{ph} qui sont proposées dans le Tableau 11 ont trait au matériel retenu dans le *Livre rouge* et dans le *Livre bleu*.

On peut estimer le retard moyen total dans un STP en ajoutant les valeurs moyennes de T_{od} et de T_{ph} . On ne peut toutefois estimer le retard total à 95% dans un STP en ajoutant simplement les valeurs à 95% pour le T_{od} et le T_{ph} .

TABLEAU 11/Q.706

Temps de traitement T_{ph} du processeur au STP

Charge du processeur	Valeur du retard	Longueur moyenne du message de la SU			
		23 octets	50 octets	140 octets	279 octets (Note)
Normale	Moyenne	19	22	33	55
	95%	35	40	50	75
+ 30%	Moyenne	60	70	100	160
	95%	120	140	200	320

NOTE – Dans ce cas, la longueur de la trame sémaphore de message est fixée à 279 octets.

6 Fonctionnement attendu en conditions défavorables**6.1 Conditions défavorables**

Doit faire l'objet d'un complément d'étude.

6.2 Influence des conditions défavorables

Doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Annexe A**Calcul des temps de transmission**

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

La formule utilisée pour calculer le temps de transmission par liaison de Terre (en admettant que le temps enregistré aux répéteurs est négligeable) est la suivante:

$$D_T = D_P * L$$

La formule utilisée pour calculer le temps de transmission par liaison par satellite pour un bond unique est la suivante:

$$D_{s(\min)} = 2 * h * D_P$$

$$D_{s(\max)} = 2 * (h + r) * D_P$$

où

D_T est le temps total dû à des liaisons de Terre;

D_s est le temps total dû à des liaisons par satellite;

D_P est le temps de transmission sur la liaison (temps par unité de distance);

L est la longueur de l'arc (distance entre les stations sur la surface de la Terre);

r est le rayon de la Terre (6 370 km);

h est la hauteur du satellite au dessus de la surface de la Terre (35 800 km).

La formule de $D_{s(\max)}$ est simplifiée d'après les valeurs relatives de r et de h données ci-dessus. Il convient de noter qu'une liaison n'est pas toujours établie en ligne droite. En d'autres termes, le temps de transmission sur Terre sera plus long si la liaison n'est pas établie de cette manière. On suppose que le temps n'augmentera pas plus de dix pour cent si le message dévie du trajet en ligne droite pour atteindre sa destination.

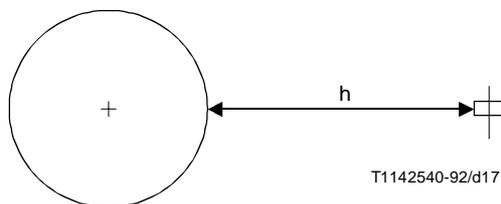


FIGURE A.1/Q.706
Position présumée du satellite pour $D_{s(\min)}$

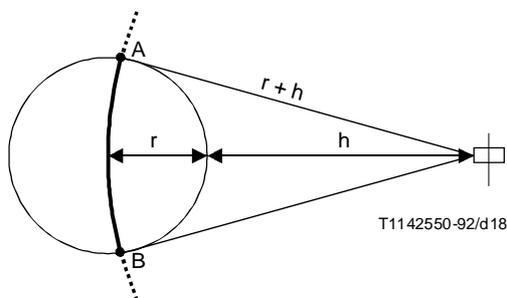


FIGURE A.2/Q.706
Position présumée du satellite pour $D_{s(\max)}$

Le Tableau A.1 contient les vitesses de transmission représentatives sur les liaisons pour chaque méthode de transmission des messages. Ces constantes sont utilisées dans les équations susmentionnées servant à calculer les temps associés aux différentes longueurs d'arc.

TABLEAU A.1/Q.706

Constantes relatives au temps

	Vitesse de transmission (km/s)	Temps de transmission (ms/km) D_p
Satellites de Terre	299 793	0,0033
Câble	209 855	0,0048
Fibre	199 802	0,005
Radio	299 793	0,0033

Annexe B

Calcul du retard dû à la liaison sortante T_{od}

(Cette annexe fait partie intégrante de la présente Recommandation)

B.1 Calcul des moments $k_{i\text{ème}}$ du temps d'émission de la trame sémaphore de message

Le moment $k_{i\text{ème}}$ du temps d'émission de la trame sémaphore de message est nécessaire pour les facteurs k_1 , k_2 et k_3 dans 4.2.2/Q.706.

$$m_k = \int_{t=0}^{\infty} t^k f(t) dt$$

$f(t)$ = fonction de densité de distribution

Constante $T (= T_m)$:

$$f(t) = \delta(t - T_m)$$

Exponentielle négative T distribuée:

$$f(t) = \exp(-t/T_m)$$

Avec la transformation Laplace-Stieltjes:

$$\int_{t=0}^{\infty} t^k f(t) dt = (-1)^k \cdot \left. \frac{d^k \Phi(s)}{ds^k} \right|_{s=0}$$

Constante T :

$$\Phi(s) = \exp(-s \cdot T_m)$$

De sorte que:

$$2. \text{ moment } m_2 = T_m^2$$

$$3. \text{ moment } m_3 = T_m^3$$

$$4. \text{ moment } m_4 = T_m^4$$

Exponentielle négative T distribuée:

$$\Phi(s) = \frac{1}{(1 + s \cdot T_m)}$$

De sorte que:

$$2. \text{ moment } m_2 = 2 T_m^2$$

$$3. \text{ moment } m_3 = 6 T_m^3$$

$$4. \text{ moment } m_4 = 24 T_m^4$$

Il s'ensuit que les facteurs k_1 , k_2 et k_3 ont les valeurs suivantes (voir 4.2.2/Q.706).

En général: $k_1 = \frac{m_2}{T_m^2}$

$$k_2 = \frac{m_3}{T_m^3}$$

$$k_3 = \frac{m_4}{T_m^4}$$

Constante T : $k_1 = 1$

$$k_2 = 1$$

$$k_3 = 1$$

Exponentielle négative T distribuée: $k_1 = 2$

$$k_2 = 6$$

$$k_3 = 24$$

B.2 Calcul approximatif des valeurs à 95% du T_{od}

$$T_{od.95\%} = Q_{t.95\%} + T_{m.95\%}$$

$Q_{t.95\%}$ et $T_{m.95\%}$ sont calculés à l'aide de l'approximation qui figure au 4.2.3/Q.706:

$$P(> T_{95\%}) \cong \exp \left(- \frac{T_{95\%} - T_{moyenne} + \sigma}{\sigma} \right)$$

$$P(T \leq T_{95\%}) = 1 - P(T_{95\%}) \quad \text{avec} \quad P(T \leq T_{95\%}) = 0,95$$

où $T_{95\%} \cong T_{moyenne} + 2\sigma$ avec $T_{moyenne} =$ valeur moyenne de T

$$\sigma = \text{écart type de } T$$

Ce qui donne:

$$Q_{t.95\%} \cong Q_t + 2\sigma$$

et

$T_{m.95\%} \cong 3T_m$ pour une longueur moyenne de trame sémaphore de message de 15, 23 ou 50 octets

$T_{m.95\%} \cong 2/3 \times 3T_m + 1/3 \times T_m$ pour une longueur moyenne de trame sémaphore de message de 140 octets
 $= 7/3 \times T_m$

$T_{m.95\%} = T_m$ pour une longueur moyenne de trame sémaphore de message de 279 octets.

Référence

- [1] Recommandation du CCITT *Taux d'erreur sur une communication numérique internationale faisant partie d'un réseau numérique avec intégration des services*, Tome III, Rec. G.821.