

## RECOMMANDATION UIT-R S.1711

**Améliorations des performances du protocole de commande de transmission sur les réseaux à satellite**

(Question UIT-R 263/4)

(2005)

**Domaine de compétence**

La plupart des transmissions IP actuelles utilisent le protocole TCP comme protocole de transport. Toutefois, lorsqu'il est utilisé sur des réseaux à satellite, ce protocole présente certains inconvénients. Diverses techniques, collectivement désignées par les termes «améliorations des performances du protocole TCP», ont donc été mises au point pour y remédier. La présente Recommandation donne un aperçu de ces techniques en les décrivant brièvement et indique les domaines dans lesquels elles permettent d'améliorer les performances du protocole TCP sur les réseaux à satellite. Elle contient en outre des résultats de tests et des mesures de façon à donner une idée plus précise de l'efficacité de certaines de ces techniques.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les systèmes fixes à satellites sont de plus en plus utilisés pour la transmission de paquets IP, notamment dans le cadre de la fourniture directe aux utilisateurs d'applications large bande en sus de leur rôle de liaisons dorsales;
- b) que la transmission des paquets IP sur les liaisons par satellite exige des objectifs de performances différents de ceux qui figurent dans la Recommandation UIT-T G.826 et dans les Recommandations UIT-R S.1062 et UIT-R S.1420;
- c) que les performances du protocole de commande de transmission (TCP) risquent de souffrir d'une dégradation due à un temps de transmission par satellite long, qui affecte la qualité de service des applications destinées aux utilisateurs finaux;
- d) que l'amélioration des performances du protocole TCP constitue par conséquent un objectif critique de la conception de liaisons par satellite destinées à transporter des paquets IP;
- e) que les ressources spectrales ne sont pas utilisées de manière efficace si l'on ne met pas en œuvre l'amélioration des performances du protocole TCP sur le satellite dans certains environnements de réseau,

*notant*

**1** que l'amélioration des performances du protocole TCP peut ne pas être nécessaire pour les liaisons à faible débit (voir l'Annexe 1),

*recommande*

**1** que les modèles de référence figurant dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation, soient considérés comme une base pour le développement de méthodes visant à améliorer les performances du protocole TCP sur les liaisons par satellite;

**2** que les concepteurs de systèmes utilisent l'Annexe 2 comme ligne directrice pour la mise en œuvre de connexions TCP sur des réseaux comprenant des liaisons par satellite.

NOTE – L'Annexe 3 contient un ensemble de tests et de mesures qui ont été effectués pour évaluer l'efficacité de plusieurs méthodes parmi celles qui sont décrites dans l'Annexe 2. En outre, elle fournit des informations fort utiles pour les concepteurs de systèmes à satellites.

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Annexe 1 – Modèles de référence de systèmes à satellites.....	4
1    Domaine d'application.....	4
2    Modèles de référence.....	4
2.1    Liaisons point à point.....	6
2.2    Réseaux VSAT.....	7
2.2.1    Topologie en étoile.....	7
2.2.2    Topologie maillée.....	8
2.3    Accès à large bande.....	8
3    Limitations du protocole TCP sur les liaisons par satellite.....	8
3.1    Produit largeur de bande-délai.....	8
3.2    Démarrage progressif et évitement des encombrements.....	9
3.3    Retransmission rapide et récupération rapide.....	11
3.4    Effet des erreurs sur les bits sur le débit TCP.....	11
Annexe 2 – Méthodologies d'amélioration du protocole TCP.....	12
1    Domaine d'application.....	12
2    Variations du protocole TCP de base.....	12
3    Méthodologies de découpage en segments.....	21
3.1    Méthodologie de découpage en deux segments.....	21
3.2    Méthodologie de découpage en trois segments.....	23
3.3    Discussion.....	24
4    Mandataires permettant d'améliorer les performances.....	24
4.1    Mystification TCP.....	25
4.2    Mécanismes utilisés par les PEP.....	25
4.3    Implications de l'utilisation des PEP.....	25
4.3.1    Sécurité de bout en bout.....	25
4.3.2    Fiabilité de bout en bout.....	25
Annexe 3 – Tests et mesures des performances des améliorations du protocole TCP.....	26
1    Domaine d'application.....	26

2	Performances du protocole TCP avec amélioration par découpage .....	26
2.1	Performances d'une connexion TCP unique testée sans amélioration.....	26
2.1.1	Test des performances d'une connexion TCP unique .....	26
2.1.2	Protocole TCP sans amélioration des performances.....	26
2.1.3	Performances d'une connexion TCP unique sans amélioration des performances .....	26
2.2	Découpage en deux segments .....	27
2.2.1	Configuration des réseaux à satellite .....	27
2.2.2	Résultats des tests.....	29
2.2.3	Conclusions.....	36
2.3	Découpage en trois segments.....	36
2.3.1	Configuration des réseaux à satellite .....	36
2.3.2	Procédures de test.....	37
2.3.3	Résultats des tests.....	37
2.3.4	Conclusions.....	42
3	Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite ATM .....	43
3.1	Configuration du réseau.....	43
3.2	Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite uniquement basé ATM .....	44
3.3	Comportements du protocole TCP sur réseau hétérogène comportant une liaison par satellite .....	46
3.3.1	Simulation de la taille de la mémoire tampon.....	47
3.3.2	Performances du protocole TCP avec contrôle du trafic chez l'émetteur TCP.....	49
3.4	Conclusions.....	51
4	Performances du protocole TCP sur les réseaux d'accès par satellite .....	52
4.1	Architecture du réseau et configuration.....	52
4.1.1	Architecture du réseau .....	52
4.1.2	Configuration .....	52
4.2	Résultats des mesures de performances.....	54
4.2.1	Disponibilité.....	55
4.2.2	Débit.....	59
4.2.3	Trafic .....	61
5	Mesures des protocoles d'application (FTP et HTTP).....	63
5.1	Configuration du réseau à satellite ATM.....	63
5.2	Débit FTP sur liaison par satellite OC-3.....	64

	<i>Page</i>
5.3 Débit HTTP sur liaison par satellite OC-3 .....	66
5.3.1 HTTP 1.0 avec des connexions non persistantes .....	66
5.3.2 HTTP 1.0 avec option «connexion persistante» .....	67
5.3.3 HTTP 1.1 sans traitement pipeline.....	67
5.3.4 HTTP 1.1 avec traitement pipeline .....	68
5.3.5 Résultats des tests.....	68
5.4 Conclusions.....	71

## Annexe 1

### Modèles de référence de systèmes à satellites

#### 1 Domaine d'application

La présente Annexe porte sur les modèles de référence de réseaux comprenant une liaison par satellite et destinés à transporter des paquets IP. Suit une description des limitations du protocole TCP sur les liaisons par satellite.

#### 2 Modèles de référence

##### Liste des acronymes

AAL	Couche d'adaptation ATM ( <i>ATM adaptation layer</i> )
ACK	Accusé de réception ( <i>acknowledgement</i> )
AMRT	Accès multiple par répartition dans le temps
AMRT-MF	Accès multiple multifréquence par répartition dans le temps
ATM	Mode de transfert asynchrone ( <i>asynchronous transfer mode</i> )
BDP	Produit délai bande passante ( <i>bandwidth delay product</i> )
BER	Taux d'erreur sur les bits
BW	Largeur de bande
CE	Bit d'encombrement ( <i>congestion experience bit</i> )
CED	Correction d'erreur directe
CPU	Unité centrale de traitement ( <i>central processing unit</i> )
cwnd	Variable de fenêtre d'encombrement dans TCP ( <i>congestion window variable in tcp</i> )
DA	Accès réservé ( <i>dedicated access</i> )

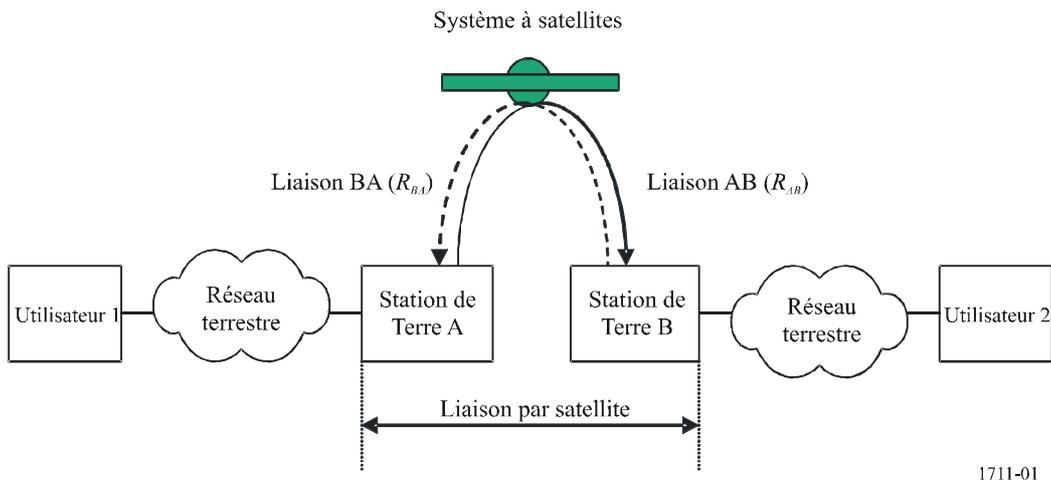
DACK	Acquittement différé ( <i>delayed acknowledgement</i> )
DAMA	Accès multiple avec assignation en fonction de la demande ( <i>demand assignment multiple access</i> )
DVB-S	Radiodiffusion vidéo numérique par satellite ( <i>digital video broadcast via satellite</i> )
ECN	Notification d'encombrement explicite ( <i>explicit congestion notification</i> )
FIN	Segment final (dans une connexion TCP) ( <i>final segment (in a TCP connection)</i> )
FTP	Protocole de transfert de fichiers ( <i>file transfer protocol</i> )
G/T	Rapport gain/température équivalente du système
GW	Passerelle ( <i>gateway</i> )
HEO	Orbite fortement elliptique
HPA	Accélérateur de page de concentrateur ( <i>hub page accelerator</i> )
HSP	Processeur de satellite de concentrateur ( <i>hub satellite processor</i> )
HTML	Langage de balisage hypertexte ( <i>hypertext markup language</i> )
HTTP	Protocole de transport hypertexte ( <i>hypertext transfer protocol</i> )
ICMP	Protocole de message de commande Internet ( <i>internet control message protocol</i> )
IETF	Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet ( <i>internet engineering task force</i> )
I/O	Entrée/Sortie ( <i>input/output</i> )
IP	Protocole Internet ( <i>Internet protocol</i> )
IPSEC	Protocole de sécurité IP ( <i>IP security protocol</i> )
ISP	Fournisseur de service Internet ( <i>Internet service provider</i> )
LAN	Réseau local ( <i>local area network</i> )
LEO	Orbite terrestre basse
LFN	Réseau éléphant ( <i>long fat network</i> )
MEO	Orbite moyenne
MPEG	Groupe d'experts pour les images animées ( <i>Moving Picture Experts Group</i> )
MSS	Taille maximale d'un segment ( <i>maximum segment size</i> )
MTU	Unité de transmission maximale ( <i>maximum transmission unit</i> )
NNTP	Protocole NNTP ( <i>network news transport protocol</i> )
NTP	Protocole NTP ( <i>network time protocol</i> )
OS	Système d'exploitation ( <i>operating system</i> )
OSG	Orbite des satellites géostationnaires
PAD	Octets de remplissage ( <i>padding bytes</i> )
PAWS	Protection contre le rebouclage ( <i>protect against wrapped sequence(s)</i> )
PC	Ordinateur(s) individuel(s) ( <i>personal computer(s)</i> )
PDU	Unité de données de protocole ( <i>protocol data unit</i> )
PEP	Mandataire d'amélioration des performances ( <i>performance enhancing proxy</i> )

p.i.r.e.	Puissance isotrope rayonnée équivalente
RA	Accès aléatoire ( <i>random access</i> )
RAM	Mémoire vive ( <i>random access memory</i> )
RBP	Régulation basée sur le débit ( <i>rate-based pacing</i> )
rcvwnd	Fenêtre de réception (variable dans TCP) ( <i>receive window (variable in TCP)</i> )
RFC	Demande d'observations (émise par l'IETF) ( <i>request for comments (issued by the IETF)</i> )
RPA	Accélérateur de pages distant ( <i>remote page accelerator</i> )
RS	Code Reed-Solomon ( <i>reed-solomon code</i> )
RTT	Temps de propagation aller et retour ( <i>round trip time</i> )
RTTM	Mesure de RTT ( <i>RTT measurement</i> )
Rx	Récepteur ( <i>receiver</i> )
SACK	Acquittement sélectif ( <i>selective acknowledgment</i> )
SCPC	Une seule voie par porteuse ( <i>single channel per carrier</i> )
SSPA	Amplificateur de puissance à semi-conducteurs ( <i>solid state power amplifier</i> )
ssthres	Seuil de démarrage progressif (variable dans TCP) ( <i>slow start threshold (variable in TCP)</i> )
SYN	Segment de démarrage synchrone (permet d'établir une connexion TCP) ( <i>synchronous start segment (used to establish a TCP connection)</i> )
T/TCP	TCP pour Transactions ( <i>TCP for transactions</i> )
TBF	Filtre du tampon de jetons ( <i>token buffer filter</i> )
TCP	Protocole de commande de transfert ( <i>transfer control protocol</i> )
TWTA	Amplificateur à tube à ondes progressives ( <i>travelling wave tube amplifier</i> )
Tx	Émetteur ( <i>transmitter</i> )
UDP	Protocole datagramme d'utilisateur ( <i>user datagram protocol</i> )
URL	Identificateur uniforme/universel de ressources ( <i>uniform/universal resource locator</i> )
VSAT	Microstation (terrienne) ( <i>very small aperture terminal</i> )
WAN	Réseau étendu ( <i>wide area network</i> )

## 2.1 Liaisons point à point

La Fig. 1 présente le modèle de référence d'un réseau transportant des transmissions de paquets IP. Ce réseau est constitué d'une liaison par satellite et de réseaux terrestres associés entre deux utilisateurs finaux. La liaison par satellite est bidirectionnelle et est constituée de la liaison AB (qui relie la station terrestre A à la station terrestre B avec un débit binaire d'information  $R_{AB}$ ) et de la liaison BA (qui relie la station terrestre B à la station terrestre A avec un débit binaire d'information  $R_{BA}$ ). Les réseaux terrestres peuvent employer différents protocoles de couche liaison de données (par exemple ATM, Frame Relay, MPLS).

FIGURE 1  
Modèle de référence d'une liaison point à point comportant une liaison par satellite



1711-01

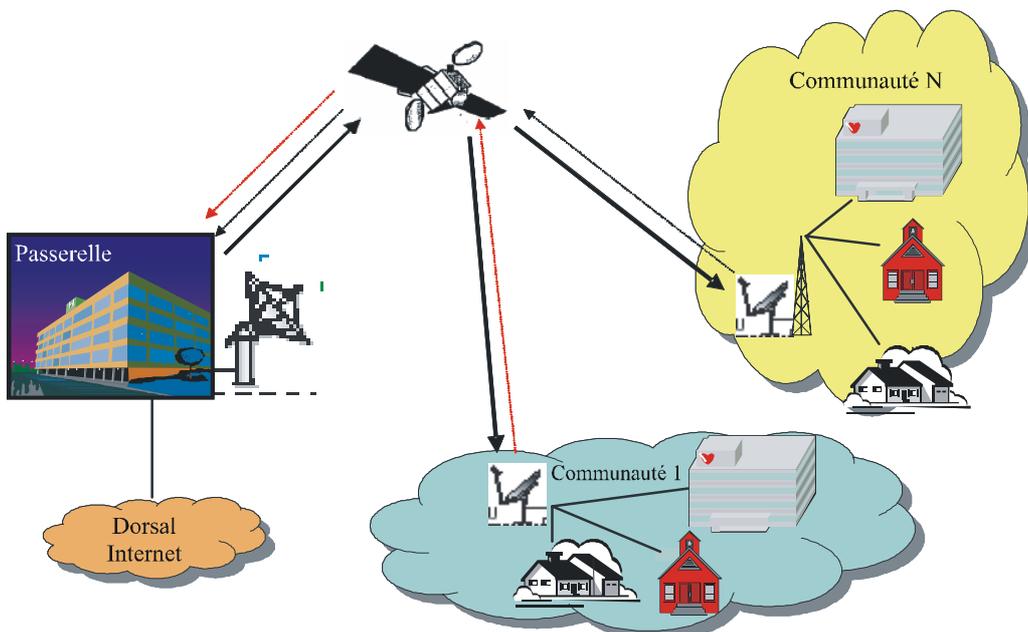
NOTE – Le modèle de référence ci-dessus est constitué d'un seul bon par satellite. Dans la présente Recommandation, les techniques qui segmentent la connexion TCP de manière à améliorer les performances du protocole TCP sur les liaisons par satellite sont décrites pour un bond par satellite. Cependant, une connexion de bout en bout peut comporter plusieurs bonds par satellite. Dans ce cas, les techniques de ce type doivent être mises en œuvre sur chaque liaison par satellite.

## 2.2 Réseaux VSAT

### 2.2.1 Topologie en étoile

La Fig. 2 décrit la configuration en étoile standard dans laquelle les signaux émis par plusieurs utilisateurs distants se connectent à une station terrienne passerelle qui à son tour se connecte à un réseau de Terre.

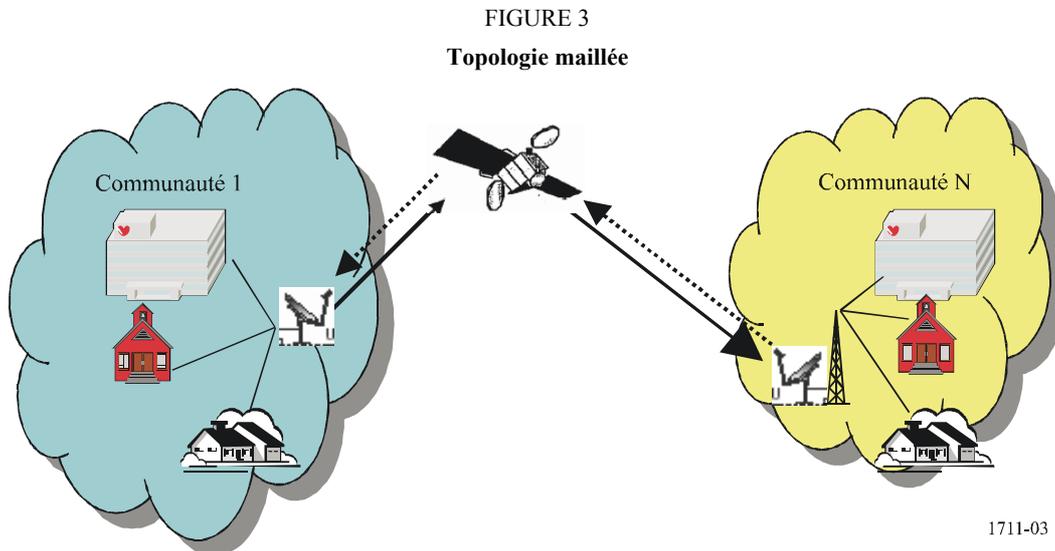
FIGURE 2  
Topologie en étoile



1711-02

### 2.2.2 Topologie maillée

La Fig. 3 illustre une configuration maillée dans laquelle deux stations de Terre quelconques peuvent être connectées directement par satellite.



### 2.3 Accès à large bande

Même s'ils ne sont pas identiques aux réseaux VSAT, les réseaux d'accès à large bande utilisent généralement les mêmes topologies (autrement dit, en étoile ou maillées).

## 3 Limitations du protocole TCP sur les liaisons par satellite

Le protocole TCP ne sait pas distinguer les dégradations provoquées par les erreurs de liaison des encombrements. Il part du principe que toute perte sur le réseau est exclusivement due à des encombrements et que l'émetteur répond en réduisant son débit de transfert de paquets.

Le protocole TCP de base (TCP Reno) spécifie un démarrage progressif, l'évitement des encombrements, une retransmission rapide et une récupération rapide pour la limitation des encombrements. Le protocole TCP utilise un mécanisme de contrôle d'écoulement de fenêtre dans le cadre duquel la fenêtre de transmission permet au protocole TCP récepteur de maîtriser la quantité de données qui lui sont envoyées à un moment donné. Le récepteur annonce une taille de fenêtre à l'émetteur. La fenêtre mesure (octets) la quantité de données non acquittées que l'émetteur peut avoir en transit vers le récepteur.

### 3.1 Produit largeur de bande-délai

Le produit largeur de bande-délai (BDP) définit la quantité de données qu'une connexion TCP doit avoir «en vol» (données transmises mais non encore acquittées) à un moment donné pour pleinement utiliser la capacité disponible d'un canal. Le délai est le temps de propagation aller et retour (RTT), tandis que la largeur de bande est la capacité de la liaison à goulot d'étranglement sur la voie.

Pour les liaisons qui ont un produit BDP élevé, comme par exemple les réseaux à satellite OSG, les émetteurs et récepteurs TCP à encombrement/fenêtres de réception limités ne pourront pas tirer profit de la largeur de bande disponible. La fenêtre TCP standard maximale de 65 535 octets n'est pas suffisante pour permettre à une connexion TCP unique d'utiliser la totalité de la largeur de bande disponible sur certaines voies de transmission par satellite. Sur un réseau sans pertes, le débit TCP est limité par la formule (1):

$$\text{Débit max} = \frac{\text{Taille fenêtre}}{\text{RTT}} \quad (1)$$

Par conséquent, lorsque la taille maximale de la fenêtre TCP de 64 koctets est utilisée avec des liaisons par satellite à RTT variable, le débit maximal est le suivant:

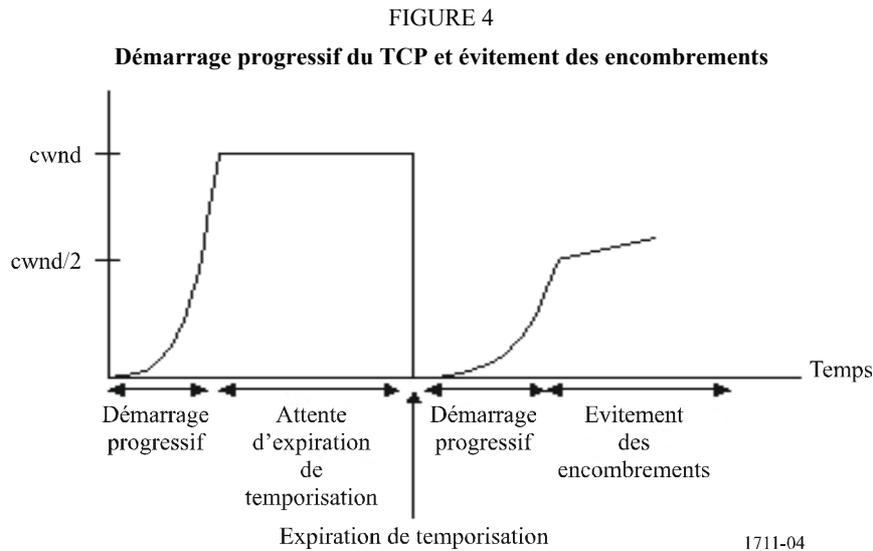
TABLEAU 1  
Débit maximal en fonction des valeurs du RTT

Type de réseau à satellite	RTT (ms)	Débit maximal (kbit/s)
LEO	~20	~3 200
MEO	~200	~320
HEO	~600	~110
OSG	~520	~120

NOTE – Les RTT indiqués ci-dessus ne tiennent pas compte du délai de la mémoire tampon, le cas échéant, mais sont calculés en fonction du temps de propagation.

### 3.2 Démarrage progressif et évitement des encombrements

L'émetteur TCP maintient une fenêtre d'encombrement pour mesurer la capacité du réseau. Le nombre de paquets non acquittés sur le réseau est limité à cette valeur (ou à la fenêtre annoncée par le récepteur, si celle-ci est inférieure). Au démarrage d'une connexion TCP, la fenêtre d'encombrement est fixée à un segment TCP. Elle augmente d'un segment à réception de chaque nouvel acquittement, jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale de 64 kbit. L'émetteur maintient une temporisation de retransmission pour le dernier paquet non acquitté. L'encombrement est détecté par l'expiration de cette temporisation de retransmission. Lorsque la temporisation expire, l'émetteur enregistre la valeur de la moitié de la fenêtre d'encombrement (appelée seuil de démarrage progressif) et la fixe à un segment. Ensuite, l'émetteur retransmet les segments en commençant par le segment perdu. La fenêtre d'encombrement est augmentée d'un segment à réception de chaque nouvel acquittement, jusqu'à ce qu'elle atteigne le seuil de démarrage progressif. Il s'agit de la phase de démarrage progressif. Après cela, la fenêtre d'augmentation augmente d'un segment à chaque RTT. Il en résulte une augmentation linéaire de la fenêtre d'encombrement à chaque RTT; c'est ce qu'on appelle phase d'évitement des encombrements. La Fig. 4 présente les phases de démarrage progressif et d'évitement des encombrements pour une connexion TCP classique (sur la Fig. 4, cwnd désigne la fenêtre d'encombrement).



Le temps requis par le mécanisme de démarrage progressif pour atteindre un débit binaire  $B$  est donné par la formule (2):

$$\text{Durée Démarrage Progressif} = \text{RTT} * \left( 1 + \log_2 \frac{B * \text{RTT}}{l} \right) \quad (2)$$

où  $l$  est la longueur moyenne d'un paquet exprimée en bits.

Le Tableau 2 indique la durée de la phase de démarrage progressif pour différentes orbites de satellite et différentes valeurs de débit binaire  $B$ , lorsque  $l = 1$  kbit.

TABLEAU 2  
Durée du démarrage progressif pour diverses orbites de satellite

Type de satellite	RTT (ms)	Durée du démarrage progressif (s)		
		$B = 1$ Mbit/s	$B = 10$ Mbit/s	$B = 155$ Mbit/s
LEO	~20	0,05	0,11	0,19
MEO	~200	1,14	1,80	2,59
HEO	~600	4,36	6,35	8,73
OSG	~520	3,67	5,40	7,45

Si le mécanisme d'acquittement retardé est mis en œuvre, le temps requis par le démarrage progressif pour atteindre le débit binaire  $B$  est donné par la formule (3):

$$\text{Durée Démarrage Progressif} = \text{RTT} * \left( 1 + \log_{1,5} \frac{B * \text{RTT}}{l} \right) \quad (3)$$

Cela implique que la durée du démarrage progressif devient encore plus longue que dans le cas précédent. Ainsi, un acquittement retardé gâche également de la capacité pendant la phase de démarrage progressif.

Dans la phase d'évitement des encombrements, l'augmentation du débit est fonction du produit largeur de bande-délai. En fait, pendant chaque RTT, le débit augmente de  $1/(B * RTT)$ . Par conséquent, si une connexion TCP est en phase d'évitement des encombrements et qu'une largeur de bande supplémentaire devient disponible, la connexion ne l'utilisera pas pendant un temps prolongé. Ce temps sera plus long en présence de pertes de transmission. Par conséquent, le mécanisme d'évitement des encombrements sur les réseaux à satellite à RTT élevé est moins performant que sur un réseau terrestre.

### 3.3 Retransmission rapide et récupération rapide

A l'heure actuelle, les mises en œuvre du protocole TCP utilisent une temporisation à granularité grossière (généralement de 500 ms) pour la temporisation de retransmission. Par conséquent, en cas d'encombrement, la connexion TCP perd du temps à attendre la temporisation. Sur la Fig. 1, la ligne horizontale (à la valeur de  $cwnd$ ) montre le temps perdu à attendre la temporisation. Pendant ce temps, le protocole TCP n'envoie pas de nouveaux paquets ni ne retransmet de paquets perdus. En outre, une fois que la temporisation se produit, la fenêtre d'encombrement est définie à un segment, et la connexion prend plusieurs allers-retours pour utiliser le réseau de manière efficace. Le protocole TCP Reno met en œuvre les algorithmes de retransmission rapide et de récupération rapide qui permettent à la connexion de récupérer rapidement en cas de perte de segments isolés.

Si le réseau perd un segment, les segments suivants qui parviennent au récepteur sont en désordre. Pour chacun d'eux, le récepteur TCP envoie immédiatement un acquittement à l'émetteur indiquant le numéro de séquence du segment manquant. Cet acquittement est appelé acquittement en double. Lorsque l'émetteur reçoit trois acquittements en double, il en conclut que le segment indiqué par ces acquittements a été perdu, et retransmet immédiatement le segment perdu. Ensuite, l'émetteur réduit la fenêtre d'encombrement de moitié plus trois segments et sauvegarde la moitié de la valeur d'origine de la fenêtre d'encombrement dans le seuil de démarrage progressif. Pour chaque acquittement en double ultérieur, l'émetteur augmente la fenêtre d'encombrement d'un segment et tente d'envoyer un nouveau segment. En fait, l'émetteur attend la moitié d'un aller-retour avant d'envoyer un segment pour chaque acquittement en double ultérieur qu'il reçoit. Par conséquent, l'émetteur maintient la liaison réseau à la moitié de sa capacité au moment de la retransmission rapide.

Environ un aller-retour après retransmission du segment manquant, son acquittement est reçu (en supposant que le segment retransmis n'ait pas été perdu). Alors, plutôt que de définir la fenêtre d'encombrement à un segment et d'effectuer un démarrage progressif, le protocole TCP définit directement la fenêtre d'encombrement au seuil de démarrage progressif. Il s'agit de l'algorithme de récupération rapide.

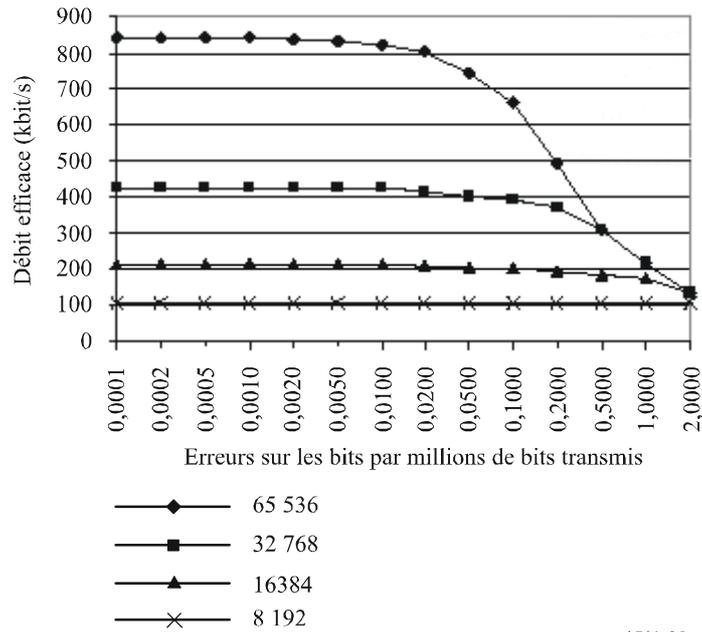
Les mécanismes de retransmission rapide et de récupération rapide sont également affectés par les RTT longs tels que ceux rencontrés sur les liaisons par satellite. La multiplication des retransmissions d'acquittements en double entraîne une perte de largeur de bande, ressource limitée sur les réseaux à satellite.

### 3.4 Effet des erreurs sur les bits sur le débit TCP

Les performances du protocole TCP sont médiocres en cas d'erreurs de liaison, le protocole étant plus sensible à ces erreurs pour les tailles de fenêtre plus importantes (voir la Fig. 5). Pour obtenir un meilleur débit avec le protocole TCP, la liaison ne doit pas subir de pertes. Par conséquent, son taux d'erreur sur les bits (TEB) doit être faible.

FIGURE 5

**Impact du TEB sur le débit TCP**  
(RTT = 590 ms et  $B = 2\,048$  kbit/s)



1711-05

## Annexe 2

### Méthodologies d'amélioration du protocole TCP

#### 1 Domaine d'application

Plusieurs améliorations peuvent être apportées au protocole TCP de base pour atténuer la dégradation des connexions TCP sur les réseaux tels que ceux qui sont modélisés dans l'Annexe 1. La présente Annexe décrit ces améliorations et dresse la liste des avantages et des inconvénients respectifs qu'offre leur utilisation sur les réseaux à satellite.

#### 2 Variations du protocole TCP de base

Plusieurs variations du protocole TCP ou améliorations du protocole TCP peuvent être employées pour atténuer les dégradations spécifiques des liaisons par satellite. Le Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet (IETF) a proposé diverses améliorations documentées dans des Demandes d'observations (RFC). Le Tableau 3 dresse la liste des améliorations du protocole TCP, avec, pour chacune, le numéro de la RFC correspondante et un résumé décrivant le contenu de celle-ci. Le Tableau indique également quelles dégradations provoquées par la liaison par satellite (par exemple, latence, BDP important ou TEB élevé) peuvent être corrigées par chaque amélioration.

TABLEAU 3

## Améliorations du protocole TCP

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Fenêtre initiale importante	2414  2581	Oui	Oui	Non	<p>RFC 2414 «Increasing TCP's initial window» (Augmentation de la fenêtre TCP initiale) (1998)</p> <p>Cette RFC spécifie que l'augmentation de la fenêtre initiale TCP autorisée à partir d'un segment est limitée à environ 4 kbit. Elle décrit également les avantages et les inconvénients d'une modification de ce type.</p> <p>RFC 2581 «TCP congestion control» (Contrôle des encombrements TCP) (1999)</p> <p>Cette RFC définit les quatre algorithmes, reliés entre eux, qui permettent de limiter les encombrements: démarrage progressif, évitement des encombrements, retransmission rapide et récupération rapide. En outre, elle spécifie comment le protocole TCP doit démarrer la transmission après une période de repos relativement longue et décrit différentes méthodes de génération d'acquiescement.</p>
Comptage des octets	2414	Oui	Non	Non	<p>RFC 2414 «Increasing TCP's initial window» (Augmentation de la fenêtre TCP initiale) (1998)</p> <p>Le mécanisme de comptage des octets augmente la taille de la fenêtre d'encombrement en fonction du nombre d'octets transmis et acquittés par un ACK entrant, plutôt que du nombre d'ACK reçus. Pour les chemins à temps de propagation long en particulier, il a été démontré que cette méthode permet de réduire le temps nécessaire pour atteindre la taille optimale de fenêtre d'encombrement.</p>

TABLEAU 3 (suite)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Mise à l'échelle de la fenêtre	1323	Oui	Oui	Non	<p>RFC 1323 «TCP extensions for high performance» (Extensions du protocole TCP pour de meilleures performances) (1992)</p> <p>Cette RFC présente un ensemble d'extensions du protocole TCP destinées à en améliorer les performances sur les trajets à produit largeur de bande-délai élevé et à permettre un fonctionnement fiable sur les trajets à très grande vitesse. Elle définit de nouvelles options du protocole TCP pour les fenêtres mises à l'échelle et les horodatages, qui sont conçues pour permettre une interaction compatible avec le protocole TCP qui ne met pas en œuvre ces extensions. Les horodatages sont utilisés pour deux mécanismes distincts: Mesure du temps de propagation aller et retour (RTTM) et Protection contre le rebouclage (PAWS).</p>

TABLEAU 3 (suite)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Régulation des segments TCP	2760	Oui	Oui	Non	<p>RFC 2760 «Ongoing TCP research related to satellites» (Recherche permanente sur le protocole TCP associée aux satellites) (2000)</p> <p>La régulation basée sur le débit (RBP) est une technique, utilisée en l'absence d'ACK entrant, selon laquelle l'émetteur de données régule temporairement les segments TCP à un débit donné pour redémarrer l'horloge d'ACK. A réception du premier ACK, la régulation est suspendue et l'horloge ACK du protocole TCP redémarre. Le taux de régulation peut être déduit des estimations de trafic récent (lors du redémarrage d'une connexion au repos ou à partir de connexions antérieures récentes), ou encore par des moyens externes (éventuellement sur un réseau à satellite point à point ou point à multipoint, où l'on peut supposer que la largeur de bande disponible est importante). En outre, la régulation de données pendant le premier RTT d'un transfert peut permettre au protocole TCP d'utiliser efficacement les liaisons à produit largeur de bande-délai élevé, même dans le cadre de transferts courts. Cependant, pour pouvoir réguler les segments pendant le premier RTT, un protocole TCP devra utiliser une fenêtre d'encombrement initiale non standard et un nouveau mécanisme pour réguler les segments sortants, plutôt que de les renvoyer dos à dos. La régulation peut également être utilisée pour réduire les rafales en général.</p>
TCP Vegas	Non disponible	Oui	Oui	Non	<p>TCP Vegas utilise un algorithme modifié de démarrage progressif et un nouveau mécanisme de retransmission. L'algorithme modifié de démarrage progressif tente de trouver la taille de fenêtre d'encombrement adéquate sans provoquer de perte de segments.</p>

TABLEAU 3 (suite)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Acquittement retardé (DACK)	1122	Oui	Non	Non	<p>RFC 1122 «Requirements for Internet hosts – Communication layers» (Exigences concernant les hôtes Internet – Couches de communication) (1989)</p> <p>Les acquittement retardés sont utilisés par le récepteur TCP pour permettre l'acquittement simultané de deux segments reçus, réduisant ainsi le trafic des acquittements. Cependant, un délai trop long peut provoquer l'expiration d'une temporisation et une retransmission du côté de l'émetteur TCP. Le récepteur ne doit pas retarder l'acquittement de plus de 0,5 s.</p>
Acquittement sélectif (SACK) du protocole TCP	2018	Oui	Oui	Oui	<p>RFC 2018 «TCP selective acknowledgement options» (Options d'acquittement sélectif pour le protocole TCP) (1996)</p> <p>Le protocole TCP peut afficher des performances dégradées lorsque plusieurs paquets sont perdus à partir d'une fenêtre de données. Avec les informations limitées fournies par les acquittements cumulés, un émetteur TCP ne peut avoir connaissance que d'un seul paquet perdu par temps de propagation aller et retour. Un émetteur agressif pourra choisir de retransmettre les paquets prématurément, mais il courra le risque que les segments retransmis aient déjà été reçus avec succès. Un mécanisme d'acquittement sélectif (SACK), combiné avec une politique sélective de répétition de retransmission, pourra aider à surmonter ces limitations. Le protocole TCP récepteur renvoie un SACK à l'émetteur pour l'informer des données reçues. L'émetteur ne peut ensuite retransmettre que les segments de données manquants.</p>

TABLEAU 3 (suite)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
	2883				<p>RFC 2883 «An extension to the selective acknowledgement (SACK) option for TCP» (Extension de l'option d'acquittement sélectif pour le protocole TCP) (2000)</p> <p>Cette RFC constitue une extension de la RFC 2018. En effet, elle spécifie l'utilisation de l'option SACK pour l'acquittement de paquets en double. En cas de réception de paquets en double, le premier bloc du champ de l'option SACK permet de signaler les numéros de séquence du paquet qui a déclenché l'acquittement. Cette extension de l'option SACK permet à l'émetteur TCP d'inférer l'ordre des paquets reçus par le récepteur, et donc de déduire s'il a retransmis un paquet inutilement. Un émetteur TCP pourra alors utiliser cette information pour optimiser le fonctionnement dans un environnement de paquets réordonnés, de perte d'ACK, de duplication de paquets et/ou d'expiration prématurée de temporisation de retransmission.</p>
TCP Nouveau Reno	2582	Oui	Oui	Oui	<p>RFC 2582 «The New Reno modifications to TCP's fast recovery algorithm» (Les modifications apportées par le protocole New Reno à l'algorithme de récupération rapide du protocole TCP) (1999)</p> <p>La RFC 2581 introduit le concept d'acquittement partiel (ACK qui couvre les nouvelles données mais pas l'ensemble des données en circulation en cas de détection de perte) en l'absence d'acquittement sélectif (SACK). La RFC 2582 décrit un algorithme spécifique qui permet de répondre aux acquittements partiels, appelé New Reno.</p>

TABLEAU 3 (suite)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Notification d'encombrement explicite (ECN)	2481	Oui	Oui	En partie	<p>RFC 2481 «A proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP» (Proposition d'ajout d'une notification d'encombrement explicite (ECN) à IP) (1999)</p> <p>Cette RFC décrit la proposition d'ajouter une notification d'encombrement explicite (ECN) à IP en fixant un bit d'encombrement subit dans les routeurs. Elle décrit également les modifications qui devraient être apportées au protocole TCP pour le rendre apte à envoyer une notification d'encombrement explicite (ECN). Dans les liaisons par satellite, cela peut aider à distinguer la cause d'une perte de paquet: erreurs de liaison ou encombrement du réseau.</p>
Compression des en-têtes	2507	Non	Non	Oui	<p>RFC 2507 «IP header compression» (Compression des en-têtes IP) (1999)</p> <p>Cette RFC explique comment compresser plusieurs en-têtes IP et en-têtes TCP et UDP par bond sur une liaison point à point. Les méthodes décrites peuvent s'appliquer aux en-têtes de base et d'extension IPv6, aux en-têtes IPv4, aux en-têtes TCP et UDP, ainsi qu'aux en-têtes IPv6 et IPv4 encapsulés. Les en-têtes des paquets UDP et TCP types peuvent être comprimés et ramenés à 4 à 7 octets, y compris le total de contrôle UDP ou TCP sur 2 octets. Ceci élimine une bonne partie de l'impact négatif des en-têtes IP de taille importante et permet une utilisation efficace de la largeur de bande sur les liaisons à faible ou moyenne vitesse. Les algorithmes de compression sont conçus spécialement pour fonctionner correctement sur les liaisons à taux de perte de paquets non triviaux.</p>

TABLEAU 3 (suite)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Découverte du trajet par la MTU	1191  2488	Oui	Oui	Non	<p>RFC 1191 «Path MTU discovery» (Découverte du trajet par la MTU) (1990)            Cette RFC décrit une technique qui permet la découverte dynamique par l'Unité de transmission maximale (MTU) d'un jet Internet arbitraire. La découverte du trajet par la MTU permet au protocole TCP d'utiliser la taille de paquet la plus grande possible, sans subir le coût de la fragmentation et du réassemblage. La fenêtre d'encombrement TCP en augmentation est basée sur les segments et non pas sur les octets. Par conséquent, les segments de taille plus importante permettent aux émetteurs TCP d'augmenter la taille de la fenêtre d'encombrement, en termes d'octets, plus rapidement que les segments de taille plus petite.</p> <p>RFC 2488 «Enhancing TCP over satellite channels using standard mechanisms» (Amélioration du protocole TCP sur les voies de transmission par satellite à l'aide de mécanismes standard) (1999)            La découverte du trajet par la MTU peut entraîner un délai avant que le protocole TCP ne soit en mesure de commencer à envoyer des données. Les délais satellite peuvent aggraver ce problème. Cependant, en pratique, la découverte du trajet par la MTU ne consomme pas beaucoup de temps du fait de la prise en charge généralisée des valeurs de MTU les plus courantes. En outre, le fait de mettre les valeurs de MTU en cache peut permettre dans bien des cas d'éliminer le temps de découverte.</p>
T/TCP	1644	Oui	Pas pertinent	Pas pertinent	<p>RFC 1644 «T/TCP – TCP extensions for transactions. Functional specifications» (T/TCP – Extensions du protocole TCP pour les transactions. Spécifications fonctionnelles) (1994)            Ce mémo spécifie T/TCP, extension expérimentale du protocole TCP visant à rendre le service orienté transaction (demande/réponse) plus efficace. Cette extension rétrocompatible pourrait combler le vide qui existe entre l'actuel protocole TCP orienté connexion et l'UDP à base de datagramme.</p>

TABLEAU 3 (*fin*)

Amélioration du protocole TCP	Numéro de RFC <sup>(1)</sup>	Dégradations du protocole TCP sur les liaisons par satellite			Résumé
		Latence	BDP important	Erreurs de liaison	
Correction d'erreur directe (CED)	2488	Pas pertinent	Pas pertinent	Oui	<p>RFC 2488 «Enhancing TCP over satellite channels using standard mechanisms» (Amélioration du protocole TCP sur les voies de transmission par satellite à l'aide de mécanismes standard) (1999)</p> <p>Le protocole TCP permet la remise fiable de données sur n'importe quel trajet réseau, y compris les trajets réseau comportant des voies de transmission par satellite. Si le protocole TCP fonctionne sur les voies de transmission par satellite, la CED lui permet indirectement d'utiliser la capacité des voies disponibles de manière plus efficace en corrigeant les erreurs de liaison avant d'aborder la couche TCP.</p>

<sup>(1)</sup> RFC signifie Request For Comments, soit Demande d'observations. Les RFC sont des documents publiés par le Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet (IETF).

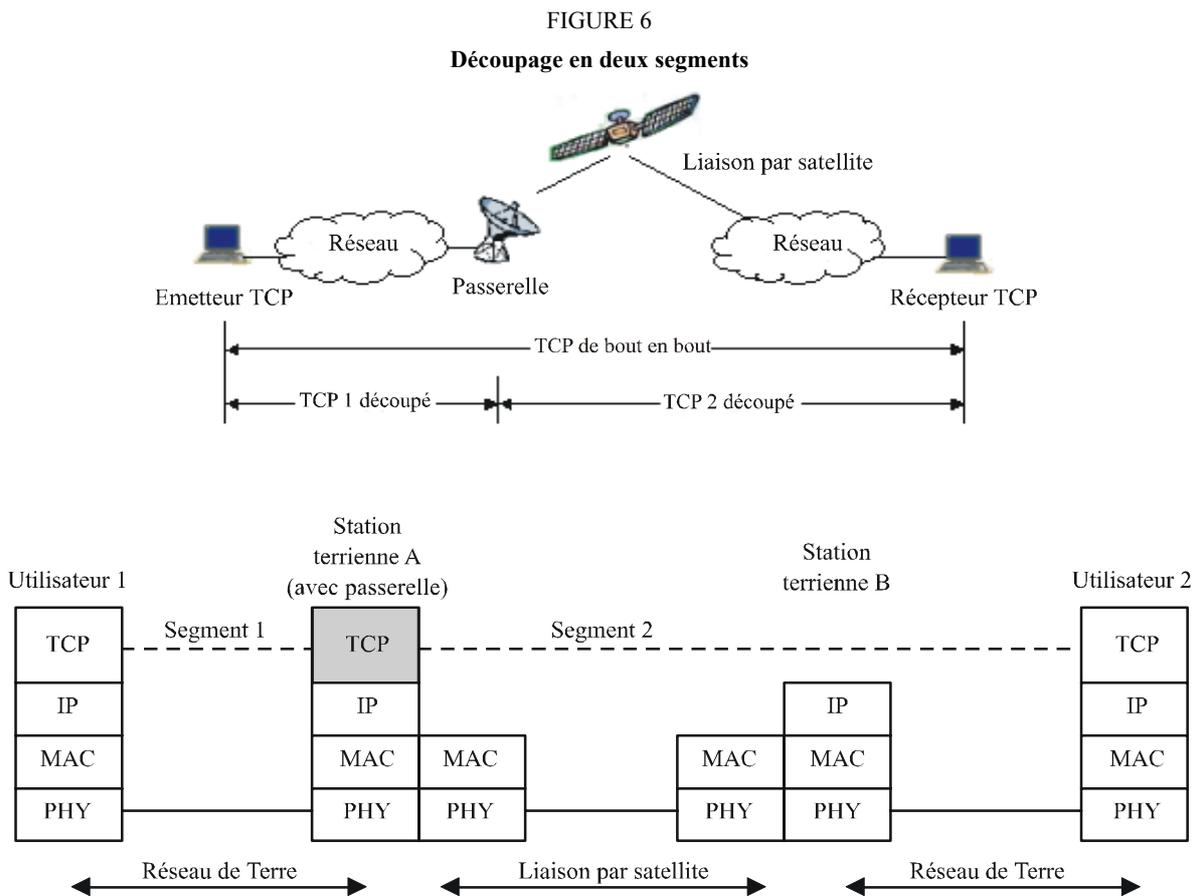
### 3 Méthodologies de découpage en segments

Le découpage en segments TCP est une méthode selon laquelle une connexion réseau de bout en bout est divisée en plusieurs connexions ou segments TCP. En général, les segments sont divisés en composants terrestres, d'une part, et composants satellite, d'autre part. En outre, la connexion TCP sur le segment satellite peut être modifiée pour surmonter les dégradations de la liaison par satellite.

La méthode de découpage en segments est généralement mise en œuvre sur une passerelle installée avant et/ou après le modem satellite (selon le type de découpage utilisé). Bien qu'aucune connexion TCP de bout en bout ne soit maintenue, les utilisateurs finaux peuvent néanmoins communiquer les uns avec les autres sans avoir conscience de la fonction de la passerelle, dans la mesure où cette dernière émule une connexion TCP unique.

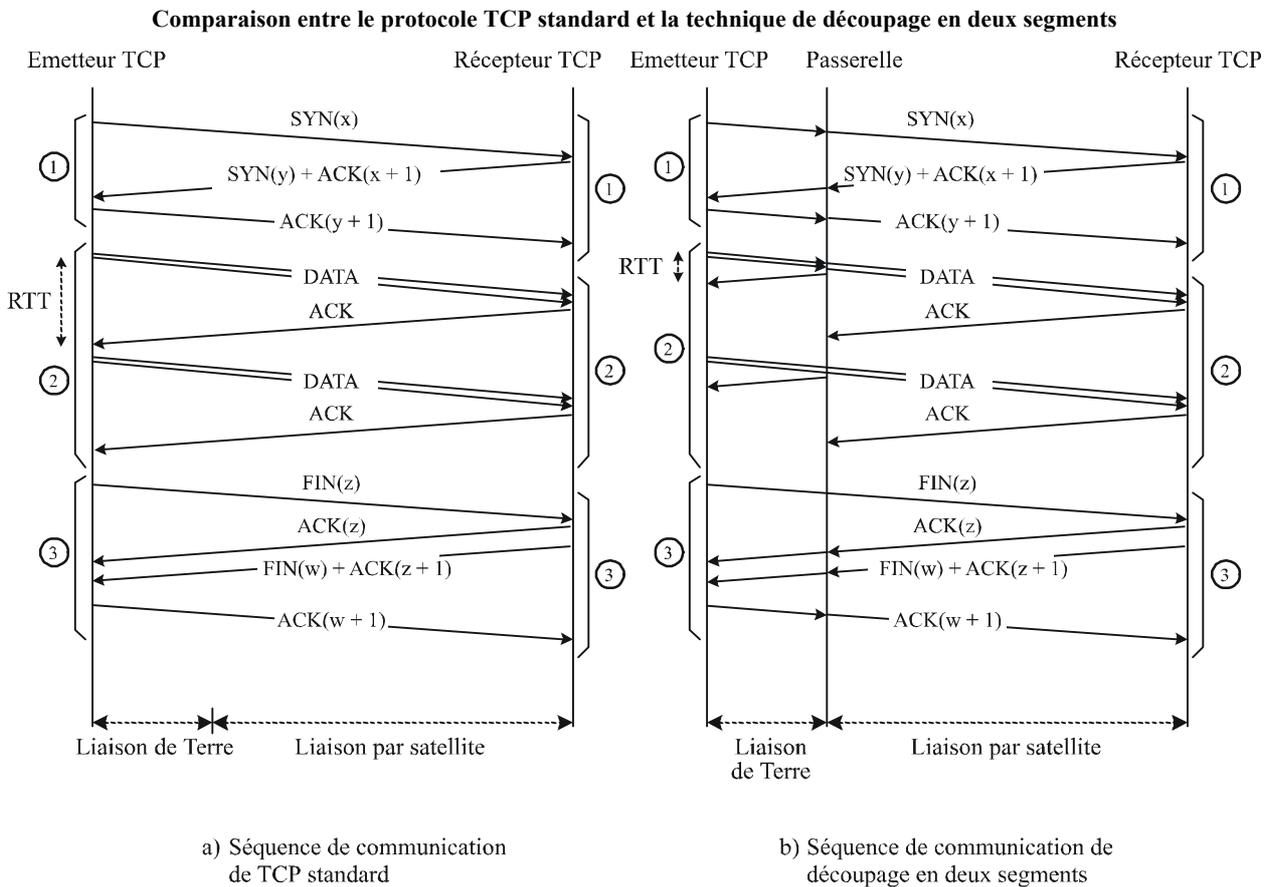
#### 3.1 Méthodologie de découpage en deux segments

La technique de découpage en deux segments consiste à diviser les connexions TCP de bout en bout en deux segments. La topologie du réseau, de même que la pile de protocole associée à cette méthode, sont décrites sur la Fig. 6. La comparaison de la séquence TCP entre le protocole TCP standard et la technique de découpage en deux segments fait l'objet de la Fig. 7.



Sur les deux segments, un protocole TCP standard est utilisé pour les communications entre l'émetteur/récepteur TCP et la passerelle. Lorsque la passerelle de la station terrienne A reçoit un paquet de données provenant de l'Utilisateur 1 sur le segment 1 et le renvoie à l'Utilisateur 2 sur le segment 2, elle renvoie un acquittement à l'Utilisateur 1, que la passerelle reçoive ou non un acquittement de l'Utilisateur 2. L'objectif est de solliciter une transmission de données de la part de l'Utilisateur 1, ce qui permet d'optimiser le débit de la connexion TCP de bout en bout. Avec cette méthode, le débit des connexions TCP est amélioré dans une seule direction (dans cet exemple, de l'Utilisateur 1 vers l'Utilisateur 2). L'un des principaux avantages de cette méthode réside dans le fait que la passerelle n'est nécessaire qu'à la station terrienne côté transmission (autrement dit, la station terrienne A). Cette méthode convient particulièrement aux réseaux à satellite qui ont une topologie en étoile (voir Annexe 1, Fig. 2) parce que l'amélioration du débit TCP n'est nécessaire que dans une direction (concentrateur vers microstation (terrienne) (VSAT)). En outre, la mise en œuvre de fonctions de passerelle sur un grand nombre de stations distantes n'est pas faisable, économiquement parlant.

FIGURE 7



- ① Phase d'établissement de connexion
- ② Phase de transfert de données
- ③ Phase de libération de connexion

### 3.2 Méthodologie de découpage en trois segments

La technique de découpage en trois segments consiste à diviser les connexions TCP de bout en bout en trois segments. La Fig. 8 montre la topologie du réseau et la pile de protocole pour la technique de découpage en trois segments, où les segments terrestres (segments 1 et 3) emploient un protocole TCP standard, tandis que le segment satellite (segment 2) met en œuvre un protocole optimisé. La séquence TCP du découpage en trois segments est représentée sur la Fig. 9. Les acquittements sont générés par la passerelle plutôt que d'attendre ceux de l'utilisateur final. Dans ce cas, la passerelle fonctionne comme mandataire.

Avec cette méthode, le débit de la connexion TCP est amélioré dans les deux directions. Elle convient aux réseaux point à point tels que la connexion d'un ISP au dorsal IP (voir Annexe 1, Fig. 1).

FIGURE 8  
Découpage en trois segments

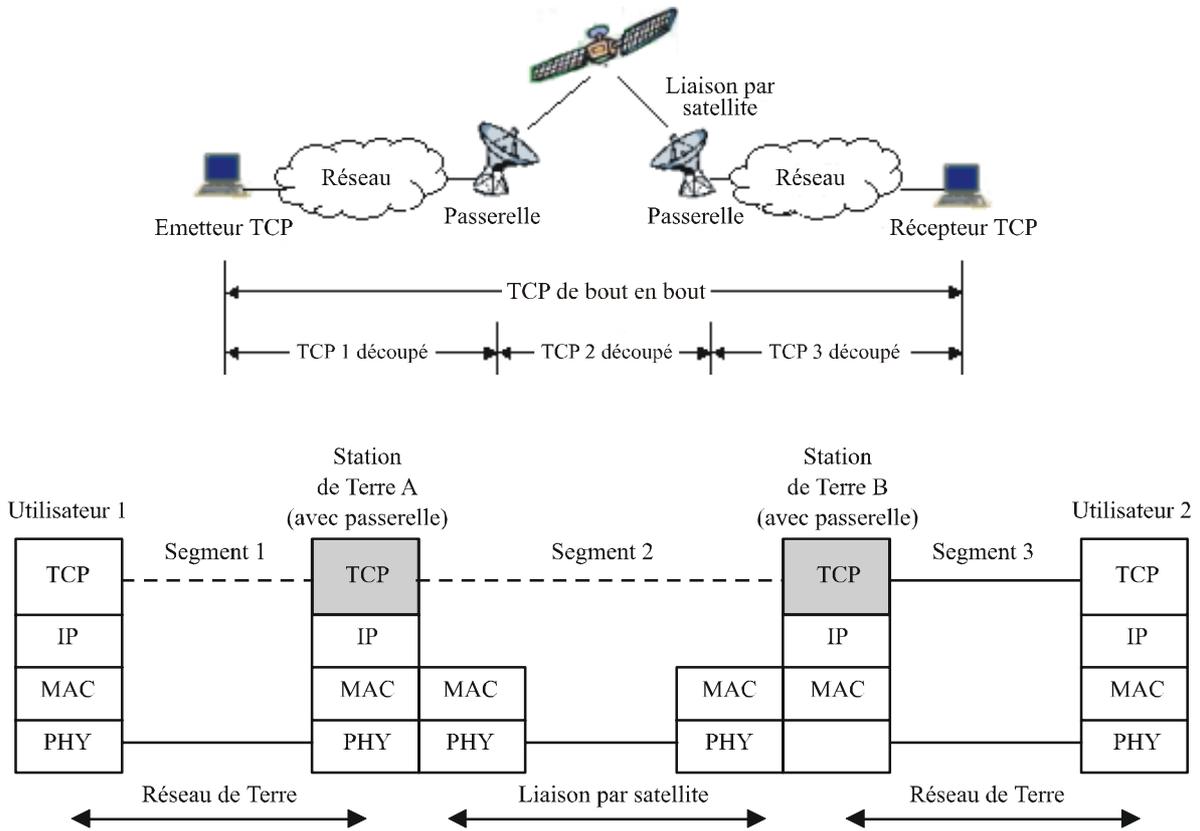
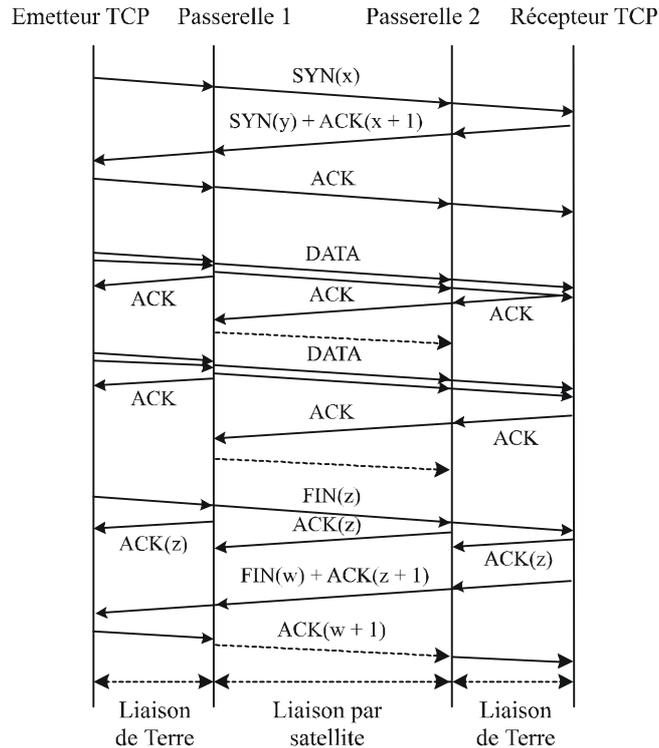


FIGURE 9

**Technique de découpage en trois segments**

Séquence de communication avec découpage en trois segments

1711-09

**3.3 Discussion**

L'adoption de méthodes de découpage en segments est valable lorsque  $R_{AB}$  et  $R_{BA}$  (Fig. 1) sont supérieurs à 256 kbit/s. Lorsque la fonction de passerelle est activée, le cumul des débits<sup>2</sup> du protocole TCP dépasse 70% du débit d'informations d'une liaison par satellite ( $R_{AB}$  et  $R_{BA}$  sur la Fig. 1) dans les deux directions dans les conditions suivantes: TEB de  $10^{-8}$  et temps de propagation aller et retour de 700 ms. Le nombre maximum de connexions TCP améliorées dépend de la configuration matérielle de la passerelle (par exemple, vitesse de la CPU, RAM disponible ...).

**4 Mandataires permettant d'améliorer les performances**

Les mandataires permettant d'améliorer les performances (PEP) constituent une solution «*de facto*» pour le protocole TCP sur les liaisons par satellite (voir la RFC 3135 de l'IETF «Performance enhancing proxies intended to mitigate link-related degradations» (Mandataires permettant d'améliorer les performances visant à atténuer les dégradations provoquées par la liaison) (2001)). Il existe différents types de PEP qui peuvent être mis en œuvre sur n'importe quelle couche de protocole. Généralement, les PEP sont mis en œuvre sur la couche transport ou application. Certains PEP fonctionnent sur la couche liaison de données, mais ils ne relèvent pas de la présente Recommandation. La plupart des PEP mis en œuvre sur la couche transport ont pour objectif

<sup>2</sup> Le cumul des débits du protocole TCP est la somme des débits instantanés des connexions TCP de bout en bout dans le réseau.

d'interagir avec le protocole TCP et d'atténuer les pénuries rencontrées par le protocole TCP sur les liaisons par satellite. Ces PEP sont transparents pour les protocoles d'application de bout en bout.

L'implémentation d'un PEP peut être symétrique ou asymétrique et est parfois classée en fonction de son degré de transparence. A une extrémité, les implémentations de PEP sont totalement transparentes vis-à-vis des systèmes finaux, des points terminaux de transport et/ou des applications et n'exigent aucune modification des systèmes finaux. En l'absence de transparence, le PEP peut exiger que des modifications soient apportées à l'un des utilisateurs finaux, ou aux deux.

Il existe deux stratégies principales de conception de PEP: mystification TCP et découpage TCP (voir § 3). Dans les deux cas, le but consiste à protéger les segments de réseau à latence élevée ou de satellite avec perte contre le reste du réseau, tout en demeurant transparent pour les applications.

#### **4.1 Mystification TCP**

Le principe de la mystification TCP repose sur un routeur (passerelle) situé à proximité de la source, qui renvoie des acquittements de segments TCP pour donner à la source l'illusion d'un trajet court, ce qui permet d'accélérer la transmission des données de l'émetteur TCP. Ensuite, la passerelle supprime le flux d'acquittements de l'hôte satellite et envoie les données manquantes, le cas échéant.

#### **4.2 Mécanismes utilisés par les PEP**

Parmi les mécanismes utilisés par les PEP figurent l'espacement d'acquittements, la régénération d'acquittements, les acquittements locaux, les retransmissions locales, les tunnels visant à contrôler l'acheminement des paquets, la compression d'en-têtes, la compression de charge utile et le multiplexage à base de priorités.

#### **4.3 Implications de l'utilisation des PEP**

##### **4.3.1 Sécurité de bout en bout**

Les PEP ne peuvent pas fonctionner avec une transmission cryptée comme, par exemple, IPSEC, dans la mesure où ils doivent lire les en-têtes des paquets IP et, dans certaines implémentations, générer des paquets IP pour le compte d'un système final. En général, les mécanismes de sécurité situés sur la couche transport ou au-dessus de cette dernière (par exemple, TLS ou SSL) peuvent être utilisés avec les PEP.

##### **4.3.2 Fiabilité de bout en bout**

Dans les architectures qui mettent en œuvre des PEP, les applications ne peuvent pas s'appuyer sur les acquittements de bas niveau (par exemple, TCP) pour garantir la fiabilité de la remise de bout en bout. Les PEP TCP n'interfèrent généralement pas avec les acquittements de la couche application.

## Annexe 3

### Tests et mesures des performances des améliorations du protocole TCP

#### 1 Domaine d'application

La présente Annexe contient des tests et mesures qui ont été effectués par des organismes indépendants pour expérimenter quelques-unes des méthodes décrites dans l'Annexe 2. Elle contient des informations utiles pour les concepteurs de systèmes à satellites.

#### 2 Performances du protocole TCP avec amélioration par découpage

INTELSAT et KDDI ont procédé à des mesures des performances du protocole TCP en utilisant les techniques de découpage en segments (découpage en deux ou en trois segments), de manière à en vérifier l'efficacité. Les résultats de ces mesures sont indiqués dans le présent paragraphe.

Le § 2.1 présente les résultats des tests de performances d'une connexion TCP unique sans passerelle. Le § 2.2 contient les résultats des tests pratiqués sur la technique de découpage en deux segments. Le § 2.3 donne les résultats des tests effectués sur la technique de découpage en trois segments.

##### 2.1 Performances d'une connexion TCP unique testée sans amélioration

###### 2.1.1 Test des performances d'une connexion TCP unique

Le premier jeu de tests portait sur le débit d'une connexion TCP unique. Les tests ont été réalisés avec et sans amélioration du protocole par l'utilisation d'une passerelle pour des temps de propagation aller-retour de 200 ms, simulant une connexion WAN de Terre, et de 700 ms, simulant une liaison satellite combinée dans le réseau fédérateur de Terre.

###### 2.1.2 Protocole TCP sans amélioration des performances

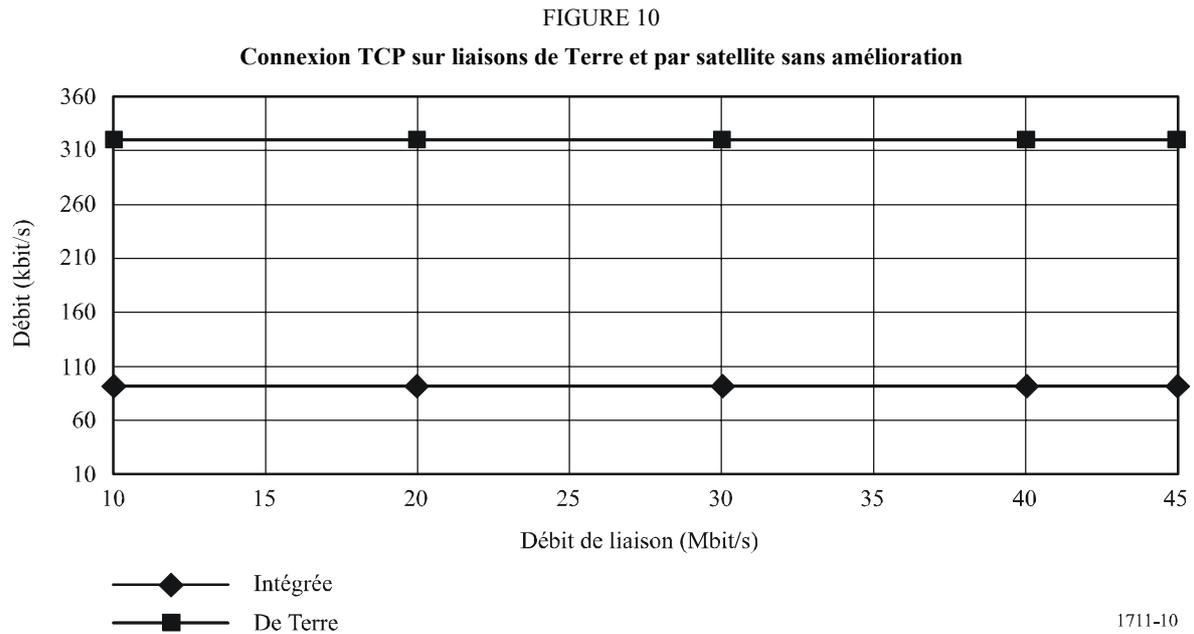
Le premier jeu de tests portait sur les connexions TCP uniques sans amélioration des performances. La taille de la fenêtre du client avait été définie à 8 koctets pour correspondre à la configuration par défaut de Windows 95, Windows 98, Windows NT et de bien d'autres systèmes d'exploitation couramment utilisés. Le temps de propagation aller-retour (RTT) de la liaison de Terre avait été défini à 200 ms et la liaison combinée satellite/de Terre à 700 ms.

###### 2.1.3 Performances d'une connexion TCP unique sans amélioration des performances

Le débit maximum sans amélioration des performances est de 320 kbit/s pour les connexions de Terre et de 91 kbit/s pour la liaison par satellite (voir la Fig. 10). Ces résultats démontrent que, sans amélioration des performances, le débit maximum d'une connexion TCP unique sera à peu près égal à la taille de la fenêtre,

$$\frac{8 \text{ koctets} * 8 \text{ bits}}{\text{RTT} = 200 \text{ ms}} = 320 \text{ kbit/s}$$

même si le débit de la liaison augmente.



## 2.2 Découpage en deux segments

### 2.2.1 Configuration des réseaux à satellite

Pour vérifier l'efficacité des techniques de découpage en deux segments dans diverses conditions, les tests suivants ont été menés:

TEST-A: Mesure sur le terrain utilisant un système VSAT réel sur une liaison par satellite.

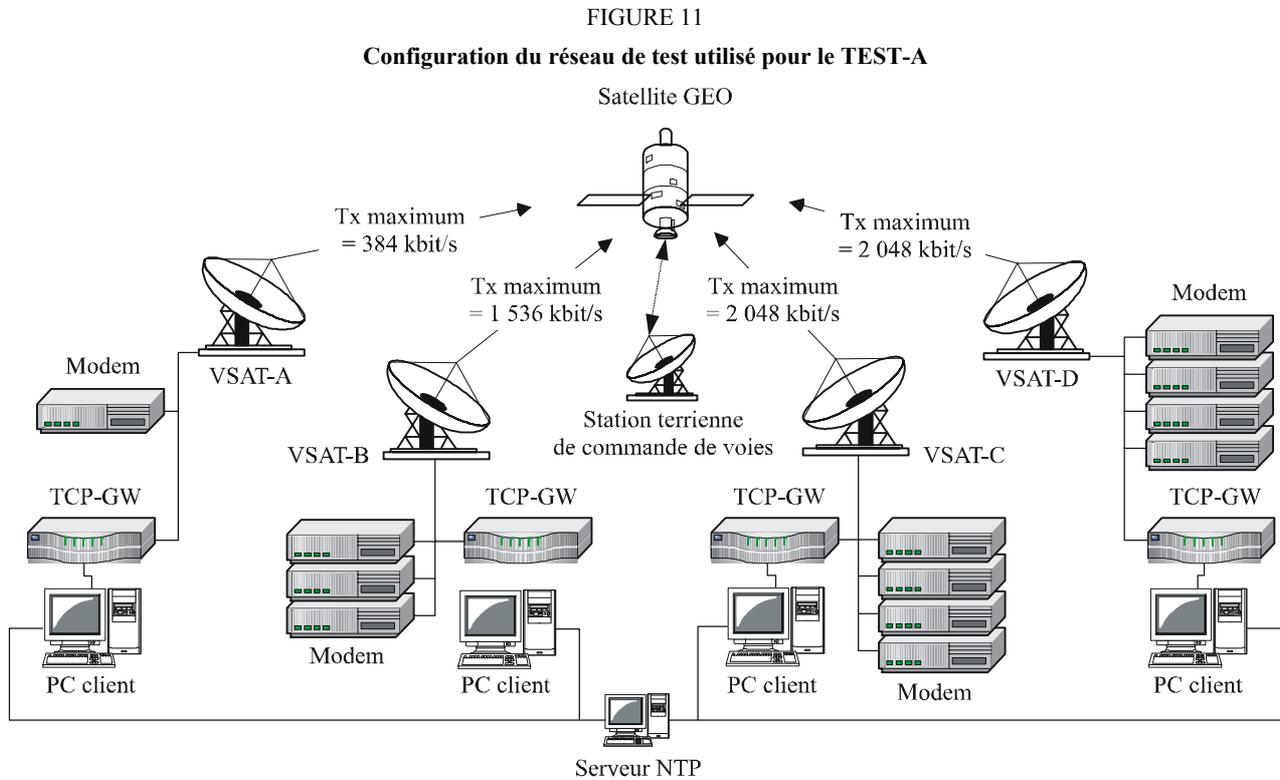
TEST-B: Mesure utilisant un simulateur de liaison par satellite.

#### 2.2.1.1 TEST-A: Mesure sur le terrain utilisant un système VSAT réel sur une liaison par satellite

Le TEST-A a été réalisé à l'aide d'un réseau IP satellite basé (accès multiple avec assignation en fonction de la demande (AMAD) à topologie maillée utilisant une technologie à une seule voie par porteuse (SCPC) à débit variable. Il s'agissait de mesurer le débit d'une connexion TCP unique et d'une connexion TCP multiple pour différents débits de liaison, connexions UDP et combinaisons de connexions UDP et TCP. Le test a été réalisé avec un réseau à satellite asymétrique et symétrique dont les débits de liaison s'établissaient à 384 kbit/s, 1 536 kbit/s et 2 048 kbit/s.

Le réseau utilisé pour le TEST-A est représenté sur la Fig. 11. Le réseau à satellite AMAD est constitué d'une station terrienne pour la commande des voies de transmission et de quatre VSAT. Chaque VSAT est équipée d'une passerelle activée pour la technique de découpage en deux segments en vue d'améliorer le débit de la direction avant. Les principales spécifications de chaque VSAT sont données dans le Tableau 4. Il convient de noter que deux types de passerelles (Type 1 et Type 2) proposés par deux constructeurs différents ont été utilisés pour ce test. La liaison par satellite est conçue avec des disponibilités de liaison de 99,90% entre VSAT et HUB et de 99,85% entre VSAT et VSAT.

Le système d'exploitation FreeBSD 4.5 est installé sur chaque PC client, qui est ensuite relié à un serveur NTP pour synchroniser les bases de temps des différents PC. Chaque VSAT est équipée du logiciel Iperf<sup>3</sup> qui permet de générer les paquets IP et de mesurer le débit.



TCP-GW: Passerelle TCP avec technique de découpage en 2 segments

1711-11

TABLEAU 4  
Spécifications de la station terrienne VSAT

Station terrienne	Taille de l'antenne (m)	Puissance SSPA (W)	Débit de transmission maximum (Kbit/s)	Fournisseur de la passerelle TCP
Station terrienne de commande	7,6	Non disponible	Non disponible	Non disponible
VSAT-A	1,2	10	384	Type-1
VSAT-B	1,2	40	1 536	Type-2
VSAT-C	1,8	40	2 048	Type-2
VSAT-D	1,8	120	2 048	Type-2

<sup>3</sup> Iperf est une application qui génère du trafic et mesure le débit des paquets IP. La version 1.1.1 d'Iperf est un programme gratuit téléchargeable à l'adresse <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf1.1.1/release.html>

Station terrienne	Système d'exploitation	CPU	Mémoire	Application
VSAT-A	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 GHz	256 Moctets	Iperf 1.1.1
VSAT-B	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 GHz	512 Moctets	Iperf 1.1.1
VSAT-C	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 GHz	256 Moctets	Iperf 1.1.1
VSAT-D	FreeBSD 4.3	Pentium III 1 GHz	512 Moctets	Iperf 1.1.1
Serveur NTP	Windows 2000	Pentium III 600 MHz	256 Moctets	

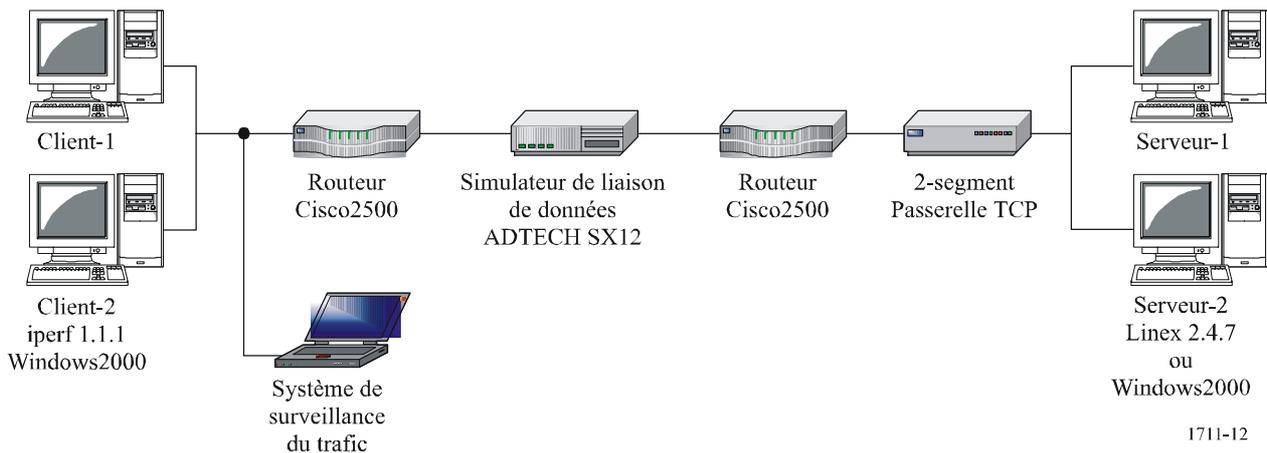
### 2.2.1.2 TEST-B: Mesure utilisant un simulateur de liaison par satellite

Le TEST-B a été réalisé avec une configuration point à point qui utilisait un simulateur de liaison de données susceptible d'introduire des délais et des erreurs de voie de transmission. Il s'agissait de mesurer le débit pour 1, 2, 4 et 8 connexions TCP simultanées, avec différents débits de liaison (compris entre 384 kbit/s et 1 536 kbit/s) simulant différentes situations d'erreurs sur les bits ( $10^{-8}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ; erreur aléatoire/erreur par salve) et 250 ms de temps de propagation satellite (pour une seule direction). Aux fins de comparaison, les débits ont été mesurés avec et sans utilisation d'une passerelle.

Le réseau utilisé pour le test est représenté sur la Fig. 12. Il contient le simulateur de liaison de données qui simule l'effet des conditions d'une liaison par satellite sur un réseau point à point. Le simulateur de liaison de données utilise une interface série, avec deux routeurs installés des deux côtés du simulateur de liaison de données pour adapter l'interface. Les PC clients exécutent le système d'exploitation Microsoft Windows 2000 (SP2) et le PC serveur exécute Microsoft Windows 2000 (SP2) ou Linux Version 2.4.7.

FIGURE 12

Configuration du réseau de test utilisé pour le TEST-B



1711-12

## 2.2.2 Résultats des tests

### 2.2.2.1 TEST-A

Les quatre tests ont été réalisés par temps clair. Les résultats sont présentés dans les paragraphes suivants:

- Connexion UDP (§ 2.2.2.1.1)
- Connexion TCP/IP unique (§ 2.2.2.1.2)

- Connexion TCP/IP multiple (§ 2.2.2.1.3) (voir la Note 1)
- Une session TCP (60% du débit de liaison) et une session UDP (40% du débit de liaison) (§ 2.2.2.1.4) (voir la Note 2)

NOTE 1 – Le nombre de sessions est de quatre sur un PC. Certaines VSAT ne sont pas en mesure d'établir quatre sessions TCP/IP simultanées.

NOTE 2 – Le débit mesuré dans le cadre de la connexion UDP est supposé être le débit maximal de la session TCP.

L'effet de l'amélioration apportée par la passerelle pour la technique de découpage en deux segments a été dûment constaté pendant l'ensemble des tests, dans la mesure où des débits supérieurs à 95% du débit maximum ont été obtenus.

### 2.2.2.1.1 Résultats de la connexion UDP

TABLEAU 5

**Débit de liaison: 384 kbit/s, Moyenne: 360,2 kbit/s (93,8%)  
(sans données supplémentaires)**

		TX (débit de liaison fixé à 384 kbit/s)			
		VSAT-A	VSAT-B	VSAT-C	VSAT-D
<b>Réception (384 kbit/s)</b>	<b>VSAT-A</b>		365,0 kbit/s	365,0 kbit/s	365,0 kbit/s
	<b>VSAT-B</b>	345,0 kbit/s		365,0 kbit/s	365,0 kbit/s
	<b>VSAT-C</b>	346,0 kbit/s	365,0 kbit/s		365,0 kbit/s
	<b>VSAT-D</b>	346,0 kbit/s	365,0 kbit/s	365,0 kbit/s	

TABLEAU 6

**Débit de liaison: 1 536 kbit/s, Moyenne: 1 463,0 kbit/s (95,2%)  
(sans données supplémentaires)**

		Emission (débit de liaison fixé à 1 536 kbit/s)			
		VSAT-A	VSAT-B	VSAT-C	VSAT-D
<b>Réception (384 kbit/s)</b>	<b>VSAT-A</b>			1 463,0 kbit/s	

TABLEAU 7

**Débit de liaison: 2 048 kbit/s, Moyenne: 1 947,5 kbit/s (95,1%)**

		Emission (débit de liaison fixé à 2 048 kbit/s)			
		A (384 kbit/s)	B (1 536 kbit/s)	C (2 048 kbit/s)	D (2 048 kbit/s)
<b>Réception (1 536 kbit/s)</b>	<b>VSAT-B</b>			1 946,0 kbit/s	1 949,0 kbit/s

## 2.2.2.1.2 Résultats de la connexion TCP unique

TABLEAU 8

**Débit de liaison: 384 kbit/s, Moyenne: 349,2 kbit/s (96,9%)**  
**(sans données supplémentaires)**

		Emission (débit de liaison fixé à 384 kbit/s)			
		VSAT-A	VSAT-B	VSAT-C	VSAT-D
<b>Réception (384 kbit/s)</b>	VSAT-A		359,0 kbit/s	359,0 kbit/s	359,0 kbit/s
	VSAT-B	327,8 kbit/s		358,5 kbit/s	358,3 kbit/s
	VSAT-C	328,0 kbit/s	348,3 kbit/s		357,8 kbit/s
	VSAT-D	328,0 kbit/s	358,5 kbit/s	348,3 kbit/s	

(Le Tableau indique la moyenne des quatre sessions.)

TABLEAU 9

**Débit de liaison: 1 536 kbit/s, Moyenne: 1 397,5 kbit/s (95,5%)**  
**(sans données supplémentaires)**

		Emission (débit de liaison fixé à 1 536 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
<b>Réception (384 kbit/s)</b>	VSAT-A			1 397,5 kbit/s	

(Le Tableau indique la moyenne des quatre sessions.)

TABLEAU 10

**Débit de liaison: 2 048 kbit/s, Moyenne: 1 890,1 kbit/s (97,1%)**  
**(sans données supplémentaires)**

		Emission (débit de liaison fixé à 2 048 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
<b>Réception (1 536 kbit/s)</b>	VSAT-B			1 888,3 kbit/s	1 891,8 kbit/s

## 2.2.2.1.3 Résultats de la connexion TCP multiple

TABLEAU 11

**Débit de liaison: 1 536 kbit/s, Moyenne: 1 370,5 kbit/s (95,5%)  
(sans données supplémentaires)**

		Emission (débit de liaison fixé à 1 536 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
Réception	VSAT-A (384 kbit/s)			360,0 kbit/s 358,0 kbit/s 345,0 kbit/s 345,0 kbit/s	338,0 kbit/s 337,0 kbit/s 329,0 kbit/s 329,0 kbit/s
	Total			1 408,0 kbit/s	1 333,0 kbit/s

TABLEAU 12

**Débit de liaison: 2 048 kbit/s, Moyenne: 1 910,0 kbit/s (98,1%)  
(sans données supplémentaires)**

		Emission (débit de liaison fixé à 2 048 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
Réception	VSAT-B (1 536 kbit/s)			759,0 kbit/s 597,0 kbit/s 562,0 kbit/s	680,0 kbit/s 565,0 kbit/s 657,0 kbit/s
	Total			1 918,0 kbit/s	1 902,0 kbit/s

## 2.2.2.1.4 Résultat de la combinaison de sessions UDP et TCP

TABLEAU 13

**Combinaison d'une connexion TCP (60%) et d'une connexion UDP (40%)**

		Emission (384 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
Réception	VSAT-B			1241,0 kbit/s 687,0 kbit/s	1102,0 kbit/s 841,0 kbit/s

(Ligne supérieure: connexion TCP, ligne inférieure: connexion UDP)

2.2.2.2 TEST-B

Les résultats du TEST-B sont présentés sur les Fig. 13 à 17. Les valeurs de débit sur le graphique des sessions TCP 1, 2 et 8 sont la somme des débits de toutes les sessions TCP. L'effet de l'amélioration apportée par la passerelle pour la technique de découpage en deux segments a été dûment constaté pendant l'ensemble des tests.

Comme il ressort des Fig. 13 et 14, le débit maximum d'une session TCP/IP est limité à environ 200 kbit/s lorsque la passerelle n'est pas activée. Par exemple, dans le cas de deux sessions TCP (voir la Fig. 14), le débit total («sans passerelle TCP») est limité à environ 400 kbit/s. D'autre part, dans le cas de huit sessions TCP (voir la Fig. 15), le débit total («sans passerelle TCP») atteint approximativement 1,5 Mbit/s et aucune différence notable n'est remarquée entre les cas «sans passerelle TCP» et «avec passerelle TCP».

Avec des TEB plus élevés (autrement dit de  $10^{-6}$ ), l'effet de l'amélioration est réduit, comme le montre la Fig. 16.

FIGURE 13  
 Résultat d'une session TCP (TEB =  $10^{-8}$ )

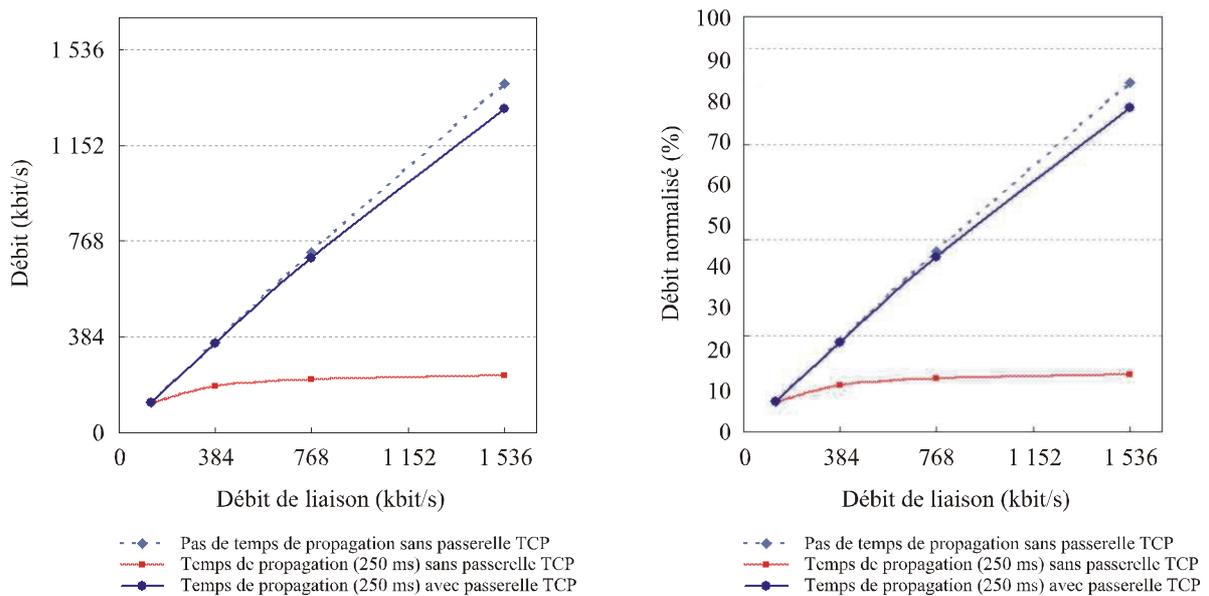
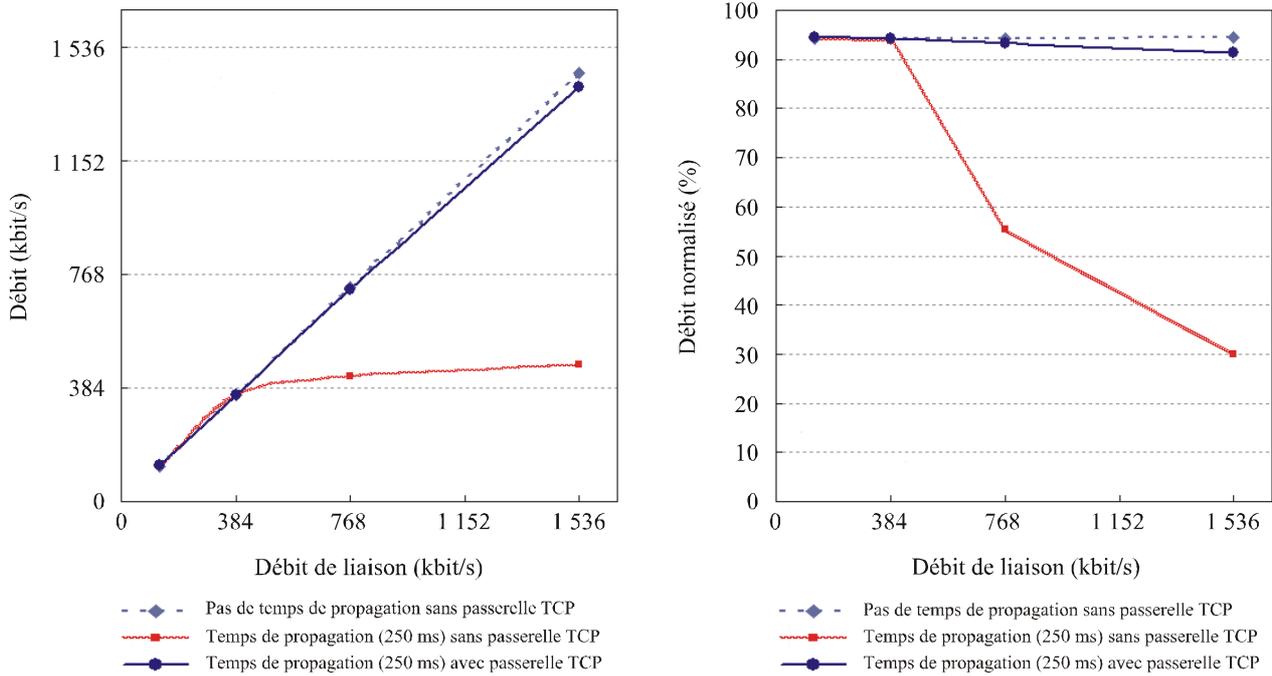


FIGURE 14

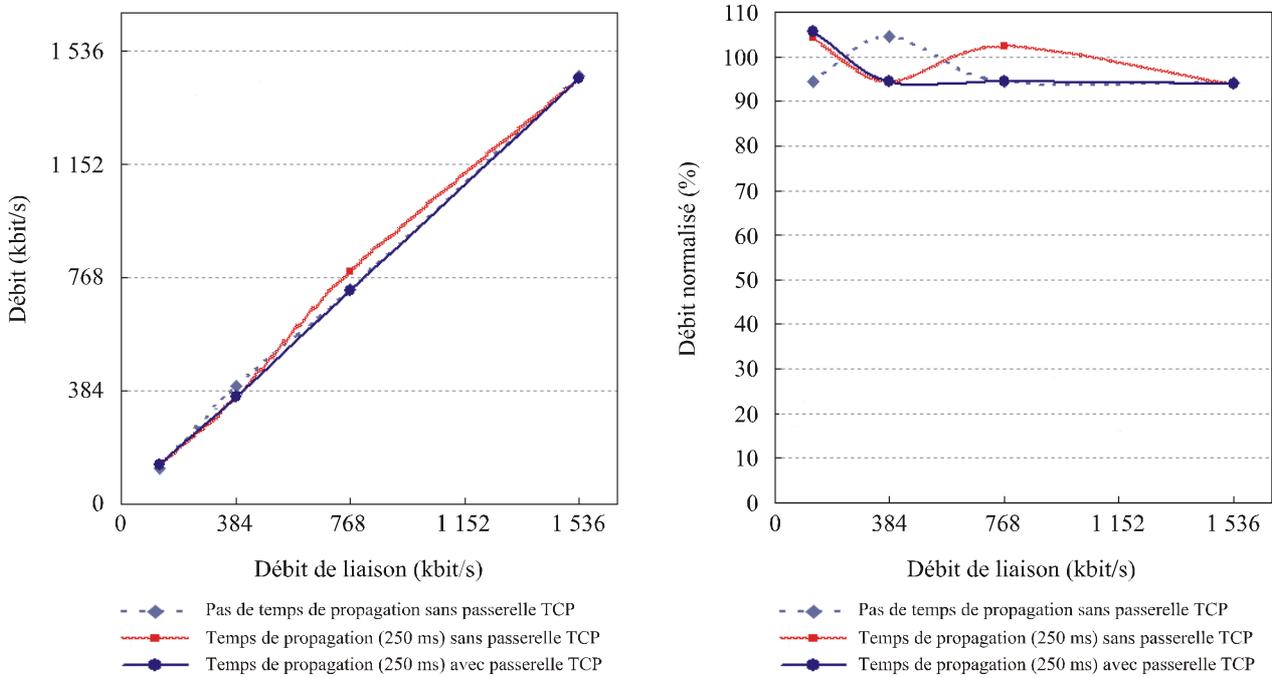
Résultat de deux sessions TCP ( $TEB = 10^{-8}$ )



1711-14

FIGURE 15

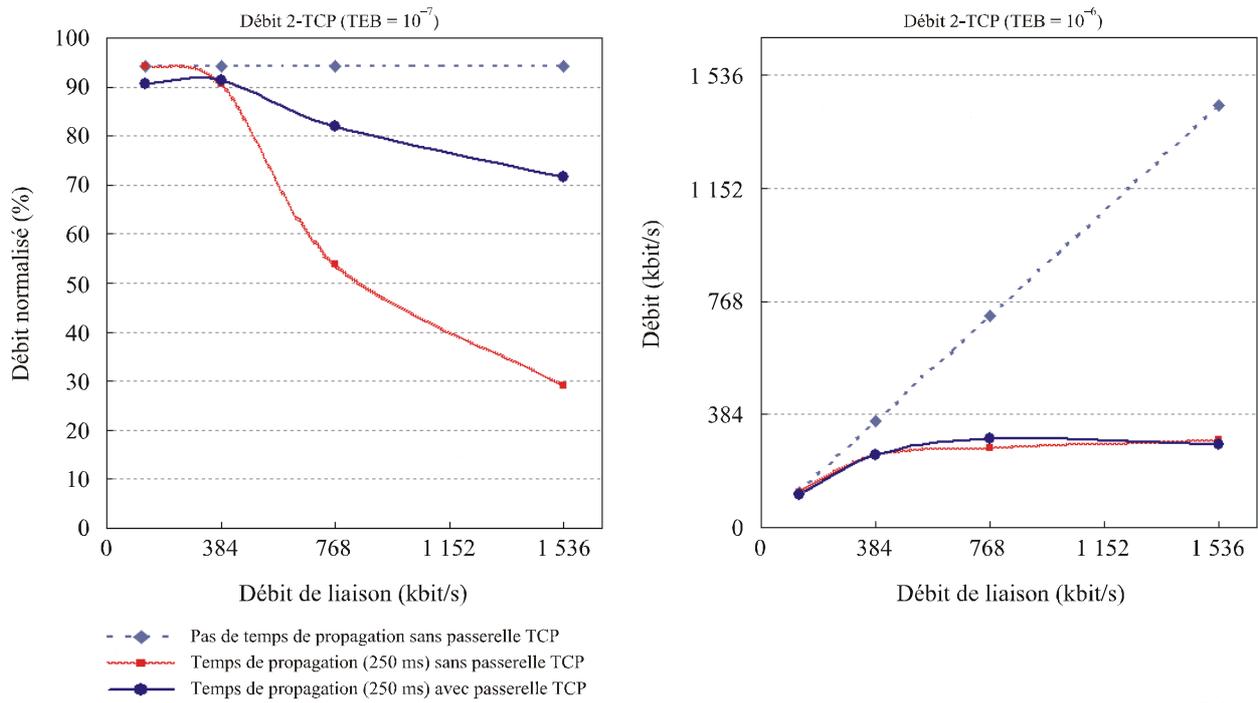
Résultat de huit sessions TCP ( $TEB = 10^{-8}$ )



1711-15

FIGURE 16

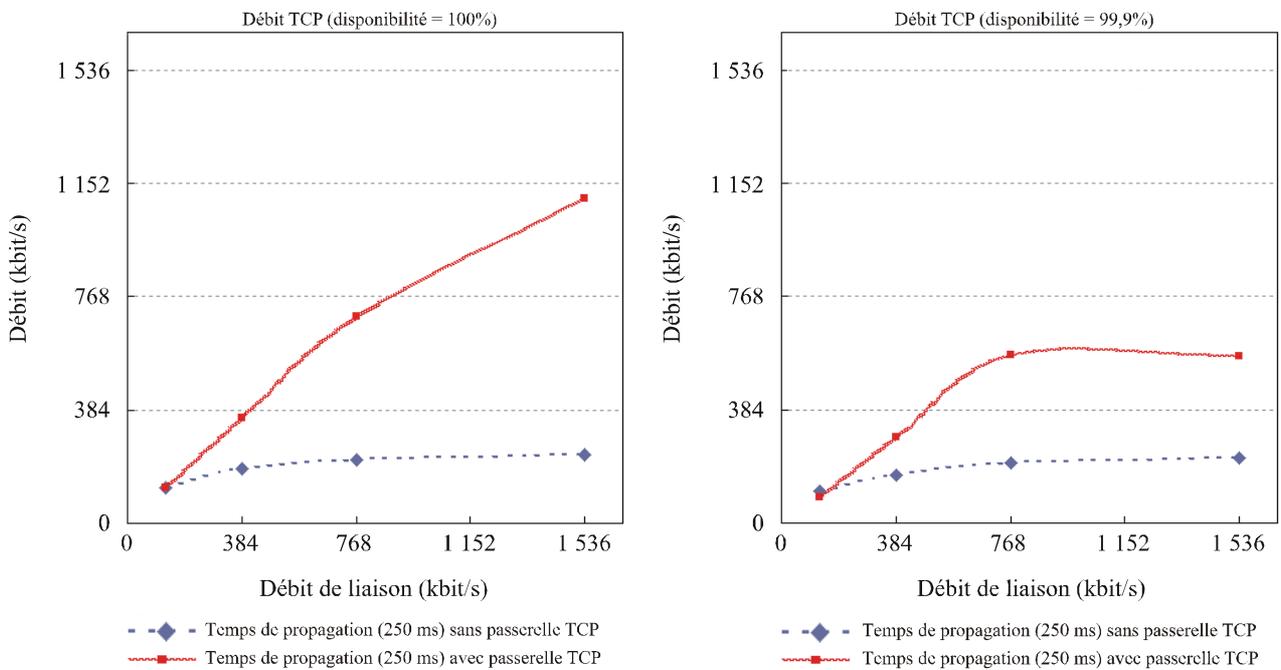
Résultat de deux sessions TCP (TEB =  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ )



1711-16

FIGURE 17

Résultats d'une session TCP en cas de diverses erreurs en salves



1711-17

### 2.2.3 Conclusions

Les résultats indiquent que la méthode de découpage en deux segments peut considérablement améliorer le débit TCP sur une liaison par satellite dont le TEB est égal à au moins  $10^{-7}$ . Les performances de débit total correspondant à 95% de la capacité avec 1, 2 ou 8 connexions TCP simultanées ont été obtenues en présence d'un long temps de propagation, comme par exemple sur un réseau à satellite. En outre, il a été démontré que la technique de découpage en deux segments convient aux réseaux à satellite tant asymétriques que symétriques.

Les techniques de découpage en segments permettent de mettre en œuvre un système d'équilibrage de charge entre les connexions sur un segment de satellite, de manière à éviter une dégradation indésirable de la fenêtre de transmission TCP par les algorithmes d'évitement des encombrements. Ce système d'équilibrage de charge est possible parce que l'équipement de passerelle fait office d'intermédiaire entre les utilisateurs finaux du protocole TCP.

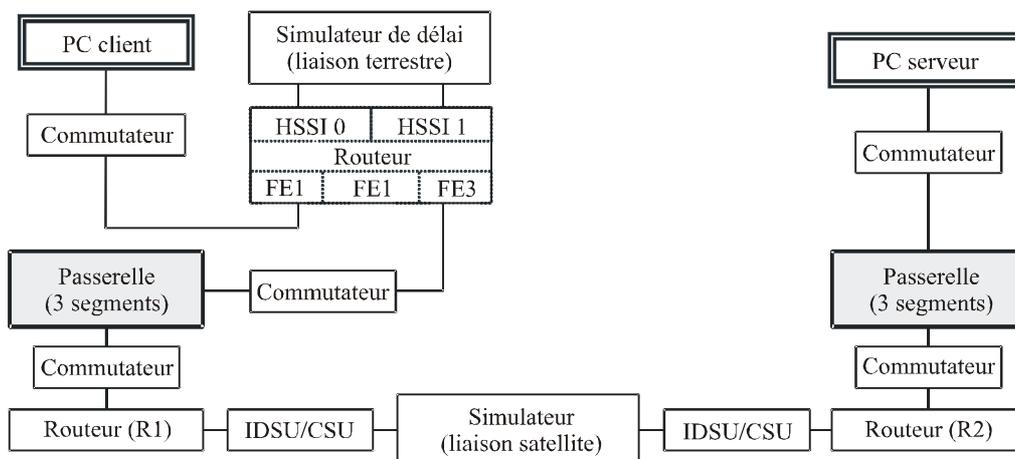
## 2.3 Découpage en trois segments

### 2.3.1 Configuration des réseaux à satellite

Le réseau utilisé pour le test est représenté sur la Fig. 18. Il comporte deux simulateurs de liaison qui simulent les effets des conditions d'une liaison par satellite et du réseau fédérateur Internet de Terre. Pour que seules les conditions de liaison par satellite soient testées, le simulateur temps de propagation de liaison de Terre et le routeur Cisco 7206 n'ont pas été intégrés dans le réseau. La machine cliente a été connectée directement au commutateur Ethernet relié à la passerelle du protocole.

Les machines client et serveur sont des Sun Enterprise 450 ( $2 \times$  UltraSPARC-II 296 MHz) dotés de 2 048 Moctets de mémoire, qui exécutent le système d'exploitation Solaris 7. Une application client-serveur a été utilisée pour le générateur de charge.

FIGURE 18  
Configuration du réseau de test



Note 1 – «Commutateur» représente le commutateur Ethernet 100 Mbit/s

### 2.3.2 Procédures de test

Les tests avaient pour objectif d'étudier, de manière indépendante, l'efficacité des passerelles de protocole dans différentes conditions de charge, débits de connexion TCP et taux d'erreur dans un cadre type de liaison par satellite. Hormis simuler les conditions d'un satellite, les tests ont également porté sur les effets d'un encombrement d'Internet sur le débit de bout en bout, avec et sans passerelle de protocole.

Trois types de tests ont été réalisés:

- Débit d'une connexion TCP unique pour différentes largeurs de bande de liaison

Ces tests étaient conçus pour simuler un LAN grande vitesse et Internet – 2 applications où le transfert à grande vitesse de volumineux fichiers de données est courant, en comparant les performances avec et sans passerelle de protocole.

- Connexions TCP multiples avec largeur de bande par connexion fixe

Ces tests avaient pour but d'examiner l'avantage, pour les performances, de la passerelle de protocole pour les liaisons d'ISP prenant en charge plusieurs petites connexions TCP. Les tests ont été réalisés pour des temps de propagation aller-retour de 200 ms pour simuler une liaison WAN terrestre, et de 700 ms pour simuler la combinaison d'un bond de satellite de 500 ms depuis l'utilisateur vers le dorsal Internet et d'un délai de 200 ms pour atteindre le serveur. Par souci de simplicité, le délai et les erreurs sur les bits ont été additionnés en un point unique, les passerelles de protocole étant situées des deux côtés du simulateur de liaison.

- Connexions TCP multiples avec perte de paquets de Terre

Le test précédent a été étendu pour examiner de plus près l'effet du temps de propagation et des erreurs à travers le dorsal Internet, indépendamment du bond par satellite. Un second simulateur de liaison a été ajouté pour simuler séparément les conditions satellite et les conditions de Terre. Pour ces tests, le bond par satellite a été fixé à un temps de propagation aller-retour de 500 ms sans erreur, et la liaison dorsale a été fixée à un délai de 200 ms avec différents taux de perte.

### 2.3.3 Résultats des tests

#### 2.3.3.1 Protocole TCP avec amélioration de la passerelle de protocole

Le jeu de tests suivant a porté sur les améliorations de performances apportées par la passerelle de protocole pour une connexion TCP unique. La Fig. 19 montre le débit en fonction de la largeur de bande de la liaison pour un temps de propagation aller-retour de 200 ms, en comparant le débit mesuré en utilisant la passerelle de protocole avec le débit théorique maximal du protocole TCP non amélioré. La Fig. 20 montre les résultats des tests pour un temps de propagation aller-retour de 700 ms.

Pour des temps de propagation 200 ms et 700 ms, les performances obtenues en utilisant la passerelle de protocole sont indiscutablement plusieurs fois meilleures que le débit théorique maximum du protocole TCP. Même avec un temps de propagation de 700 ms, la passerelle de protocole permet à la connexion de bénéficier de toute la largeur de bande disponible.

FIGURE 19

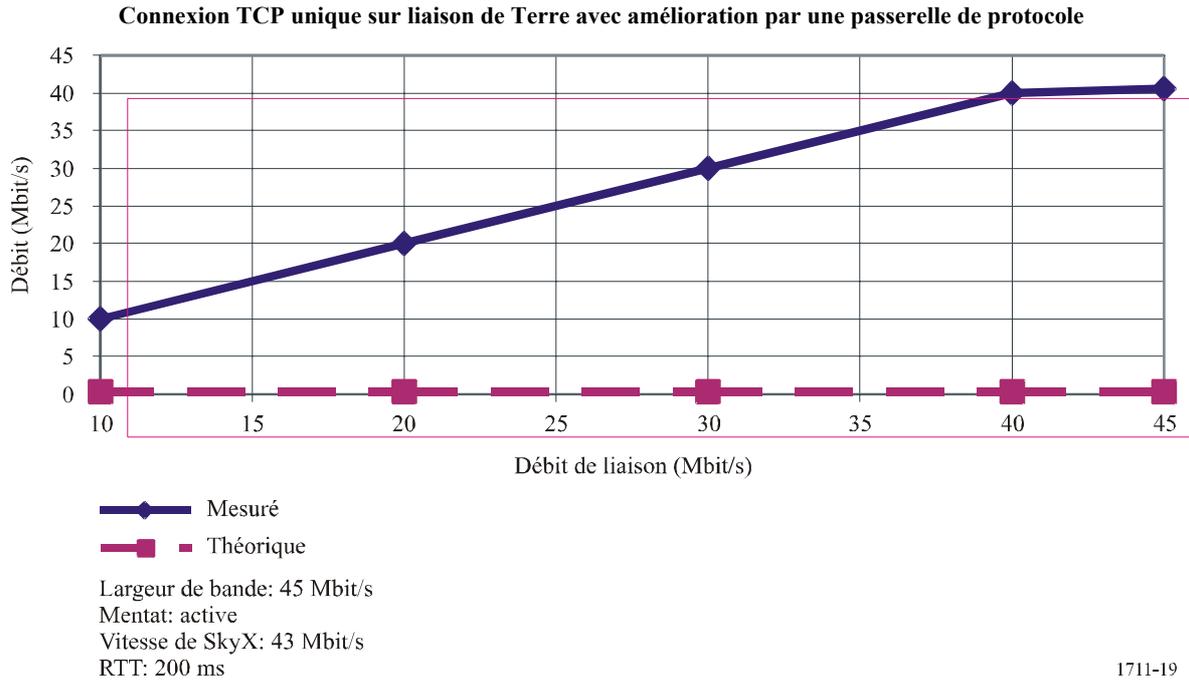
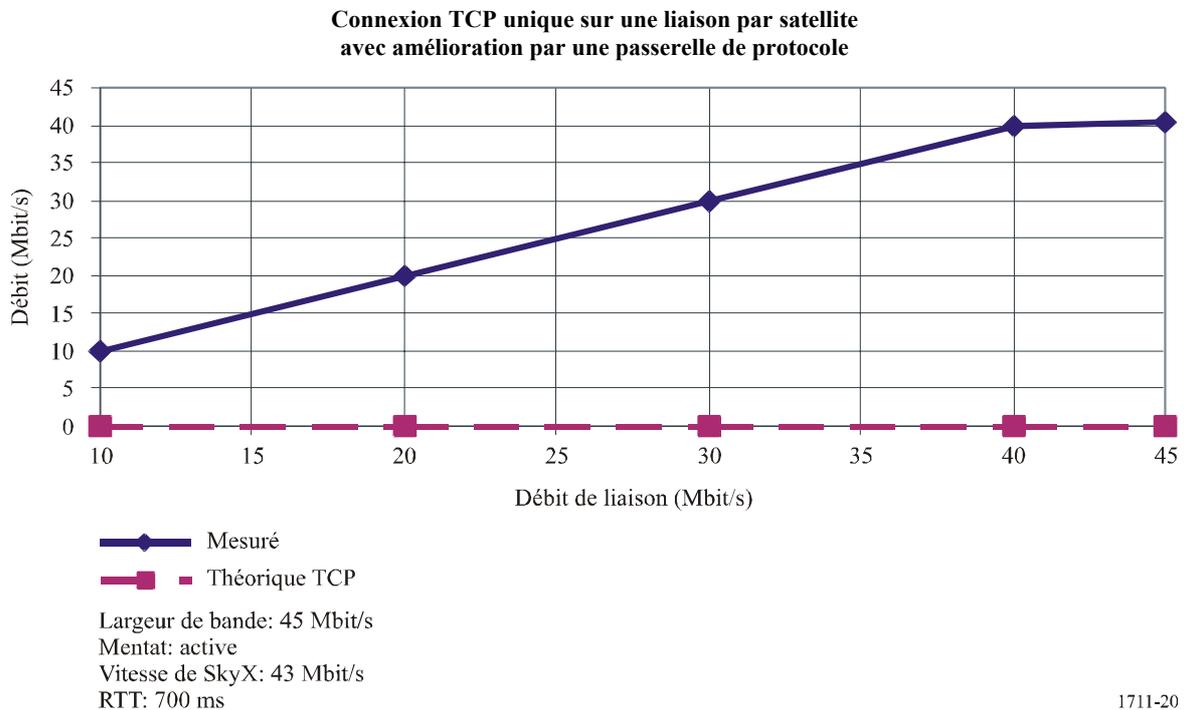


FIGURE 20



### 2.3.3.2 Test des performances de la connexion TCP multiple

Plutôt qu'une seule grosse connexion TCP, les ISP desservant les utilisateurs à domicile qui se connectent à l'Internet prennent en charge de nombreuses petites connexions sur leurs réseaux. Les débits de connexion TCP se limitent généralement à la vitesse de la connexion de l'utilisateur à l'ISP. Le jeu de tests suivant a par conséquent été conçu pour examiner les performances du

protocole TCP avec et sans amélioration par passerelle de protocole pour de très nombreuses connexions TCP, chacune étant limitée à 128 kbit/s. Les tests ont été effectués pour des temps de propagation aller-retour de 200 ms et de 700 ms pour pouvoir comparer les performances de Terre et par satellite. Divers TEB ont été testés pour chaque situation.

### 2.3.3.3 Connexions TCP multiples sans amélioration

Les Fig. 21 et 22 montrent le débit cumulé entre client et serveur sans amélioration du protocole TCP pour plusieurs connexions TCP à 128 kbit/s, dans différentes conditions de TEB. Avec une limite de 128 kbit/s par connexion, 350 connexions seraient nécessaires pour remplir une liaison à 45 Mbit/s.

La Fig. 21 montre le débit total d'une liaison de Terre. Avec un temps de propagation de 200 ms, le protocole TCP est en mesure de fournir des débits cumulés proches du maximum théorique, excepté à des taux d'erreur élevés.

La Fig. 22 montre le débit total de la connexion par satellite. Avec un temps de propagation de 700 ms, même en l'absence d'erreurs, le protocole TCP est limité à 31 Mbit/s pour 350 connexions. A des taux d'erreur élevés, les performances du protocole TCP se détériorent rapidement.

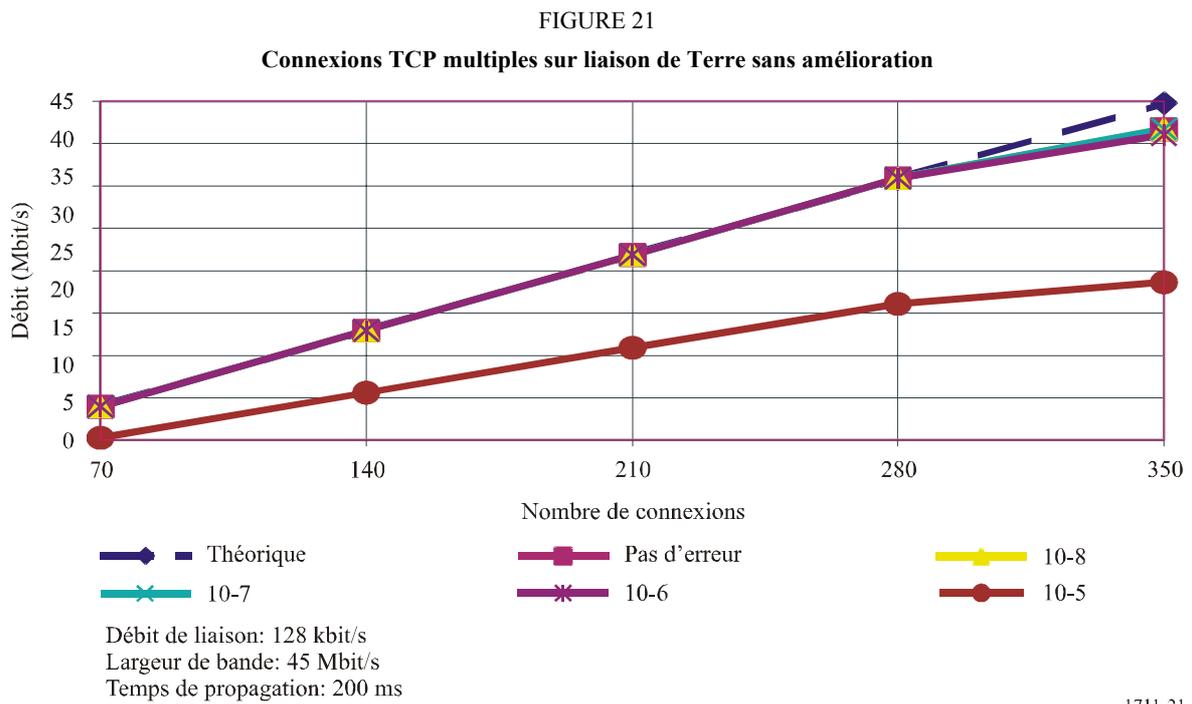
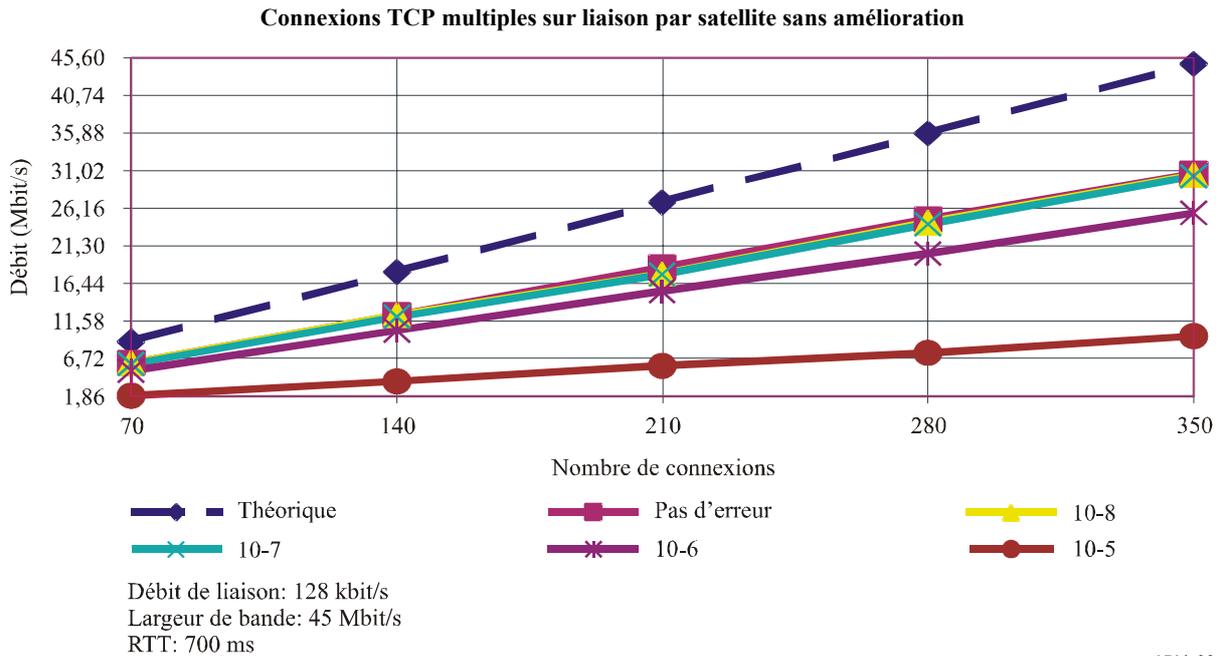


FIGURE 22



1711-22

### 2.3.3.4 Connexions TCP multiples avec amélioration par passerelle de protocole

Les Fig. 23 et 24 illustrent les effets de l'ajout au réseau d'une passerelle de protocole. La Fig. 23 montre le débit total pour un temps de propagation de 200 ms, tandis que la Fig. 24 présente les résultats pour un temps de propagation de 700 ms.

Tant dans le cas d'une liaison de Terre que dans celui d'une liaison par satellite, la passerelle de protocole permet à la connexion d'utiliser la totalité de la largeur de bande disponible. Dans les deux cas, les performances sont essentiellement identiques à la limite théorique pour jusqu'à 280 connexions.

Par rapport au § 2.3.3.3, la passerelle de protocole offre une amélioration de près de 100% du débit total, avec un taux de perte de paquets de 10% (correspondant à un TEB de  $1 \times 10^{-5}$  pour des paquets de 1 500 octets). Pour le réseau à satellite, la passerelle de protocole apporte une augmentation substantielle de la largeur de bande totale à des TEB faibles, et un taux de perte de paquets de 10%, le débit total pour 350 connexions avec la passerelle de protocole est de 33 Mbit/s contre 10 Mbit/s seulement pour le protocole TCP amélioré.

FIGURE 23

**Connexions TCP multiples sur liaison de Terre avec  
amélioration par passerelle de protocole**

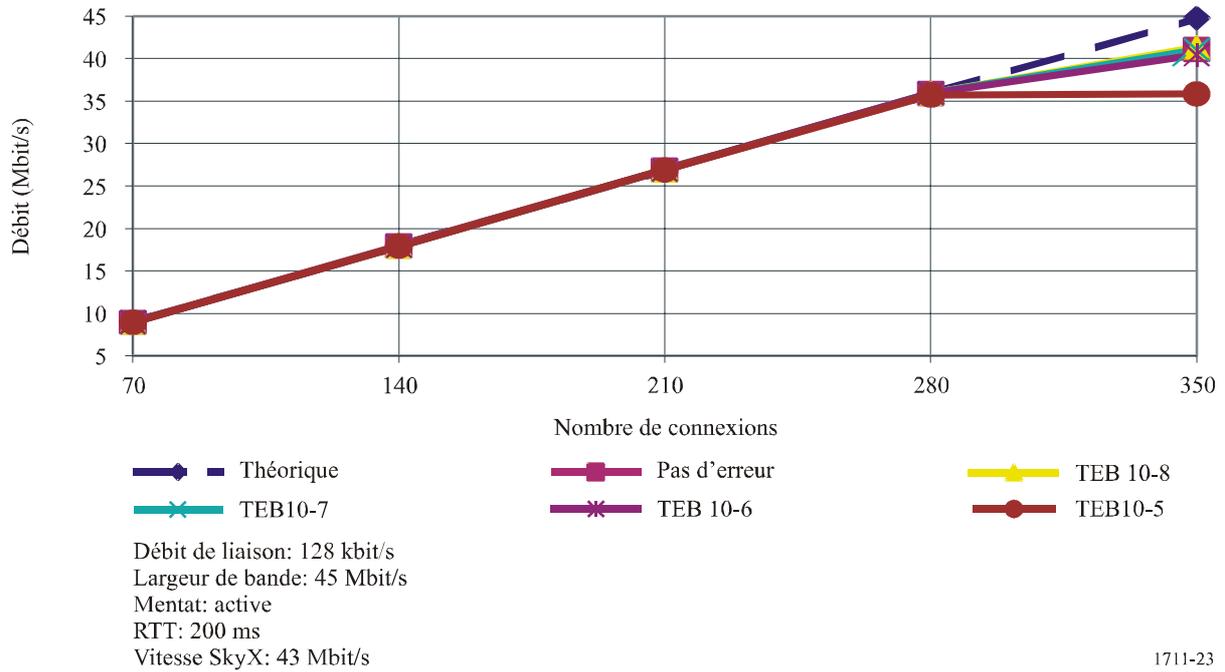
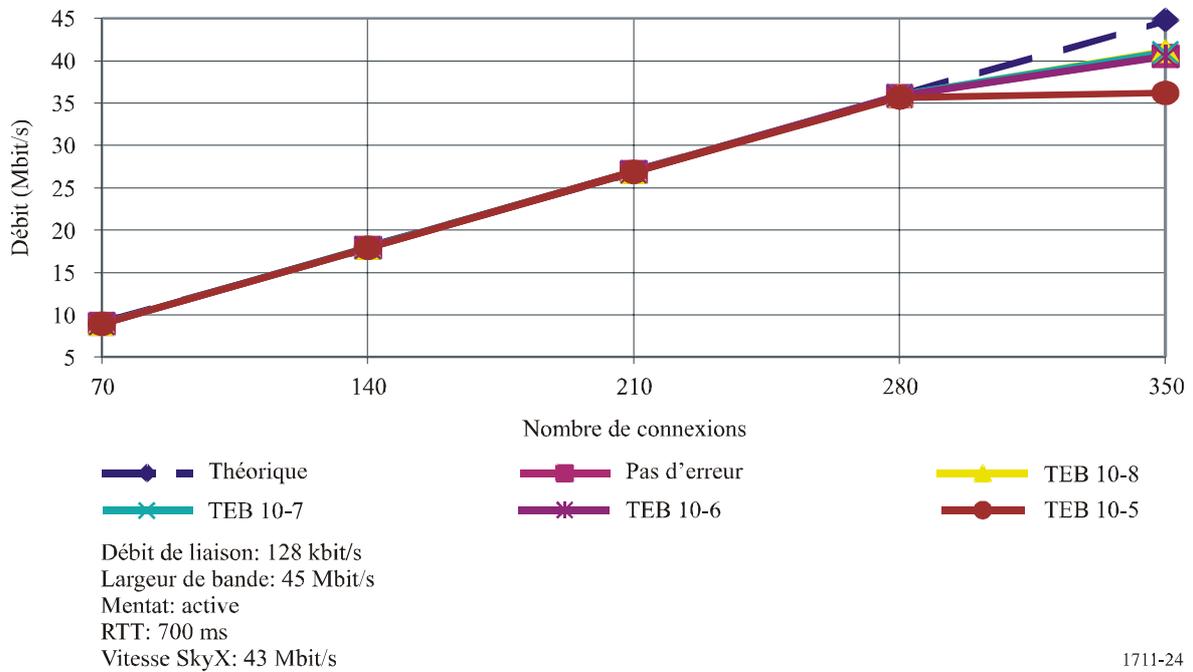


FIGURE 24

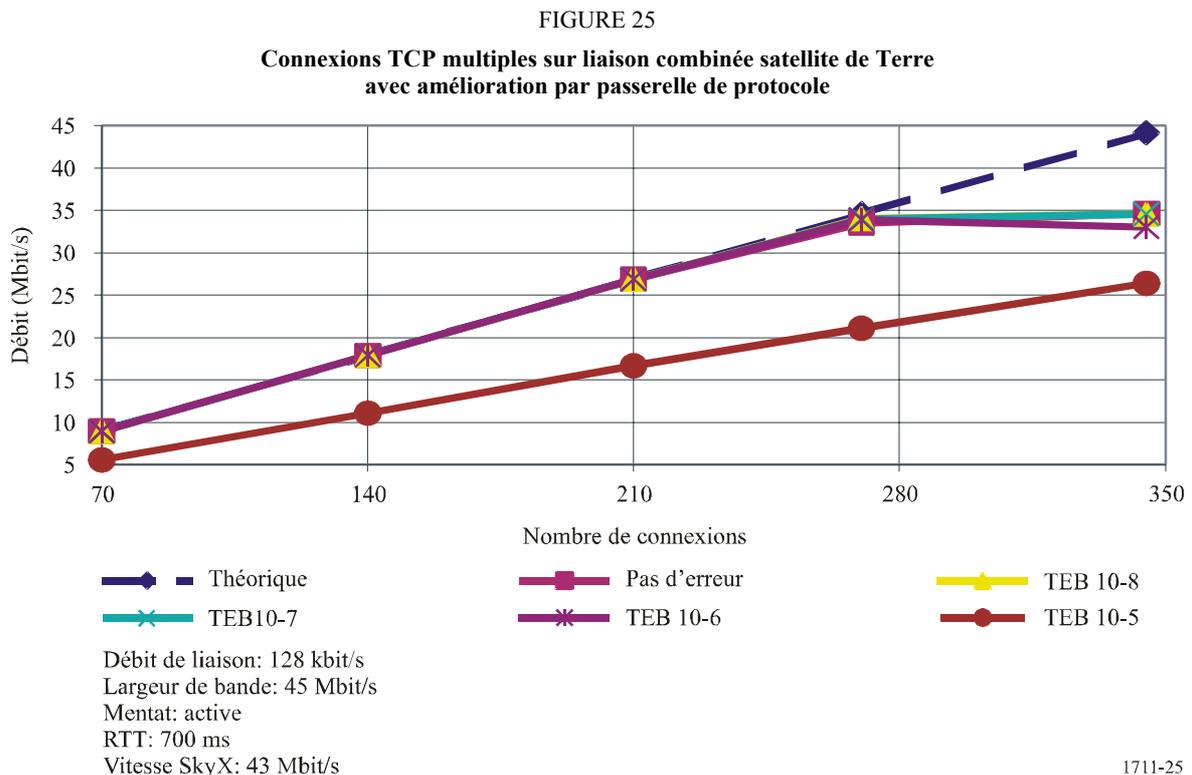
**Connexions TCP multiples sur liaison par satellite avec amélioration  
par passerelle de protocole**



### 2.3.3.5 Connexions TCP multiples avec perte de données de Terre

Pour ce qui est des performances des utilisateurs d'Internet connectés via un ISP relié par satellite, la connexion traversera le bond par satellite, pour ensuite franchir le dorsal Internet et atteindre le serveur. La connexion pourra rencontrer des pertes de données dues à des encombrements sur le dorsal Internet. Pour modéliser plus fidèlement les conditions auxquelles est confronté l'utilisateur final dans le jeu de tests qui suit, on a divisé la connexion en une liaison par satellite sans perte avec un temps de propagation de 500 ms, combinée avec un trajet dorsal ayant un temps de propagation de 200 ms et différents taux d'erreur. Dans ces tests, les passerelles de protocole sont situées des deux côtés de la liaison par satellite. Le protocole TCP standard est utilisé pour la portion de la connexion qui passe par le dorsal entre le serveur et la passerelle de protocole côté serveur.

Comme le montre la Fig. 25, la passerelle de protocole permet à la connexion de maintenir sa pleine vitesse avec très peu de dégradation, excepté à des taux de perte de paquets élevés. Une comparaison de la Fig. 25 avec les Fig. 22 et 24 montre combien la passerelle de protocole est apte à surmonter la latence et les erreurs qui se trouvent sur la liaison par satellite, ainsi que le temps de propagation et l'essentiel de la perte de paquets sur la liaison dorsale.



### 2.3.4 Conclusions

Le résultat de ces tests montre que les systèmes de passerelle de protocole/découpage de connexion peuvent améliorer le débit des porteuses de trafic de type TCP sur les liaisons par satellite dont le temps de propagation est inférieur ou égal à 700 ms. Les tests montrent également que le débit TCP n'est pas affecté tant que le TEB de la liaison est meilleur que  $10^{-7}$ .

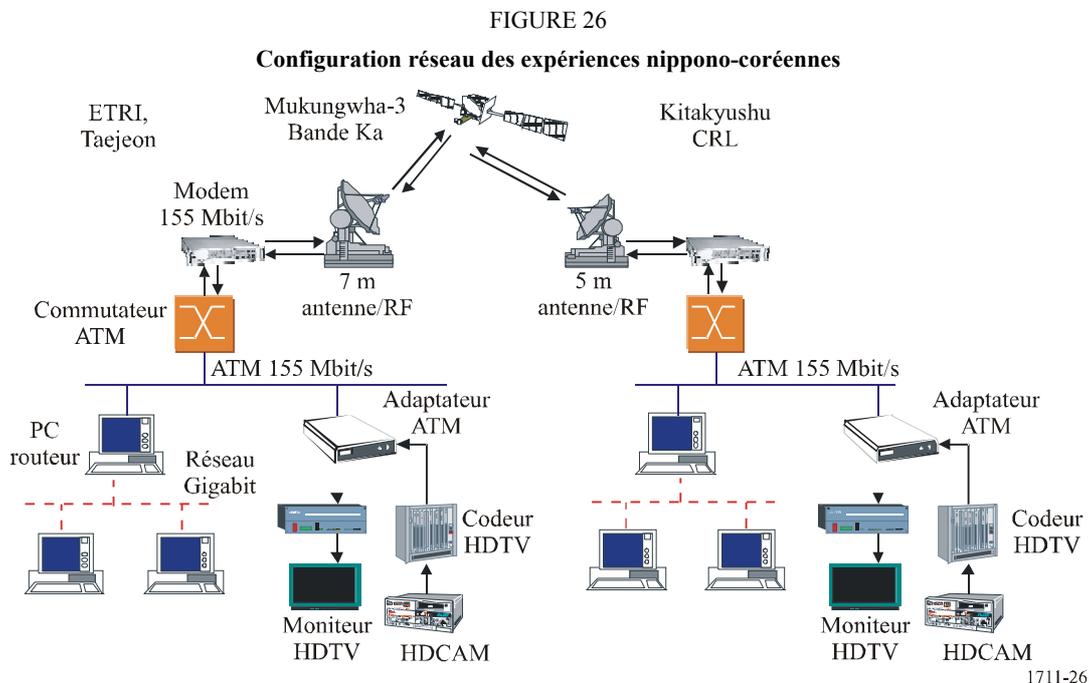
### 3 Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite ATM

Le § 3.1 décrit l'environnement et les configurations d'un réseau expérimental. Le § 3.2 présente les résultats de débit TCP lorsque celui-ci est mesuré sur un réseau à satellite à base d'ATM pur. Le § 3.3 décrit le comportement du protocole TCP lorsque le réseau large bande par satellite à base d'ATM s'interconnecte avec des réseaux de Terre à grande vitesse tels que le gigabit Ethernet. Le § 3.4 résume les conclusions auxquelles conduit cette expérience.

#### 3.1 Configuration du réseau

La Fig. 26 montre les configurations du réseau ATM par satellite grande vitesse nippono-coréen. Pour cette expérience conjointe, deux stations au sol équipées d'une antenne de 7 m et d'une antenne de 5 m ont été installées respectivement à l'ETRI, en Corée, et au CRL, au Japon. Les principales spécifications de la liaison ATM nippono-coréenne par satellite à 155 Mbit/s sont les suivantes:

- Satellite: Mukungwha-3
- Bande de fréquences: liaison montante: 27,5-31 GHz, liaison descendante 17,7-21,2 GHz
- Puissance TWTA maximale: 125 W
- p.i.r.e. normale (Mukungwha-3): 71 dBW
- $G/T$  (site 45°): 32 dB/K (minimum)
- Modulation/démodulation TC-MDP-8
- Codage:  $K = 7$ , 7/8 code de convolution Reed-Solomon
- Débit: 155,52 Mbit/s
- Largeur de bande attribuée: deux voies de 80 MHz.



1711-26

L'ensemble du réseau pourrait être divisé en deux réseaux – un sous-réseau gigabit et un réseau dorsal ATM OC-3 comprenant une liaison par satellite OSG. Les routeurs sur PC dotés à la fois d'une interface vers un réseau gigabit et vers un réseau ATM interconnectent deux réseaux. Le réseau expérimental a été configuré avec des adresses IPv4 et IPv6. Le réseau à satellite basé ATM a été utilisé pour une expérience de transmission MPEG.

Pour deux types d'applications – transmission par Internet et transmission vidéo temps réel, un réseau basé ATM a été mis au point pour l'expérience. Les Fig. 27 et 28 montrent les configurations détaillées et les piles de protocole du réseau expérimental.

FIGURE 27  
Configuration du réseau expérimental

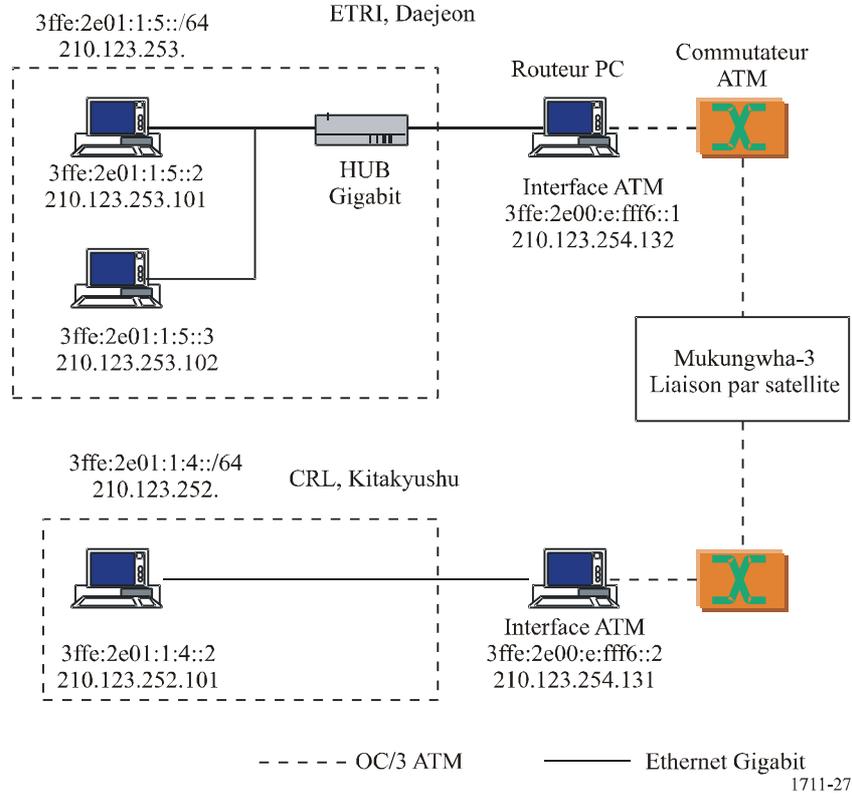
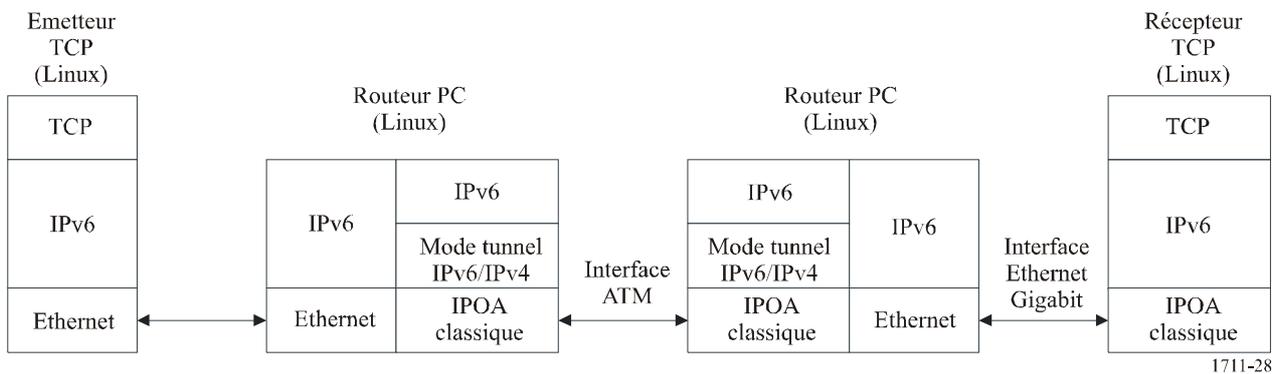


FIGURE 28  
Piles de protocole du réseau expérimental interconnectées via le routeur PC

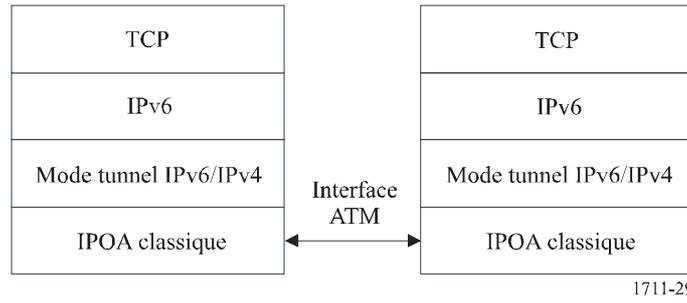


### 3.2 Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite uniquement basé ATM

Tout d'abord, le débit TCP sur un réseau pur ATM à temps de propagation aller-retour par satellite OSG de 540 ms a été mesuré. Le mode tunnel IPv6/IPv4 a été utilisé parce que l'IPv6 dans IP sur ATM n'était pas encore entièrement implémenté. La pile de protocole du mode tunnel IPv6/IPv4 sur réseau à satellite basé ATM est représentée sur la Fig. 29.

FIGURE 29

Pile de protocole du mode tunnel IPv6/IPv4 sur ATM



1711-29

La taille de l'unité de transmission maximale (MTU) dans IP sur ATM est généralement de 9 180 octets. La taille de la MTU dans l'interface du mode tunnel IPv6/IPv4 est de 9 160 octets parce que la taille de l'en-tête IPv4 est de 20 octets. Par conséquent, la taille maximale d'un segment (MSS) est de 9 100 octets (les tailles respectives de l'en-tête d'IPv6 et de l'en-tête TCP sont de 40 et 20 octets). Cependant, lorsque l'option de mise à l'échelle de TCP est utilisée pour agrandir la taille de la fenêtre TCP sur un réseau à satellite basé ATM, la MSS est réduite par les octets de l'option TCP. Lorsque les paquets IP sont encapsulés dans AAL5, il est possible de calculer la largeur de bande théorique maximale. Le nombre d'octets de remplissage nécessaires est le suivant:

$$PAD = 48 - ((8 + 20 + 40 + 20 + 9\ 100 + 8) \text{MOD } 48) = 20$$

Alors, l'utilisation de PDU est la suivante:

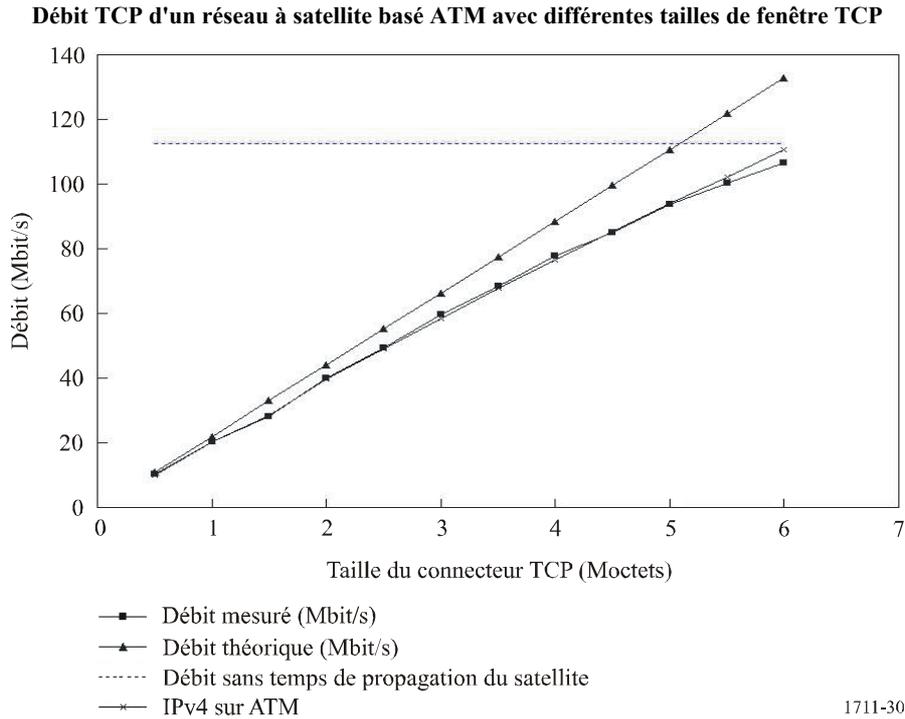
$$\eta = \frac{9\ 100}{(8 + 20 + 40 + 20 + 9\ 100 + 20 + 8)} = \frac{9\ 100}{9\ 224} = 0,986$$

Le débit cellulaire pur de STM-1 est d'environ 149 Mbit/s et la largeur de bande de la charge utile de 48 octets dans les cellules ATM est d'environ 134,94 Mbit/s. Par conséquent la largeur de bande théorique maximale du protocole TCP sur le réseau OC-3 est donnée par la formule:

$$BW_{TCP} = 134,94 \cdot \eta \cong 133,05 \text{ Mbit/s}$$

La Fig. 30 montre le débit TCP avec différentes tailles de connecteur (ou fenêtre) TCP. Lorsque la taille du connecteur TCP était de 6 Moctets, les débits obtenus étaient de 113 Mbit/s avec IPv4 et de 106 Mbit/s avec IPv6. Les performances s'établissaient à 95% des débits sans délai de satellite. Le débit TCP sur un réseau ATM pur avec temps de propagation aller-retour du satellite OSG de 540 ms a ensuite été mesuré.

FIGURE 30

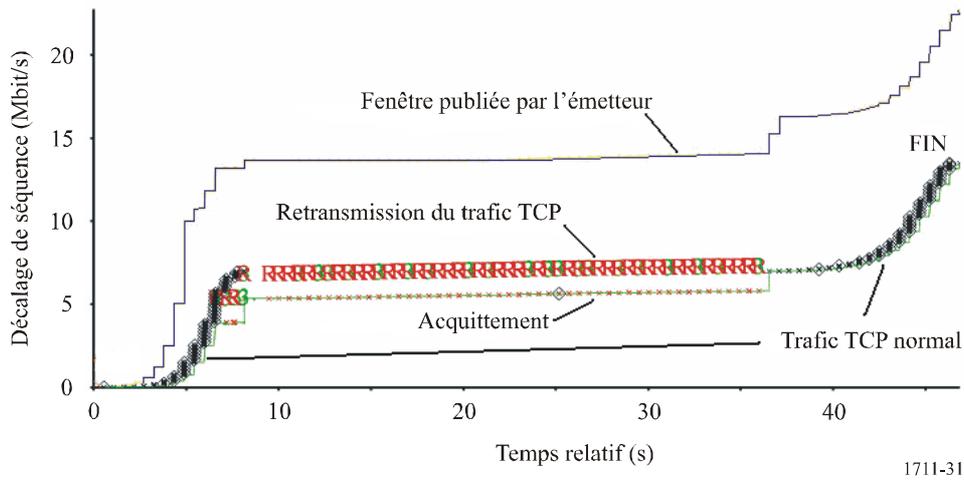


### 3.3 Comportements du protocole TCP sur réseau hétérogène comportant une liaison par satellite

Ensuite, le débit TCP a été mesuré lorsque la source était située sur un sous-réseau gigabit et la destination sur un autre sous-réseau gigabit. Lorsque la taille du connecteur TCP était fixée à environ 6 Moctets sur un réseau dont le temps de propagation du satellite était de 540 ms, le débit maximal était limité à environ 2 et 3 Mbit/s. Cela tient au caractère sporadique du trafic TCP lorsqu'une taille importante de fenêtre TCP est fixée pour permettre un bon débit sur les réseaux éléphants (LFN). Lorsque l'on augmente la taille de la fenêtre TCP pour utiliser toute la bande passante de LFN, le trafic TCP devient sporadique parce que l'interface physique de l'émetteur (autrement dit, gigabit Ethernet) est plus rapide que le dorsal ATM. Le routeur intermédiaire doit être équipé d'une mémoire tampon importante pour empêcher les pertes de paquets. Les routeurs existants ne sont pas équipés de mémoires tampons suffisantes pour permettre une grande taille de fenêtre TCP. Par conséquent, la perte de paquets du routeur intermédiaire dégrade le débit TCP. La Fig. 31 montre le graphique de séquence TCP de l'émetteur TCP. Durant les 8 premières secondes, l'on assiste à un démarrage progressif du protocole TCP. A mesure qu'augmente la taille de la fenêtre TCP, des pertes de paquets se produisent du fait d'un dépassement de capacité de la mémoire tampon du routeur intermédiaire. Ces pertes de paquets donnent lieu à un grand nombre de retransmissions. Le protocole TCP reprend le comportement de démarrage progressif après une période prolongée (environ 27 s plus tard). Ce modèle de transmission (perte et retransmission) se répète et les performances globales du débit TCP se dégradent.

FIGURE 31

Graphe de séquence TCP de la source de trafic TCP

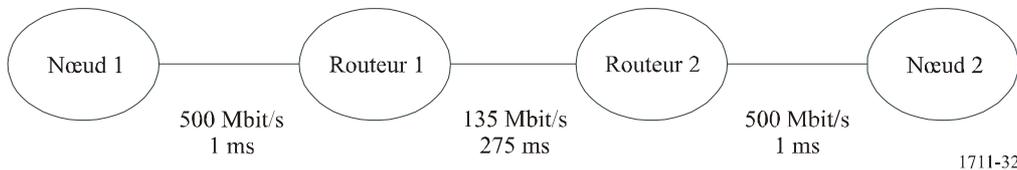


### 3.3.1 Simulation de la taille de la mémoire tampon

La taille de la mémoire tampon du routeur intermédiaire peut être évaluée par calculs et simulation. La configuration du modèle de simulation qui utilise un simulateur de réseau (NS) est représentée sur la Fig. 32. Pour la simulation, la largeur de bande TCP disponible maximale sur le réseau gigabit et le réseau ATM est fixée respectivement à 500 Mbit/s et 135 Mbit/s.

FIGURE 32

Configuration du modèle de simulation



Le temps de propagation du sous-réseau gigabit est négligeable par rapport au temps de propagation du satellite OSG sur la liaison ATM et la MSS d'Ethernet est de 1 430 sous IPv6. Par conséquent, la taille de la fenêtre TCP requise est de:

$$W = \frac{BW \cdot RTT}{8} = \frac{135 \times 10^6 \times 0,540}{8 \times 1430} \cong 6\,374 \text{ paquets}$$

R1 et R2 étant les débits de paquets respectifs du réseau gigabit et du réseau ATM ( $R1 > R2$ ), le taux d'acquittement TCP est fixé par R2 (la liaison la plus basse dans la connexion de bout en bout). Le débit de paquets durant la phase de démarrage progressif est de  $R1 = 2 \times R2$  parce que l'émetteur TCP transmet deux paquets lorsqu'il reçoit un ACK. Si l'on suppose que  $W_{max}$  est la taille maximale de la fenêtre TCP durant le démarrage progressif, le nombre de paquets dans la file d'attente du routeur intermédiaire est donné par la formule:

$$P(t) = [R1 - R2] \cdot t = [2 \cdot R2 - R2] \cdot t = R2 \cdot t$$

$$t = \frac{T}{R2}, 2 \cdot \frac{T}{R2}, 3 \cdot \frac{T}{R2} \dots \leq \frac{W_{max}}{2 \cdot R2}$$

T: heure d'ouverture de la fenêtre TCP pendant le démarrage progressif

Par conséquent, la taille maximale des paquets dans la file d'attente est de:

$$P\left(\frac{W_{max}}{2 \cdot R2}\right) = R2 \cdot \frac{W_{max}}{2 \cdot R2} = \frac{W_{max}}{2}$$

Autrement dit, durant le «démarrage progressif», l'émetteur envoie deux fois le nombre d'ACK qu'il a reçus pendant un temps de propagation aller-retour. La taille requise de la mémoire tampon de la file d'attente du nœud intermédiaire est la moitié de la taille maximale de la fenêtre TCP parce que, durant la première moitié du RTT, le routeur reçoit un débit double de celui qu'il envoie et, par conséquent, il vide le contenu de la file d'attente durant la seconde moitié du RTT. Lorsque la largeur de bande disponible maximale du protocole TCP sur le réseau gigabit et sur le réseau ATM est respectivement de 500 Mbit/s et 135 Mbit/s, théoriquement la taille requise de la mémoire tampon du réseau expérimental est d'environ 3 187 paquets. Les Fig. 33 et 34 sont le fruit d'une simulation réalisée à l'aide de NS-2. La Fig. 33 représente la séquence TCP, l'ACK et le nombre de paquets contenus dans la file d'attente intermédiaire. La Fig. 34 montre le débit TCP durant les 10 premières secondes chez l'émetteur et le récepteur. Le débit maximal est obtenu lorsque la taille de la mémoire tampon TCP est d'environ 6 374 paquets, moment où la taille maximale de la file d'attente du routeur intermédiaire s'établit à 2 279 paquets.

FIGURE 33

Séquence TCP, ACK et taille de la mémoire tampon contenue dans la file d'attente du routeur intermédiaire

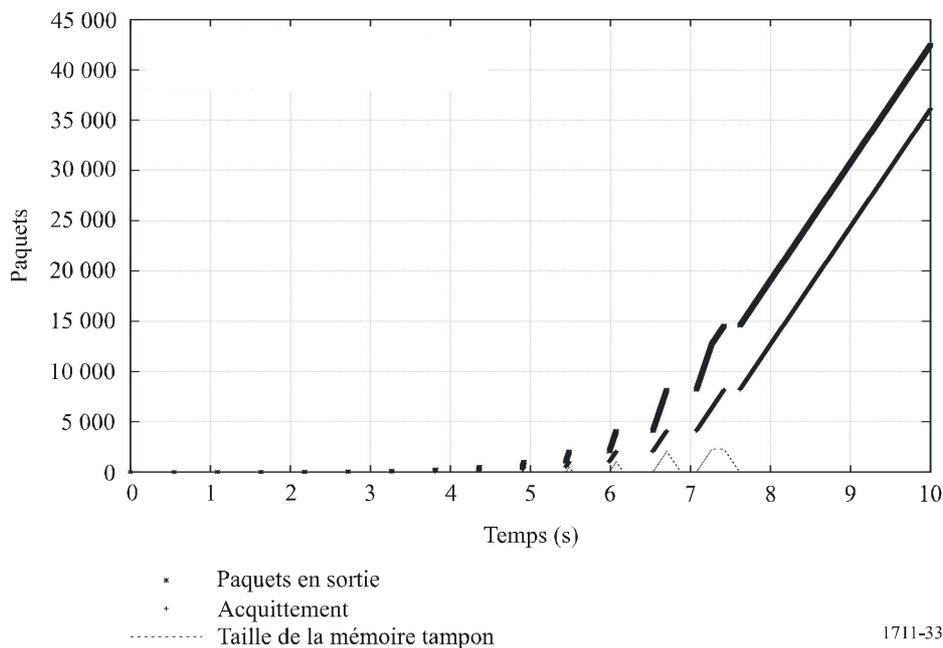
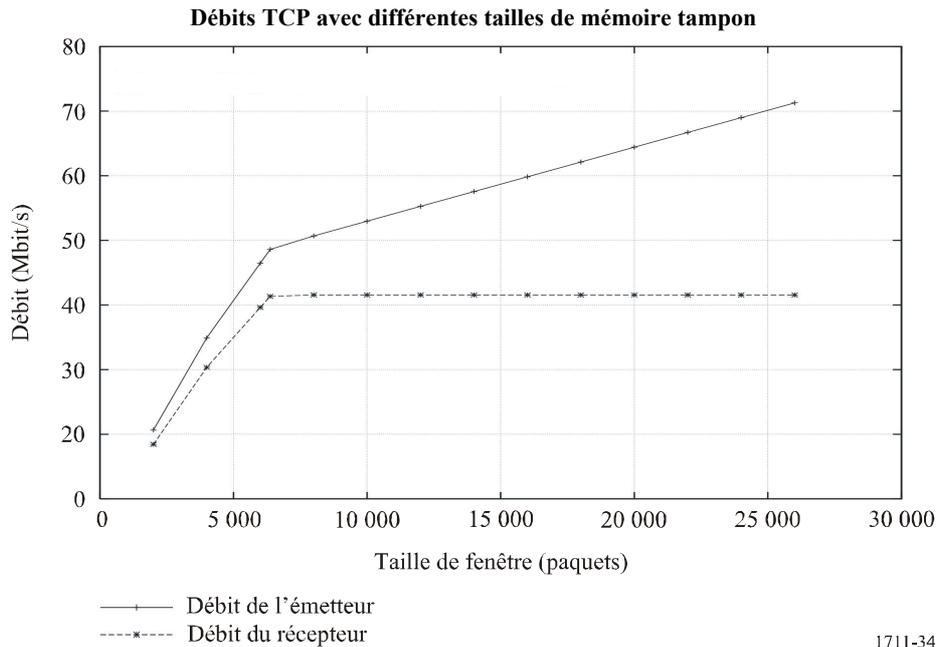


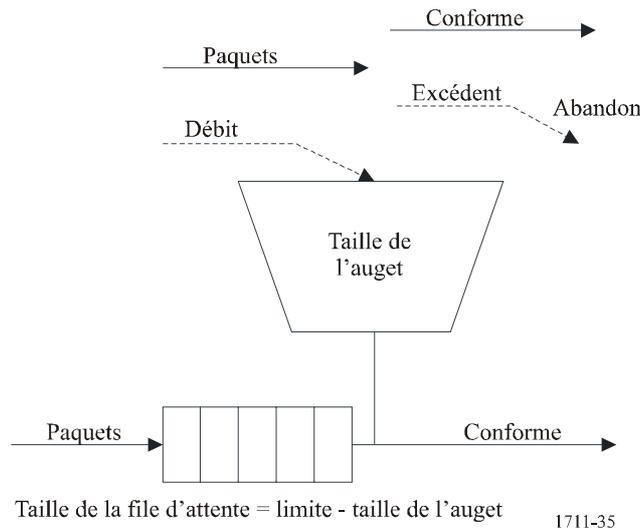
FIGURE 34



### 3.3.2 Performances du protocole TCP avec contrôle du trafic chez l'émetteur TCP

Un mécanisme de régulation du trafic appelé TBF (*token bucket filter*, pris en charge par l'option de gestion de réseau avancée de Linux) a été utilisé. TBF régule les rafales de trafic TCP. La Fig. 35 montre les paramètres de base de la discipline d'établissement de file d'attente de TBF. *Rate (Taux)* est le taux de re-remplissage du seau avec des jetons – il représente le débit moyen d'un flux de trafic. Le paramètre *bucket size (taille de l'auge)* ou *burst size (taille d'une rafale)* représente le nombre de jetons qui peuvent être stockés dans l'auge à jetons. Le paramètre *limit (limite)* est la somme de la taille de l'auge et de la taille de la file d'attente. Si la limite est égale à la taille de l'auge et que la taille de la file d'attente vaut zéro, les paquets non conformes sont rejetés. Le flux est par conséquent contrôlé. Si la limite est supérieure à la taille de l'auge, certains paquets non conformes sont placés en file d'attente.

FIGURE 35  
**Paramètres de base de la discipline d'établissement de file d'attente TBF**



La Fig. 36 montre le débit TCP avec différentes tailles de connecteurs TCP lorsque TBF est utilisé chez l'émetteur TCP avec une taille de fenêtre TCP fixe de 6 Moctets (pour comparaison, le cas où il n'y a pas de temps de propagation du satellite est également présenté). La Fig. 37 montre le débit TCP avec différentes tailles d'augets à jetons. Un auget à jetons de 120-130 kbit/s permet d'optimiser le débit. Lorsque la taille de l'auget est supérieure à 130 Moctets, des pertes de paquets se produisent dans le routeur intermédiaire du fait du caractère sporadique du trafic TCP.

FIGURE 36  
**Débits TCP avec différentes tailles de connecteurs TCP  
 lorsque TBF est utilisé chez l'émetteur TCP**

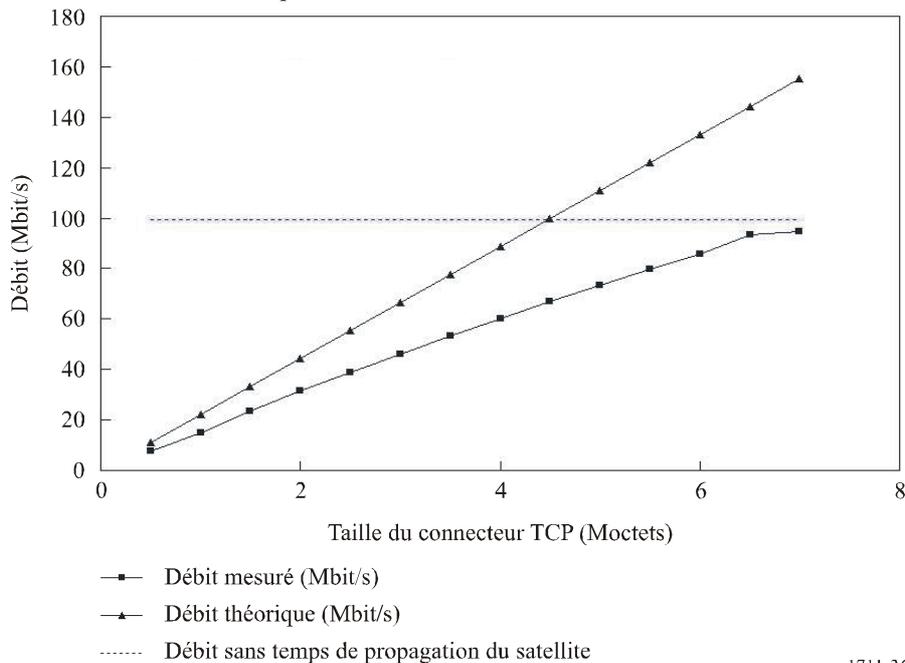
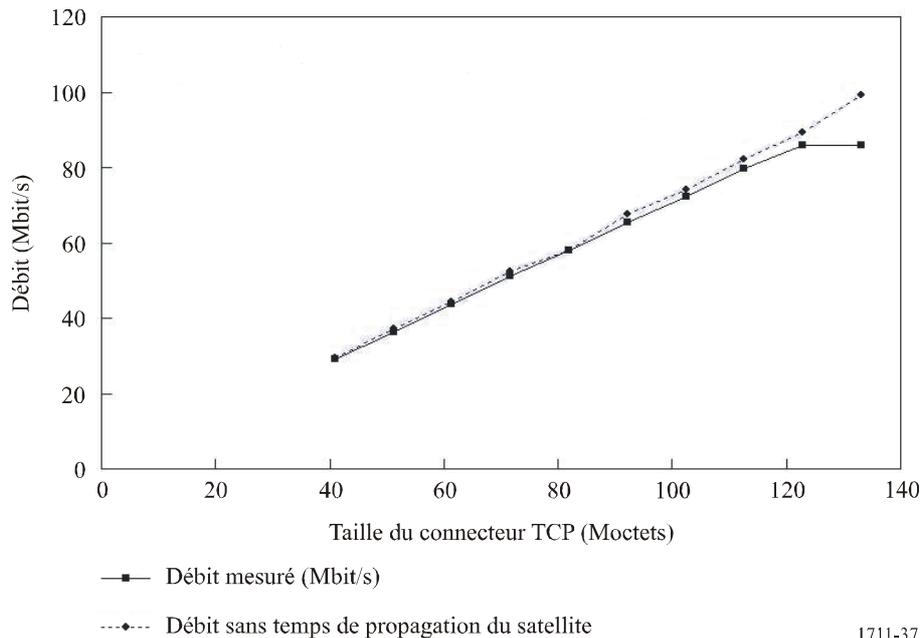


FIGURE 37

## Débits TCP avec différentes tailles d'augets à jetons



1711-37

### 3.4 Conclusions

Le débit TCP a été mesuré et les comportements internes du protocole TCP sur le réseau hétérogène à grande vitesse comportant une liaison par satellite OSG, ont été analysés. Les résultats de l'expérience sont résumés ci-dessous :

- Pour un débit TCP maximum de 155 Mbit/s sur un réseau à satellite, la taille requise du connecteur TCP est d'environ 6 Moctets.
- Lorsque la source TCP se trouve sur un autre support réseau qui est plus rapide que le dorsal à satellite basé ATM, des mécanismes permettant de réduire les rafales de trafic dues à la grande taille de la fenêtre TCP sont nécessaires. Deux solutions peuvent être envisagées: mémoire tampon de grande taille dans les routeurs intermédiaires ou contrôle du trafic sur la source TCP. Pour les mémoires tampons de grande taille sur routeurs intermédiaires, la taille de la mémoire tampon de file d'attente permettant d'empêcher les pertes de paquets dues aux rafales de trafic TCP a été estimée et vérifiée par simulation. Sinon, un mécanisme de contrôle du trafic sur la source TCP a été envisagé: un débit d'environ 95 Mbit/s (autrement dit, 95% du débit maximum sans temps de propagation satellite) a été obtenu.
- L'option de mise à l'échelle de la fenêtre TCP pour les fenêtres TCP de grande taille est l'une des solutions qui permettent d'améliorer les performances du protocole TCP sur les réseaux à temps de propagation long qui comprennent une liaison par satellite OSG. L'utilisation de fenêtres TCP de grande taille sur un réseau à temps de propagation long relève le débit jusqu'à environ 90% du maximum théorique. Mais la fenêtre TCP de grande taille génère des rafales de trafic en un temps court. Particulièrement dans le cas d'un réseau hétérogène composé de différents supports physiques et de différents protocoles de commande liaison-couche, les pertes de paquets sur le routeur intermédiaire sont importantes du fait des rafales de trafic. Pour éviter cette situation, le concepteur du réseau devrait envisager des solutions possibles et les vérifier par l'expérience.

#### 4 Performances du protocole TCP sur les réseaux d'accès par satellite

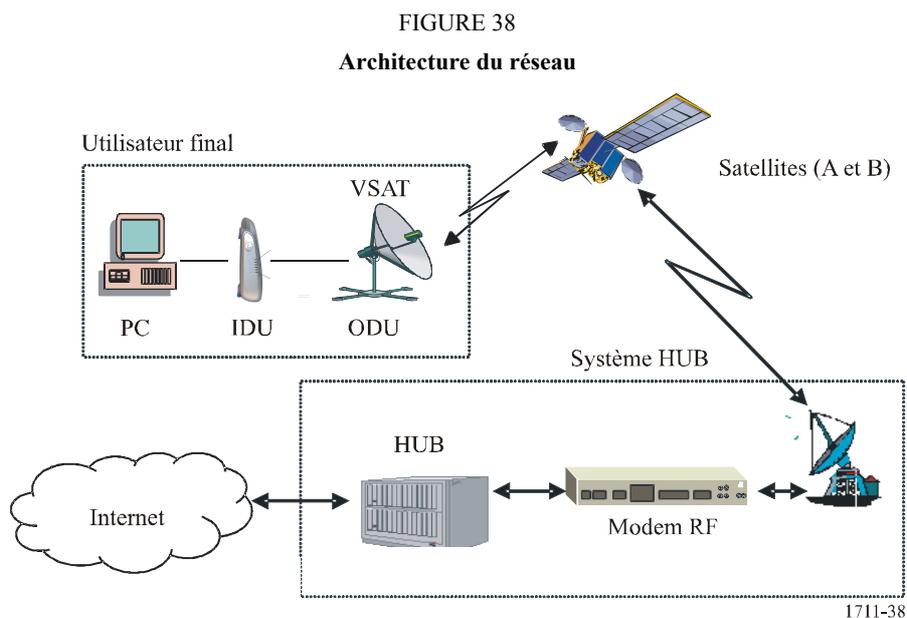
On trouvera ci-après les résultats des tests menés par Star One, société brésilienne de télécommunications par satellite. Le § 4.1 décrit l'architecture de réseau utilisée dans les tests. Le § 4.2 indique les mesures de performance du système effectuées en utilisant le découpage en trois segments, ainsi que les performances.

Les acquittements locaux du HUB et de la VSAT permettent d'améliorer les performances du protocole TCP en éliminant les limitations liées à l'utilisation d'une fenêtre. Les acquittements locaux éliminent le mécanisme de «démarrage progressif» et améliorent l'efficacité du débit TCP. La compression des en-têtes d'IP utilisée dans ce test réduit le temps système et accroît l'efficacité.

#### 4.1 Architecture du réseau et configuration

##### 4.1.1 Architecture du réseau

L'architecture du système englobe un HUB avec flux DVB-S (sortant) et liaison inversée propriétaire (entrante). Le HUB central est connecté à un dorsal Internet. La Fig. 38 montre l'architecture du système utilisé pour obtenir les données de performances.



#### 4.1.2 Configuration

##### 4.1.2.1 Caractéristiques de la VSAT et du satellite

Les deux satellites OSG fonctionnent dans la plage comprise entre 14 068 kHz et 14 214 kHz (liaison montante) et entre 11 774 kHz et 11 919 kHz (liaison descendante).

Chaque plate-forme utilisée comporte une liaison avant (sortante) de 48 Mbit/s et 140 voies de transmission retour (entrantes) de 76,8 kbit/s.

Cela forme trois groupes (Groupe 1, Groupe 2 et Groupe 3) qui utilisent deux satellites différents (satellite A et satellite B) dans la bande de fréquences 14/11 GHz avec un total de 8 000 VSAT installées sur le territoire du Brésil. Le RTT considéré est de 800 ms.

Les caractéristiques des groupes sont indiquées ci-dessous:

Groupe 1 (Satellite A) – divisé en 3 processeurs de satellite de concentrateurs (HSP) avec environ 1 200 VSAT.

Groupe 2 (Satellite A) – divisé en 3 processeurs de satellite de concentrateurs (HSP) avec environ 3 200 VSAT.

Groupe 3 (Satellite B) – divisé en 4 processeurs de satellite de concentrateurs (HSP) avec environ 3 600 VSAT.

Les caractéristiques des VSAT sont données dans le Tableau 14 ci-dessous. Les différents rapports  $E_b/N_0$  nécessaires sur la liaison sortante sont donnés dans le Tableau 15.

TABLEAU 14  
Caractéristiques des VSAT

Groupe utilisé	Taille de l'antenne	Puissance SSPA	Débit entrant maximum	Débit sortant maximum (sortant)
1, 2 et 3	0,96 m	1 W	50 kbit/s	320 kbit/s

TABLEAU 15  
Caractéristiques de la liaison sortante

Rapports CED	Mode DVB-S
	Minimal $E_b/N_0$ (dB)
1/2	4,5
2/3	5,0
3/4	5,5
5/6	6,0
7/8	6,4

#### 4.1.2.2 Protocoles

Le protocole utilisé sur la liaison montante du HUB vers la VSAT (sortante) est un flux de transport MPEG-2 sur DVB-S. Les paquets IP sont encapsulés, multiplexés et modulés dans le HUB, comme indiqué sur les Fig. 39 et 40.

FIGURE 39  
MPEG sur DVB-S

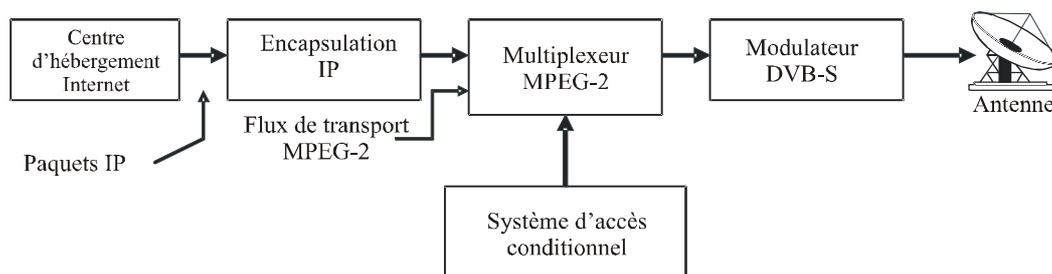
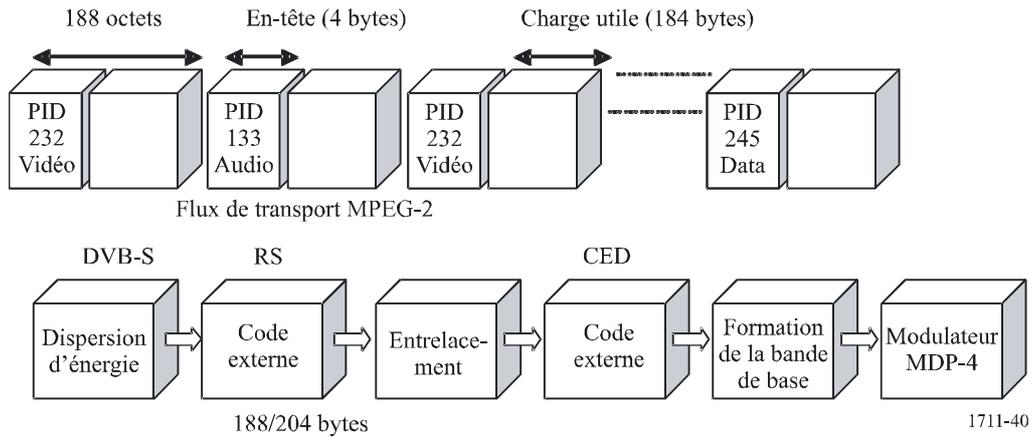


FIGURE 40

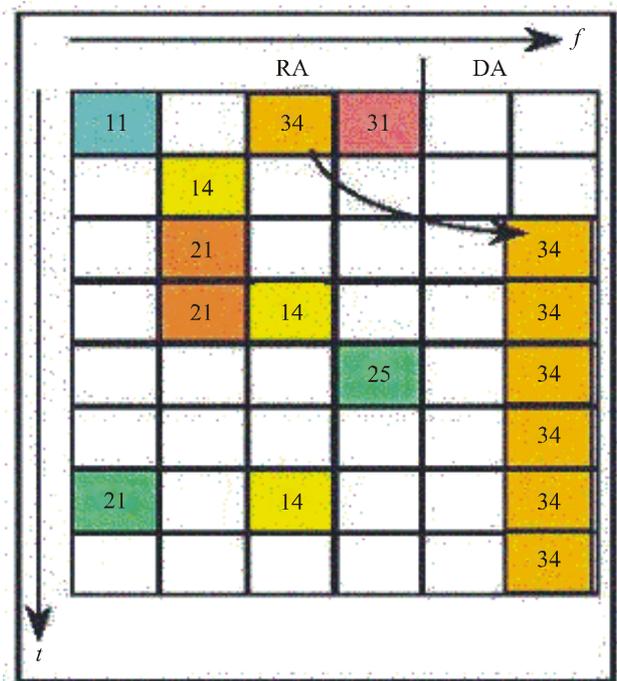
Flux de transport MPEG



Les voies de transmission inverses (liaison entrante) sont des voies de transmission MF-AMRT, divisées en voies de transmission à accès aléatoire (RA) et voies de transmission à accès réservé (DA), comme cela est décrit sur la Fig. 41.

FIGURE 41

Voies de transmission inverses



1711-41

4.2 Résultats des mesures de performances

La mesure de disponibilité a couvert les Groupes 1, 2 et 3. La mesure du débit et du trafic, quant à elle, n'a couvert que les Groupes 2 et 3.

### 4.2.1 Disponibilité

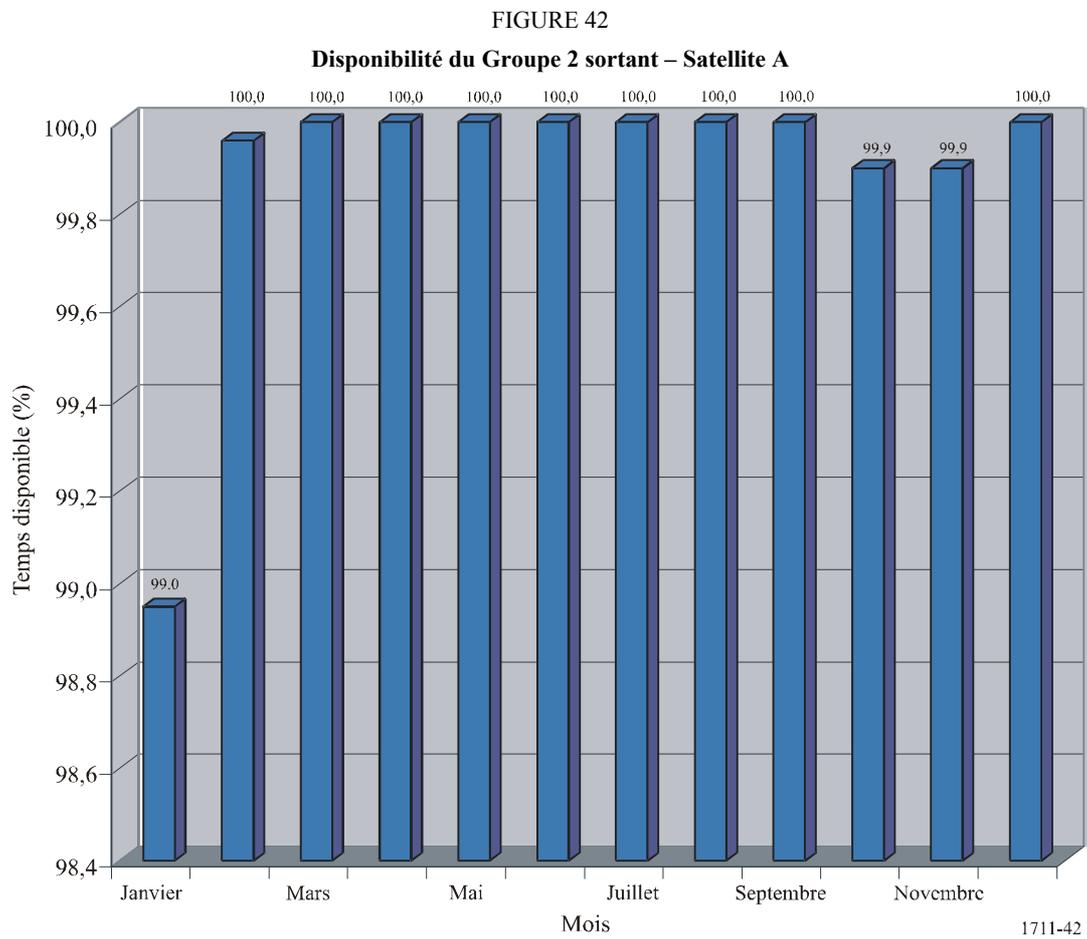
Le Tableau 16 montre la disponibilité de chaque groupe et la disponibilité ou l'indisponibilité du système provoquée par la pluie ou d'autres intempéries, durant chaque mois de l'année 2003.

TABLEAU 16  
Disponibilité du système sortant

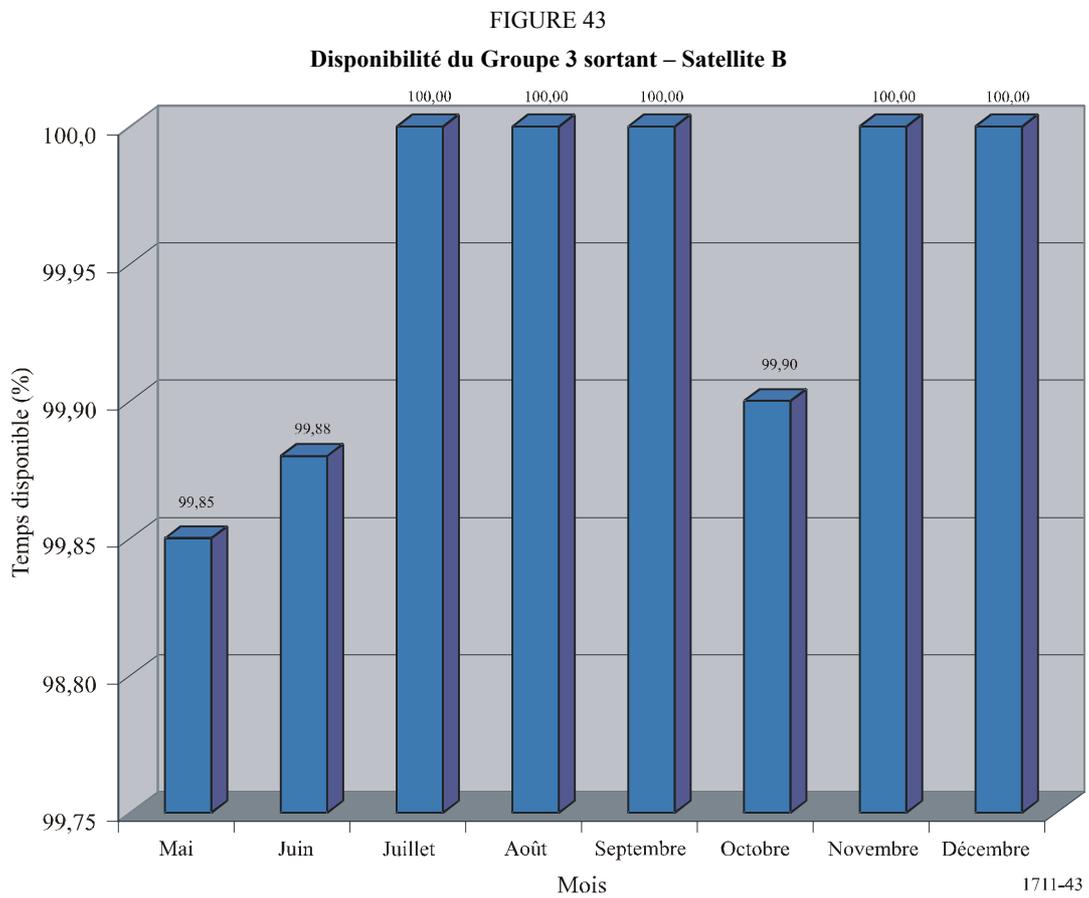
Mois	Groupes			Système			
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Disponibilité (pluie, scintillation, etc.)	Indisponibilité (pluie, scintillation, etc.)	Indisponibilité (pluie, scintillation, etc.)/h (de mois en mois)	Indisponibilité (pluie, scintillation, etc.)/h (de mois en mois)
Janvier	100,0	99,0	N/D	98,6	1,4	10,416	733,584
Février	100,0	100,0	N/D	98,9	1,1	7,392	664,608
Mars	99,9	100,0	N/D	99,8	0,2	1,488	742,512
Avril	100,0	100,0	N/D	100,0	0,0	0,000	744,000
Mai	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	720,000
Juin	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
Juillet	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
Août	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	744,000
Septembre	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
Octobre	99,9	99,9	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
Novembre	100,0	99,9	100,0	99,9	0,1	0,720	719,280
Décembre	100,0	100,0	100,0	99,9	0,1	0,744	743,256
Moyenne pour l'année	100,0	99,9	100,0	99,8	0,2	1,730	728,270

N/D: non disponible

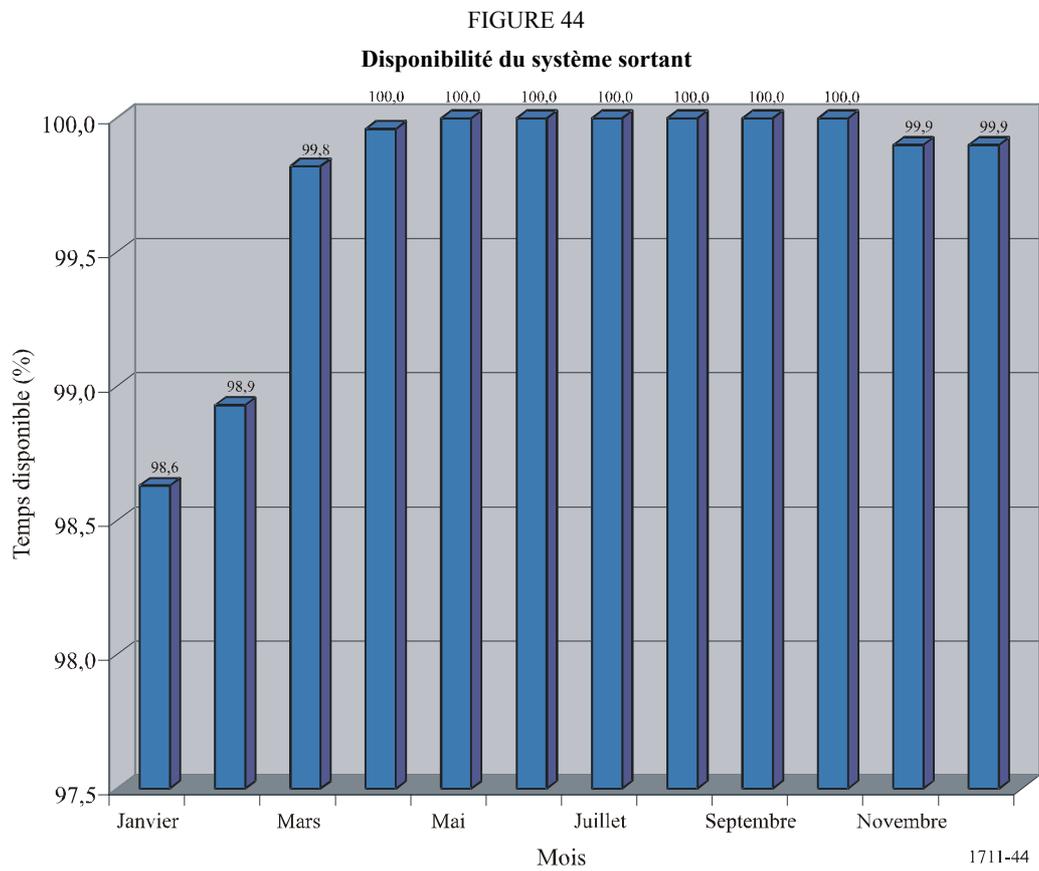
La Fig. 42 montre uniquement la disponibilité du Groupe 2 qui utilise 3 200 VSAT et le satellite A par suite de la pluie et des autres intempéries de chaque mois de l'année 2003.



La Fig. 43 montre uniquement la disponibilité du Groupe 3 qui utilise 3 200 VSAT et le satellite B par suite de la pluie et des autres intempéries des mois de mai à décembre 2003.



La Fig. 44 montre la disponibilité du système sortant (8 000 VSAT) qui utilise les satellites A et B par suite de la pluie et des autres intempéries de chaque mois de l'année 2003.



#### 4.2.2 Débit

Le Tableau 17 montre les débits du Groupe 2 et de son HSP respectif. Environ 200 mesures ont été effectuées chaque jour de février 2004. Le débit maximum est de 319,11 kbit/s.

TABLEAU 17  
Débit moyen du Groupe 2

Date de référence (Février 2004)	Valeur moyenne (kbit/s)			
	Groupe 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
01/02/04	314,14	314,96	313,13	314,32
02/02/04	307,66	314,31	303,18	305,49
03/02/04	306,35	312,83	303,72	302,51
04/02/04	306,85	313,92	303,61	303,02
05/02/04	304,75	308,57	303,19	302,48
06/02/04	303,58	306,76	305,28	298,70
07/02/04	310,87	311,00	309,50	312,10
08/02/04	314,78	316,82	311,92	315,60
09/02/04	303,58	305,23	304,28	301,23
10/02/04	302,13	304,34	301,11	300,93
11/02/04	302,33	304,77	299,06	303,16
12/02/04	313,03	312,16	316,88	310,04
13/02/04	306,89	304,71	312,99	302,97
14/02/04	311,65	311,76	316,49	306,69
15/02/04	319,11	317,44	321,36	318,52
16/02/04	305,80	307,72	309,28	300,40
17/02/04	313,06	313,62	316,66	308,90
18/02/04	306,48	305,78	310,73	302,93
19/02/04	312,25	304,46	308,19	324,09
20/02/04	303,92	304,96	305,54	301,26
21/02/04	311,64	313,07	311,59	310,25
22/02/04	314,45	316,07	312,51	314,77
23/02/04	311,23	312,86	310,76	310,08
24/02/04	312,89	313,44	313,04	312,19
25/02/04	306,45	307,98	304,75	306,63
26/02/04	303,26	304,03	301,08	304,68
27/02/04	304,36	306,54	304,20	302,35
28/02/04	312,95	314,71	313,99	310,15
29/02/04	313,78	314,66	313,43	313,26

Le Tableau 18 montre les débits du Groupe 3 et de son HSP respectif. Environ 200 mesures ont été effectuées chaque jour du mois de février 2004. Le débit maximum est de 262,35 kbit/s.

TABLEAU 18  
Débit du Groupe 3

Date de référence	Valeur moyenne (kbit/s)				
	Groupe 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
01/02/04	255,55	250,85	256,56	263,72	263,72
02/02/04	253,18	244,96	252,73	267,17	267,17
03/02/04	248,84	242,61	248,14	261,28	261,28
04/02/04	247,09	241,08	245,35	255,85	255,85
05/02/04	250,08	245,11	247,89	263,84	263,84
06/02/04	247,32	240,75	244,80	259,46	259,46
07/02/04	249,72	243,19	247,17	267,40	267,40
08/02/04	249,80	242,75	249,98	266,99	266,99
09/02/04	253,24	244,22	248,74	274,18	274,18
10/02/04	247,89	237,55	245,33	267,71	267,71
11/02/04	253,98	247,96	252,15	266,42	266,42
12/02/04	254,68	246,75	253,03	272,60	272,60
13/02/04	254,59	248,29	252,55	266,69	266,69
14/02/04	262,35	256,94	259,45	282,42	282,42
15/02/04	256,41	250,58	256,43	270,07	270,07
16/02/04	256,46	248,50	256,95	265,66	265,66
17/02/04	256,73	247,34	256,32	270,59	270,59
18/02/04	252,14	244,07	249,90	266,22	266,22
19/02/04	253,13	246,87	253,71	264,87	264,87
20/02/04	250,83	243,26	244,38	270,81	270,81
21/02/04	256,81	256,27	252,30	264,39	264,39
22/02/04	254,83	253,47	254,08	263,59	263,59
23/02/04	258,27	251,77	256,24	275,64	275,64
24/02/04	259,50	256,27	254,82	276,89	276,89
25/02/04	252,52	246,91	247,29	267,84	267,84
26/02/04	246,89	246,56	245,30	250,36	250,36
27/02/04	243,98	240,79	241,94	249,46	249,46
28/02/04	254,07	246,89	249,99	270,75	270,75
29/02/04	257,48	252,96	256,60	272,69	272,69

### 4.2.3 Trafic

Le Tableau 19 montre le trafic entrant total du Groupe 2 mesuré chaque jour du mois de février 2004.

TABLEAU 19  
Trafic du Groupe 2

Date de référence	Trafic total par jour (goctets)			
	Groupe 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
01/02/04	4,158	3,787	4,198	4,488
02/02/04	7,566	7,052	8,095	7,552
03/02/04	7,346	7,568	7,059	7,412
04/02/04	7,241	7,302	6,575	7,844
05/02/04	7,160	6,925	7,050	7,505
06/02/04	7,483	7,031	7,978	7,440
07/02/04	4,582	4,001	4,269	5,476
08/02/04	3,648	3,303	3,801	3,840
09/02/04	7,243	7,187	7,635	6,906
10/02/04	7,418	6,823	7,754	7,676
11/02/04	6,979	7,322	6,619	6,996
12/02/04	7,650	7,267	7,972	7,712
13/02/04	7,050	6,759	6,995	7,396
14/02/04	4,660	4,348	4,131	5,500
15/02/04	3,729	3,339	3,849	3,998
16/02/04	7,438	6,639	7,681	7,993
17/02/04	7,295	6,600	7,337	7,947
18/02/04	6,911	6,977	6,817	6,939
19/02/04	7,137	6,618	7,192	7,600
20/02/04	7,158	6,240	7,570	7,666
21/02/04	4,698	4,521	5,250	4,324
22/02/04	3,558	3,146	3,899	3,629
23/02/04	4,873	4,442	5,420	4,758
24/02/04	4,212	3,920	4,059	4,658
25/02/04	6,351	5,895	7,072	6,086
26/02/04	7,020	6,205	7,200	7,654
27/02/04	7,452	7,069	7,971	7,317
28/02/04	4,309	3,999	4,045	4,882
29/02/04	3,961	3,638	4,733	3,513

Le Tableau 20 montre le trafic entrant total du Groupe 3 mesuré chaque jour du mois de février 2004.

TABLEAU 20  
Trafic du Groupe 3

Date de référence	Trafic total par jour (goctets)				
	Groupe 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
01/02/04	3,106	3,822	2,920	3,677	2,004
02/02/04	6,159	7,339	5,982	7,229	4,084
03/02/04	5,411	6,684	4,441	7,009	3,510
04/02/04	6,334	7,370	6,105	7,530	4,330
05/02/04	5,926	7,060	6,002	6,903	3,739
06/02/04	3,738	3,769	4,280	4,239	2,663
07/02/04	2,642	3,374	2,677	2,633	1,885
08/02/04	4,649	5,895	4,378	5,769	2,555
09/02/04	6,317	7,440	5,840	7,537	4,452
10/02/04	5,403	6,229	5,175	6,431	3,777
11/02/04	6,042	6,971	5,171	7,459	4,566
12/02/04	5,797	6,449	5,532	6,927	4,279
13/02/04	3,757	3,637	4,035	4,730	2,624
14/02/04	3,052	2,790	2,984	4,229	2,208
15/02/04	5,865	6,723	5,203	7,058	4,477
16/02/04	5,052	6,445	3,839	5,812	4,113
17/02/04	5,983	6,939	5,309	7,486	4,199
18/02/04	5,730	6,297	4,864	7,332	4,428
19/02/04	5,996	7,087	5,427	7,231	4,238
20/02/04	3,948	3,699	3,919	4,534	3,640
21/02/04	2,792	3,269	2,391	2,935	2,574
22/02/04	4,155	4,041	4,269	4,330	3,978
23/02/04	3,146	3,163	3,172	3,530	2,721
24/02/04	5,264	5,228	5,360	6,264	4,204
25/02/04	6,081	6,896	5,658	6,630	5,142
26/02/04	6,202	6,964	6,342	7,218	4,282
27/02/04	3,707	3,528	4,133	4,308	2,860
28/02/04	3,167	3,193	2,918	3,857	2,702

## 5 Mesures des protocoles d'application (FTP et HTTP)

L'ETRI en Corée et le CRL au Japon ont entamé leur expérience commune de communication par satellite à haut débit en 2000. Deux applications classiques du protocole TCP – FTP et HTTP – ont été testées sur une réseau à satellite basé ATM. La transmission de FTP et HTTP s'est faite au moyen d'un satellite MUKUNGWHA-3 dans la bande Ka.

Le § 5.1 décrit la configuration du réseau pour l'expérience. Le § 5.2 présente les résultats expérimentaux des tests menés avec le serveur FTP. Le § 5.3 présente rapidement le serveur HTTP et donne les résultats expérimentaux des tests menés avec ce dernier. Le § 5.4 résume les conclusions.

### 5.1 Configuration du réseau à satellite ATM

La Fig. 45 montre les configurations du réseau à satellite ATM grande vitesse nippono-coréen. Pour cette expérience conjointe, deux stations terriennes équipées d'une antenne de 7 m et d'une antenne de 5 m ont été installées respectivement à l'ETRI (Corée), et au CRL (Japon). Pour obtenir les principales spécifications du réseau à satellite ATM nippono-coréen, voir le § 3.2.

Le serveur FTP et HTTP a été installé au CRL sur un PC Linux. Le serveur était directement relié au réseau ATM. A l'ETRI, deux PC clients utilisant respectivement Windows 2000 et Linux ont été installés. Ils étaient reliés à un routeur PC équipé de deux interfaces réseau: ATM et gigabit Ethernet. Un sous-réseau gigabit et un serveur étaient interconnectés à l'aide du réseau à satellite basé ATM.

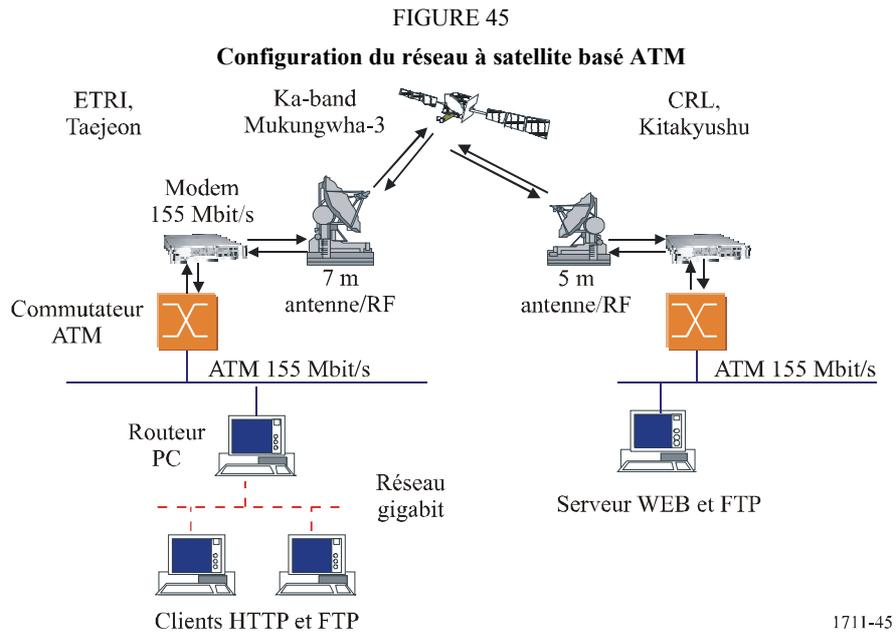
Pour l'expérience FTP, NCFTP 3.0 servait de client FTP et WUFTPD 2.6.1 de serveur. WUFTPD permet de définir la taille maximale de la fenêtre TCP à la valeur du système d'exploitation. NCFTP implémente l'option de mise à l'échelle de la fenêtre TCP.

Pour l'expérience HTTP, Apache 1.3.12 a été utilisé comme serveur web sous Linux. La taille de la fenêtre TCP a été définie à 10 M octets. Pour pouvoir surveiller le fonctionnement interne et les performances de HTTP 1.0 et HTTP 1.1, deux navigateurs web ont été utilisés: Netscape 4.77 version Linux pour HTTP 1.0, Webbot 5.2.8 du W3C pour HTTP 1.1. Lorsque des pages web étaient récupérées à la demande du client, tous les paquets transférés étaient captés côté client à l'aide de tcpdump, puis posttraités à l'aide d'un module HTTP tcptrace. Cinq pages web types ont été utilisées dans le cadre de l'expérience HTTP. Elles sont décrites dans le Tableau 21.

TABLEAU 21

#### Informations relatives aux pages web

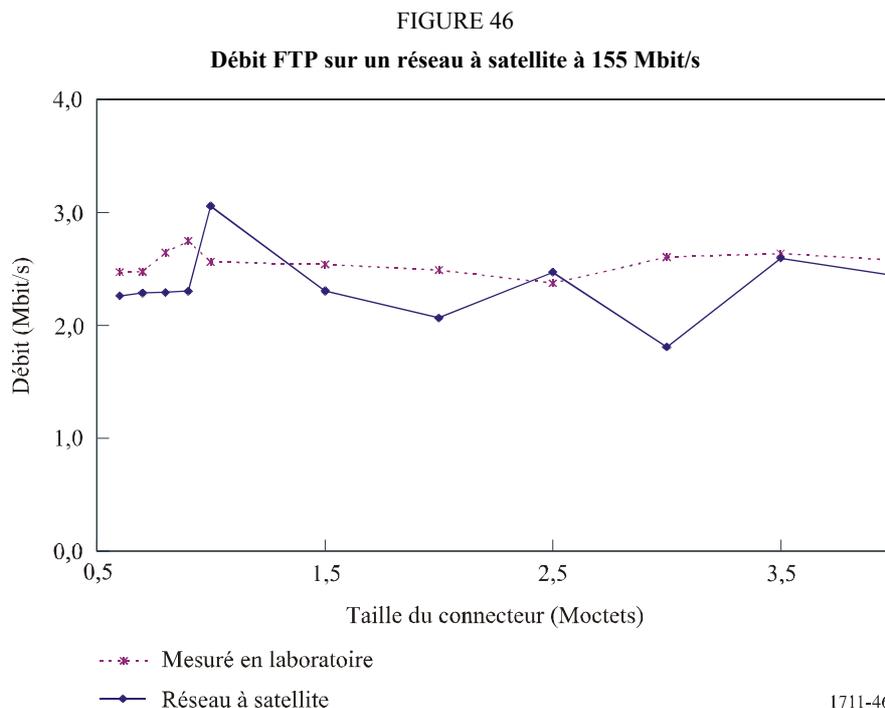
Page web	Nombre d'éléments	Taille de la page (octets)
China2008	30	212 207
CRL	21	80 333
FIFA	33	176 105
LionKing	16	393 672
RBLAB	8	72 103



1711-45

## 5.2 Débit FTP sur liaison par satellite OC-3

L'objectif était de mesurer le débit d'une connexion FTP sur une liaison par satellite basé ATM. Pour faciliter la comparaison, le débit FTP sur une liaison 155 Mbit/s sans temps de propagation du satellite a également été mesuré: un débit de 118,32 Mbit/s a été obtenu avec une taille de connecteur TCP de 64 koctets (autrement dit, 87,5% du débit théorique). Si l'on suppose une taille de fichier d'environ 92,1 Mcoctets, le débit FTP après changement de la taille de la mémoire tampon du connecteur TCP a été mesuré. La Fig. 46 montre le débit FTP en utilisant une liaison par satellite simulée ou réelle.

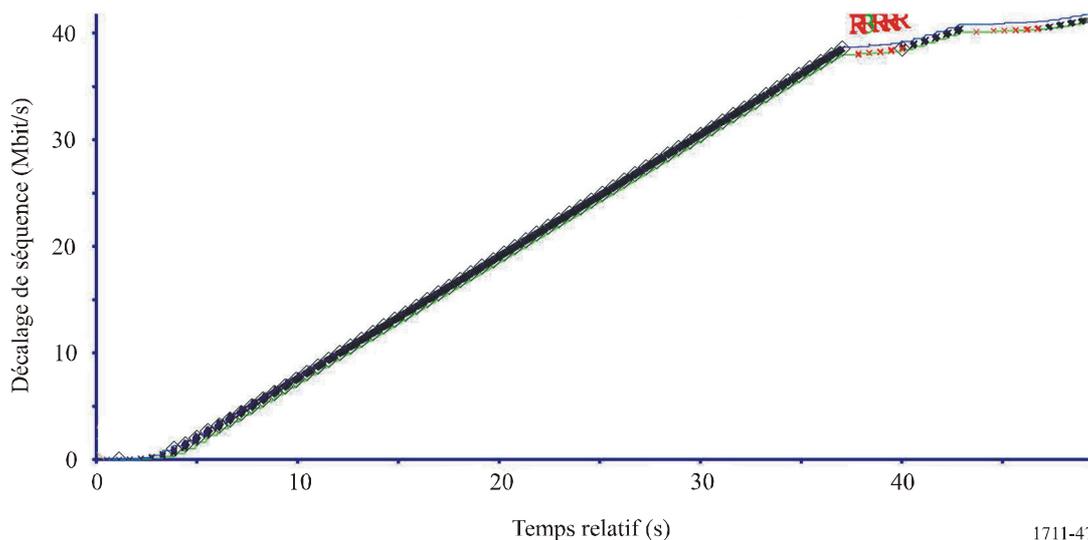


1711-46

Dans le cas de FTP, de nombreux facteurs affectent les performances de débit, notamment l'utilisation de la CPU, les E/S du disque et l'affectation de la mémoire interne aux pilotes de réseau et aux pilotes de disque. Les Fig. 47 et 48 montrent respectivement des graphiques de séquence de temps TCP et de fenêtre d'encombrement TCP pour une taille de mémoire tampon de connecteur TCP de 1 Moctet. Pendant les 38 premières secondes, le transfert de fichier se fait normalement. Ensuite, des pertes de paquets ont imposé des retransmissions (étant donné que le protocole TCP reconnaît les pertes de paquets comme étant dues aux encombrements du réseau). Sur la Fig. 48, le mécanisme d'encombrement du protocole TCP réduit de moitié la taille de la fenêtre. La Fig. 47 montre un autre démarrage progressif au bout de 38 s. Le débit total est donc gravement dégradé. Par conséquent, pour le fonctionnement normal de FTP avec une mémoire tampon de connecteur TCP de grande taille, il convient de configurer d'autres paramètres et ressources système tels que l'allocation de mémoire pour les E/S du disque et les interruptions du pilote de réseau.

FIGURE 47

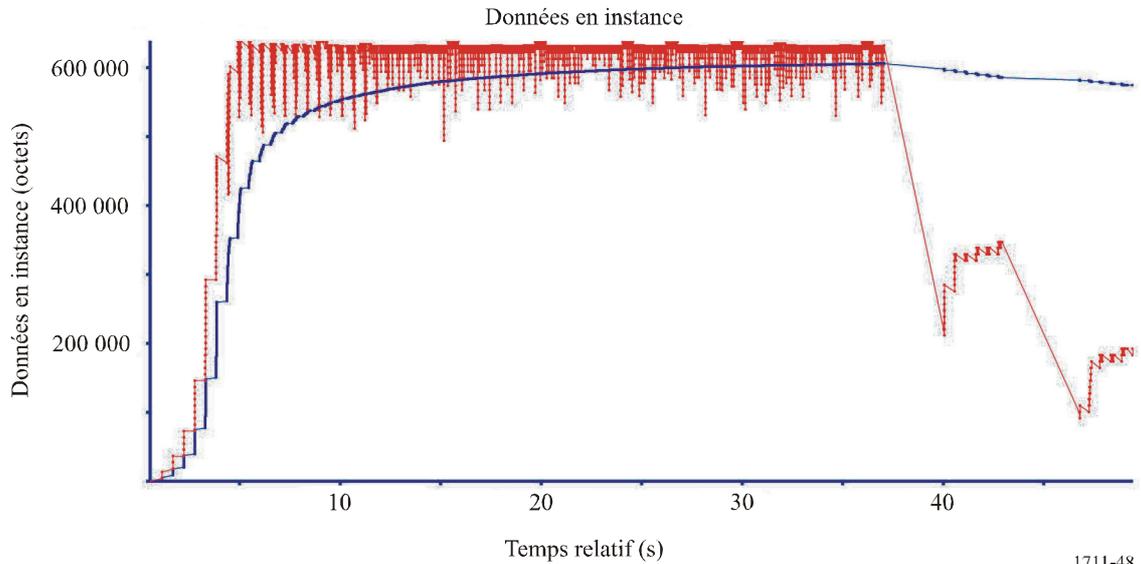
**Graphique de la séquence de temps TCP  
(Taille de la mémoire tampon TCP = 1 Moctet)**



1711-47

FIGURE 48

**Graphique de la fenêtre d'encombrement TCP  
(Taille de la mémoire tampon TCP = 1 Moctet)**



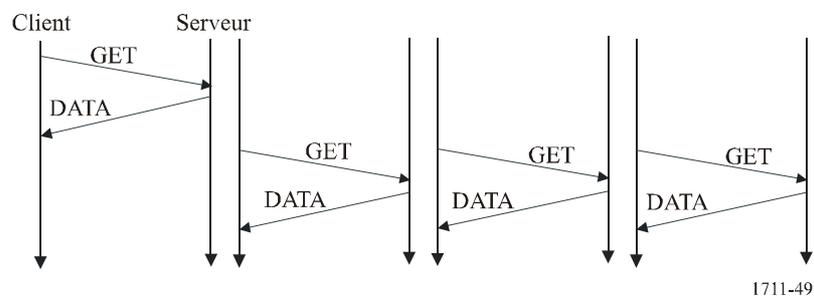
### 5.3 Débit HTTP sur liaison par satellite OC-3

#### 5.3.1 HTTP 1.0 avec des connexions non persistantes

Dans HTTP 1.0, pour pouvoir télécharger une page web complète une connexion TCP distincte est nécessaire pour récupérer chacun des objets HTTP contenus dans la page web. La Fig. 49 montre les interactions entre client et serveur HTTP 1.0 lorsqu'une page web comporte trois objets. La page HTML de base est tout d'abord transférée au moyen d'une connexion TCP. Ensuite, la connexion TCP est fermée et trois nouvelles connexions TCP sont établies simultanément pour le téléchargement parallèle des trois objets reliés entre eux. Cela peut être inefficace, dans la mesure où plusieurs connexions TCP simultanées surchargent le réseau.

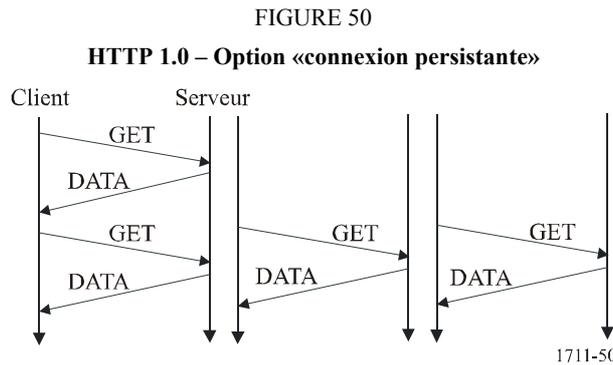
FIGURE 49

**HTTP 1.0 – Connexions non persistantes**



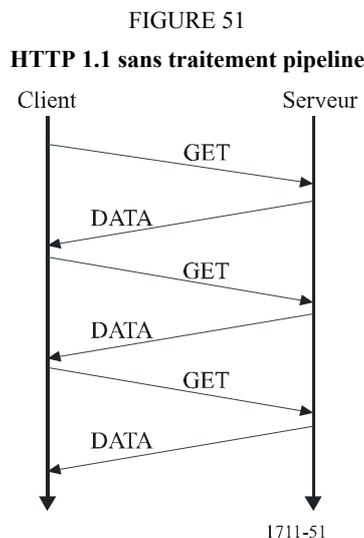
### 5.3.2 HTTP 1.0 avec option «connexion persistante»

Certains navigateurs ou serveurs qui utilisent HTTP 1.0 prennent en charge l'option de «connexion persistante» pour surmonter l'inefficacité décrite ci-dessus. Cette méthode utilise une connexion TCP pour transporter plusieurs requêtes HTTP. Cependant, les navigateurs qui implémentent cette option peuvent encore établir plusieurs connexions TCP. La Fig. 50 montre le fonctionnement d'une connexion HTTP avec l'option «connexion persistante». La première connexion TCP est utilisée pour transférer le document de base et l'un des trois objets. Les deux autres objets sont ensuite transférés via deux nouvelles connexions TCP.



### 5.3.3 HTTP 1.1 sans traitement pipeline

L'extension «connexion persistante», forme de connexion persistante, a été définie de manière formelle dans HTTP 1.1. Les connexions persistantes permettent plusieurs connexions TCP. Les réponses peuvent être contenues dans une seule connexion TCP et n'ont pas besoin de connexions TCP multiples. Les performances de HTTP avec une connexion persistante sont meilleures car elle permet de contourner les nombreuses phases de démarrage progressif qui, sinon, seraient imposées. La Fig. 51 montre le mécanisme de HTTP 1.1 avec une connexion persistante. Les différents objets sont transférés en séries. Dans le cas d'un document HTML de base et de trois objets, il suffit de quatre RTT sans traitement pipeline.

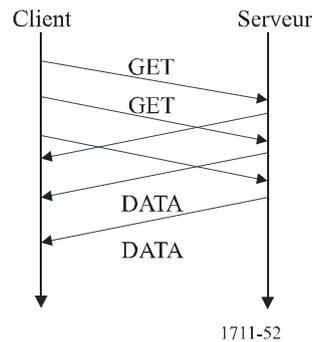


### 5.3.4 HTTP 1.1 avec traitement pipeline

HTTP 1.1 avec traitement pipeline permet d'envoyer plusieurs requêtes sans attendre de réponse. Le traitement pipeline permet d'éviter de nombreux temps de propagation aller-retour et d'améliorer les performances, car il élimine le temps de repos entre récupérations d'objets consécutives.

La Fig. 52 montre les interactions entre serveur et client dans le cadre de l'utilisation de HTTP 1.1 avec traitement pipeline. Un document de base et trois objets sont transférés à travers une connexion TCP unique.

FIGURE 52  
HTTP 1.1 avec traitement pipeline



### 5.3.5 Résultats des tests

Le principal objectif était de mesurer les performances de la récupération de pages web sur un réseau à satellite en utilisant différentes versions de HTTP. Le Tableau 22 résume les résultats du transfert HTTP sur le réseau à satellite pour les cinq pages web de référence. Lorsque webbot était utilisé, une seule connexion TCP s'établissait (HTTP 1.1 ne nécessite qu'une connexion TCP). Lorsque Netscape était utilisé, le nombre de connexions TCP qui s'établissaient correspondait au nombre d'éléments reliés à la page web. Dans le cas de HTTP 1.0, chaque connexion TCP est indépendante des autres. Autrement dit, chaque connexion TCP implémente un mécanisme de démarrage progressif et d'évitement des encombrements. Lorsque HTTP 1.0 était utilisé, les paquets générés étaient plus nombreux pour transférer la page web et les éléments qui lui étaient rattachés. Le temps de réponse total était inférieur qu'avec HTTP 1.1 sans option de traitement pipeline. Autrement dit, sur un réseau à temps de propagation long, s'il n'y a pas encombrement du réseau, plusieurs connexions TCP simultanées peuvent être plus efficaces qu'une seule (notamment lorsque la taille des éléments est petite). Cependant, l'utilisation de plusieurs connexions simultanées présente de nombreux aspects négatifs (par exemple, charge pour le serveur, encombrement du réseau dû à un plus grand nombre de paquets).

Lorsqu'une demande de page web est effectuée, le navigateur émet une commande GET de HTTP pour le document HTML de base. Un RTT plus tard, le document de base est reçu. Ensuite, le navigateur émet d'autres commandes GET pour chaque élément relié dans le document de base. Avec l'option de traitement pipeline de HTTP 1.1, ces commandes GET peuvent être générées dès que la référence est reçue par le navigateur, sans avoir à attendre la fin du transfert de données en cours depuis le serveur. Dans le cas de HTTP 1.0, une connexion TCP distincte est établie pour le transfert de chaque élément.

La Fig. 53 montre la séquence de demande de récupération et de transfert d'élément pour une page RBLAB (sept éléments). L'élément 1 des graphiques b) et c) représente le temps que nécessite le transfert intégral de la page de base et des objets liés. Les autres éléments décrivent le temps de transfert de chaque objet. L'élément 2 correspond au premier document provenant du serveur web

sur demande du navigateur. Sa durée de transfert est la même, quelles que soient la version ou les options de HTTP. Cependant, les éléments suivants ont différentes heures de démarrage et durées de transfert en fonction de la version et des options de HTTP. Dans le cas de HTTP 1.0 (Fig. 53 a)), lorsque les documents de base sont reçus, le navigateur émet plusieurs commandes GET pour les objets liés à la page de base. Par conséquent, plusieurs connexions TCP sont établies par prise de contact trois voies avec une demande de connexion différente pour chaque élément. Lorsque la page RBLAB est chargée à l'aide de HTTP 1.1 avec option de traitement pipeline, le transfert des objets suivants commence dès que l'élément de base est reçu. Sans l'option de traitement pipeline, le transfert des autres objets ne peut pas commencer tant que le transfert des objets précédents n'est pas terminé. HTTP 1.1 établit une seule connexion TCP et par conséquent ne déclenche qu'un démarrage progressif.

Lorsque l'option de traitement pipeline est active, plusieurs éléments sont transférés dans la même connexion et semblent par conséquent constituer un transfert de masse unique. Bon nombre d'expériences montrent que les transferts de masses de données offrent de bonnes performances dans un LFN tel qu'un réseau à satellite OSG. Il semble par conséquent que HTTP 1.1 avec option de traitement pipeline offre les meilleures performances.

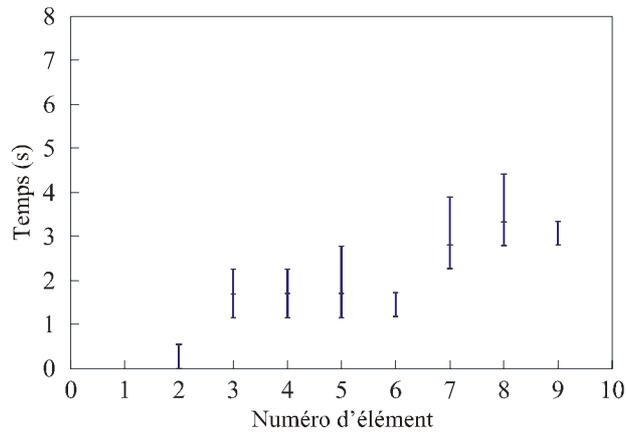
TABLEAU 22

**Performances du transfert HTTP**

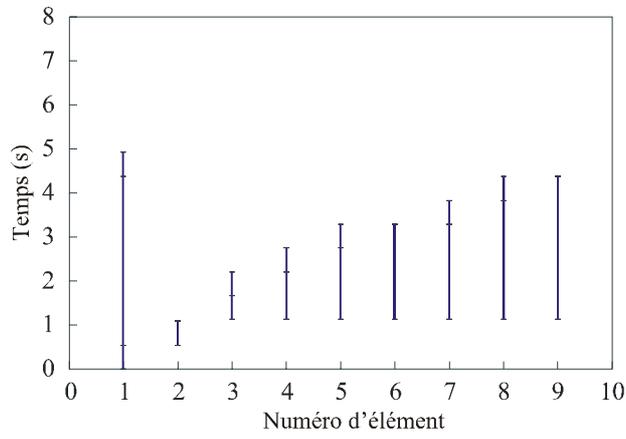
Page web	Navigateur web	Nombre de connexions TCP	Nombre de paquets	Temps de réponse total (s)	Débit moyen (bit/s)
China2008 (30 objets, 212 207 octets)	Netscape 4.77	41	655	14,764	14 373
	webbot sans traitement pipeline	1	306	21,158	10 030
	webbot avec traitement pipeline	1	318	4,363	48 638
CRL (21 objets, 80 333 octets)	Netscape 4.77	22	307	8,642	9 296
	webbot sans traitement pipeline	1	133	13,547	5 930
	webbot avec pipeline	1	137	3,247	24 741
FIFA (33 objets, 176 105 octets)	Netscape 4.77	34	551	13,054	13 491
	webbot sans traitement pipeline	1	282	21,682	8 122
	webbot avec pipeline	1	285	4,328	40 690
LionKing (16 objets, 393 672 octets)	Netscape 4.77	14	660	8,277	47 562
	webbot sans traitement pipeline	1	514	12,529	31 421
	webbot avec pipeline	1	564	4,882	80 637
RBLAB (8 objets, 72 103 octets)	Netscape 4.77	8	166	4,365	16 518
	webbot sans traitement pipeline	1	104	6,540	11 025
	webbot avec pipeline	1	119	3,822	18 865

FIGURE 53

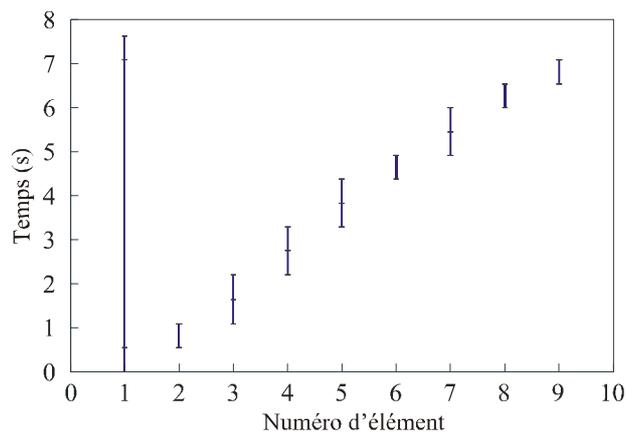
Page web RBLAB et graphique de séquence de transfert de ses éléments



A) HTTP 1.0 (netscape)



b) HTTP 1.1 avec traitement pipeline (webbot)



c) HTTP 1.1 sans traitement pipeline (webbot)

#### 5.4 Conclusions

Le débit TFP maximal est d'environ 3 Mbit/s avec une taille de connecteur TCP de 1 Moctet. Avec une taille de connecteur TCP supérieure à 1 Moctet, le débit est dégradé. Dans le cas d'un transfert de mémoire à mémoire sur voie de transmission par satellite, le débit dépend essentiellement de la taille de la fenêtre TCP. Le fait d'augmenter la taille de la mémoire tampon TCP pour améliorer le débit TCP peut dégrader les performances TCP en affectant les E/S sur le disque ou les affectations de mémoire système.

Suite à plusieurs mesures de débit HTTP, l'on a constaté que les meilleures performances étaient offertes par HTTP 1.1 avec option de traitement pipeline.

---