

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R S.1711-1
(01/2010)

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

Série S
Service fixe par satellite



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R S.1711-1

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

(Question UIT-R 263-1/4)

(2005-2010)

Champ d'application

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

- a) que l'amélioration des performances du protocole TCP peut ne pas être nécessaire pour les liaisons à faible débit (voir le § 3.1 du Rapport UIT-R S.2148),

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 mettant en œuvre des connexions TCP sur des réseaux comprenant des liaisons par satellite évaluent l'opportunité d'utiliser telle ou telle méthode d'amélioration des performances au protocole TCP pour leur système en fonction des résultats des simulations et des mesures indiqués dans l'Annexe 2;

3 que, pour ne pas affecter le débit du protocole TCP, les liaisons par satellite destinées à assurer des transmissions utilisant ce protocole soient conçues de façon que le taux d'erreur binaire soit meilleur que 10^{-7} pendant le temps disponible (voir le § 2 de l'Annexe 2);

4 que, pour améliorer le débit des transmissions utilisant le protocole TCP assurées sur des réseaux comprenant des liaisons par satellite:

4.1 des techniques de découpage (associées ou non à une mise en antémémoire) soient mises en oeuvre lorsque la topologie du réseau le permet (voir les § 2, 3 et 5 de l'Annexe 2);

4.2 l'option de mise à l'échelle de la fenêtre TCP soit utilisée pour fixer la fenêtre d'encombrement TCP à la plus grande valeur possible (voir Note 1 et § 4 de l'Annexe 2);

5 que la Note 1 ci-après soit considérée comme faisant partie intégrante de la présente Recommandation.

NOTE 1 – L'utilisation de fenêtres TCP de grande taille génère des rafales de trafic, ce qui risque de se traduire par des pertes de paquets sur les routeurs intermédiaires imputables à la saturation de la mémoire tampon. Il est possible de remédier à cette situation en mettant en place des mémoires tampon dans les routeurs intermédiaires ou en contrôlant le trafic à la source TCP (voir § 4 de l'Annexe 2). Dans les cas où les deux solutions sont difficiles à mettre en place, il convient de fixer la valeur maximale de la fenêtre d'encombrement TCP en tenant compte de la saturation éventuelle de la mémoire tampon sur les routeurs intermédiaires.

NOTE 2 – Le Rapport UIT-R S.2148 donne des informations générales sur les insuffisances du protocole TCP lorsqu'il est utilisé sur des réseaux à satellite. Il donne également un aperçu des améliorations de performance du protocole TCP en les décrivant brièvement et en indiquant les domaines où les performances du protocole TCP sur les réseaux à satellite sont améliorés.

NOTE 3 – La section 6 de l'Annexe 2 donne les résultats des mesures qui ont été réalisées pour évaluer l'efficacité des améliorations de deux applications types utilisant le protocole TCP (le protocole de transfert de fichiers FTP et le protocole de transfert hypertexte HTTP).

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Annexe 1 – Modèles de référence de systèmes à satellites.....	7
1 Domaine d'application.....	7
2 Modèles de référence.....	7
2.1 Liaisons point à point.....	7
2.2 Réseaux VSAT.....	8
2.2.1 Topologie en étoile.....	8
2.2.2 Topologie maillée.....	9
2.3 Accès à large bande.....	9
Annexe 2 – Tests et mesures des performances des améliorations du protocole TCP.....	9
1 Domaine d'application.....	9
2 Performances du protocole TCP avec amélioration par découpage.....	9
2.1 Performances d'une connexion TCP unique testée sans amélioration.....	10
2.1.1 Test des performances d'une connexion TCP unique.....	10
2.1.2 Protocole TCP sans amélioration des performances.....	10
2.1.3 Performances d'une connexion TCP unique sans amélioration des performances.....	10
2.2 Découpage en deux segments.....	11
2.2.1 Configuration des réseaux à satellite.....	11
2.2.2 Résultats des tests.....	13
2.2.3 Conclusions.....	19
2.3 Découpage en trois segments.....	20
2.3.1 Configuration des réseaux à satellite.....	20
2.3.2 Procédures de test.....	20
2.3.3 Résultats des tests.....	21
2.3.4 Conclusions.....	26
3 Tests et mesures du protocole TCP sur des réseaux à satellite utilisant la mise en mémoire cache et la mystification.....	26
3.1 Introduction.....	26
3.2 Tests et mesures.....	27
3.2.1 Spécifications des équipements.....	27

	<i>Page</i>
3.2.2	Configurations du réseau utilisé pour les tests et les mesures 28
3.2.3	Résultats des tests et des mesures 30
3.3	Conclusion 32
4	Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite ATM 32
4.1	Configuration du réseau..... 32
4.2	Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite uniquement basé ATM 34
4.3	Comportements du protocole TCP sur réseau hétérogène comportant une liaison par satellite 35
4.3.1	Simulation de la taille de la mémoire tampon..... 36
4.3.2	Performances du protocole TCP avec contrôle du trafic chez l'émetteur TCP..... 38
4.4	Conclusions..... 41
5	Performances du protocole TCP sur les réseaux d'accès par satellite 41
5.1	Architecture du réseau et configuration..... 41
5.1.1	Architecture du réseau 41
5.1.2	Configuration 42
5.2	Résultats des mesures de performances..... 44
5.2.1	Disponibilité..... 44
5.2.2	Débit..... 44
5.2.3	Trafic 45
5.3	Conclusions..... 46
6	Mesures des protocoles d'application (FTP et HTTP)..... 46
6.1	Configuration du réseau à satellite ATM..... 46
6.2	Débit FTP sur liaison par satellite OC-3..... 48
6.3	Débit HTTP sur liaison par satellite OC-3 49
6.3.1	HTTP 1.0 avec des connexions non persistantes 49
6.3.2	HTTP 1.0 avec option «connexion persistante» 50
6.3.3	HTTP 1.1 sans traitement pipeline..... 50
6.3.4	HTTP 1.1 avec traitement pipeline 51
6.3.5	Résultats des tests..... 51

Page

6.4	Résumé	55
7	Conclusions	55

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 vidéonumérique 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>)
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>)
LFN	Réseau éléphant (<i>long fat network</i>)
MPEG	Groupe d'experts pour les images animées (<i>moving picture experts group</i>)
MPLS	Commutation multiprotocole avec étiquette (<i>multi-protocol label switching</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>)
TC	Code en treillis (<i>trellis coded</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	Emetteur (<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>)

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.

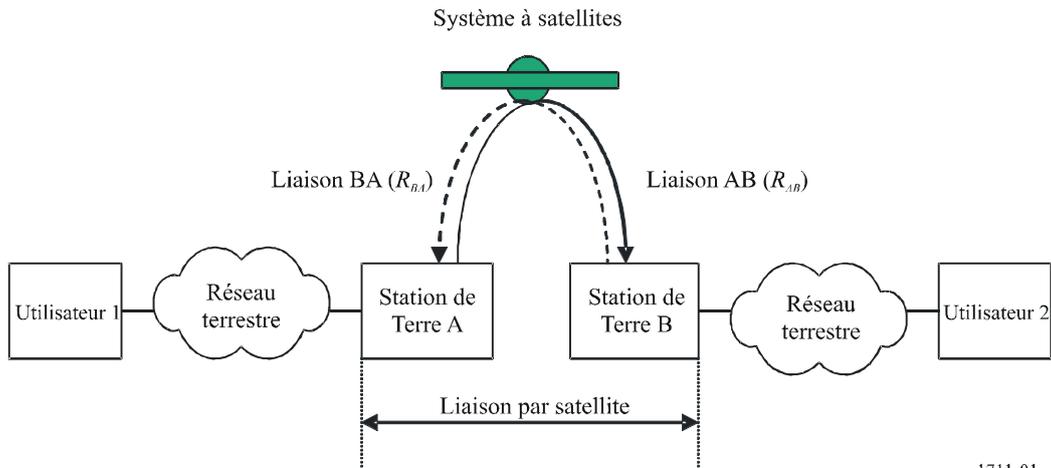
2 Modèles de référence

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



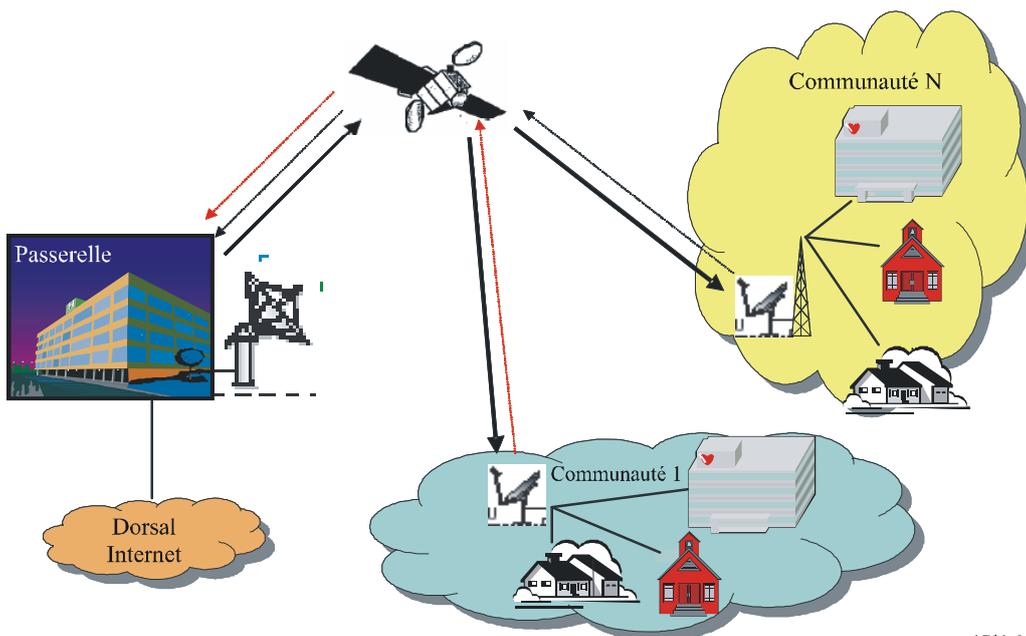
NOTE – Le modèle de référence ci-dessus est constitué d'un seul bond par satellite. Dans la présente Recommandation, les techniques qui segmentent la connexion TCP de manière à améliorer les performances du protocole TCP sur les liaisons par satellite sont décrites pour un bond par satellite. Cependant, 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

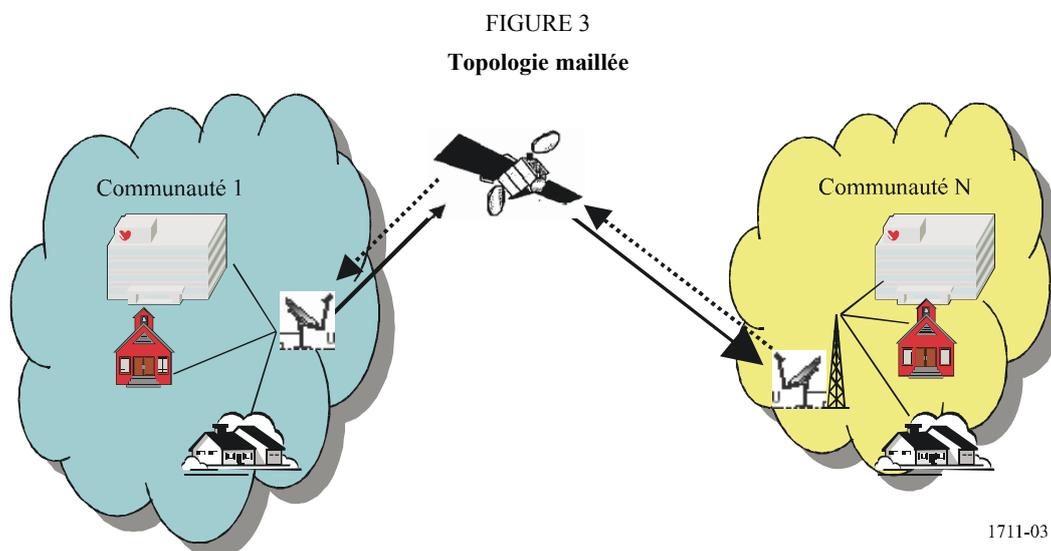
La Fig. 2 décrit la configuration en étoile standard dans laquelle les signaux émis par plusieurs utilisateurs distants se connectent à une station terrienne passerelle qui à son tour se connecte à un réseau de Terre.

FIGURE 2
Topologie en étoile



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).

Annexe 2

Tests et mesures des performances des améliorations du protocole TCP

1 Domaine d'application

La présente Annexe contient des tests et mesures indépendants qui ont été effectués pour expérimenter quelques-unes des méthodes d'amélioration des performances du protocole TCP et contient des informations utiles pour les concepteurs de systèmes à satellites. Pour plus de précisions concernant ces méthodes, se reporter au Rapport UIT-R S.2148:

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

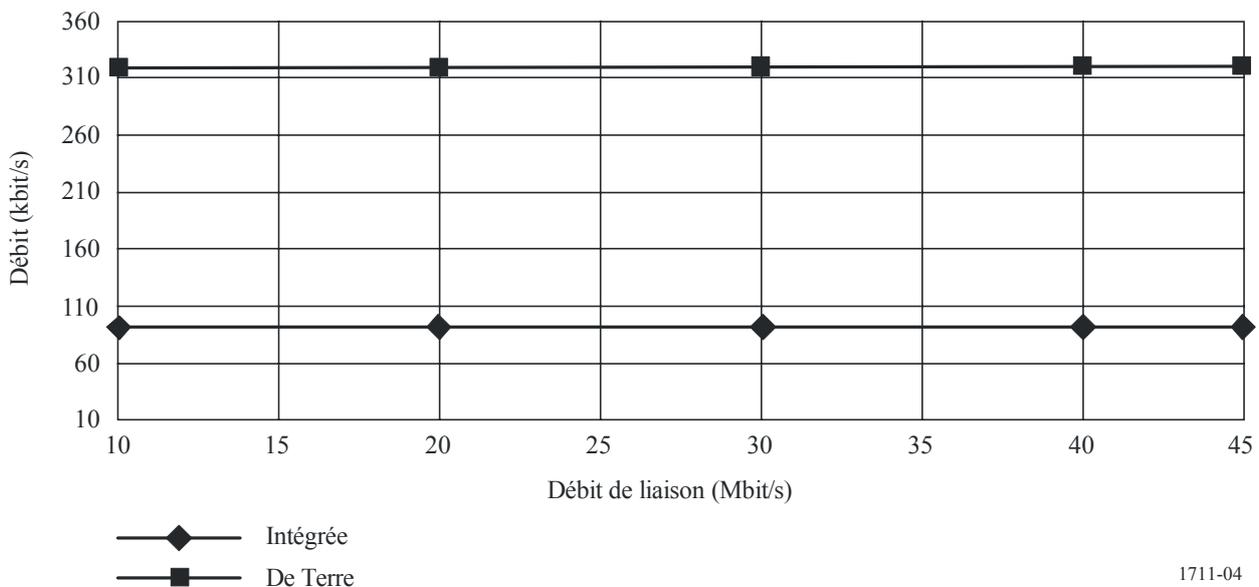
Le débit maximum sans amélioration des performances est de 320 kbit/s pour les connexions de Terre et de 91 kbit/s pour la liaison par satellite (voir la Fig. 4). Ces résultats démontrent que, sans amélioration des performances, le débit maximum d'une connexion TCP unique sera à peu près égal à la taille de la fenêtre,

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

même si le débit de la liaison augmente.

FIGURE 4

Connexion TCP sur liaisons de Terre et par satellite sans amélioration



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.

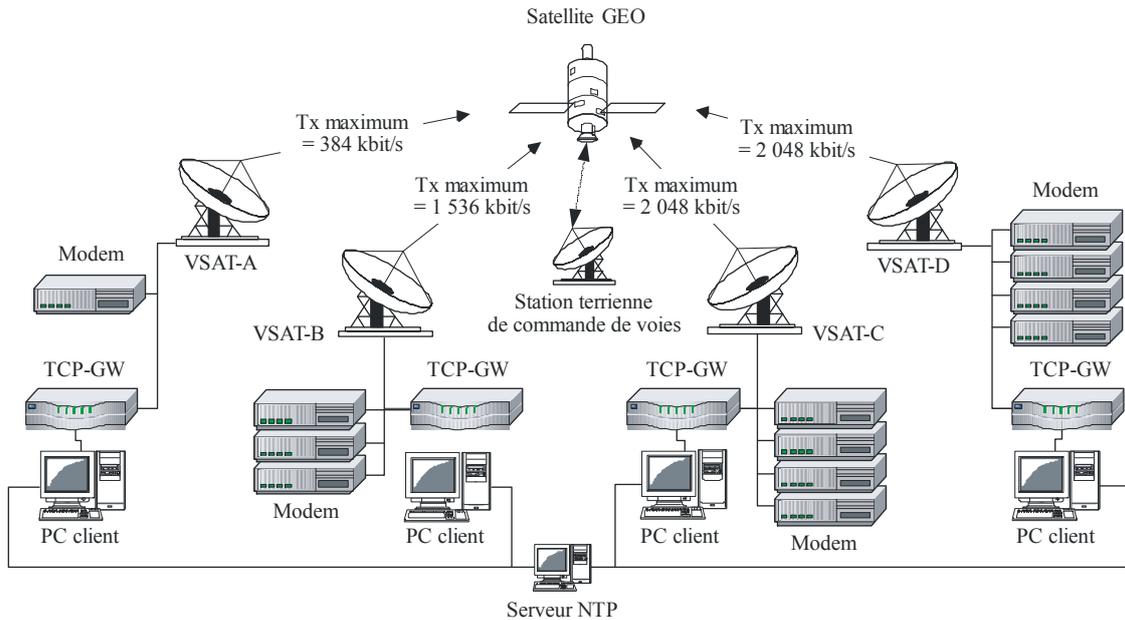
Le réseau utilisé pour le TEST-A est représenté sur la Fig. 5. Le réseau à satellite AMAD est constitué d'une station terrienne pour la commande des voies de transmission et de quatre VSAT. Chaque VSAT est équipée d'une passerelle activée pour la technique de découpage en deux segments en vue d'améliorer 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 Iperf¹ qui permet de générer les paquets IP et de mesurer le débit.

¹ 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>.

FIGURE 5

Configuration du réseau de test utilisé pour le TEST-A



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

1711-05

TABLEAU 1

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

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	

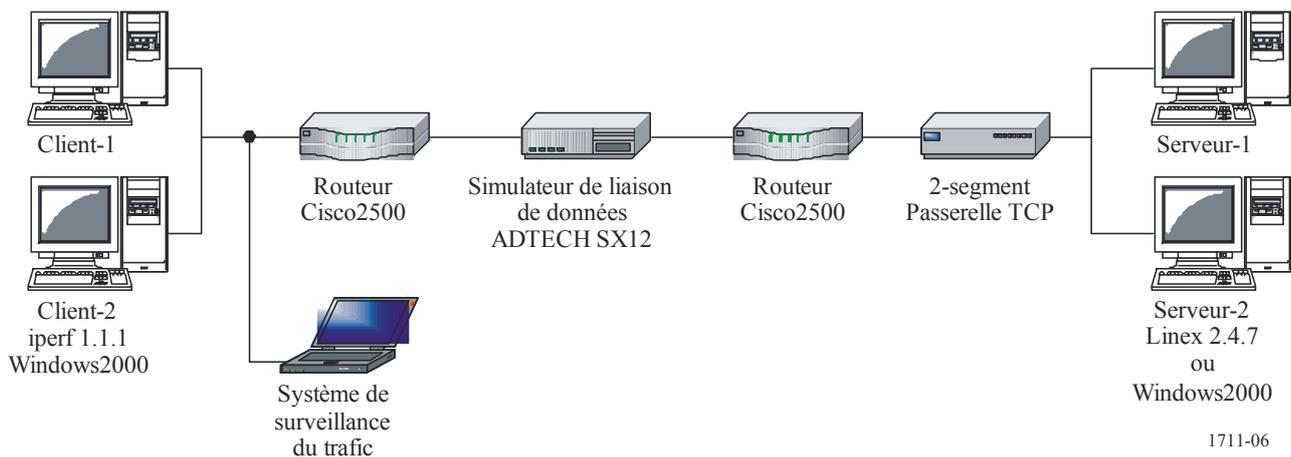
2.2.1.2 TEST-B: Mesure utilisant un simulateur de liaison par satellite

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 6

Configuration du réseau de test utilisé pour le TEST-B



1711-06

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 2

**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
Réception (384 kbit/s)	VSAT-A		365,0 kbit/s	365,0 kbit/s	365,0 kbit/s
	VSAT-B	345,0 kbit/s		365,0 kbit/s	365,0 kbit/s
	VSAT-C	346,0 kbit/s	365,0 kbit/s		365,0 kbit/s
	VSAT-D	346,0 kbit/s	365,0 kbit/s	365,0 kbit/s	

TABLEAU 3

**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
Réception (384 kbit/s)	VSAT-A			1 463,0 kbit/s	

TABLEAU 4

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)
Réception (1 536 kbit/s)	VSAT-B			1 946,0 kbit/s	1 949,0 kbit/s

2.2.2.1.2 Résultats de la connexion TCP unique

TABLEAU 5

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
Réception (384 kbit/s)	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 6

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)
Réception (384 kbit/s)	VSAT-A			1 397,5 kbit/s	

(Le Tableau indique la moyenne des quatre sessions.)

TABLEAU 7

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)
Réception (1 536 kbit/s)	VSAT-B			1 888,3 kbit/s	1 891,8 kbit/s

2.2.2.1.3 Résultats de la connexion TCP multiple

TABLEAU 8

**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 9

**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 10

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. 7 à 11. 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. 7 et 8, 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. 8), 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. 9), 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. 10.

FIGURE 7
 Résultat d'une session TCP (TEB = 10^{-8})

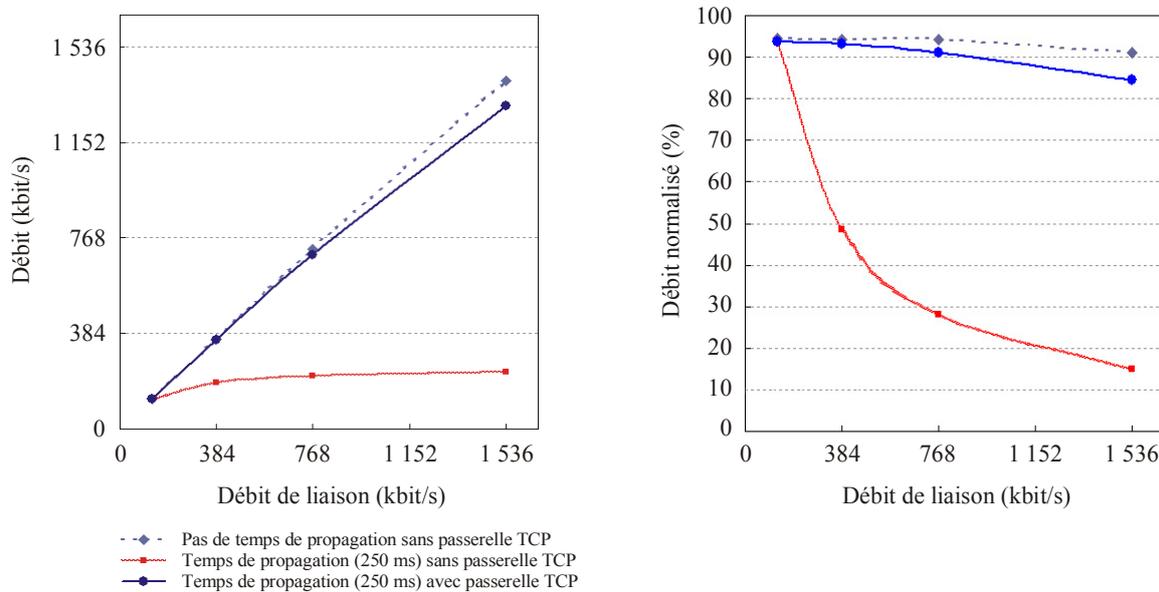
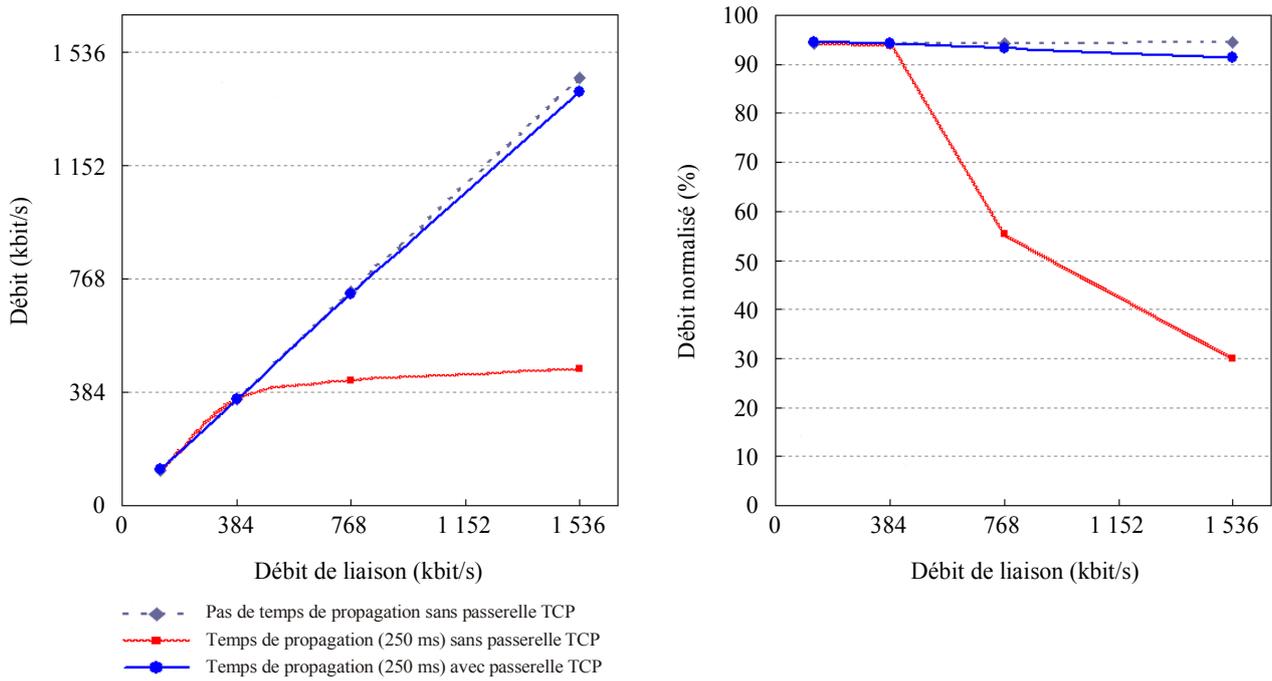


FIGURE 8

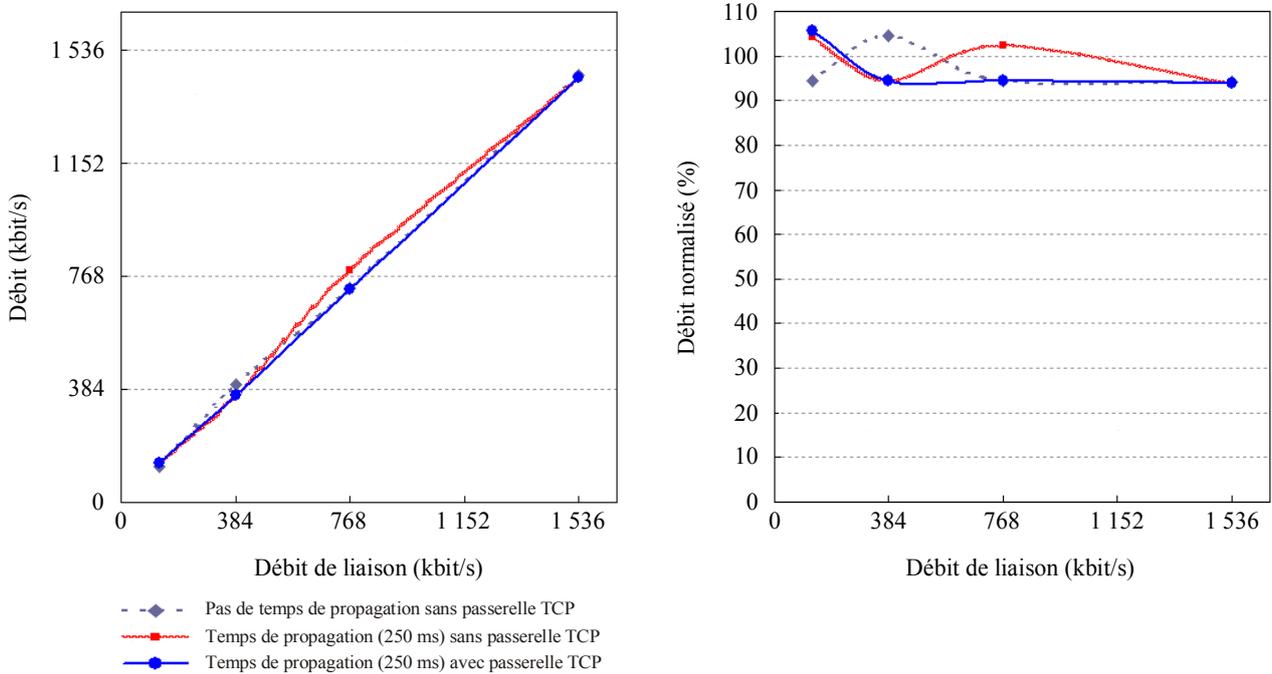
Résultat de deux sessions TCP ($TEB = 10^{-8}$)



1711-08

FIGURE 9

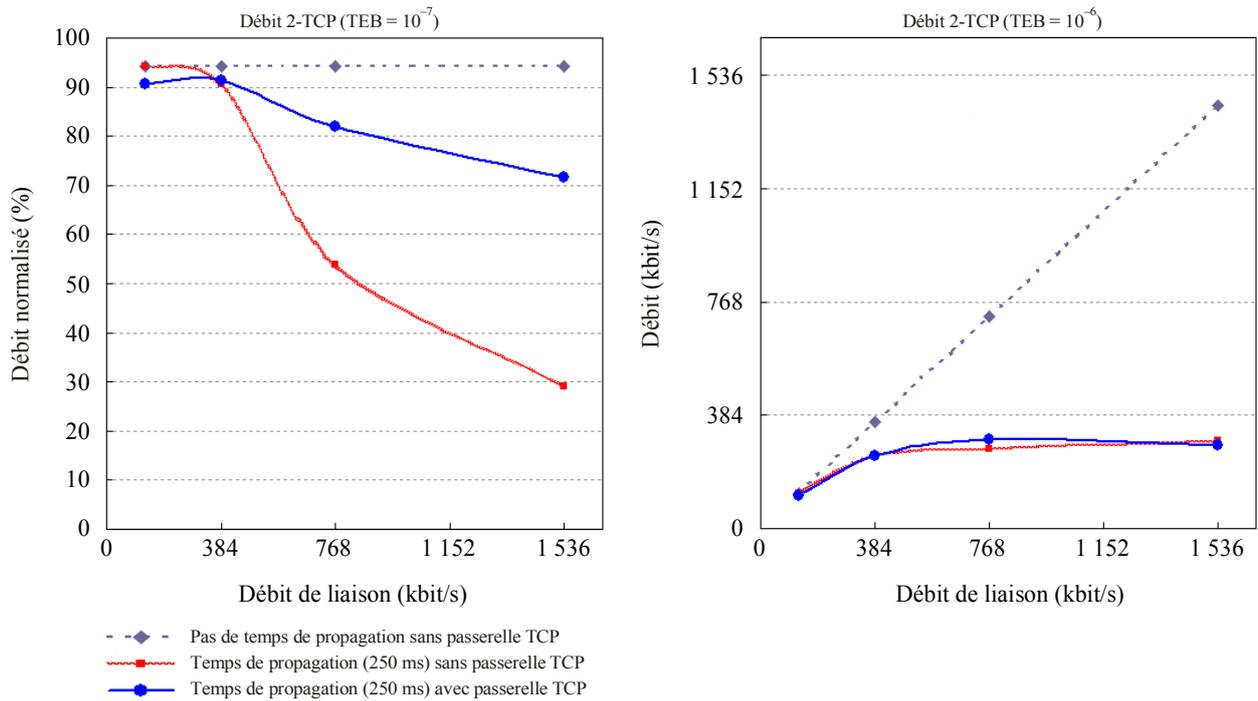
Résultat de huit sessions TCP ($TEB = 10^{-8}$)



1711-09

FIGURE 10

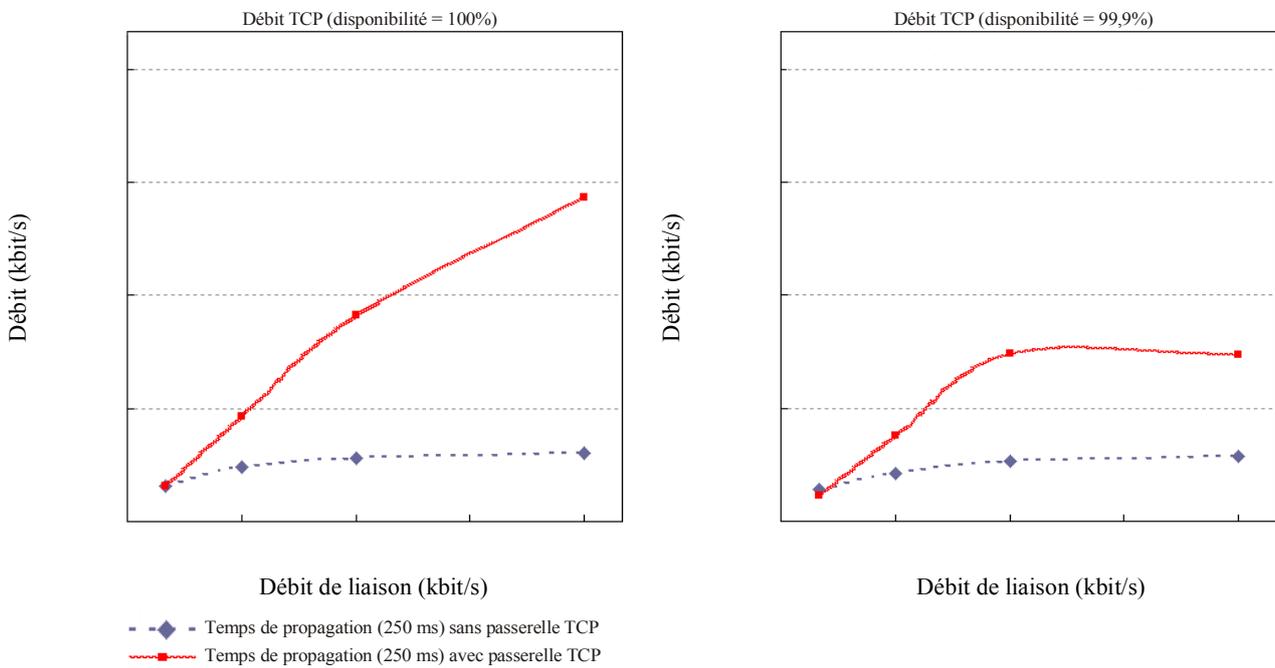
Résultat de deux sessions TCP (TEB = 10^{-7} , 10^{-6})



1711-10

FIGURE 11

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



1711-11

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.

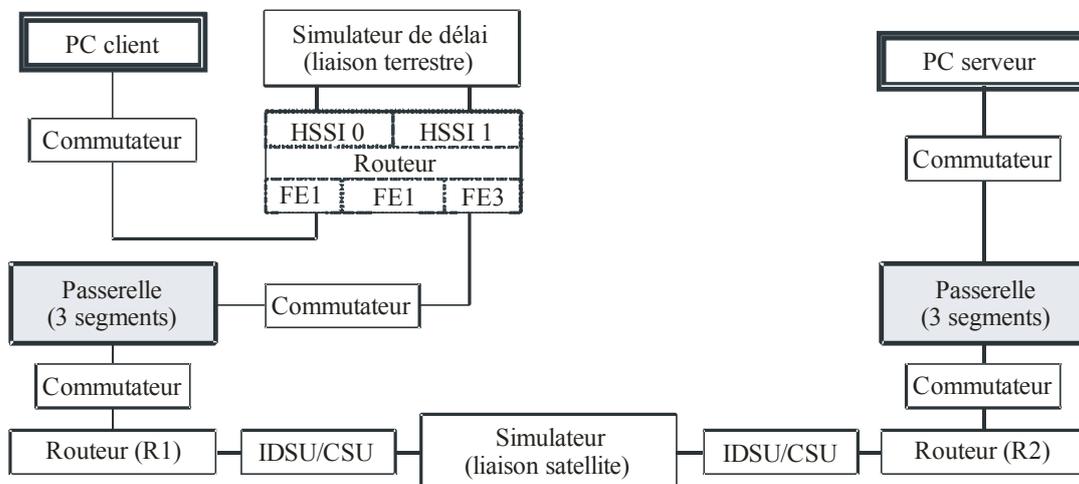
2.3 Découpage en trois segments

2.3.1 Configuration des réseaux à satellite

Le réseau utilisé pour le test est représenté sur la Fig. 12. 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 × 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 12
Configuration du réseau de test



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

1711-12

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:

Test 1: 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.

Test 2: 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.

Test 3: 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.

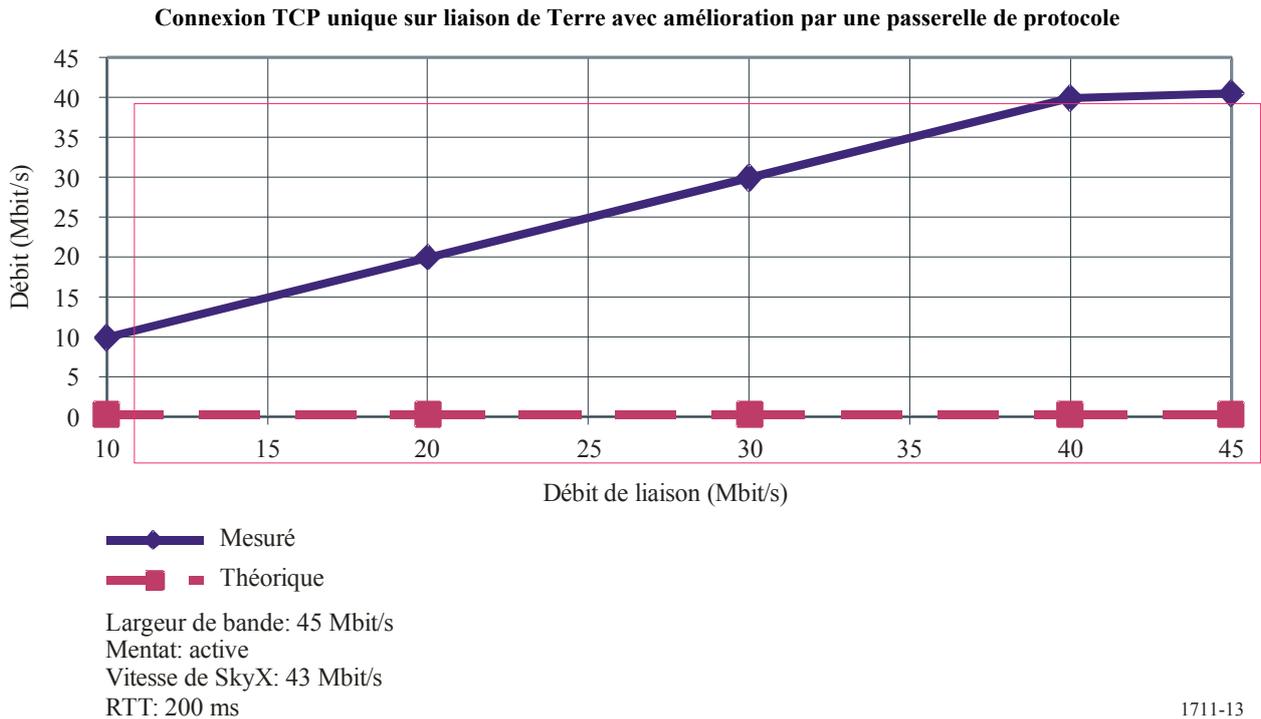
2.3.3 Résultats des tests

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. 13 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. 14 montre les résultats des tests pour un temps de propagation aller-retour de 700 ms.

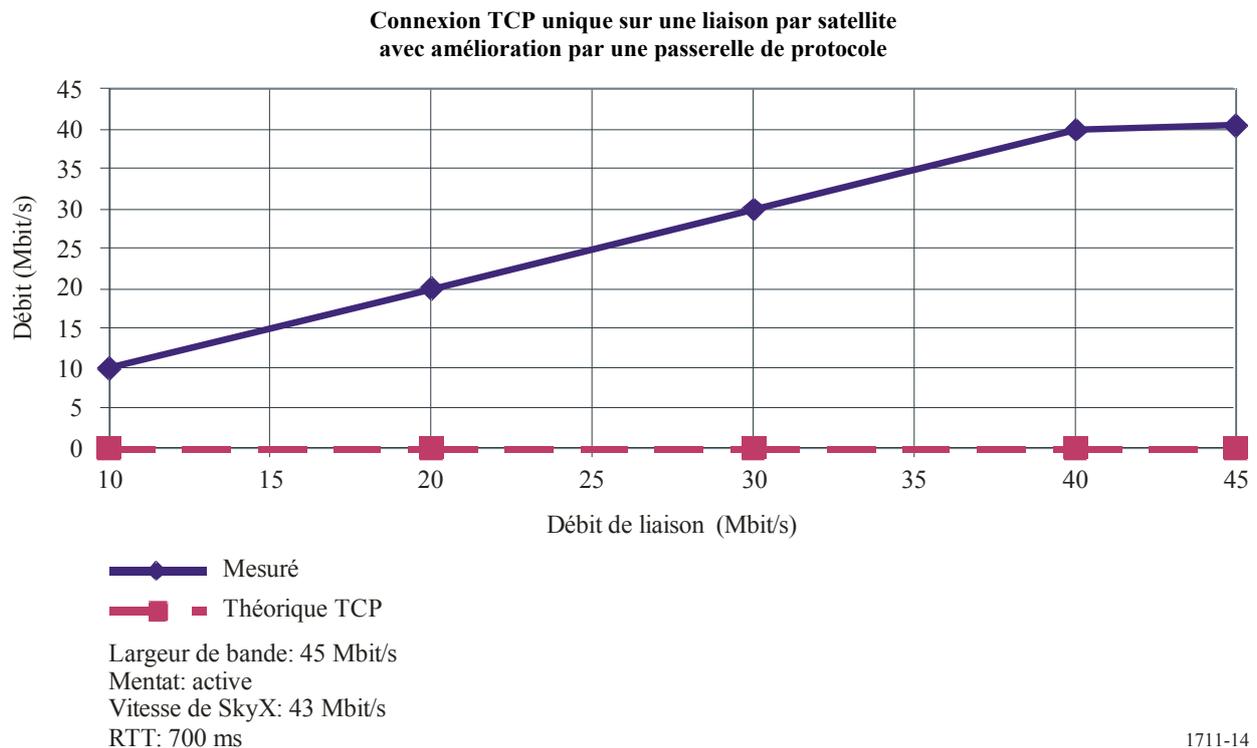
Pour des temps de propagation 200 ms et 700 ms, les performances obtenues en utilisant la passerelle de protocole sont indiscutablement plusieurs fois meilleures que le débit théorique maximum du protocole TCP. Même avec un temps de propagation de 700 ms, la passerelle de protocole permet à la connexion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

FIGURE 13



1711-13

FIGURE 14



1711-14

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. 15 et 16 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. 15 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. 16 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.

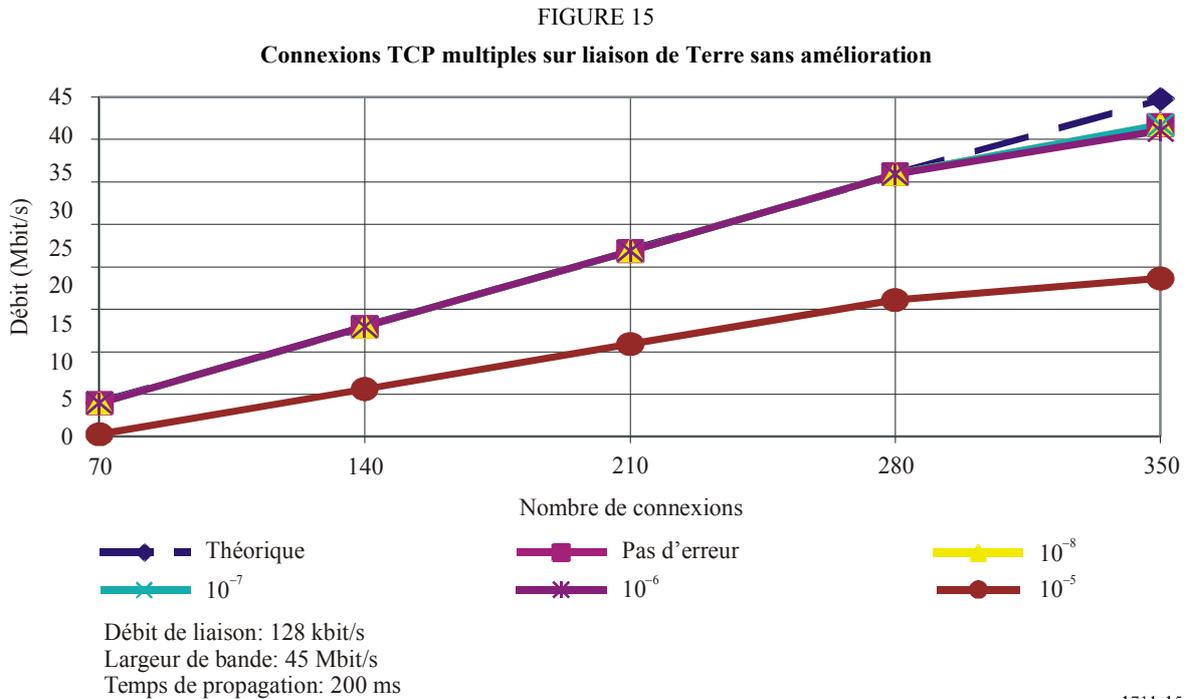
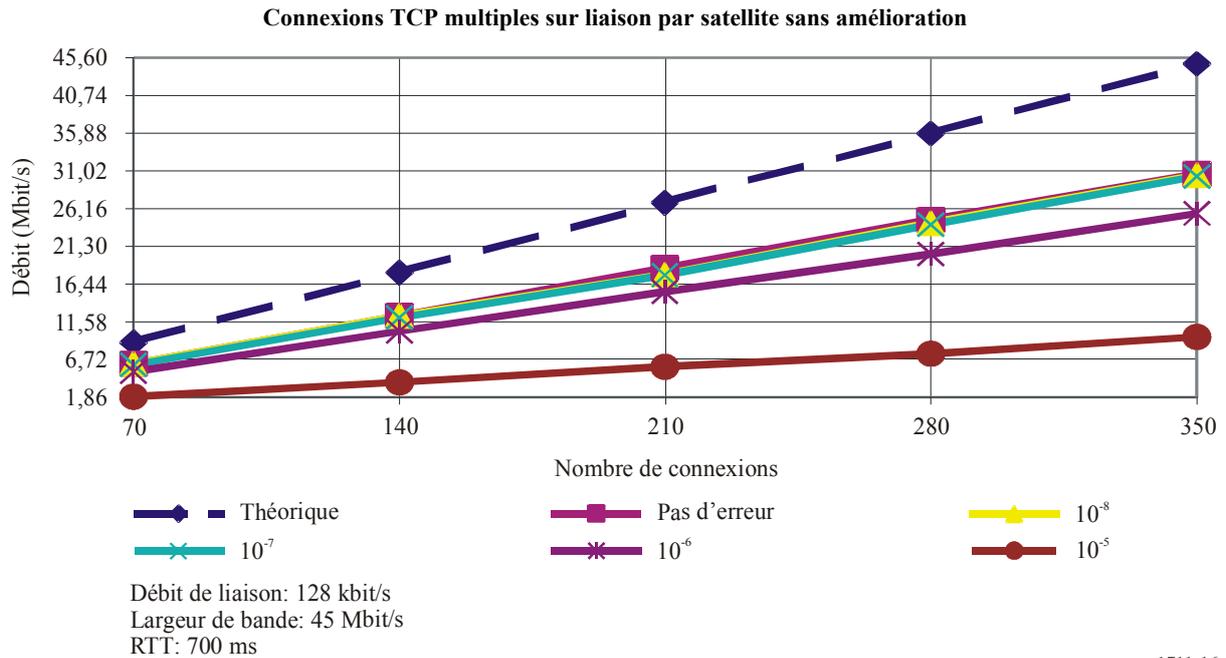


FIGURE 16



1711-16

2.3.3.4 Connexions TCP multiples avec amélioration par passerelle de protocole

Les Fig. 17 et 18 illustrent les effets de l'ajout au réseau d'une passerelle de protocole. La Fig. 17 montre le débit total pour un temps de propagation de 200 ms, tandis que la Fig. 18 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 1×10^{-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 17

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

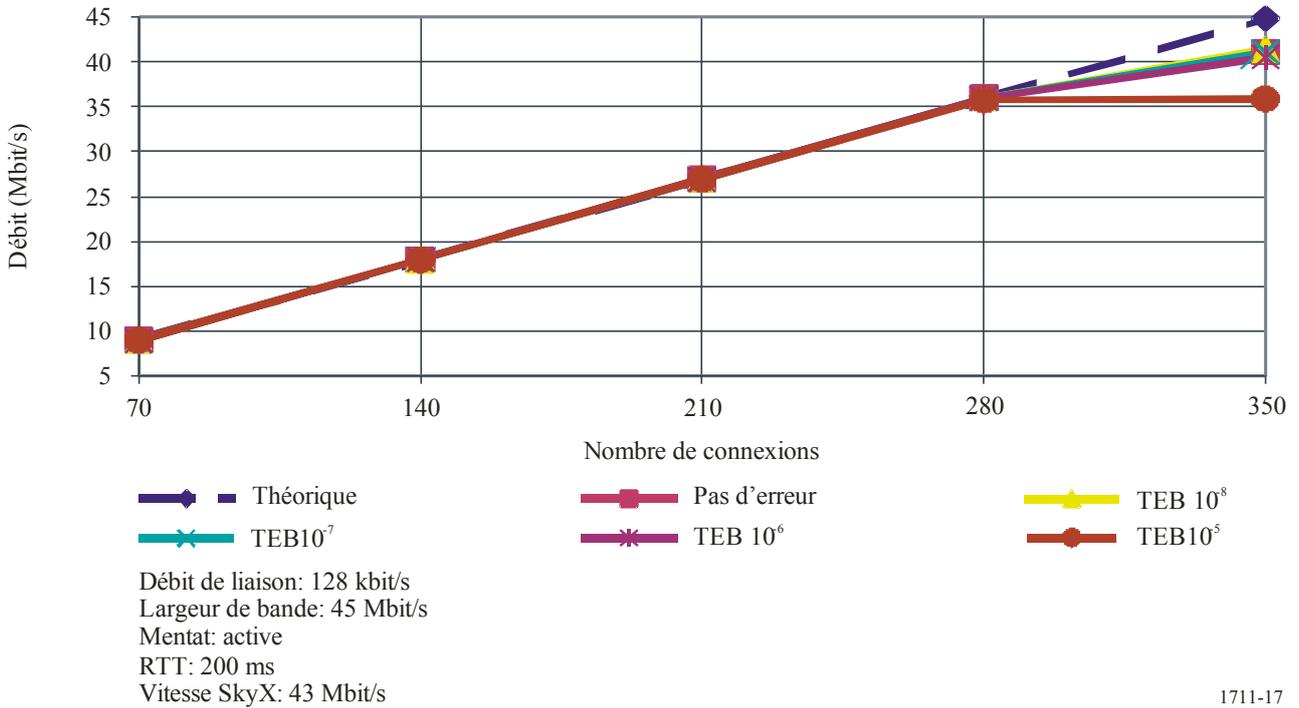
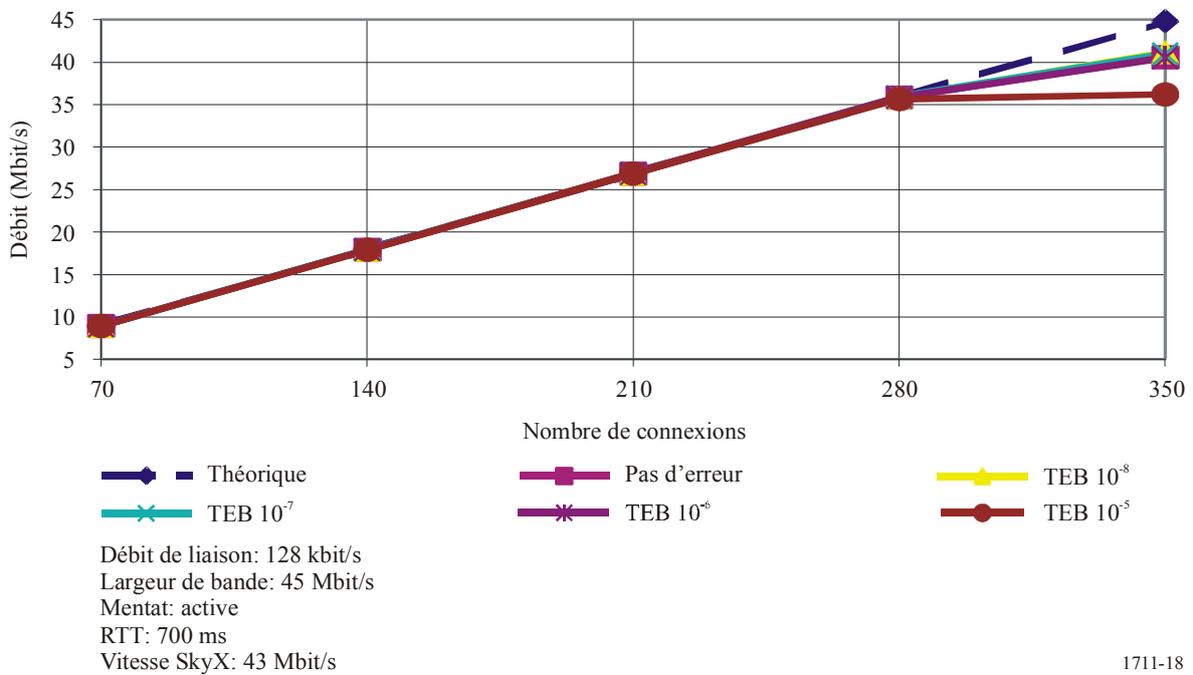


FIGURE 18

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

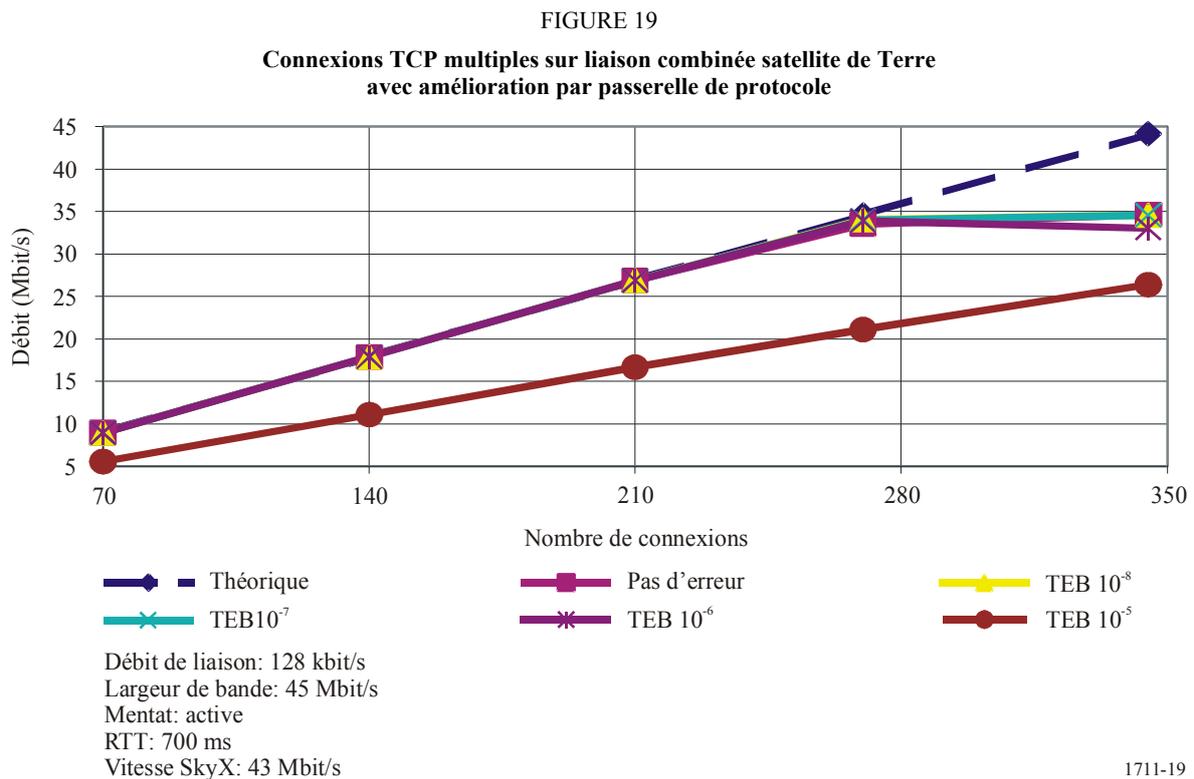


2.3.3.5 Connexions TCP multiples avec perte de données de Terre

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. 19, 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. 19 avec les Fig. 16 et 18 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 Tests et mesures du protocole TCP sur des réseaux à satellite utilisant la mise en mémoire cache et la mystification

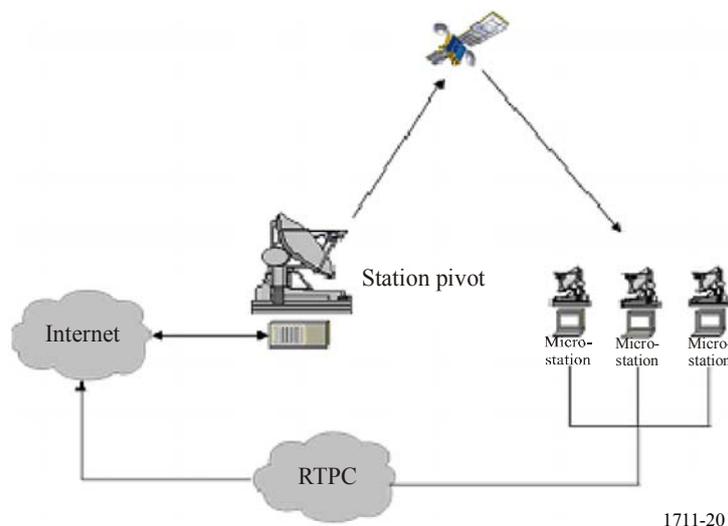
3.1 Introduction

Le présent paragraphe décrit les résultats des tests et des mesures pour 5 liaisons Internet par satellite et une liaison Internet de Terre. Les tests et les mesures ont pour objet de garantir l'efficacité de la mise en mémoire cache et de la mystification dans un réseau à satellite. Comme le montre la Fig. 20, les services Internet via des systèmes de télécommunication par satellite géostationnaire ont toujours été assurés par liaison satellite unidirectionnelle (liaison descendante)

pour pallier au problème du temps de propagation lié à la distance importante Terre-espace et pour économiser le coût de l'équipement en liaison montante, etc.

Korea Telecom (KT) et l'Information & Telecommunication Institute of Hansei University (HITRI) ont étudié les procédures de mise en mémoire cache et de mystification pour des liaisons Internet par satellite bidirectionnelles. La mystification est utilisée pour réduire le temps nécessaire à l'établissement de la liaison. La mise en mémoire cache est utilisée pour améliorer l'efficacité de la largeur de bande de transmission.

FIGURE 20
Configuration d'un réseau Internet par satellite unidirectionnel



3.2 Tests et mesures

3.2.1 Spécifications des équipements

Les Tableaux 11 à 13 donnent les spécifications du système utilisé pour les tests et les mesures. Le Tableau 11 donne les spécifications des systèmes au sol, le Tableau 12 celles des systèmes à satellites et le Tableau 13 celles des microstations:

TABLEAU 11
Spécifications des systèmes au sol

Station terrienne pivot	1 station avec une antenne de 9 m de diamètre	
Microstation	2 stations avec une antenne de 1,2 m de diamètre	IDU/ODU ACQ: 191.0 PING: 1 686 ms PTS: VSAT_141b_uts
Liaison de connexion Internet-station pivot	45 Mbit/s	

TABLEAU 12

Spécifications des systèmes à satellites

Orbite	OSG 116° E
Nom du satellite	Mugunghwa-3
Répéteur	Largeur de bande: 36 MHz. Liaison montante: 11.040 MHz (480 kHz 23 groupes) Liaison descendante: 24,8 MHz
Bande de fréquences	Bande Ku (14 GHz/12 GHz)
Débit binaire de la liaison	Liaison montante: 128 kbit/s ~ 256 kbit/s Liaison descendante: 23,58 Mbit/s

TABLEAU 13

Spécifications des microstations

Précision	Eléments	Spécifications
Option Internet	Page de début	Pas de confirmation
	Espace	1 MB
	Etablissement d'une connexion LAN	Non
	Niveau de sécurité	Normal
	Juxtaposition	Supprimer
	Changement d'écran en douceur	Supprimer
Mémoire virtuelle	Minimale	384 MB
	Maximale	768 MB
	Taille du registre	64

3.2.2 Configurations du réseau utilisé pour les tests et les mesures

Quatre réseaux à satellite ayant une topologie en étoile et un réseau de Terre ont été utilisés pour les tests. Leurs configurations sont indiquées respectivement dans les Fig. 21 et 22. La station pivot de chaque réseau à satellite est connectée à l'Internet à l'aide d'une liaison spécialisée à 45 Mbit/s. Quatre sites web Internet ont été sélectionnés pour effectuer les mesures:

- A: www.naver.com, portail
- B: www.google.com, site basé sur du texte
- C: www.hansei.ac.kr, site universitaire
- D: www.kbstar.co.kr, site bancaire.

La Fig. 21 indique les quatre configurations du réseau à satellite utilisé pour les tests et les mesures:

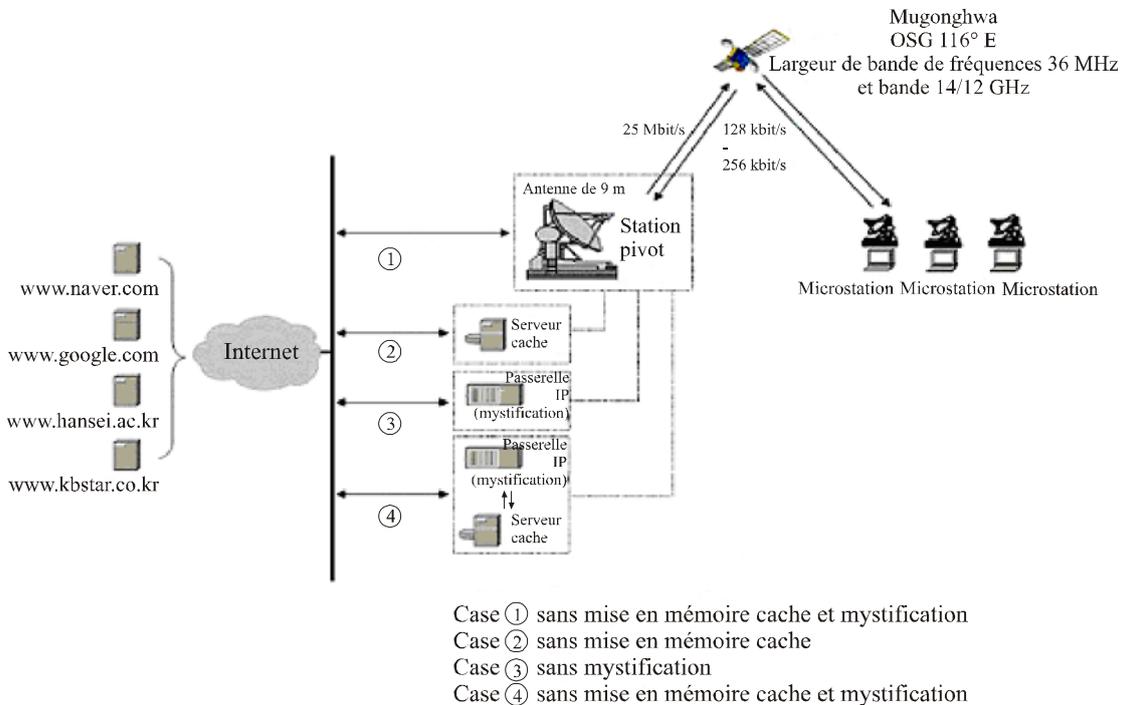
- sans mise en mémoire cache/mystification: le réseau à satellite est directement connecté au site web sélectionné par l'intermédiaire de la station pivot;
- avec mise en mémoire cache uniquement: le réseau à satellite est connecté aux sites web sélectionnés par l'intermédiaire d'un serveur cache situé au niveau de la station pivot;

- avec mystification uniquement: le réseau à satellite est connecté aux sites web sélectionnés par l'intermédiaire d'une passerelle IP (IPGW) située au niveau de la station pivot. La mystification est effectuée au niveau de la passerelle IP de la station pivot et de l'unité interne (IDU) des microstations;
- avec mise en mémoire cache et mystification: étant donné que la mystification souvent n'est pas suffisamment efficace pour pallier au temps de propagation et pour améliorer de façon suffisante les performances du protocole TCP sur les réseaux à satellite, elle est utilisée conjointement avec la mise en mémoire cache. Le réseau à satellite est connecté aux sites web sélectionnés par l'intermédiaire d'une passerelle IPGW et d'un serveur cache.

On a mesuré les performances d'un accès de Terre à l'Internet, pour référence. La Fig. 22 illustre la configuration du réseau de Terre utilisé pour les tests et les mesures.

FIGURE 21

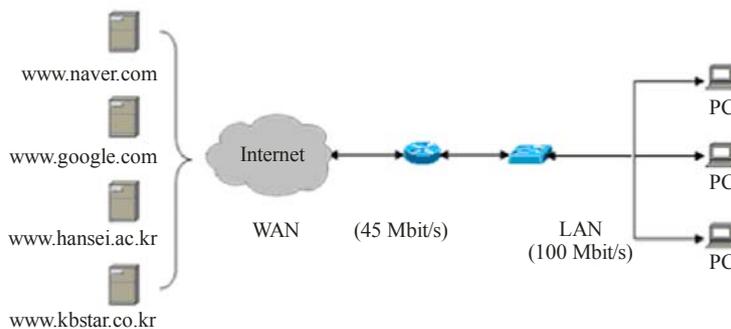
Configuration du réseau à satellite utilisé pour les tests



1711-21

FIGURE 22

Configuration du réseau Internet de Terre utilisé pour les tests



1711-22

3.2.3 Résultats des tests et des mesures

Des tests et des mesures ont été effectués à trois reprises à des intervalles de 20 min en recueillant 2×15 échantillons (15 pour chacun des paramètres mesurés, c'est-à-dire durée d'établissement de la connexion et débit) dans chacun des cinq cas décrits au § 3.2.2. On a ensuite fait une moyenne de ces échantillons qui sont présentés dans le Tableau 14.

TABLEAU 14

Comparaison des temps de connexion(s) moyens et des débits moyens (kocets/s)

Site web	Accès de Terre de référence		Accès par satellite							
			Cas 1: avec mise en mémoire cache et mystification		Cas 2: avec mise en mémoire cache		Cas 3: avec mystification		Cas 4: avec mystification et mise en mémoire cache	
	Durée d'établissement de la connexion (s)	Débit (kocets/s)	Durée d'établissement de la connexion (s)	Débit (kocets/s)	Durée d'établissement de la connexion (s)	Débit (kocets/s)	Durée d'établissement de la connexion (s)	Débit (kocets/s)	Durée d'établissement de la connexion (s)	Débit (kocets/s)
A	3,5	110,8	35,7	10,3	44,9	9,7	15,6	24,7	14,1	27,8
B	1,4	11,9	9,5	2,1	9,8	1,6	5,9	2,9	5,2	3,1
C	5,9	131,7	56,9	13,1	44,3	13,9	31,1	30,4	14,7	54,3
D	6,1	99,1	28,4	6,1	22,9	7,7	15,4	10,9	13,0	17,9

A: www.naver.com, portail

B: www.google.com, site basé sur du texte

C: www.hansei.ac.kr, site universitaire

D: www.kbstar.co.kr, site bancaire.

3.3 Conclusion

Pour les quatre sites web utilisés dans l'expérience, la mystification seule améliore les performances du protocole TCP/IP sur les réseaux à satellite à la fois en termes de débit et de durée d'établissement de la connexion. Par contre, si on utilise uniquement la mise en mémoire cache, le débit est inférieur et la durée d'établissement de la connexion est plus longue pour les sites A (portail, site web avec images animées) et B (site web avec texte) que sans méthode d'amélioration des performances.

Lorsqu'on utilise à la fois la mystification et la mise en mémoire cache dans le réseau à satellite TCP/IP, les résultats en ce qui concerne le débit et la durée d'établissement de la connexion sont meilleurs pour tous les sites web (par exemple le débit au niveau de la microstation est multiplié par 1,5 (site B) et par 4,2 (site C); les durées d'établissement de la connexion sont réduites de 1,8 fois (site B) à 3,9 fois (site C)).

4 Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite ATM

Le § 4.1 décrit l'environnement et les configurations d'un réseau expérimental. Le § 4.2 présente les résultats de débit TCP lorsque celui-ci est mesuré sur un réseau à satellite à base d'ATM pur. Le § 4.3 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 § 4.4 résume les conclusions auxquelles conduit cette expérience.

4.1 Configuration du réseau

La Fig. 23 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.

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. 24 et 25 montrent les configurations détaillées et les piles de protocole du réseau expérimental.

FIGURE 23

Configuration réseau des expériences nippono-coréennes

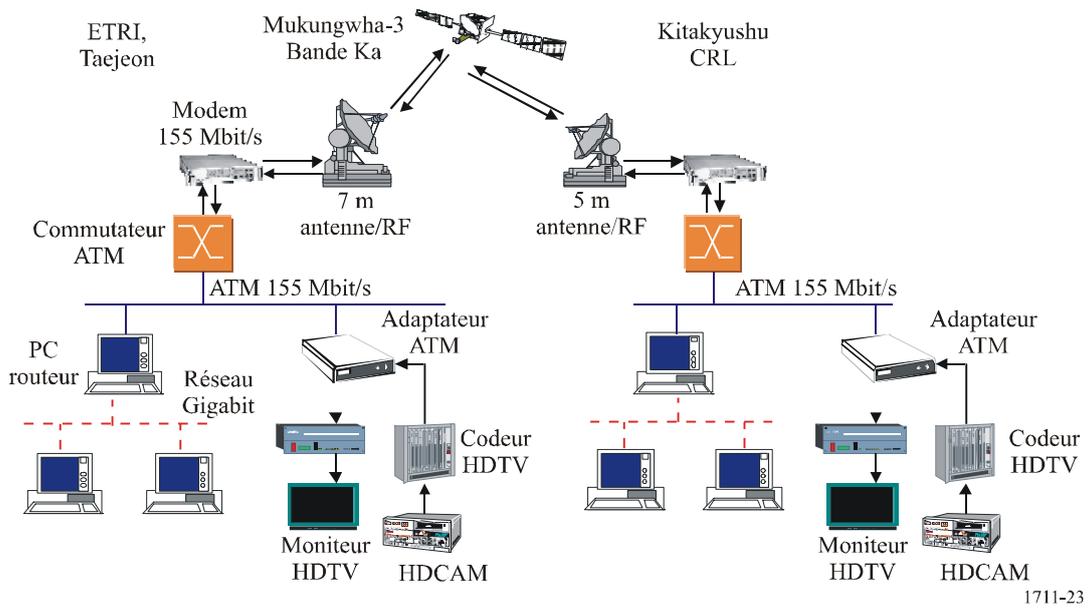


FIGURE 24

Configuration du réseau expérimental

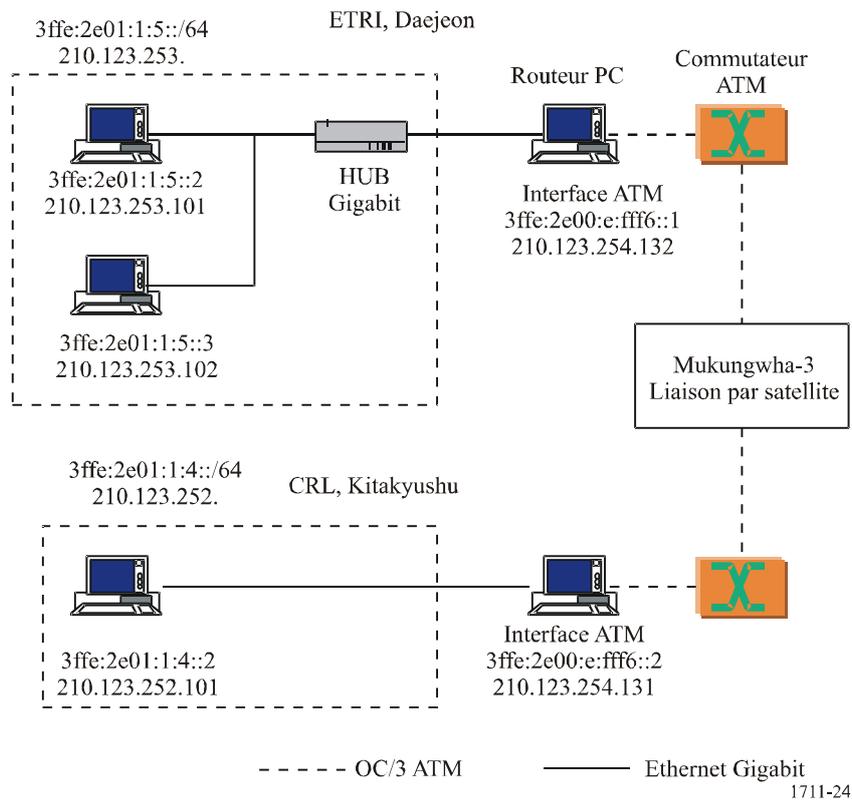
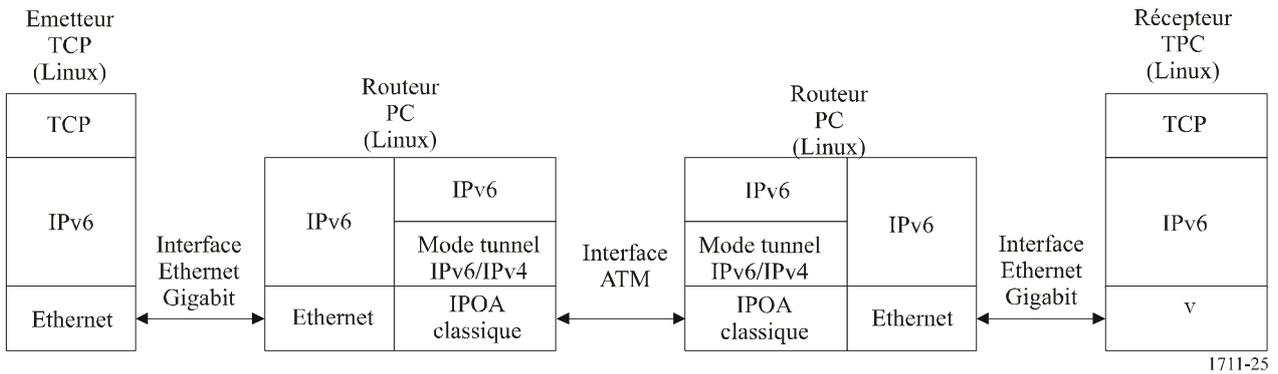


FIGURE 25

Piles de protocole du réseau expérimental interconnectées via le routeur PC

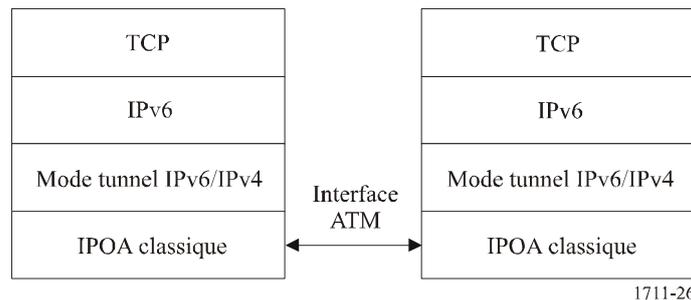


4.2 Performances du protocole TCP sur un réseau à satellite uniquement basé ATM

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. 26.

FIGURE 26

Pile de protocole du mode tunnel IPv6/IPv4 sur ATM



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:

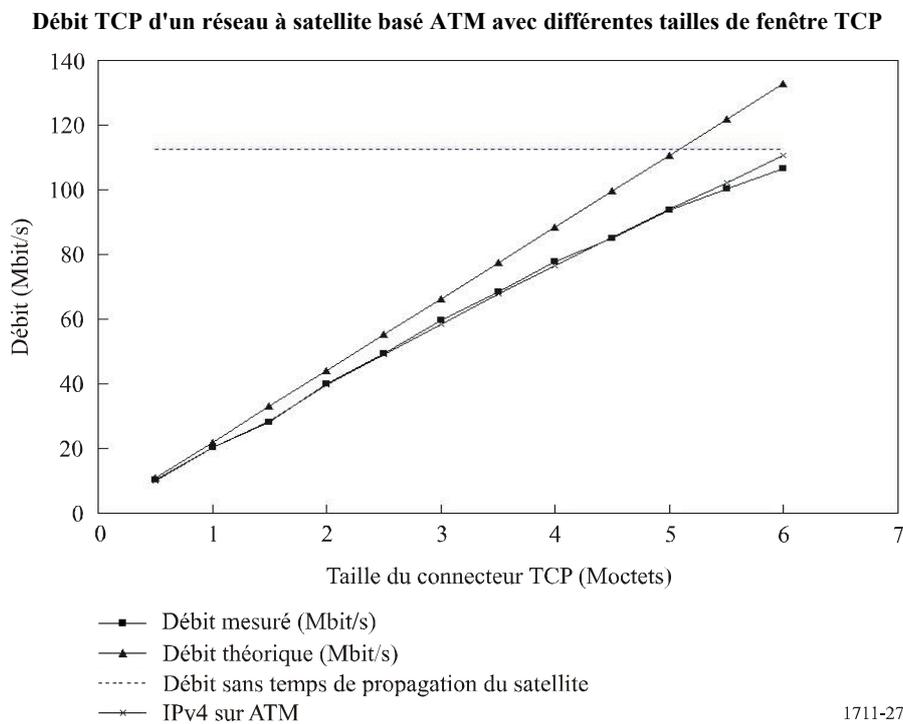
$$\eta = \frac{9\,100}{(8 + 20 + 40 + 20 + 9\,100 + 20 + 8)} = \frac{9\,100}{9\,224} = 0,986$$

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. 27 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 27



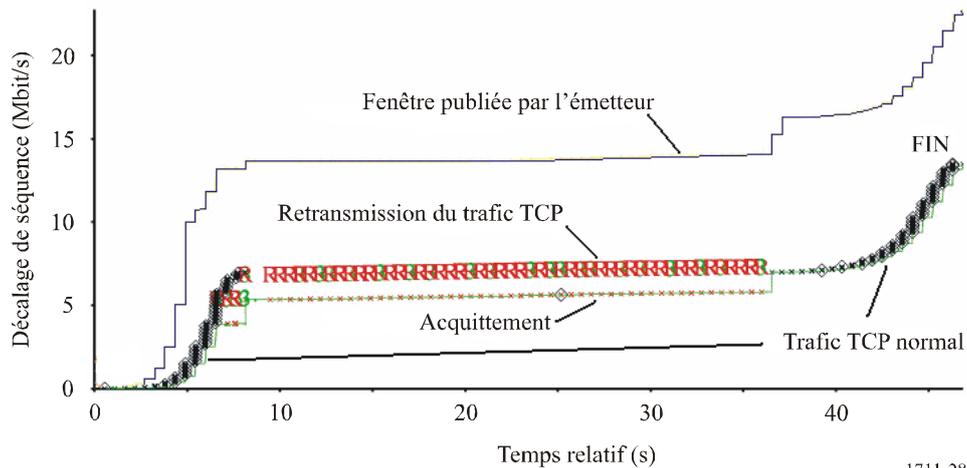
4.3 Comportements du protocole TCP sur réseau hétérogène comportant une liaison par satellite

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. 28 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 28

Graph de séquence TCP de la source de trafic TCP



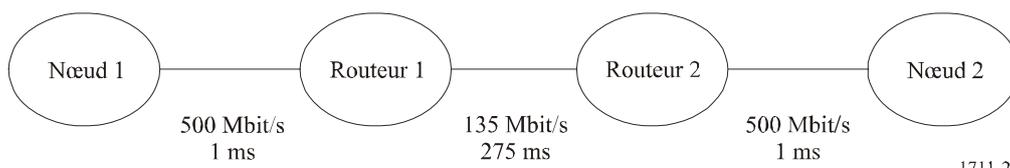
1711-28

4.3.1 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. 29. 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 29

Configuration du modèle de simulation



1711-29

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.

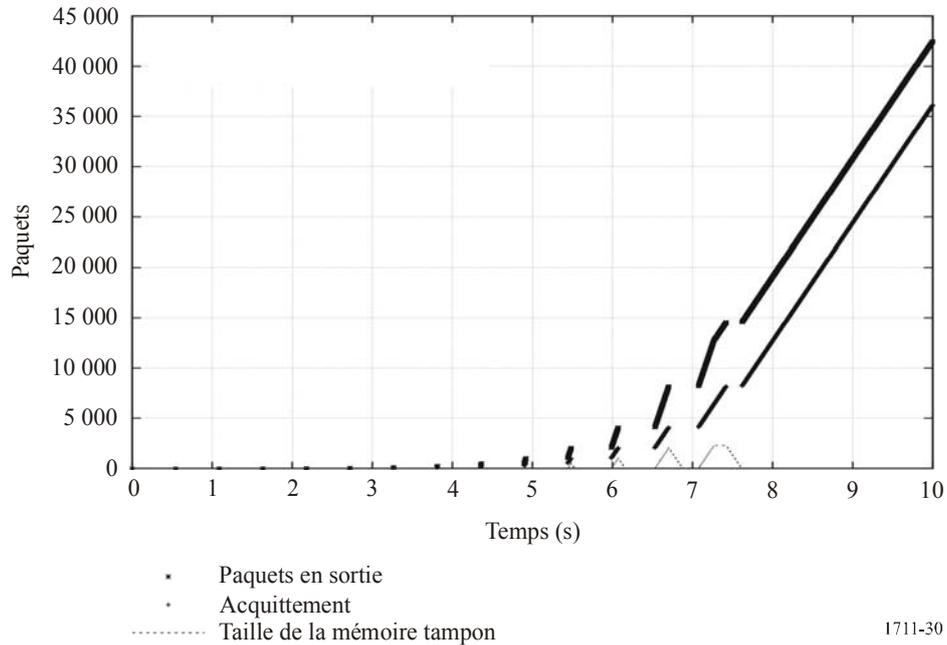
Par conséquent, la taille maximale des paquets dans la file d'attente est de:

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

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. 30 et 31 sont le fruit d'une simulation réalisée à l'aide de NS-2. La Fig. 30 représente la séquence TCP, l'ACK et le nombre de paquets contenus dans la file d'attente intermédiaire. La Fig. 31 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 30

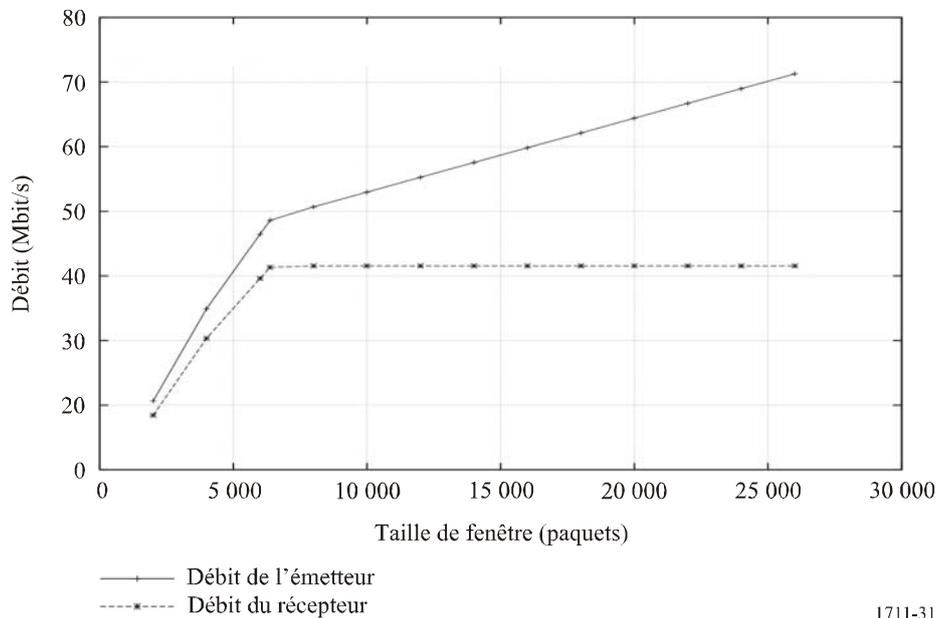
Séquence TCP, ACK et taille de la mémoire tampon contenue dans la file d'attente du routeur intermédiaire



1711-30

FIGURE 31

Débits TCP avec différentes tailles de mémoire tampon



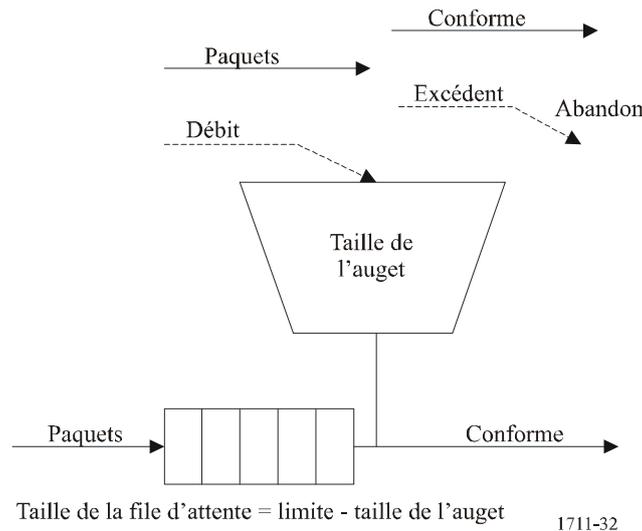
1711-31

4.3.2 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. 32 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'auget*) ou *burst size* (*taille d'une rafale*) représente le nombre de jetons qui peuvent être stockés dans l'auget à jetons. Le paramètre *limit* (*limite*) est la somme de la taille de l'auget et de la taille de la file d'attente. Si la limite est égale à la taille de l'auget 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'auget, certains paquets non conformes sont placés en file d'attente.

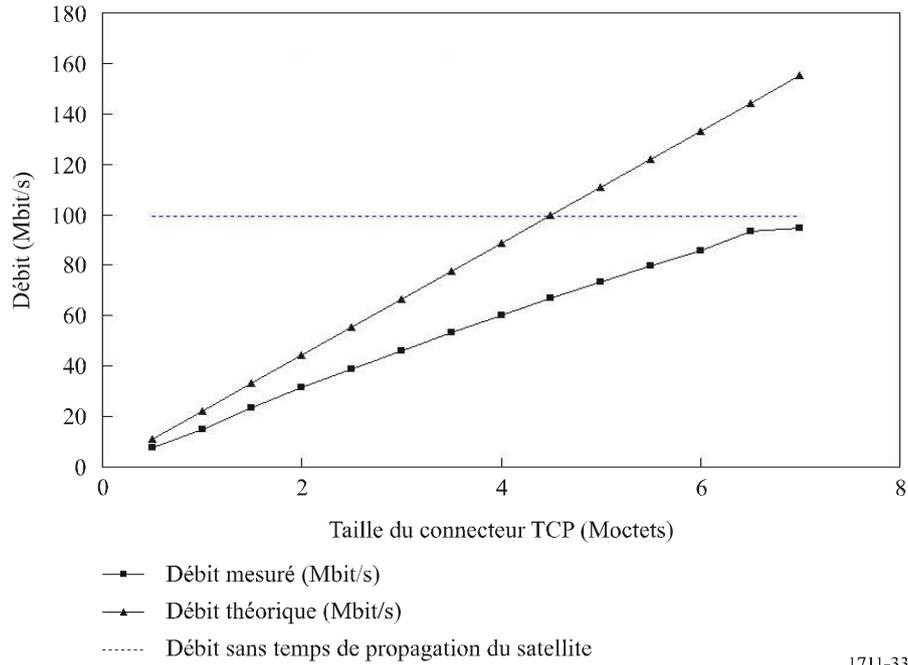
FIGURE 32
Paramètres de base de la discipline d'établissement de file d'attente TBF



La Fig. 33 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. 34 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 33

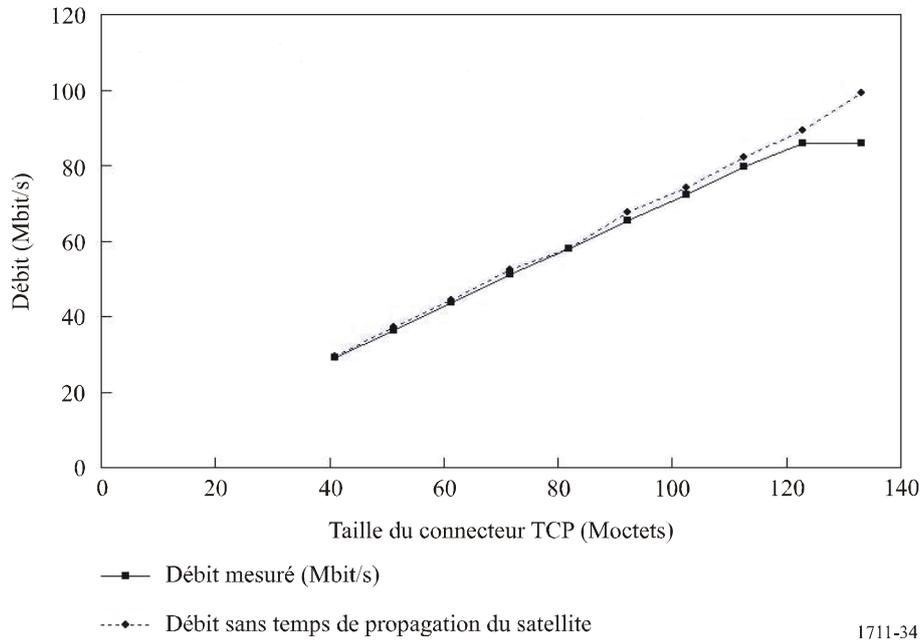
Débits TCP avec différentes tailles de connecteurs TCP lorsque TBF est utilisé chez l'émetteur TCP



1711-33

FIGURE 34

Débits TCP avec différentes tailles d'augets à jetons



1711-34

4.4 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:

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.

5 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 § 5.1 décrit l'architecture de réseau utilisée dans les tests. Le § 5.2 indique les mesures de performance du système effectuées en utilisant le découpage en trois segments, ainsi que les performances. Le § 5.3 tire quelques conclusions compte tenu des résultats des mesures donnés au § 5.2.

5.1 Architecture du réseau et configuration

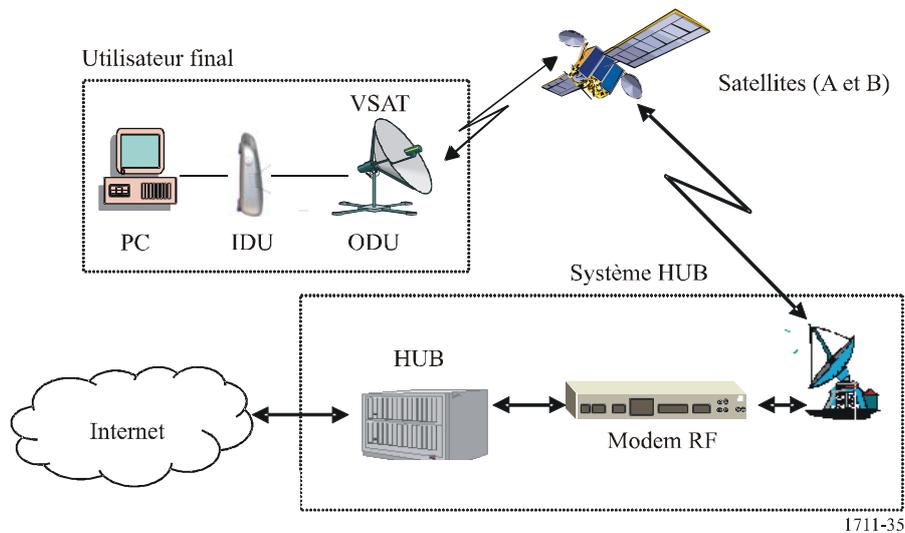
5.1.1 Architecture du réseau

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. 35 montre l'architecture du système utilisé pour obtenir les données de 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.

FIGURE 35

Architecture du réseau



5.1.2 Configuration

5.1.2.1 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 15 ci-dessous. Les différents rapports E_b/N_0 nécessaires sur la liaison sortante sont donnés dans le Tableau 16.

TABLEAU 15

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 16

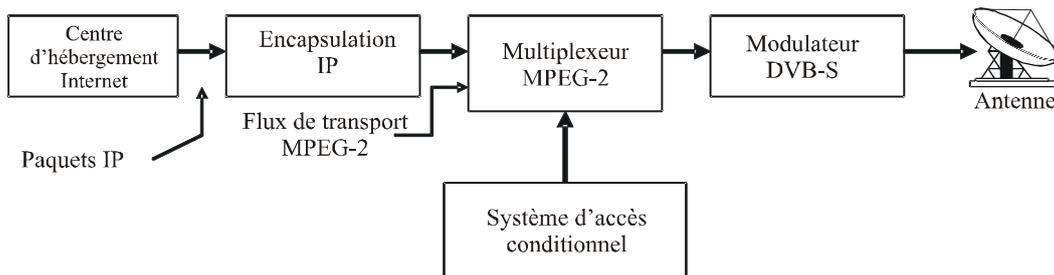
Caractéristiques de la liaison sortante

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

5.1.2.2 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. 36 et 37.

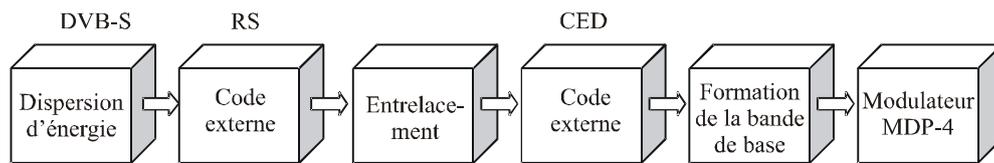
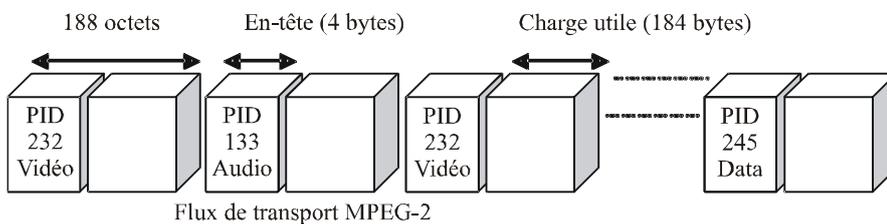
FIGURE 36
MPEG sur DVB-S



1711-36

FIGURE 37

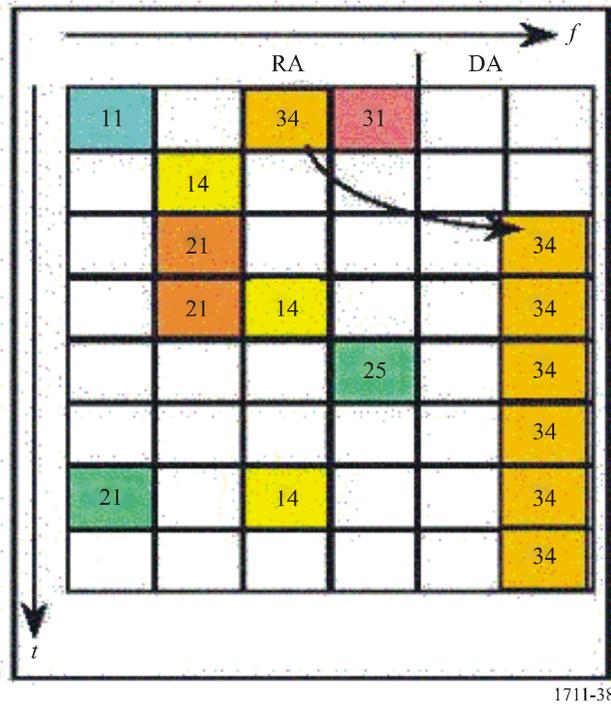
Flux de transport MPEG



1711-37

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. 38.

FIGURE 38
Voies de transmission inverses



5.2 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.

5.2.1 Disponibilité

Le Tableau 17 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.

5.2.2 Débit

Les Tableaux 18 et 19 montrent le débit moyen des groupes 2 et 3 (respectivement) et de leurs HSP respectifs. Environ 200 mesures ont été effectuées chaque jour de février 2004.

TABLEAU 17
Disponibilité du système sortant

Mois	Groupes			Indisponibilité totale (pluie, scintillation, etc.)/
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	
Janvier	100,0	99,0	N/D	1,4%
Février	100,0	100,0	N/D	1,1%
Mars	99,9	100,0	N/D	0,2%
Avril	100,0	100,0	N/D	0,0%
Mai	100,0	100,0	99,9	0,0%
Juin	100,0	100,0	99,9	0,0%
Juillet	100,0	100,0	100,0	0,0%

TABLEAU 17 (*fin*)

Mois	Groupes			Indisponibilité totale (pluie, scintillation, etc.)/
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	
Août	100,0	100,0	100,0	0,0%
Septembre	100,0	100,0	100,0	0,0%
Octobre	99,9	99,9	99,9	0,0%
Novembre	100,0	99,9	100,0	0,1%
Décembre	100,0	100,0	100,0	0,1%
Moyenne pour l'année	100,0	99,9	100,0	0,2%

TABLEAU 18

Débit moyen du Groupe 2

	Débit moyen par jour (kbit/s)			
	Groupe 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
Moyen	308,97	310,33	309,02	307,58
Médian	307,66	311,76	309,50	306,63
Maximal	319,11	317,44	321,36	324,09
Minimal	302,13	304,03	299,06	298,70

TABLEAU 19

Débit moyen du Groupe 3

	Débit moyen par jour (kbit/s)				
	Groupe 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
Moyen	253,05	247,09	251,04	266,74	266,74
Médian	253,24	246,87	252,15	266,99	266,99
Maximal	262,35	256,94	259,45	282,42	282,42
Minimal	243,98	237,55	241,94	249,46	249,46

5.2.3 Trafic

Les Tableaux 20 et 21 montrent le trafic entrant total des Groupes 2 et 3 (respectivement) mesuré chaque jour du mois de février 2004.

TABLEAU 20
Trafic du Groupe 2

	Trafic total par jour (Goctet)			
	Groupe 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
Moyen	6,08	5,72	6,21	6,30
Médian	7,02	6,60	7,00	7,00
Maximal	7,65	7,57	8,10	7,99
Minimal	3,56	3,15	3,80	3,51

TABLEAU 21
Trafic du Groupe 3

	Trafic total par jour (Goctet)				
	Groupe 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
Moyen	4,84	5,44	4,58	5,74	3,58
Médian	5,33	6,26	4,65	6,35	3,88
Maximal	6,33	7,44	6,34	7,54	5,14
Minimal	2,64	2,79	2,39	2,63	1,89

5.3 Conclusions

Les tests réalisés sur les réseaux WSAT destinés à assurer la connectivité IP au Brésil montrent que le découpage en 3 segments ainsi que la compression d'en-têtes permettent d'offrir un débit moyen proche du maximum théorique. Cette méthode garantit également une bonne stabilité du débit moyen sur une période d'un mois.

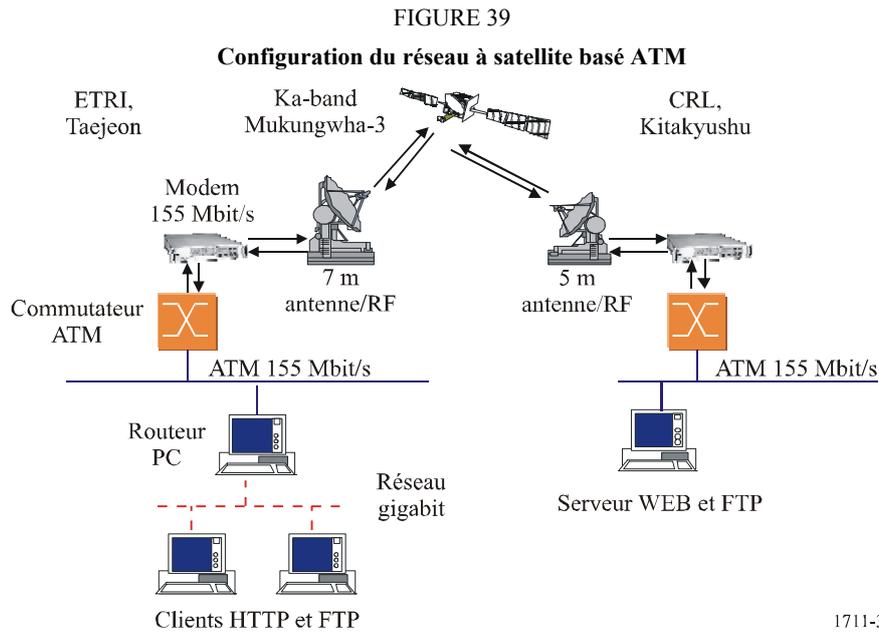
6 Mesures des protocoles d'application (FTP et HTTP)

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 un 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 § 6.1 décrit la configuration du réseau pour l'expérience. Le § 6.2 présente les résultats expérimentaux des tests menés avec le serveur FTP. Le § 6.3 présente rapidement le serveur HTTP et donne les résultats expérimentaux des tests menés avec ce dernier. Le § 6.4 résume les conclusions.

6.1 Configuration du réseau à satellite ATM

La Fig. 39 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 § 4.1.



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 Moctets. 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 22.

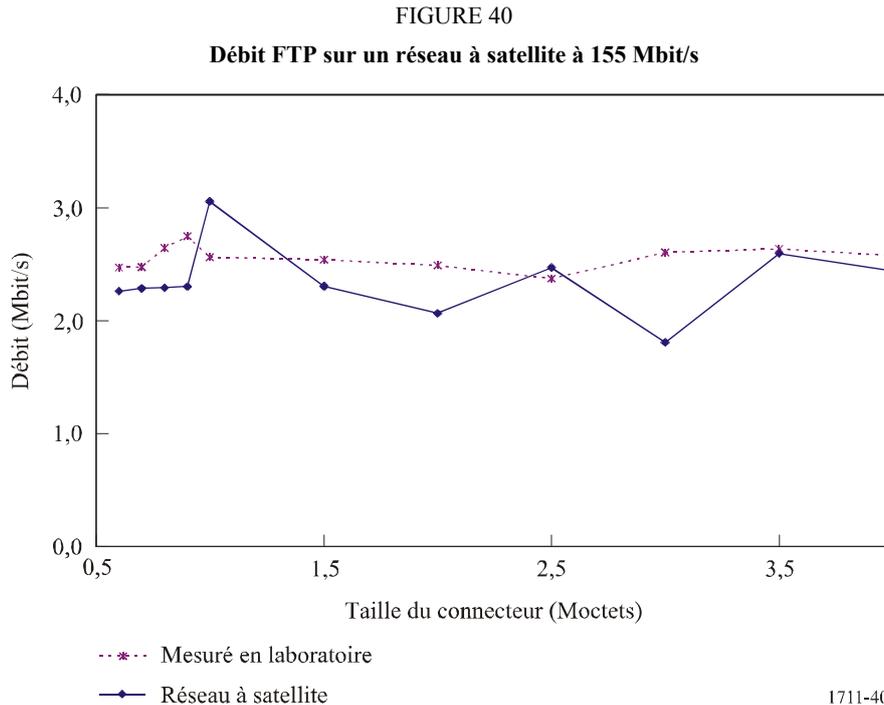
TABLEAU 22

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

6.2 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. 40 montre le débit FTP en utilisant une liaison par satellite simulée ou réelle.



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. 41 et 42 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 Mcoctet. 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. 42, le mécanisme d'encombrement du protocole TCP réduit de moitié la taille de la fenêtre. La Fig. 41 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 41

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

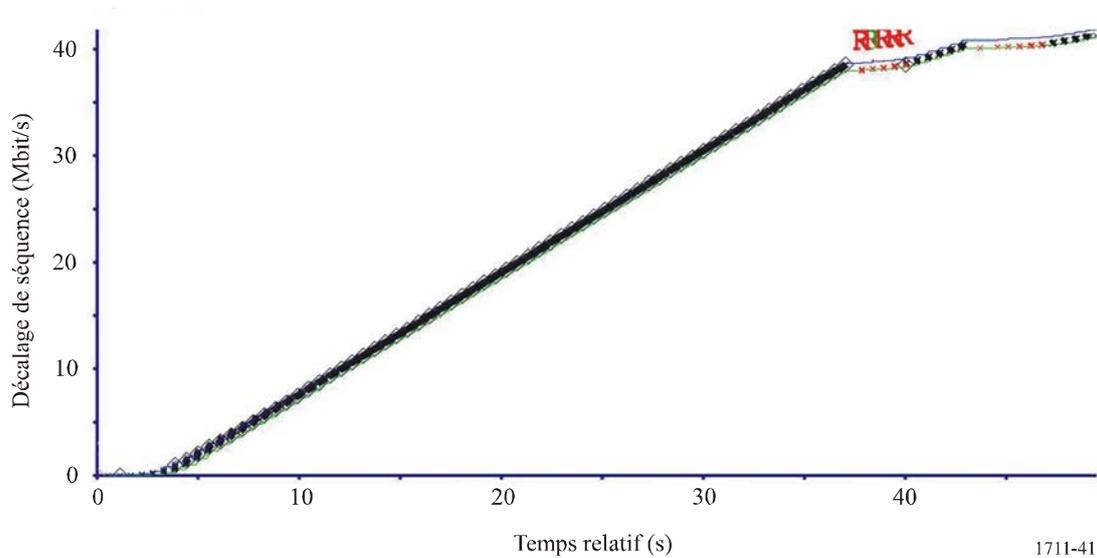
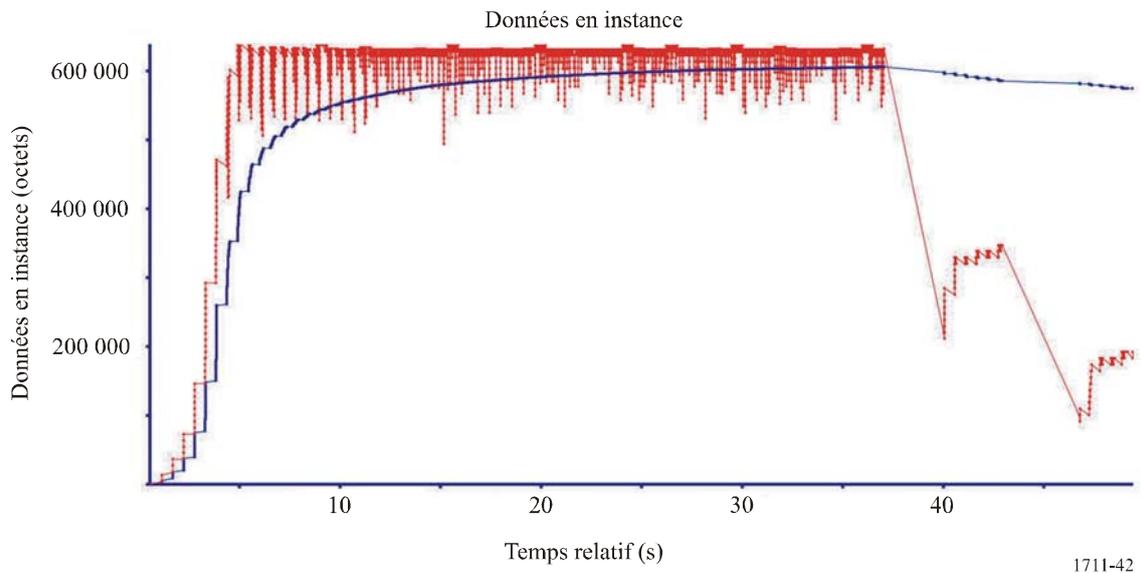


FIGURE 42

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

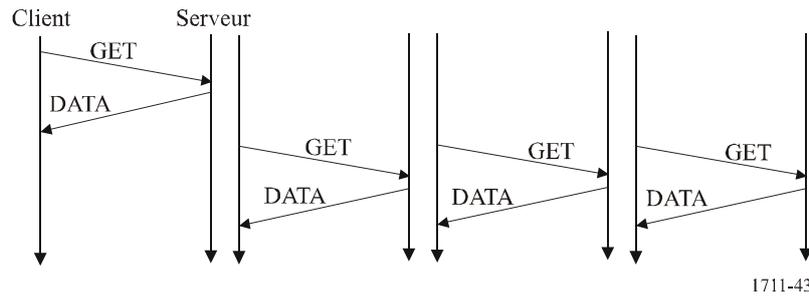


6.3 Débit HTTP sur liaison par satellite OC-3

6.3.1 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. 43 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 43

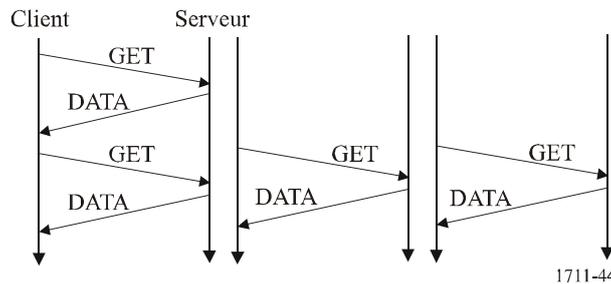
HTTP 1.0 – Connexions non persistantes

1711-43

6.3.2 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. 44 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.

FIGURE 44

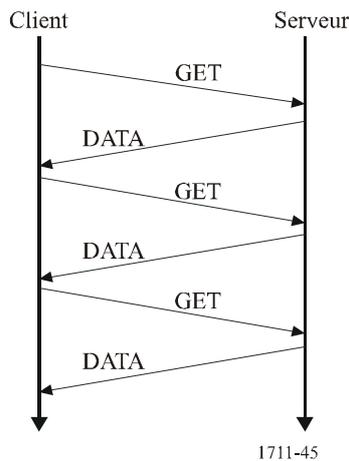
HTTP 1.0 – Option «connexion persistante»

1711-44

6.3.3 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. 45 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.

FIGURE 45

HTTP 1.1 sans traitement pipeline

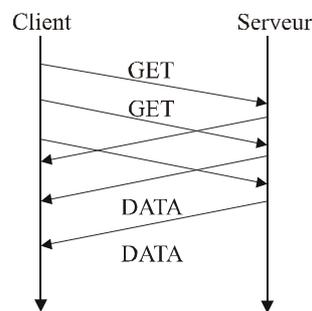
1711-45

6.3.4 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. 46 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 46

HTTP 1.1 avec traitement pipeline

1711-46

6.3.5 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 23 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).

TABLEAU 23
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

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.

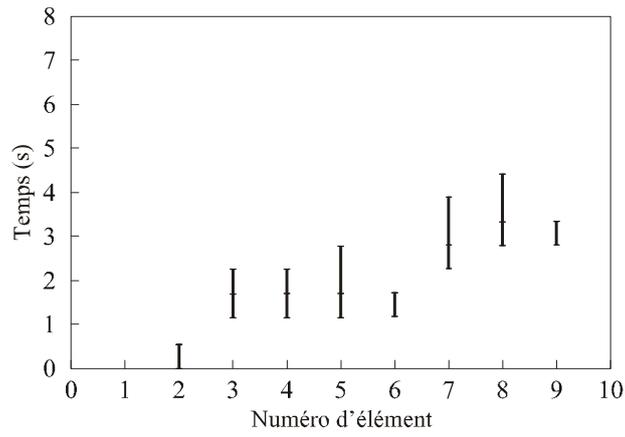
La Fig. 47 montre la séquence de demande de récupération et de transfert d'élément pour une page RBLAB (sept éléments). L'élément 1 des graphiques b) et c) représente le temps que nécessite le transfert intégral de la page de base et des objets liés. Les autres éléments décrivent le temps de transfert 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. 47 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.

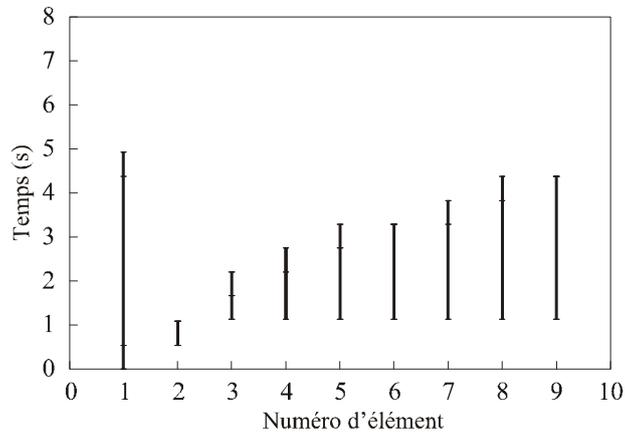
Lorsque l'option de traitement pipeline est active, plusieurs éléments sont transférés dans la même connexion et semblent par conséquent constituer un transfert de masse unique. Bon nombre d'expériences montrent que les transferts de masses de données offrent de bonnes performances dans un LFN tel qu'un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

FIGURE 47

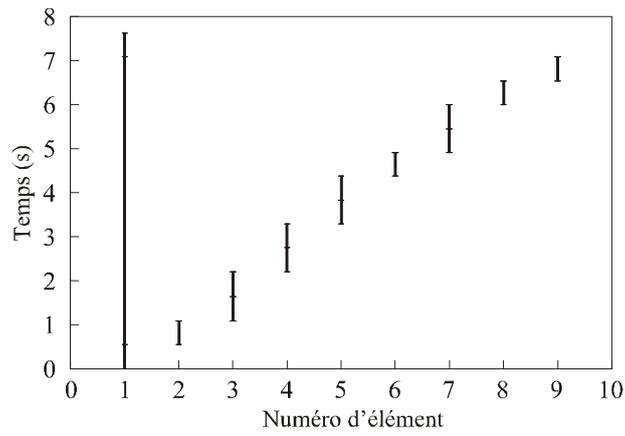
Page web RBLAB et graphique de séquence de transfert de ses éléments



a) HTTP 1.0 (netscape)



b) HTTP 1.1 avec traitement pipeline (webbot)



c) HTTP 1.1 sans traitement pipeline (webbot)

6.4 Résumé

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.

7 Conclusions

Les divers résultats des tests et des mesures donnés dans la présente Annexe fournissent des lignes directrices pour concevoir les améliorations des performances du protocole TCP en fonction de la configuration du réseau à satellite.

Les résultats suivant sont particulièrement importants pour la conception d'un réseau à satellite:

- Le débit du protocole TCP n'est pas affecté aussi longtemps que le TEB sur la liaison par satellite est meilleur que le 10^{-7} (voir § 2).
 - Les techniques de découpage peuvent améliorer le débit du trafic TCP sur les liaisons par satellite (voir § 2, 3 et 5).
 - La mise en mémoire cache permet d'améliorer effectivement les performances uniquement dans le cas de sites web avec des images animées ou du texte et doit, dans de nombreux cas, être utilisée en combinaison avec la mystification (§ 3).
 - L'utilisation de fenêtres TCP de grande taille sur les liaisons par satellite permet d'améliorer le débit jusqu'à 90% du maximum théorique mais elle génère des rafales de trafic qui, à leur tour, peuvent aboutir à des pertes de paquets sur les routeurs intermédiaires imputables à la saturation de la mémoire tampon (§ 4).
 - La mise en oeuvre d'un mécanisme de contrôle du trafic à la source TCP peut aboutir à un débit d'environ 95% du débit que l'on obtiendrait sans temps de propagation du satellite (§ 4).
 - Accroître la taille de la mémoire tampon TCP améliore le débit mais dégrade les performances de la couche application en affectant les E/S sur le disque ou les affectations de mémoire système (§ 6).
 - Dans les réseaux utilisant des liaisons par satellite, les meilleures performances sont offertes par HTTP 1.1 avec option de traitement pipeline (§ 6).
-