

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

Y.1541

(02/2006)

SÉRIE Y: INFRASTRUCTURE MONDIALE DE
L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET
RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION

Aspects relatifs au protocole Internet – Qualité de service
et performances de réseau

**Objectifs de performances de réseau pour les
services en mode IP**

Recommandation UIT-T Y.1541



RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y
**INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET RÉSEAUX DE
 PROCHAINE GÉNÉRATION**

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION	
Généralités	Y.100–Y.199
Services, applications et intergiciels	Y.200–Y.299
Aspects réseau	Y.300–Y.399
Interfaces et protocoles	Y.400–Y.499
Numérotage, adressage et dénomination	Y.500–Y.599
Gestion, exploitation et maintenance	Y.600–Y.699
Sécurité	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET	
Généralités	Y.1000–Y.1099
Services et applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, accès, capacités de réseau et gestion des ressources	Y.1200–Y.1299
Transport	Y.1300–Y.1399
Interfonctionnement	Y.1400–Y.1499
Qualité de service et performances de réseau	Y.1500–Y.1599
Signalisation	Y.1600–Y.1699
Gestion, exploitation et maintenance	Y.1700–Y.1799
Taxation	Y.1800–Y.1899
RÉSEAUX DE PROCHAINE GÉNÉRATION	
Cadre général et modèles architecturaux fonctionnels	Y.2000–Y.2099
Qualité de service et performances	Y.2100–Y.2199
Aspects relatifs aux services: capacités et architecture des services	Y.2200–Y.2249
Aspects relatifs aux services: interopérabilité des services et réseaux dans les réseaux de prochaine génération	Y.2250–Y.2299
Numérotage, nommage et adressage	Y.2300–Y.2399
Gestion de réseau	Y.2400–Y.2499
Architectures et protocoles de commande de réseau	Y.2500–Y.2599
Sécurité	Y.2700–Y.2799
Mobilité généralisée	Y.2800–Y.2899

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

Recommandation UIT-T Y.1541

Objectifs de performances de réseau pour les services en mode IP

Résumé

La présente Recommandation définit des classes de qualité de service (QS) de réseau avec des objectifs pour les paramètres de performance des réseaux à protocole Internet. Deux des classes contiennent des objectifs provisoires en matière de performance. Ces classes sont destinées à former la base d'accords entre fournisseurs de services et entre utilisateurs finals et leurs fournisseurs de services de réseau.

L'Appendice I donne des informations sur la façon dont le mode de transfert asynchrone (ATM, *asynchronous transfer mode*) pourrait prendre en charge la performance de la couche de protocole Internet (IP, *Internet protocol*). L'Appendice II analyse des variantes de définition de la variation du temps de transfert IP. L'Appendice III présente les chemins fictifs de référence en fonction desquels les objectifs de QS de la Rec. UIT-T Y.1541 ont été contrôlés quant à leur faisabilité. L'Appendice IV donne des exemples de calcul de la variation du temps de transfert de paquet. L'Appendice V analyse les problèmes qui doivent être pris en considération chaque fois que des mesures IP sont effectuées. L'Appendice VI décrit la relation entre la présente Recommandation et les mécanismes définis par le Groupe IETF afin de gérer la QS. A l'Appendice VII sont données des évaluations de la qualité de transmission des signaux vocaux pour les chemins fictifs de référence décrits à l'Appendice III. L'Appendice VIII analyse le transport des signaux de télévision numérique sur les réseaux IP. L'Appendice IX contient une évaluation de la performance du transfert des fichiers dans le cadre du protocole de commande de transmission (TCP, *transmission control protocol*) sur des chemins satisfaisant aux objectifs de la Rec. UIT-T Y.1541.

Source

La Recommandation UIT-T Y.1541 a été approuvée le 22 février 2006 par la Commission d'études 12 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

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

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT avait été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux développeurs de consulter la base de données des brevets du TSB sous <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2007

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.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	1
1.1	1
1.2	2
2	2
3	3
4	6
5	6
5.1	7
5.2	7
5.3	9
6	14
7	14
8	14
8.1	14
8.2	14
8.3	16
9	17
Appendice I – Prise en charge de la QS des réseaux IP par la QS d'un réseau ATM.....	17
Appendice II – Considérations relatives à la définition du paramètre de variation du temps de transfert IP.....	18
Appendice III – Exemples de chemin fictif de référence pour valider les objectifs de performance IP.....	20
III.1 Nœuds de numéro IP dans le chemin HRP	20
III.2 Exemples de calculs pour prendre en charge le temps de transfert de bout en bout de classes 0 et 1	22
III.3 Exemple de calcul de temps de transfert de bout en bout de classe 1	24
III.4 Exemple de calculs pour prendre en charge le temps de transfert de bout en bout de classe 4.....	25
III.5 Niveau de charge dans le chemin HRP	26
III.6 Satellites géostationnaires dans le chemin HRP.....	26
Appendice IV – Exemples de calcul de la variation du temps de transfert de paquets IP.....	26
IV.1 Contributions à la variation du temps de transfert de paquets IP.....	27
IV.2 Modèles et procédures de calcul afin d'établir une limite supérieure de la variation IPDV.....	27
IV.3 Exemples de calcul.....	29
Appendice V – Données relatives aux méthodes de mesure de la performance IP.....	31
Appendice VI – Applicabilité des capacités de transfert Y.1221 et des services différenciés de l'IETF aux classes de QS de réseau IP.....	32

	Page
Appendice VII – Effets de la QS de réseau sur la qualité de transmission de bout en bout de signaux vocaux telle que perçue par l'utilisateur	33
VII.1 Exemple de calcul de temps de transfert de la voix sur IP avec une performance de réseau de classe 0 selon la Rec. UIT-T Y.1541	34
VII.2 Exemple de calcul de temps de transfert de la voix sur IP avec une performance de réseau de classe 1 selon la Rec. UIT-T Y.1541	35
VII.3 Calcul de la qualité vocale pour des chemins fictifs de référence selon la Rec. UIT-T Y.1541	35
Appendice VIII – Effets de la performance du réseau IP sur la qualité du service d'émission de télévision numérique	37
VIII.1 Introduction	37
VIII.2 Extrémité fictive de référence (HRE) pour les signaux vidéo à grande largeur de bande	37
VIII.3 Profils de services et exigences en matière de qualité des paquets de bout en bout	38
VIII.4 Correction d'erreurs vers l'avant (FEC)/entrelacement destinés à améliorer la performance des liaisons UNI-UNI	40
VIII.5 Evaluation en laboratoire de l'efficacité de la correction d'erreur vers l'avant (FEC)/de l'entrelacement	40
VIII.6 Paramètres de performance supplémentaires	41
Appendice IX – Effets de la QS de réseau sur la qualité de transmission de données de bout en bout au moyen du protocole TCP	41
IX.1 Introduction	41
IX.2 Modèle de performance TCP	42
IX.3 Extrémité fictive TCP de référence (HRE)	42
IX.4 Observations	43
IX.5 Résumé de l'évaluation des capacités TCP	45
BIBLIOGRAPHIE	46

Recommandation UIT-T Y.1541

Objectifs de performances de réseau pour les services en mode IP

1 Introduction et domaine d'application

1.1 Introduction

Les clients exigent des niveaux de performance de réseau qui, venant s'ajouter à ceux de leurs serveurs, de leurs terminaux et d'autres dispositifs, permettent de prendre en charge leurs applications de manière satisfaisante. L'adoption de services de réseau en mode IP n'a pas changé la donne, si ce n'est que les paramètres de performance du transfert de paquets des réseaux doivent obéir à certaines contraintes (telles qu'elles sont définies dans la Rec. UIT-T Y.1540).

Les prescriptions en matière de performance des applications sont bien comprises, même si plusieurs éléments importants échappent souvent au contrôle du fournisseur de services de réseau (par exemple, réseau à domicile, réseau local, passerelles d'application, terminaux, serveurs et autres dispositifs des clients). Notons que les objectifs en matière de performance de l'équipement des clients sont à disposition, tels que ceux de la Rec. UIT-T P.1010 pour les terminaux et les passerelles voix sur IP, et qu'en combinant ces objectifs avec des niveaux de performance de réseau spécifiques (tels qu'ils sont décrits dans les appendices de la présente Recommandation), on peut établir une relation directe entre la performance des applications et la performance du réseau.

En réponse, les fournisseurs de services sont convenus de collaborer en vue d'atteindre certains niveaux de performance de réseau et ont codifié les objectifs numériques dans la présente Recommandation. Un accord en ce qui concerne les niveaux de performance de réseau est très utile, parce qu'il influe fortement sur la performance des applications.

Les objectifs sont classés en ensembles nommés classes de qualité de service (QS) (Tableau 1), qui peuvent être adaptées aux équipements des clients conçus de manière à prendre en charge de manière satisfaisante les diverses applications (comme indiqué dans la Tableau 2). Les classes dont les objectifs sont provisoires sont contenues dans le Tableau 3. Le nombre de classes a volontairement été restreint pour simplifier la configuration des chemins traversant les réseaux des différents opérateurs, de sorte que les objectifs dans chaque classe doivent nécessairement répondre aux besoins des différentes applications. En ce qui concerne les champs et des valeurs du protocole, le lecteur de la présente Recommandation devrait prévoir *au moins* huit classes, une augmentation ultérieure du nombre de classes étant possible.

Les valeurs des objectifs résultent de l'analyse des principales applications, telles que la téléphonie en mode conversationnel, la conférence multimédia, l'échange de données fiable au moyen du protocole de commande de transmission (TCP, *transmission control protocol*) et la télévision numérique, effectuée conjointement à l'analyse de faisabilité dans le réseau. Les appendices donnent des indications importantes et détaillées quant à la manière d'employer les objectifs dans les classes QS de réseau pour déterminer la qualité (de l'application) de bout en bout fournie.

Les classes QS sont un maillon important dans la chaîne des développements nécessaires pour assurer la performance de bout en bout. Elles font partie du vocabulaire de négociation de QS entre usagers et réseaux, en particulier lorsque les protocoles de signalisation communiquent les demandes de QS sur une base dynamique.

Vérifier que le service répond bien aux objectifs de réseau est une autre question-clé d'intérêt pour le client. Elle a été abordée ici à travers des intervalles d'évaluation recommandés, des dimensions de charge utile des paquets, et d'autres aspects utiles aux concepteurs chargés du dimensionnement. En outre, les objectifs pour les liaisons entre interfaces utilisateur-réseau (UNI, *user network interface*) UNI-UNI sont directement vérifiables par les utilisateurs, contrairement aux objectifs qui

s'appliquent aux interfaces non liées à l'utilisateur ou emploient des informations inconnues des clients telles que la longueur du trajet.

1.2 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie des valeurs de performance IP dans le réseau (UNI-UNI) pour chacun des paramètres de performance définis dans la Rec. UIT-T Y.1540. Les valeurs de performance spécifiques varient en fonction des classes de QS du réseau. La présente Recommandation définit huit classes de QS, deux d'entre elles étant provisoires. La présente Recommandation s'applique aux chemins de réseau IP internationaux (UNI-UNI). Les classes de QS de réseau définies ici sont destinées à former la base d'accords entre utilisateurs finals et fournisseurs de services de réseau, et entre fournisseurs de services. Ces classes devraient continuer à être utilisées lorsque des accords statiques donnent lieu à des requêtes dynamiques prises en charge par des protocoles de spécification de qualité de service.

Les classes de QS définies ici prennent en charge une très large gamme d'applications, y compris ce qui suit: la téléphonie en mode conversationnel, les conférences multimédias, la vidéo numérique et le transfert de données interactif. D'autres applications peuvent nécessiter des classes nouvelles ou révisées, mais une éventuelle recherche de nouvelles classes doit toujours être compensée par l'exigence d'une implémentation réalisable, et le nombre de classes doit toujours être petit afin que les implémentations puissent s'intégrer dans les réseaux d'échelle mondiale.

Les objectifs de QS sont principalement applicables lorsque les vitesses de liaison d'accès sont au moins au débit T1 ou E1. Cette restriction tient compte du fait que le temps de mise en séquence des paquets IP est compris dans la définition du temps de transfert des paquets IP (IPTD, *IP packet transfer delay*) et que les débits d'accès inférieurs au débit T1 peuvent produire des temps de mise en séquence dépassant 100 ms pour les paquets de charges utiles de 1500 octets. Par ailleurs, dans la présente Recommandation, il est concrètement exigé que soient déployés des mécanismes de QS de réseau sur les dispositifs d'accès, devant permettre d'atteindre l'objectif de variation du temps de transfert des paquets (IPDV, *IP packet delay variation*), en particulier lorsque le débit d'accès est bas (par exemple, le débit T1). La conception des réseaux peut inclure des débits d'accès plus faibles lorsque:

- 1) les concepteurs de réseaux tiennent compte de l'effet du temps de mise en séquence supplémentaire sur l'objectif pour les liaisons UNI-UNI en matière de temps IPTD;
- 2) les mécanismes de QS limitent la contribution de l'accès au temps IPDV, et l'objectif pour les liaisons UNI-UNI est rempli. L'objectif actuel en matière de temps IPDV est nécessaire pour assurer une performance des applications élevée, ainsi qu'il est clairement indiqué dans les Appendices III et VII.

La présente Recommandation indique les classes de QS de réseau nécessaires pour prendre en charge les catégories de QS orientées vers les utilisateurs. En conséquence, La présente Recommandation est en cohérence avec le cadre général définissant la qualité des services de communication dans la Rec. UIT-T G.1000, et avec les catégories de QS des services multimédias pour l'utilisateur final qui sont nécessaires pour prendre en charge les applications d'utilisateur indiquées dans la Rec. UIT-T G.1010.

NOTE – La présente Recommandation utilise les paramètres définis dans la Rec. UIT-T Y.1540 qui peuvent être utilisés afin de caractériser le service IP fourni au moyen du protocole IPv4; l'applicabilité ou l'extension à d'autres protocoles (par exemple, IPv6) fera l'objet d'un complément d'étude.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte

étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- [1] Recommandation UIT-T G.114 (2003), *Temps de transmission dans un sens*.
- [2] Recommandation UIT-T G.109 (1999), *Définition des catégories de qualité de transmission vocale*.
- [3] Recommandation UIT-T G.826 (2002), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur de bout en bout pour les connexions et conduits numériques internationaux à débit constant*.
- [4] Recommandation UIT-T G.1020 (2003), *Définition des paramètres de performance pour les applications vocales et autres applications en bande vocale utilisant les réseaux IP*.
- [5] Recommandation UIT-T I.113 (1997), *Terminologie du RNIS à large bande*.
- [6] Recommandation UIT-T I.350 (1993), *Aspects généraux relatifs à la qualité de service et à la performance des réseaux numériques, y compris les RNIS*.
- [7] Recommandation UIT-T P.1010 (2004), *Objectifs fondamentaux de transmission vocale pour les terminaux et passerelles de téléphonie IP*.
- [8] Recommandation UIT-T Y.1540 (2002), *Service de communication de données par protocole Internet – Paramètres de performances pour le transfert de paquets IP et la disponibilité de ce service*.
- [9] IETF RFC 791 (STD-5) (1981), *Internet Protocol, DARPA Internet Program Protocol Specification*.
- [10] Recommandation UIT-T Y.1231 (2000), *Architecture du réseau d'accès IP*.
- [11] Recommandation UIT-T E.651 (2000), *Connexions de référence pour l'ingénierie du trafic sur les réseaux d'accès IP*.
- [12] Recommandation UIT-T G.1000 (2001), *Qualité de service des communications: cadre et définitions*.
- [13] Recommandation UIT-T G.1010 (2001), *Catégories de qualité de service multimédia pour l'utilisateur final*.
- [14] Recommandation UIT-T Y.1221 (2002), *Gestion du trafic et des encombrements dans les réseaux en mode IP*.
- [15] Recommandation UIT-T G.107 (2005), *Le modèle E: modèle de calcul utilisé pour la planification de la transmission*.
- [16] Recommandation UIT-T G.108 (1999), *Application du modèle E: guide de planification*.

3 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

AF	réacheminement assuré (<i>assured forwarding</i>)
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
CBR	débit binaire constant (<i>constant bit rate</i>)
CDV	variation du temps de propagation des cellules (<i>cell delay variation</i>)

CER	taux d'erreur de cellules (<i>cell error ratio</i>)
CLR	taux de perte de cellules (<i>cell loss ratio</i>)
CMR	taux de mauvaise insertion de cellules (<i>cell misinsertion ratio</i>)
CS	section de circuit (<i>circuit section</i>)
DS	services différenciés (<i>differentiated services</i>)
DST	serveur de destination (<i>destination host</i>)
E1	transmission en hiérarchie numérique à 2,048 Mbit/s
E3	transmission en hiérarchie numérique à 34 Mbit/s
EF	réacheminement exprès (<i>expedited forwarding</i>)
FEC/I	correction d'erreur directe et entrelacement (<i>forward error correction and interleaving</i>)
FIFO	premier entré, premier sorti (<i>first-in, first-out</i>)
FTP	protocole de transfert de fichiers (<i>file transfer protocol</i>)
GW	passerelle (<i>gateway</i>)
HRE	extrémité fictive de référence (<i>hypothetical reference endpoint</i>)
HRP	chemin fictif de référence (<i>hypothetical reference path</i>)
HTTP	protocole de transfert hypertexte (<i>hypertext transfer protocol</i>)
IETF	Groupe de travail d'ingénierie Internet (<i>Internet engineering task force</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
IPDV	variation du temps de transfert des paquets IP (<i>IP packet delay variation</i>)
IPER	taux d'erreur sur les paquets IP (<i>IP packet error ratio</i>)
IPLR	taux de perte de paquets IP (<i>IP packet loss ratio</i>)
IPOT	débit utile de paquets IP en octets (<i>octet based IP packet throughput</i>)
IPPT	débit utile de paquets IP (<i>IP packet throughput</i>)
IPRE	événement de référence de transfert de paquet IP (<i>IP packet transfer reference event</i>)
IPRR	taux de reclassement des paquets IP (<i>IP packet reordering ratio</i>)
IPTD	temps de transfert de paquet IP (<i>IP packet transfer delay</i>)
ISP	fournisseur de service Internet (<i>Internet service provider</i>)
LAN	réseau local (<i>local area network</i>)
LL	couches inférieures (protocoles et techniques prenant en charge la couche IP) (<i>lower layers</i>)
M _{av}	nombre minimal de paquets recommandé pour évaluer l'état de disponibilité
MP	point de mesure (<i>measurement point</i>)
MPLS	commutation multiprotocolaire par étiquetage (<i>multi-protocol label switching</i>)
MTBISO	temps moyen entre interruptions de service IP (<i>mean time between IP service outages</i>)
MTTISR	temps moyen de rétablissement du service IP (<i>mean time to IP service restoration</i>)
N	nombre de paquets dans une sonde de débit de dimension N
NS	section de réseau (<i>network section</i>)

NSE	ensemble de sections de réseau (<i>network section ensemble</i>)
NSP	fournisseur de services de réseau (<i>network service provider</i>)
OSPF	plus court chemin ouvert en premier (<i>open shortest path first</i>)
PDB	comportement domaine par domaine (<i>per domain behaviour</i>)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PHB	comportement par saut (<i>per hop behaviour</i>)
PIA	disponibilité relative de service IP (<i>percent IP service availability</i>)
PIU	indisponibilité relative de service IP (<i>percent IP service unavailability</i>)
pkt	datagramme IP (paquet IP) (<i>IP datagram (IP packet)</i>)
QS	qualité de service
R	routeur
RFC	demande de commentaires (<i>request for comment</i>)
RSVP	protocole de réservation de ressource (<i>resource reservation protocol</i>)
RTP	protocole de transport en temps réel (<i>real-time transport protocol</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SPR	taux de paquets parasites (<i>spurious packet ratio</i>)
SRC	serveur d'origine (<i>source host</i>)
STD	norme (<i>standard</i>)
T1	transmission en hiérarchie numérique à 1,544 Mbit/s (<i>digital hierarchy transmission at 1.544 Mbit/s</i>)
T3	transmission en hiérarchie numérique à 45 Mbit/s (<i>digital hierarchy transmission at 45 Mbit/s</i>)
T _{av}	durée minimale de disponibilité IP; durée minimale d'indisponibilité IP
TBD	à déterminer (<i>to be determined</i>)
TCP	protocole de commande de transmission (<i>transmission control protocol</i>)
TDMA	accès multiple par répartition dans le temps (<i>time division multiple access</i>)
TE	équipement terminal (<i>terminal equipment</i>)
T _{max}	temps de transfert maximal de paquet IP au-delà duquel le paquet est déclaré perdu
ToS	type de service (<i>type of service</i>)
TTL	durée de vie (<i>time to live</i>)
UDP	protocole datagramme d'utilisateur (<i>user datagram protocol</i>)
UIT-T	Union internationale des télécommunications – Secteur de la normalisation des télécommunications
UNI	interface utilisateur-réseau (<i>user network interface</i>)
VoIP	téléphonie utilisant le protocole Internet (<i>voice over Internet protocol</i>)
VTC	téléconférence vidéo (<i>video teleconference</i>)

4 Capacité de transfert, conventions de capacité et applicabilité des classes de QS

Le présent paragraphe traite de la capacité de transfert du réseau (débit effectif d'un transfert de flux dans un intervalle de temps donné), et sa relation avec les paramètres de qualité de service (QS) en termes de transfert de paquets définis dans la Rec. UIT-T Y.1540, et avec les objectifs spécifiés ici.

La capacité de transfert est un paramètre fondamental de QS ayant une incidence primordiale sur la performance perçue par les utilisateurs finals. De nombreuses applications d'utilisateur ont des exigences minimales en termes de capacité; ces exigences devraient être prises en considération lors de la passation de conventions de service. La Rec. UIT-T Y.1540 ne définit pas de paramètre pour capacité, cependant elle définit bien le paramètre de perte de paquets. Les bits ou octets perdus peuvent être retranchés du nombre total envoyé afin de déterminer provisoirement la capacité du réseau. Une définition indépendante de la capacité fera l'objet d'un complément d'étude.

Il est supposé que l'utilisateur et le fournisseur de réseau ont convenu de la capacité d'accès maximale qui sera disponible à un ou plusieurs flux de paquets dans une classe de QS spécifique (à l'exception de la classe non spécifiée). Un flux de paquets est le trafic associé à un certain flux en mode connexion ou sans connexion ayant le même serveur d'origine (SRC, *source host*), le même serveur de destination (DST, *destination host*), la même classe de service, et la même identification de session. D'autres documents peuvent utiliser les termes microflux ou sous-flux lorsqu'ils se rapportent à des flux de trafic ayant ce niveau de classification. Initialement, les parties prenantes à la convention pourront utiliser toutes spécifications de capacité qu'elles jugeront appropriées, du moment qu'elles permettent aussi bien la mise en application par le fournisseur de réseau que la vérification par l'utilisateur. Par exemple, la spécification du débit de crête (y compris le surdébit de couche inférieure) sur une liaison d'accès peut être suffisante. Le fournisseur de réseau convient de transférer des paquets à la capacité spécifiée conformément à la classe de QS convenue.

Lorsque les protocoles et systèmes qui prennent en charge des requêtes dynamiques sont disponibles, l'utilisateur négocie un contrat de trafic. Un tel contrat spécifie un ou plusieurs paramètres de trafic (comme ceux qui sont définis dans la Rec. UIT-T Y.1221 [14], ou dans le protocole RSVP) et la classe de QS, et s'applique à un flux spécifique.

Les objectifs de performance ne peuvent plus être applicables lorsque des paquets sont soumis au-delà de la convention de capacité ou du contrat de trafic négocié. Si des paquets excédentaires sont observés, le réseau est autorisé à rejeter un nombre de paquets égal au nombre de paquets excédentaires. De tels paquets rejetés ne doivent pas être inclus dans la catégorie examinée, qui est l'ensemble de paquets évalués au moyen des paramètres de performance du réseau. En particulier, les paquets rejetés ne doivent pas compter comme des paquets perdus lors de l'évaluation de la performance du réseau en termes de taux IPLR. Un paquet rejeté pourrait être retransmis, mais il doit alors être considéré comme un nouveau paquet lors de l'évaluation de la performance du réseau.

C'est au réseau qu'il appartient de définir sa réponse aux flux avec paquets excédentaires, éventuellement sur la base du nombre de paquets excédentaires observés. Lorsqu'un flux comporte des paquets excédentaires, aucun engagement de performance du réseau n'a besoin d'être honoré. Cependant, le réseau peut offrir un engagement modifié de performance du réseau.

5 Objectifs de performance

Le présent paragraphe analyse les objectifs de qualité de transfert d'informations d'utilisateur de services IP publics. Ces objectifs sont énoncés dans les termes des paramètres de performance en couche IP définis dans la Rec. UIT-T Y.1540. Un résumé des objectifs est consultable dans le Tableau 1 avec ses notes générales associées. Toutes les valeurs contenues dans le Tableau 1 sont stables.

NOTE – Du point de vue d'un utilisateur, les objectifs des classes de QS de réseau ne sont qu'une partie de la qualité de transmission (par exemple, qualité du couplage bouche-oreille pour la transmission de la voix sur IP). L'Appendice VII fournit des pointeurs vers les Recommandations appropriées dans ce domaine.

5.1 Analyse générale de la qualité de service (QS)

Les définitions de classe de QS contenues dans le Tableau 1 imposent des limites sur la performance du réseau entre interfaces utilisateur-réseau (UNI, *user network interface*). Du moment que les utilisateurs (et les réseaux individuels) ne dépassent pas la spécification de capacité convenue ou le contrat de trafic, et qu'un chemin est disponible (comme défini dans la Rec. UIT-T Y.1540), les fournisseurs de réseau devraient prendre collectivement en charge ces limites d'interface UNI à interface UNI pendant la durée de vie du flux.

La qualité QS de réseau réellement offerte à un flux donné dépendra de la distance et de la complexité du chemin traversé. Elle sera souvent supérieure aux limites incluses dans les définitions de classe de QS figurant dans le Tableau 1.

Les conventions statiques de classe de QS peuvent être implémentées par association à une classe spécifique des marquages de paquet (par exemple, les bits de préséance selon le type de service ou la séquence codée de services différenciés).

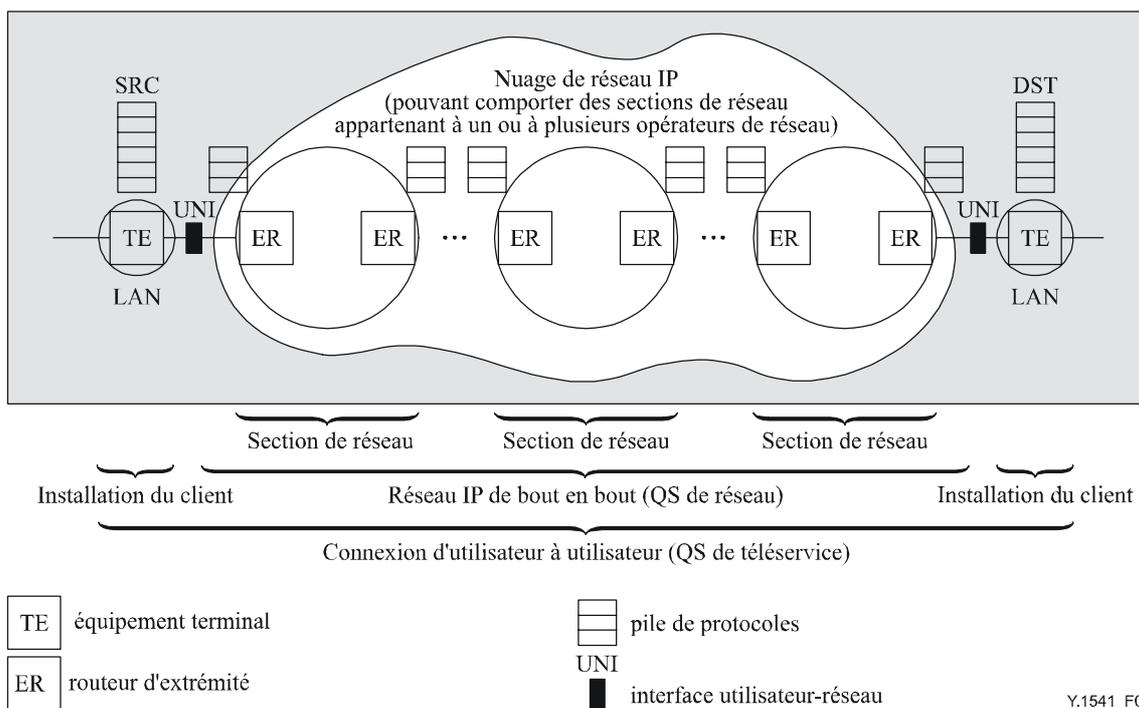
Les protocoles permettant de prendre en charge les requêtes dynamiques de QS entre utilisateurs et fournisseurs de réseau, et entre fournisseurs de réseau, sont à l'étude. Lorsque ces protocoles et systèmes d'appui seront implémentés, les utilisateurs ou les réseaux pourront demander et recevoir différentes classes de QS flux par flux. De cette façon, les besoins qualitatifs particuliers de différents services et applications pourront être communiqués, évalués, et acquittés (ou rejetés, ou modifiés).

5.2 Chemin de référence pour QS d'interface UNI à interface UNI

Chaque paquet contenu dans un flux suit un chemin spécifique. Tout flux (avec un ou plusieurs paquets sur un chemin) qui répond aux objectifs de performance du présent paragraphe peut être considéré comme entièrement conforme aux dispositions normatives de la Rec. UIT-T Y.1541.

NOTE – L'expression "de bout en bout" possède une signification différente dans les Recommandations concernant les classes de QS d'utilisateur, où "de bout en bout" signifie, par exemple, "de bouche à oreille" dans les Recommandations relatives à la qualité vocale. Dans le contexte de la présente Recommandation, le terme "de bout en bout" doit être interprété comme signifiant d'interface UNI à interface UNI.

Les objectifs de performance d'interface UNI à interface UNI sont définis pour les paramètres de performance IP correspondant aux événements de référence de transfert de paquets IP (IPRE, *IP packet transfer reference event*). Les objectifs de performance IP d'interface UNI à interface UNI s'appliquent d'interface usager-réseau à interface utilisateur-réseau dans la Figure 1. Le chemin de réseau IP d'interface UNI à interface UNI comporte l'ensemble des sections de réseau (NS, *network section*) et des liaisons entre réseaux qui assurent le transport de paquets IP transmis de l'interface UNI située du côté SRC à l'interface UNI située du côté DST; les protocoles ci-dessous, y compris la couche IP (couche 1 à couche 3) peuvent également être considérés comme faisant partie d'un réseau IP. Les sections de réseau (NS, *network section*) (définies dans la Rec. UIT-T Y.1540) sont synonymes des domaines d'opérateur et peuvent comprendre des architectures de réseau d'accès IP comme décrit dans les Recommandations UIT-T E.651 et Y.1231. Le chemin de référence dans la Figure 1 est une adaptation du modèle de performance Y.1540.



NOTE – L'équipement d'installation du client (zones ombrées) n'est représenté qu'à titre documentaire.

Figure 1/Y.1541 – Chemin de référence d'interface UNI à interface UNI pour objectifs de QS de réseau

L'installation de client comporte tous les équipements terminaux (TE, *terminal equipment*), tels qu'un serveur et tout routeur ou LAN si présent. Dans certaines applications, il n'y aura qu'un seul utilisateur humain. Il est important de noter que les spécifications pour les équipements TE et pour la connexion d'utilisateur à utilisateur connexion sont hors du domaine d'application de la présente Recommandation. Les routeurs d'extrémité qui se connectent aux équipements terminaux peuvent également être appelés passerelles d'accès.

Les chemins de référence ont les attributs suivants:

- 1) les nuages IP peuvent prendre en charge les connexions d'utilisateur à utilisateur, les connexions d'utilisateur à serveur et les autres variantes d'extrémité;
- 2) les sections de réseau peuvent être représentées comme des nuages avec des routeurs d'extrémité sur leurs frontières et un certain nombre de routeurs intérieurs jouant divers rôles;
- 3) le nombre de sections de réseau dans un chemin donné peut dépendre de la classe de service offerte, ainsi que de la complexité et de l'étendue géographique de chaque section de réseau;
- 4) le domaine d'application de la présente Recommandation permet une ou plusieurs sections de réseau par chemin;
- 5) les sections de réseau prenant en charge les paquets contenus dans un flux peuvent changer au cours de sa durée de vie;
- 6) la connexité IP traverse les frontières internationales mais ne suit pas les conventions des réseaux à commutation de circuits (par exemple, il peut n'y avoir aucune passerelle identifiable à une frontière internationale si la même section de réseau est utilisée de part et d'autre de la frontière).

5.3 Classes de QS de réseau

Le présent paragraphe décrit les classes de QS de réseau actuellement définies. Chaque classe de QS de réseau crée une combinaison spécifique de valeurs limites de performance. Le présent paragraphe comporte des directives quant au moment où chaque classe de QS de réseau pourrait être utilisée, mais il ne régit pas l'utilisation d'une quelconque classe particulière de QS de réseau dans quelque contexte que ce soit.

Tableau 1/Y.1541 – Définitions de classe de QS de réseau IP et objectifs de performance

Paramètre de performance du réseau	Nature de l'objectif de performance du réseau	Classes de QS					
		Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5 Non spécifiée
IPTD	Limite supérieure du temps IPTD moyen (Note 1)	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1 s	U
IPDV	Limite supérieure du quantile $1 - 10^{-3}$ du temps IPTD moins le temps IPTD minimal (Note 2)	50 ms (Note 3)	50 ms (Note 3)	U	U	U	U
IPLR	Limite supérieure de la probabilité de perte de paquet	1×10^{-3} (Note 4)	1×10^{-3} (Note 4)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	U
IPER	Limite supérieure	1×10^{-4} (Note 5)					U

Notes générales:

Les objectifs s'appliquent aux réseaux publics IP. Les objectifs sont estimés être réalisables sur des implémentations courantes de réseau IP. L'engagement des fournisseurs de réseau envers l'utilisateur est de s'efforcer de remettre les paquets d'une façon qui réalise chacun des objectifs applicables. La grande majorité des chemins IP revendiquant la conformité à la Rec. UIT-T Y.1541 devraient atteindre ces objectifs. Pour certains paramètres, la performance sur des chemins plus courts et/ou moins complexes peut être notablement meilleure.

Un intervalle d'évaluation de 1 minute est suggéré pour IPTD, IPDV, et IPLR. Dans tous les cas, l'intervalle doit toujours être consigné avec la valeur observée. Toute minute observée doit répondre à ces objectifs.

Les fournisseurs de réseau individuels peuvent choisir d'offrir des engagements de performance meilleurs que ces objectifs.

La lettre "U" signifie "qualité non spécifiée" ou "qualité non limitée". Lorsque la performance relative à un paramètre particulier est identifiée comme étant "U", l'UIT-T n'établit aucun objectif pour ce paramètre et tout objectif conforme par défaut à la Rec. UIT-T Y.1541 peut être négligé. Lorsque l'objectif pour un paramètre est mis à "U", la performance concernant ce paramètre peut, parfois, être arbitrairement basse.

NOTE 1 – De très longs temps de propagation empêcheront d'atteindre des objectifs bas de bout en bout en termes de temps de transfert. Dans ces circonstances et dans certaines autres, les objectifs en termes de temps IPTD indiqués dans les classes 0 et 2 ne seront pas toujours réalisables. Chaque fournisseur de réseau rencontrera ces circonstances. L'étendue des objectifs en termes de temps IPTD indiqués dans le Tableau 1 offre en option des classes de QS réalisables. Les objectifs en termes de temps de transfert d'une

Tableau 1/Y.1541 – Définitions de classe de QS de réseau IP et objectifs de performance

classe n'empêchent pas un fournisseur de réseau d'offrir des services avec de plus brefs engagements de temps de transfert. Conformément à la définition du temps IPTD dans la Rec. UIT-T Y.1540, le temps d'insertion de paquet est inclus dans l'objectif en termes de temps IPTD. La présente Recommandation suggère une longueur maximale du champ d'informations de paquet de 1500 octets afin d'évaluer ces objectifs. "U", la performance concernant ce paramètre peut, parfois, être arbitrairement basse.

NOTE 2 – La définition de l'objectif en termes de variation IPDV (donnée dans la Rec. UIT-T Y.1540) est la variation du temps de transfert des paquets IP à 2 points. Voir la Rec. UIT-T Y.1540 et l'Appendice II pour plus de détails sur la nature de cet objectif. Aux fins de la planification, on peut supposer que la limite du temps IPTD moyen est la limite supérieure du temps IPTD minimal, et que la limite du quantile de $1 - 10^{-3}$ peut être obtenue en ajoutant le temps IPTD moyen à la valeur de la variation IPDV (par exemple, 150 ms dans la classe 0).

NOTE 3 – Cette valeur dépend de la capacité de liaisons interréseaux. De très petites variations sont possibles lorsque toutes les capacités sont supérieures au débit primaire (T1 ou E1), ou lorsque les champs d'informations de paquet en concurrence sont plus petits que 1500 octets (voir l'Appendice IV).

NOTE 4 – Les objectifs de classes 0 et 1 pour le taux IPLR sont partiellement établis sur la base d'études montrant que les applications vocales et codecs vocaux de haute qualité ne seront pratiquement pas affectés par un taux IPLR égal à 10^{-3} .

NOTE 5 – Cette valeur garantit que la perte de paquets est la principale source de défauts présentée aux couches supérieures. Cette valeur peut être atteinte avec le transport IP sur ATM.

5.3.1 Nature des objectifs de performance

Les objectifs figurant dans le Tableau 1 s'appliquent aux réseaux publics IP, entre points de mesure (MP, *measurement point*) qui délimitent le réseau IP de bout en bout. Les objectifs sont estimés réalisables sur des implémentations courantes de réseaux IP.

La partie gauche du Tableau 1 indique la nature statistique des objectifs de performance qui apparaissent dans les rangées suivantes.

Les objectifs de performance en termes de temps de transfert de paquets IP sont les limites supérieures du temps IPTD moyen du flux sous-jacent. Bien que de nombreux paquets individuels puissent avoir des temps de transfert qui dépassent cette limite, le temps IPTD moyen pendant la durée de vie du flux (qui est un estimateur statistique de la moyenne) devrait normalement être inférieur à la limite applicable extraite du Tableau 1.

Les objectifs de performance en termes de variation de temps de transfert de paquet IP à deux points (définie dans la Rec. UIT-T Y.1540) sont fondés sur une limite supérieure du quantile $1 - 10^{-3}$, quantile de la distribution du temps IPTD sous-jacent pour le flux. Le quantile $1 - 10^{-3}$ autorise des intervalles d'évaluation courts (par exemple, un échantillon avec 1000 paquets est le minimum nécessaire pour évaluer cette limite). De même, cela offre une plus grande flexibilité dans les conceptions de réseau où le calcul des tampons d'expiration de délai et des longueurs de file d'attente de routeur doivent atteindre un objectif global de taux IPLR de l'ordre de 10^{-3} . L'utilisation de valeurs inférieures du quantile se traduirait par des sous-estimations de la capacité du tampon de compensation de gigue, et la perte effective de paquets dépasserait l'objectif global de taux IPLR (par exemple, un quantile supérieur de $1 - 10^{-2}$ peut se traduire par une perte globale de paquets égale à 1,1%, avec un taux IPLR = 10^{-3}). D'autres techniques et définitions statistiques de la variation IPDV sont actuellement à l'étude, comme décrit dans l'Appendice II; l'Appendice IV analyse l'estimation de performance en termes de variation (IPDV, *IP packet delay variation*).

Les objectifs de performance en termes de taux de perte de paquets IP sont les limites supérieures de la perte de paquets IP pour le flux. Bien que des paquets individuels soient perdus, la probabilité sous-jacente qu'un paquet individuel quelconque soit perdu au cours de la durée du flux devrait être inférieure à la limite applicable indiquée dans le Tableau 1.

Les objectifs en termes de résultats moins courants de transfert de paquets et leurs paramètres associés feront l'objet d'un complément d'étude, tels que le taux de paquets parasites (SPR, *spurious packet ratio*) défini dans la Rec. UIT-T Y.1540.

5.3.2 Intervalles d'évaluation

Les objectifs indiqués dans le Tableau 1 ne peuvent pas être évalués instantanément. Les intervalles d'évaluation produisent des sous-ensembles de la population de paquets considérée (comme défini dans la Rec. UIT-T Y.1540). Théoriquement, ces intervalles sont:

- suffisamment longs pour comprendre assez de paquets du flux recherché, en termes de taux et de quantiles spécifiés;
- suffisamment longs pour refléter une période d'utilisation typique (durée de vie du flux), ou une évaluation par l'utilisateur;
- suffisamment brefs pour garantir un niveau équilibré de performance acceptable dans chaque intervalle (les intervalles de qualité insuffisante devraient être identifiés et non pas masqués au cours d'un très long intervalle d'évaluation);
- suffisamment brefs pour correspondre aux aspects pratiques du mesurage.

Pour les évaluations associées à la téléphonie, un intervalle minimal de l'ordre de 10 à 20 secondes est nécessaire avec les débits de paquets courants (de 50 à 100 paquets par seconde). Les intervalles devraient avoir une limite supérieure de l'ordre des minutes. Une valeur de 1 minute est suggérée. De toute façon, la valeur utilisée doit toujours être consignée avec la valeur observée, en même temps que les éventuelles hypothèses et les intervalles de confiance. Toute minute observée doit répondre aux objectifs de temps IPTD, de variation IPDV et de taux IPLR indiqués dans le Tableau 1. Des méthodes d'estimation de valeurs minimales admissibles sont prévues pour de futures révisions de la présente Recommandation.

Les méthodes permettant de vérifier la réalisation des objectifs feront l'objet d'un complément d'étude. On peut employer soit une évaluation continue soit une évaluation discontinue. Une méthode de mesure possible est donnée dans la norme RFC 3432, intitulée "*Network Performance Measurement with Periodic Streams*", où la prescription pour les temps de début de mesure aléatoires et les intervalles d'évaluation de longueur finie conduisent à une évaluation discontinue.

5.3.3 Longueur de paquet à évaluer

La longueur de paquet influence les résultats avec la plupart des paramètres de performance. Une étendue de longueurs de paquet peut être appropriée car de nombreux flux présentent des variations de longueur considérables. Cependant, l'évaluation est simplifiée avec une seule longueur de paquet lors de l'évaluation de la variation IPDV, ou lorsque l'évaluation vise des flux qui prennent en charge des sources à débit binaire constant. Une longueur fixe de champ d'informations est donc recommandée. Des champs d'informations de 160 octets ou 1500 octets sont suggérés, et la longueur de champ utilisée doit toujours être consignée. De même, un champ d'informations de 1500 octets est recommandé pour l'estimation de performance de paramètres IP lors de l'utilisation d'essais dans les couches inférieures, tels que les mesurages d'erreur sur les bits.

5.3.4 Performance non spécifiée (non limitée)

Pour certaines classes de QS de réseau, la valeur de certains paramètres de performance est désignée par la lettre "U". Dans ces cas, l'UIT-T ne fixe pas d'objectifs concernant ces paramètres. Les opérateurs de réseau peuvent unilatéralement choisir d'assurer un certain niveau de qualité minimal pour les paramètres non spécifiés, mais l'UIT-T ne recommande pas de telles valeurs minimales.

Les utilisateurs de ces classes de QS devraient être conscients du fait que la performance de paramètres non spécifiés peut parfois être arbitrairement basse. Cependant, il est généralement prévu que le temps IPTD moyen ne sera pas supérieur à 1 seconde.

NOTE – Le terme "non spécifiée" peut avoir une signification différente dans les Recommandations concernant la signalisation RNIS-LB.

5.3.5 Discussion des objectifs en termes de temps IPTD

De très longs temps de propagation empêcheront d'atteindre des objectifs bas en termes de temps de transfert d'interface UNI à interface UNI de bout en bout, par exemple, lors de très longues distances géographiques ou lorsque des satellites géostationnaires sont employés. Dans ces circonstances et dans certaines autres, les objectifs en termes de temps IPTD dans les classes 0 et 2 ne seront pas toujours réalisables. Il convient de noter que les objectifs en termes de temps de transfert d'une classe n'empêchent pas un fournisseur de réseau d'offrir des services avec de plus brefs engagements de temps de transfert. Tout engagement de ce type devrait être explicitement déclaré. Voir l'Appendice III pour un exemple de calcul du temps IPTD sur un trajet mondial. Chaque fournisseur de réseau rencontrera ces circonstances (soit dans un réseau isolé, ou lors de l'exploitation en coopération avec d'autres réseaux afin d'assurer le chemin d'interface UNI à interface UNI). L'étendue des objectifs en termes de temps IPTD indiqués dans le Tableau 1 propose en option des classes de QS de réseau réalisables. Malgré différentes considérations de routage et de distance, des classes associées (par exemple, les classes 0 et 1) seront normalement implémentées au moyen des mêmes mécanismes nodaux.

Conformément à la définition du temps IPTD dans la Rec. UIT-T Y.1540, le temps d'insertion de paquet est inclus dans les objectifs de temps IPTD. La présente Recommandation suggère une longueur maximale de champ d'informations de paquet de 1500 octets afin d'évaluer les objectifs.

5.3.6 Directives sur l'usage des classes

Le Tableau 2 donne certaines directives pour l'applicabilité et le calcul des classes de QS de réseau.

Tableau 2/Y.1541 – Directives pour classes de QS de réseau IP

Classe de QS	Application (exemples)	Mécanisme nodal	Technique de réseau
0	En temps réel, sensible à la gigue, très interactive (VoIP, VTC)	File séparée avec desserte préférentielle, conformation de trafic	Routage et distance limités
1	En temps réel, sensible à la gigue, interactive (VoIP, VTC).		Routage et distance moins limités
2	Données de transaction, très interactive (signalisation)	File séparée, priorité de désengorgement	Routage et distance limités
3	Données de transaction, interactive		Routage et distance moins limités
4	Applications à faibles pertes seulement (transactions courtes, données en masse, vidéo en temps réel)	Longue file, priorité de désengorgement	Trajet/chemin quelconque
5	Applications traditionnelles de réseaux IP par défaut	File séparée (priorité la moins élevée)	Trajet/chemin quelconque

NOTE – Toute application énumérée à titre d'exemple dans le Tableau 2 pourrait aussi être employée dans la classe 5 avec des objectifs de performance non spécifiés, aussi longtemps que les utilisateurs sont prêts à accepter le niveau de performance régnant pendant leur session.

L'organisation et la conformation du trafic peuvent également être appliquées dans les nœuds de réseau.

Une analyse du transport de télévision en qualité radiodiffusion sur réseaux IP peut être consultée dans l'Appendice VIII.

5.3.7 Classes de QS provisoires

Dans ce paragraphe est présenté un ensemble de classes de QS provisoires. La différence entre ces classes (voir Tableau 3) et celles du Tableau 1 est que les valeurs de tous les objectifs sont provisoires et ne doivent pas être satisfaites par les réseaux tant qu'elles n'ont pas été revues (en plus ou en moins) sur la base de l'expérience opérationnelle réelle.

Tableau 3/Y.1541 – Définitions de classe de QS de réseau IP et objectifs de performance provisoires

Paramètre de performance du réseau	Nature de l'objectif de performance du réseau	Classes de QS	
		Classe 6	Classe 7
IPTD	Limite supérieure du temps IPTD moyen	100 ms	400 ms
IPDV	Limite supérieure du quantile $1 - 10^{-5}$ du temps IPTD moins le temps IPTD minimal (Note 1)	50 ms	
IPLR	Limite supérieure du taux de perte de paquet	1×10^{-5}	
IPER	Limite supérieure	1×10^{-6}	
IPRR	Limite supérieure	1×10^{-6}	

Notes générales:

Des intervalles d'évaluation pour ces classes devraient être de 1 minute ou plus. Les évaluations devraient employer des charges utiles de 1500 octets. Un intervalle d'évaluation de 1 minute est suggéré pour IPTD, IPDV, et IPLR et toute minute observée devrait répondre à ces objectifs.

L'une des raisons d'être de l'objectif du taux IPLR était de minimiser l'effet de la perte de capacité TCP, même si les paramètres TCP et le système d'exploitation ont été réglés et que l'option de larges fenêtres a été employée. L'Appendice IX fournit des informations de base sur cette raison d'être et d'autres encore.

La valeur pour le taux IPLR n'est pas suffisante pour prendre en charge tous les niveaux de qualité envisagés par la communauté des utilisateurs de vidéo numérique, et la correction d'erreurs vers l'avant et l'entrelacement (FEC/I, *forward error correction and interleaving*) sont susceptibles d'être requis. L'Appendice VIII fournit des informations de base sur les attentes en matière de qualité de la part des utilisateurs du transport vidéo et sur la correction et l'entrelacement FEC/I nécessaires pour assurer des taux de perte encore plus bas.

L'objectif pour le taux IPER a été fixé de manière que celui-ci contribue de manière insignifiante à la perte globale de paquets.

Le taux de reclassement des paquets IP (IPRR, *IP packet reordering ratio*) a été défini dans la terminologie supplémentaire à l'Appendice VII/Y.1540. Les paquets reclassés peuvent sembler perdus à un émetteur TCP, suivant la distance jusqu'à leurs positions initiales. En conséquence, le taux IPRR a été fixé de manière que celui-ci contribue de manière insignifiante à la perte globale de paquets.

La valeur pour la variation IPDV est à l'étude et des contributions sont sollicitées dans le but d'examiner la raison et la faisabilité d'autres valeurs (plus faibles).

NOTE 1 – La définition de l'objectif en termes de variation IPDV (donnée dans la Rec. UIT-T Y.1540) est la variation du temps de transfert des paquets IP à 2 points (voir la Rec. UIT-T Y.1540 et l'Appendice II pour plus de détails sur la nature de cet objectif). Aux fins de la planification, on peut supposer que la limite du temps IPTD moyen est la limite supérieure du temps IPTD minimal, et que la limite du quantile de $1 - 10^{-5}$ peut être obtenue en ajoutant le temps IPTD moyen à la valeur de la variation IPDV (par exemple, 150 ms dans la classe 6).

Ces classes sont destinées à prendre en charge les prescriptions en matière de performance des applications utilisateur à haut débit binaire, dont les exigences en ce qui concerne la perte ou les erreurs sont plus strictes que celles prises en charge par les classes 0 à 4 dans le Tableau 1.

6 Objectifs de disponibilité

Le présent paragraphe donne des informations sur les objectifs de disponibilité d'après le paramètre de disponibilité défini dans la Rec. UIT-T Y.1540. Ces objectifs nécessitent des études complémentaires, car les options en matière de conception fondamentale des réseaux sont en évolution rapide.

7 Réalisation des objectifs de performance

Des études complémentaires sont requises afin de déterminer la façon d'atteindre ces objectifs de qualité lorsque de multiples fournisseurs de réseau sont impliqués. Les activités de mise au point de normes sont prometteuses. Elles visent à compléter d'autres aspects nécessaires à l'assurance d'une QS sur les liaisons UNI-UNI.

Le paragraphe 8 contient les relations permettant de concaténer les niveaux de performance de deux ou de plusieurs sections de réseau afin de déterminer si les objectifs pour les liaisons UNI-UNI sont atteints.

8 Concaténation des sections de réseau et leurs valeurs de QS

8.1 Introduction

Le présent paragraphe concerne l'évaluation de la performance des liaisons UNI-UNI sur un chemin, connaissant la performance des sous-sections. Le but est d'obtenir des relations normalisées permettant d'effectuer ces évaluations.

Ces relations permettent d'obtenir des évaluations assez précises de la performance des liaisons UNI-UNI. Les erreurs dans la procédure d'évaluation sont supposées être contrebalancées par des erreurs éventuelles des valeurs individuelles elles-mêmes. Lorsque les valeurs proviennent de mesures effectuées récemment ou au moyen de modélisations, elles peuvent être sujettes à des erreurs importantes si les conditions ne sont pas stationnaires, ou que la principale hypothèse d'indépendance des sections de réseau n'est pas satisfaite.

Ces relations visent à prendre en charge l'accumulation des défaillances dues aux protocoles de signalisation de la QS. Elles ne doivent pas être employées pour la prise en charge de l'attribution des valeurs pour les liaisons UNI-UNI.

8.2 Composition des valeurs pour les liaisons UNI-UNI

8.2.1 Temps moyen de transfert

Pour le paramètre de performance temps moyen de transfert de paquets IP (IPTD, *IP packet transfer delay*), la performance pour la liaison UNI-UNI est la somme des moyennes des sections de réseau.

Les unités des valeurs IPTD sont les secondes, avec une résolution d'au moins 1 μ sec. Si la résolution est inférieure pour une valeur, les chiffres inemployés doivent être mis sur zéro.

8.2.2 Taux de perte

Pour le paramètre performance taux de perte de paquets IP (IPLR, *IP packet loss ratio*), la performance pour la liaison UNI-UNI peut être évaluée en inversant comme suit la probabilité du transfert réussi de paquets à travers n sections de réseau:

$$IPLR_{UNI-UNI} = 1 - \{ (1 - IPLR_{NS1}) \times (1 - IPLR_{NS2}) \times (1 - IPLR_{NS3}) \times \dots \times (1 - IPLR_{NSn}) \}$$

Cette relation ne prévoit pas de limite pour les valeurs des paramètres, donc elle est préférée à d'autres approximations, telles que la simple somme des taux de perte. Toutes les mesures doivent employer la même valeur de T_{\max} (le temps d'attente avant de déclarer un paquet perdu).

Les unités des valeurs IPLR sont les paquets perdus par nombre total de paquets envoyés, avec une résolution d'au moins 10^{-9} . Si la résolution est inférieure pour une valeur, les chiffres inemployés doivent être mis sur zéro.

8.2.3 Taux d'erreur sur les paquets

Pour le paramètre de performance taux d'erreur sur les paquets IP (IPER, *IP packet error ratio*), la performance pour la liaison UNI-UNI peut être évaluée en inversant comme suit la probabilité du transfert sans erreur de paquets à travers n sections de réseau:

$$\text{IPER}_{\text{UNI-UNI}} = 1 - \{ (1 - \text{IPER}_{\text{NS1}}) \times (1 - \text{IPER}_{\text{NS2}}) \times (1 - \text{IPER}_{\text{NS3}}) \times \dots \times (1 - \text{IPER}_{\text{NSn}}) \}$$

Cette relation ne prévoit pas de limite pour les valeurs des paramètres, donc elle est préférée à d'autres approximations, telles que la simple somme des taux de paquets erronés.

Les unités des valeurs IPER sont les paquets erronés par nombre total de paquets envoyés, avec une résolution d'au moins 10^{-9} . Si la résolution est inférieure pour une valeur, les chiffres inemployés doivent être mis sur zéro.

8.2.4 Relation provisoire pour la variation du temps de transfert

La relation permettant d'évaluer la performance en matière de variation du temps de transfert des paquets IP (IPDV) pour la liaison UNI-UNI à partir des valeurs des sections de réseau doit reconnaître leur nature sous-additive et il est difficile de faire une estimation précise sans nombreuses informations sur les distributions individuelles des temps de transfert. Si, par exemple, les caractéristiques des distributions indépendantes des temps de transfert sont connues ou mesurées, on peut effectuer leur convolution pour évaluer leur distribution combinée. Ces informations détaillées ne seront que rarement échangées entre opérateurs et pourraient ne pas être disponibles sous la forme d'une distribution continue. En conséquence, l'évaluation de la variation IPDV pour la liaison UNI-UNI peut n'avoir qu'une précision restreinte. Comme ce domaine fait encore l'objet d'un complément d'étude, la relation d'évaluation ci-après n'est donnée qu'à titre provisoire et le présent paragraphe peut devoir être modifié ultérieurement en fonction de nouveaux résultats ou de l'expérience opérationnelle.

La relation provisoire pour la combinaison des valeurs IPDV est donnée ci-dessous.

Le problème examiné peut se résumer comme suit: évaluer le quantile t du temps de transfert T pour la liaison UNI-UNI, défini par la condition suivante:

$$\Pr(T < t) = p$$

Etape 1

Mesurer la moyenne et la variance du temps de transfert pour chacune des n sections de réseau. Évaluer la moyenne et la variance du temps de transfert pour la liaison UNI-UNI en effectuant la somme des moyennes et des variances des distributions composantes.

$$\mu = \sum_{k=1}^n \mu_k$$

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^n \sigma_k^2$$

Etape 2

Mesurer les quantiles pour chaque composante de temps de transfert, la probabilité étant $p = 0,999$. Evaluer l'asymétrie correspondante et le troisième moment au moyen de la formule indiquée ci-après, où $x_{0,999} = 3,090$ est la valeur satisfaisant à $\Phi(x_{0,999}) = 0,999$, Φ étant la fonction de distribution normale centrée réduite (moyenne 0, variance 1).

$$\gamma_k = 6 \cdot \frac{x_p - \frac{t_k - \mu_k}{\sigma_k}}{1 - x_p^2}$$
$$\omega_k = \gamma_k \cdot \sigma_k^3$$

En supposant que les distributions des temps de transfert sont indépendantes, le troisième moment du temps de transfert pour la liaison UNI-UNI est simplement la somme des troisièmes moments des sections de réseau.

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \dots = \sum_{k=1}^n \omega_k$$

L'asymétrie pour la liaison UNI-UNI se calcule en divisant par σ^3 comme indiqué ci-après.

$$\gamma = \frac{\omega}{\sigma^3}$$

Etape 3

L'évaluation du 99,9e percentile ($p = 0,999$) du temps de transfert t pour la liaison UNI-UNI se fait comme suit:

$$t = \mu + \sigma \cdot \left\{ x_p - \frac{\gamma}{6} (1 - x_p^2) \right\}$$

où $x_p = x_{0,999} = 3,090$.

Comme indiqué ci-dessus, la nature de l'objectif de variation IPDV est la limite supérieure du quantile $1 - 10^{-3}$ du temps IPTD moins le temps IPTD minimal (c'est-à-dire la distribution de la variation IPDV est normalisée au temps IPTD minimal). Les unités des valeurs IPDV sont les secondes, avec une résolution d'au moins 1 μ sec. Si la résolution est inférieure pour une valeur, les chiffres inemployés doivent être mis sur zéro

8.3 Procédures d'accumulation des dégradations

Les relations ci-dessus peuvent s'appliquer de deux manières pour évaluer les niveaux de performance des liaisons UNI-UNI. Les deux manières se valent.

Lorsque les valeurs provenant de toutes les sections de réseau dans le chemin sont disponibles en un endroit en vue de servir aux calculs, elles devraient être utilisées dans les relations ci-dessus comme des valeurs individuelles. Dans un protocole de signalisation, les valeurs individuelles seraient recueillies de la source jusqu'à la destination et communiquées à l'entité chargée des calculs et de l'intervention sur les résultats.

Les valeurs peuvent aussi être accumulées à chaque fois qu'une nouvelle valeur est disponible. Dans ce cas, les relations ci-dessus sont employées pour combiner l'évaluation cumulative avec la valeur du réseau à ce moment-là (ou du routeur, s'il sert de base à la combinaison). L'évaluation calculée

devient la nouvelle valeur cumulative, qui devrait être communiquée plus avant le long du chemin vers la destination.

9 Sécurité

Dans la présente Recommandation, il n'est spécifié aucun protocole et il existe des zones limitées dans lesquelles des problèmes de sécurité pourraient survenir. Toutes sont liées à la vérification à l'aide de systèmes de mesure des objectifs de performance.

Les systèmes de mesure, qui permettent d'évaluer la performance des réseaux pour déterminer la conformité avec les objectifs numériques définis dans la présente Recommandation, doivent limiter le trafic de mesure à des niveaux appropriés pour éviter les abus (par exemple, l'attaque par déni de service). Les parties participant aux mesures, y compris les administrations ou les opérateurs de réseaux qui acheminent le trafic, devraient convenir d'avance de niveaux de trafic acceptables.

Les systèmes qui surveillent le trafic des utilisateurs aux fins des mesures doivent assurer la confidentialité des informations relatives aux utilisateurs.

Les systèmes qui tentent d'effectuer des mesures peuvent employer des techniques (par exemple, le hachage cryptographique) pour déterminer si un trafic supplémentaire a été inséré par un attaquant semblant faire partie de la population concernée.

Appendice I

Prise en charge de la QS des réseaux IP par la QS d'un réseau ATM

Le présent appendice présente une analyse du mappage de paramètres de performance IP au sommet des objectifs de classe de QS en mode ATM spécifiés dans la Rec. UIT-T I.356. L'objet de cette analyse est d'estimer la performance au niveau IP obtenue lorsque le mode ATM est utilisé comme transport sous-jacent. Etant donné qu'aucun routeur n'est pris en considération dans cette analyse, les valeurs de performance IP indiquées ici sont les meilleures qui puissent être attendues. Dans les scénarios où des routeurs intermédiaires existent, la performance IP sera moins bonne.

Tableau I.1/Y.1541 – Valeurs du taux de perte de paquets IP (IPLR) correspondant aux classes de service 1 et 2 de QS en mode ATM (longueur de paquet IP: 40 octets; tous les paquets en erreur sont supposés perdus)

Classe de QS en mode ATM	Taux CER obtenu en mode ATM	Taux CLR obtenu en mode ATM	Taux IPLR résultant
1	4,00 E-06	3,00 E-07	4,30 E-06
2		1,00 E-05	1,40 E-05

Tableau I.2/Y.1541 – Valeurs de temps de transfert de paquets IP (IPTD) pour un flux passant par une portion nationale et pour un flux de bout en bout

Portion de réseau	Temps IPTD résultant de la classe 1 de QS en mode ATM (sans délai issu des routeurs IP)
Portion nationale	~27,4 ms
Chemin de bout en bout	400 ms

Noter que la classe 0 et la classe 2 impliquent que le temps IPTD ne peut pas être atteint sur la connexion de référence de 27 500 km selon la Rec. UIT-T I.356.

La valeur du taux d'erreur de cellules (CER, *cell error ratio*) dans les classes ATM est égale à 4×10^{-6} . Si les paquets IP sont longs (1500 octets) et si des cellules erronées sont la cause de paquets IP erronés, la valeur du taux d'erreur sur les paquets IP sera d'environ 10^{-4} .

La valeur du taux de mauvaise insertion de cellules (CMR, *cell misinsertion ratio*) actuellement spécifiée est de 1/jour. Les implications du taux CMR sur le taux SPR nécessitent des études complémentaires.

Appendice II

Considérations relatives à la définition du paramètre de variation du temps de transfert IP

Le présent appendice examine certains aspects de la définition de la variation IPDV et de l'utilisation d'autres méthodes statistiques relatives à l'objectif de variation IPDV.

Afin de fournir des directives aux concepteurs de tampons de compensation de gigue en équipement d'extrémité, le ou les paramètres doivent tenir compte des effets de ce qui suit sur la variation IPDV:

- encombrements récurrents dans le réseau (haute fréquence des variations de temps IPTD);
- comportement de fenêtrage du protocole TCP (basse fréquence des variations de temps IPTD);
- variations périodiques et aperiodiques de la charge moyenne du réseau (basse fréquence des variations de temps IPTD);
- effets des mises à jour du routage sur le temps IPTD (changements instantanés (et éventuellement importants) du temps IPTD).

La définition actuelle de la variation du temps de transfert IP est la suivante:

$$\text{IPDV} = \text{IPTD}_{\text{upper}} - \text{IPTD}_{\text{min}}$$

où:

$\text{IPTD}_{\text{upper}}$ est le quantile $1 - 10^{-3}$ du temps IPTD dans l'intervalle d'évaluation

IPTD_{min} est le temps IPTD minimal dans l'intervalle d'évaluation

La définition de la variation IPDV est fondée sur les événements de référence indiqués au § 6.2.2/Y.1540. Ici, le temps de transfert nominal est fondé sur le paquet ayant le plus petit temps de transfert dans un sens (en variante du premier paquet ou de la moyenne de la population en tant que temps de transfert nominal).

La spécification du quantile $1 - 10^{-3}$ (équivalent au 99,9^e percentile) est influencée par la longueur de l'échantillon de paquets dans un intervalle de mesure de 1 minute et par l'objectif de taux $\text{IPLR} \leq 10^{-3}$, ce qui se traduit par un objectif de taux de perte globale d'environ 10^{-3} . De plus petits quantiles ajouteraient des pertes supplémentaires, comme indiqué ci-dessous.

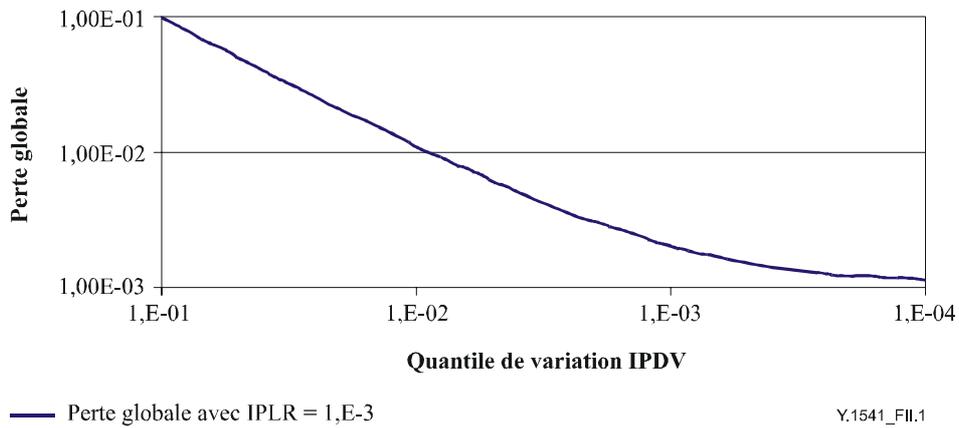


Figure II.1/Y.1541 – Effet de différents quantiles de variation IPDV sur la perte globale lorsque IPLR = 0,001

Un exemple de définition en variante de la variation du temps de transfert IP est donné ici. La variation du temps de transfert IP peut être définie comme le temps IPTD maximal moins le temps IPTD minimal au cours d'un intervalle donné de mesurage bref.

$$\text{IPDV} = \text{IPTD}_{\text{max}} - \text{IPTD}_{\text{min}}$$

où:

IPTD_{max} est le temps IPTD maximal enregistré au cours d'un intervalle de mesurage

IPTD_{min} est le temps IPTD minimal enregistré au cours d'un intervalle de mesurage

Plusieurs valeurs de la variation IPDV sont mesurées dans un grand intervalle de temps, composé de plusieurs brefs intervalles de mesure. Le 95^e percentile de ces valeurs de variation IPDV est censé atteindre un objectif recherché. Il s'agit d'une méthode simple et relativement exacte pour calculer la variation IPDV en temps réel. La valeur réelle de l'intervalle de mesure fera l'objet d'un complément d'étude. L'intervalle de mesure influence la capacité de l'objet métrologique à représenter des variations à basse et à haute fréquences du comportement en termes de temps de transfert de paquet IP.

Appendice III

Exemples de chemin fictif de référence pour valider les objectifs de performance IP

Le présent appendice présente les chemins fictifs de référence pris en considération lors de la validation de la faisabilité des objectifs de performance de bout en bout présentés au § 5. Ces chemins fictifs de référence (HRP, *hypothetical reference path*) ne sont que des exemples. Les données contenues dans le présent appendice ne sont pas normatives et ne recommandent ni ne prônent aucune architecture de chemin particulière.

Chaque paquet contenu dans un flux suit un chemin spécifique. Tout flux (avec un ou plusieurs paquets sur un chemin) qui répond aux objectifs de performance du § 5 peut être considéré comme entièrement conforme aux prescriptions normatives de la présente Recommandation.

Les objectifs de performance de bout en bout sont définis pour les paramètres de performance IP correspondant aux événements de référence de transfert de paquets IP (IPRE). Le réseau IP de bout en bout comporte l'ensemble des sections de réseau (NS) et des liaisons entre réseaux qui assurent le transport de paquets IP transmis de SRC à DST; les protocoles ci-dessous, y compris la couche IP (couche 1 à couche 3), dans la source SRC et la destination DST peuvent également être considérés comme faisant partie d'un réseau IP.

NOTE – Voir l'Appendice VII pour des informations concernant les effets, sur la qualité de bout en bout telle que perçue par l'utilisateur, des valeurs de temps de transfert données par les chemins fictifs de référence présentés.

III.1 Nœuds de numéro IP dans le chemin HRP

Les chemins HRP ont des attributs similaires au chemin de référence du § 5.

Les sections de réseau sont définies (dans la Rec. UIT-T Y.1540) comme des ensembles de serveurs avec leurs liaisons d'interconnexion, qui, ensemble, fournissent une partie du service IP entre une source et une destination et dépendent d'une unique juridiction ou d'une juridiction collective. Les sections de réseau (NS) sont synonymes de domaines d'opérateur. Elles peuvent être représentées comme des nuages avec des routeurs d'extrémité sur leurs frontières, et un certain nombre de routeurs intérieurs jouant divers rôles. Dans ce cas, les chemins HRP sont équivalents au "résumé de chemin" de la requête RFC 2330.

Chaque section NS peut être composée de nœuds IP jouant des rôles d'accès, de distribution et de noyau, comme illustré dans la Figure III.1.

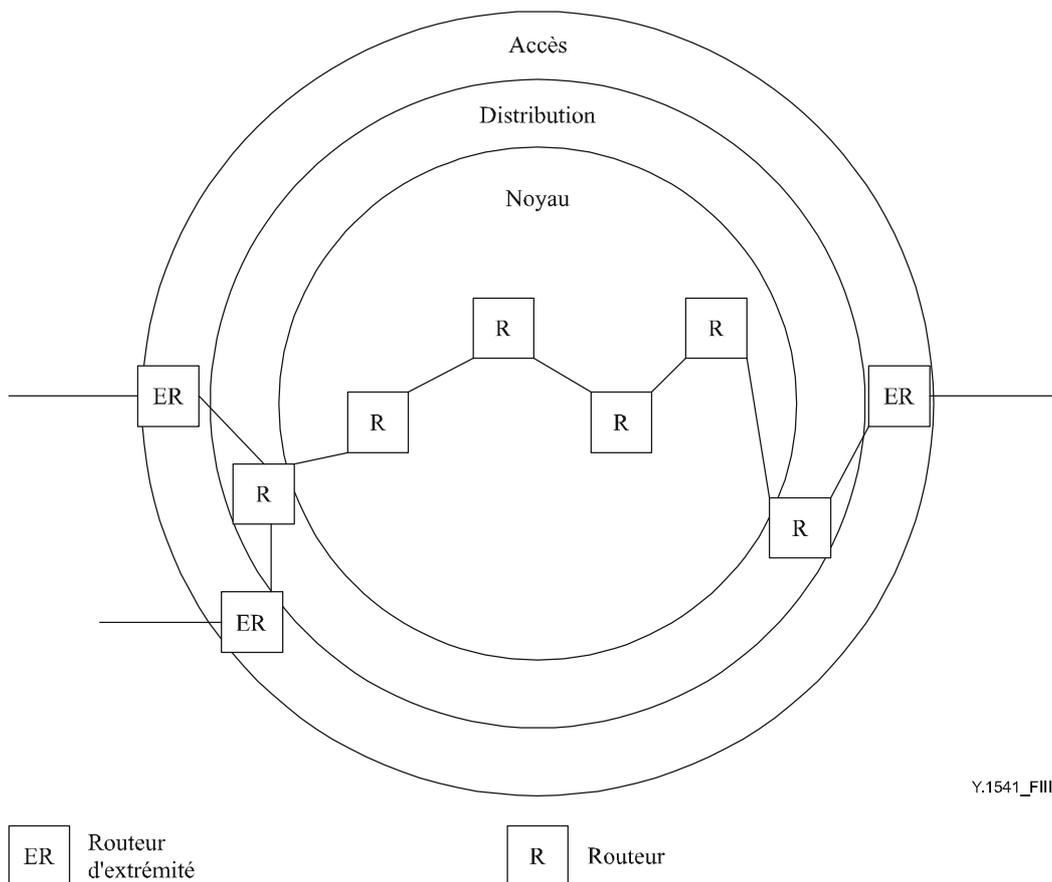


Figure III.1/Y.1541 – Rôle des nœuds IP dans une section de réseau

Noter que un ou plusieurs routeurs sont nécessaires pour jouer chaque rôle et que le chemin de noyau illustré possède quatre routeurs en cascade. Dans cet exemple, un chemin passant par une section NS pourrait rencontrer aussi peu que trois routeurs ou autant que huit.

La contribution des routeurs à divers paramètres peut varier selon leur rôle. Les routeurs d'extrémité assurent généralement un ou deux rôles, tels que routeurs de passerelle d'accès ou routeurs de passerelle d'interfonctionnement.

Tableau III.1/Y.1541 – Exemples de contribution typique au temps de transfert selon le rôle du routeur

Rôle	Temps moyen de transfert total (somme de l'attente en file et du traitement)	Variation du temps de transfert
Passerelle d'accès	10 ms	16 ms
Passerelle d'interfonctionnement de réseaux	3 ms	3 ms
Distribution	3 ms	3 ms
Noyau	2 ms	3 ms

NOTE – Les passerelles d'interfonctionnement de réseaux ont normalement des caractéristiques de performance différentes des passerelles d'accès.

Calcul de longueur de trajet

Si le composant fondé sur la distance est proportionnel à la distance terrestre réelle, plus une marge proportionnelle à un rapport normal de trajet physique à distance réelle. Le calcul de longueur de trajet utilisé ici est fondé sur la Rec. UIT-T G.826, et seules de longues distances sont prises en considération ici. Si D_{km} est la distance aérienne entre les deux points de mesure (MP) qui limitent la portion, alors le calcul de longueur de trajet est le suivant:

- si $D_{km} > 1200$, $R_{km} = 1,25 \times D_{km}$

Ce qui précède ne s'applique pas lorsque la portion contient un bond par satellite.

III.2 Exemples de calculs pour prendre en charge le temps de transfert de bout en bout de classes 0 et 1

Calcul du temps de transfert de réseau de classe X ($0 \leq X \leq 4$)

Le présent paragraphe calcule le temps IPTD pour toute portion de chemin prenant en charge un flux de classe de QS X. Lorsqu'une portion de flux ne contient pas de bond par satellite, son temps IPTD calculé est (avec les temps de transport optique indiqués dans la Rec. UIT-T G.114):

$$\text{IPTD (en microsecondes)} \leq (R_{km} \times 5) + (N_A \times D_A) + (N_D \times D_D) + (N_C \times D_C) + (N_I \times D_I)$$

Dans cette formule:

- R_{km} représente l'hypothèse de longueur de trajet calculée ci-dessus.
- $(R_{km} \times 5)$ est une marge pour la "distance" dans la portion.
- N_A , N_D , N_C , et N_I représentent respectivement le nombre de nœuds IP de passerelle d'accès, de distribution, de noyau et de passerelle d'interfonctionnement de réseaux, compatible avec l'exemple de section de réseau représenté dans la Figure III.1.
- D_A , D_D , D_C , et D_I représentent respectivement le temps de transfert de nœuds IP de passerelle d'accès, de distribution, de noyau et de passerelle d'interfonctionnement de réseaux, compatible avec les valeurs pour la classe X (par exemple, Tableau III.1).

La variation IPDV maximale peut être calculée de la même façon.

A titre d'exemple de ce calcul, considérons le chemin HRP suivant. Ce chemin contient deux réseaux IP, et un point d'interfonctionnement de réseaux.

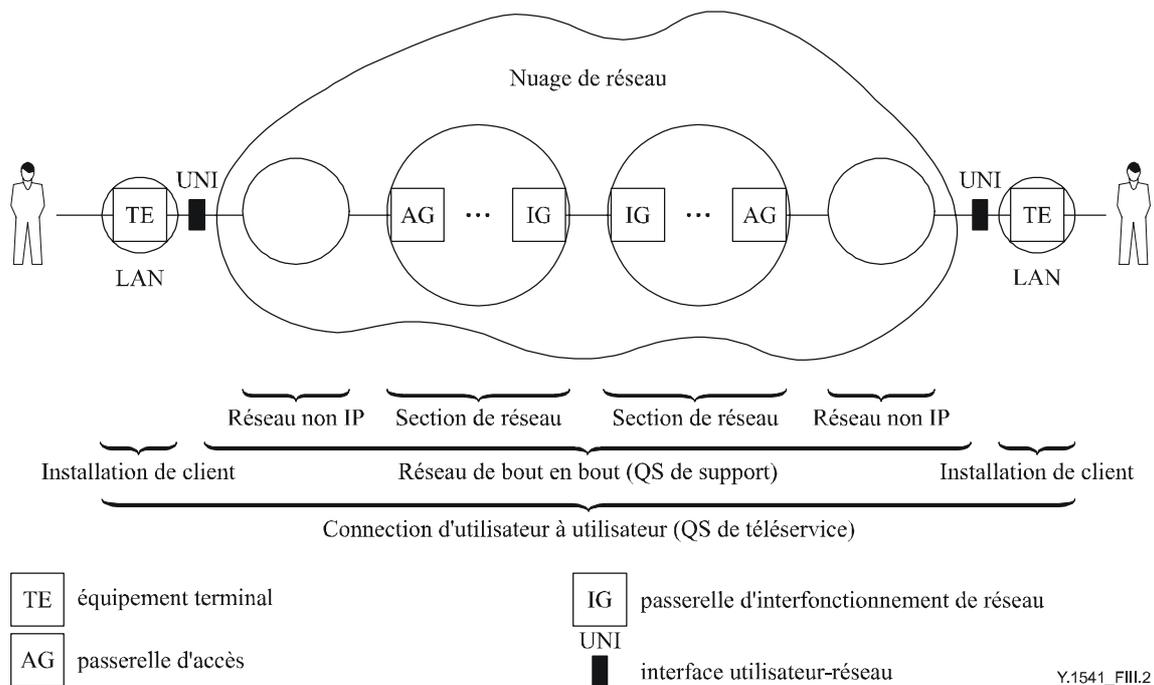


Figure III.2/Y.1541 – Chemin fictif de référence pour classe de QS 0

Les configurations de routeur intérieur ne sont pas indiquées dans le chemin fictif de référence (HRP) de la Figure III.2. Le nombre de routeurs de noyau et de distribution est indiqué dans le Tableau III.2.

Hypothèses:

- 1) la distance utilisée est approximativement l'arc entre Daytona Beach et Seattle (diagonale américaine, plus longue que la distance de Lisbonne à Moscou);
- 2) les liaisons d'accès sont à capacité de débit T1; les autres liaisons sont à débit supérieur à T1 (par exemple OC-3);
- 3) la plus grande longueur de paquet est de 1500 octets et la longueur des paquets VoIP est de 200 octets;
- 4) des réseaux non IP sont nécessaires entre la passerelle d'interfonctionnement NI et la passerelle d'accès.

Tableau III.2/Y.1541 – Analyse de l'exemple de chemin de classe 0

Elément	Unité	Unité IPTD	IPTD moyen	Unité IPDV	IPDV max.
Distance	4070 km				
Trajet	5087,5 km		25		
Temps d'insertion	200 bytes (1500 bytes)		1 (8)		
Réseau non IP 1			15		0
Réseau IP 1					
Accès, N _A	1	10	10	16	16
Distribution, N _D	1	3	3	3	3
Noyau, N _C	2	2	4	3	6
Pass. d'interf., N _I	1	3	3	3	3
Réseau IP 2					
Accès, N _A	1	10	10	16	16
Distribution, N _D	1	3	3	3	3
Noyau, N _C	4	2	8	3	12
Pass. d'interf., N _I	1	3	3	3	3
Réseau non IP 2			15		0
Total, ms			100		62

Le Tableau III.2 donne la configuration du chemin HRP en termes de nombre et de type de routeurs, de distance et de contribution de tous les éléments du chemin HRP au temps de transfert (IPTD) et à la variation de ce temps (IPDV). Noter que le calcul de la variation IPDV maximale est ici très pessimiste (en supposant l'addition du pire cas dans chaque nœud). Elle est donc supérieure à la spécification de la variation IPDV figurant dans le corps de la présente Recommandation.

III.3 Exemple de calcul de temps de transfert de bout en bout de classe 1

La classe 1 permet de prendre en charge de plus grandes longueurs de chemin et des chemins de réseau plus complexes. En prenant les mêmes hypothèses que dans le Tableau III.2, mais avec une distance de 12 000 km, le temps IPTD moyen sera de 150 ms, et une valeur R égale à approximativement 83 est possible.

Dans un second exemple, l'on ajoute une section de réseau IP de transit, soit un total de trois sections NS.

Tableau III.3/Y.1541 – Exemple de calcul pour chemin de classe 1

Élément	Unité	Unité IPTD	IPTD moyen	Unité IPDV	IPDV max.
Distance	km				
Trajet	27 500 km		138		
Temps d'insertion	200 bytes (1500 bytes)		1 (8)		
Réseau non IP 1			15		0
Réseau IP 1					
Accès, N _A	1	10	10	16	16
Distribution, N _D	1	3	3	3	3
Noyau, N _C	2	2	4	3	6
Pass. d'interf., N _I	1	3	3	3	3
Réseau IP 2					
Distribution, N _D	2	3	6	3	6
Noyau, N _C	4	2	8	3	12
Pass. d'interf., N _I	2	3	6	3	6
Réseau IP 3					
Accès, N _A	1	10	10	16	16
Distribution, N _D	1	3	3	3	3
Noyau, N _C	4	2	8	3	12
Pass. d'interf., N _I	1	3	3	3	3
Réseau non IP 2			15		0
Total, ms			233		86

Le Tableau III.3 donne la configuration de chemin HRP, configuration en termes de nombre et de type de routeurs, de distance et de contribution de tous les éléments de chemin HRP au temps de transfert (IPTD) et à sa variation (IPDV).

III.4 Exemple de calculs pour prendre en charge le temps de transfert de bout en bout de classe 4

En conservant le formulaire de calcul ci-dessus, il est possible de développer le nombre de sections NS ayant les contributions au temps de transfert indiquées dans le Tableau III.1, ou de développer les contributions comme suit:

Tableau III.4/Y.1541 – Contribution au temps de transfert de classe 4 selon le rôle de routeur

Rôle	Temps moyen de transfert total (somme de l'attente en file et du traitement)
Passerelle d'accès	200 ms
Passerelle d'interfonctionnement	64 ms
Distribution	64 ms
Noyau	3 ms

Ici, avec une longueur de trajet de 27 500 km, le temps de transfert moyen dans un seul sens serait de 884 ms (avec le chemin HRP et la configuration nodale comme décrit dans le Tableau III.2).

III.5 Niveau de charge dans le chemin HRP

La fraction de chaque liaison de transmission qui est occupée par des paquets actifs est un des facteurs à prendre en considération dans les HRP. Les niveaux de charge auxquels le réseau fonctionnera en régime établi constituent un autre facteur.

III.6 Satellites géostationnaires dans le chemin HRP

L'utilisation de satellites géostationnaires a été prise en considération au cours de l'étude des chemins HRP. Un seul satellite géostationnaire peut être utilisé dans les chemins HRP et tout en continuant à atteindre les objectifs de bout en bout, dans l'hypothèse qu'il représente une distance terrestre importante, de multiples nœuds IP, et/ou des sections de réseau de transit.

L'utilisation de satellites de Terre à orbite basse ou moyenne n'a pas été prise en considération à propos de ces chemins HRP.

Lorsqu'un chemin contient un bond par satellite, cette portion nécessite un temps IPTD de 320 ms, afin de tenir compte du faible angle de visibilité de la station terrienne et/ou des systèmes TDMA à bas débit. Dans le cas d'un satellite possédant des capacités de traitement embarquées, une valeur de 330 ms du temps IPTD est requise afin de tenir compte du traitement à bord et des temps d'attente en file des paquets.

Il est prévu que la plupart des chemins HRP comportant un satellite géostationnaire atteindront des temps IPTD inférieurs à 400 ms. Cependant, dans certains cas, la valeur de 400 ms peut être dépassée. Pour de très longs chemins vers des zones éloignées, les fournisseurs de réseau peuvent avoir besoin de conclure des accords bilatéraux supplémentaires afin d'améliorer la probabilité d'atteindre l'objectif de 400 ms.

Appendice IV

Exemples de calcul de la variation du temps de transfert de paquets IP

Le présent appendice indique les données permettant de faciliter le calcul de la variation du temps de transfert de paquets IP (IPDV) pour les classes de QS de réseau IP dans lesquelles une valeur assez stricte de variation IPDV est spécifiée, c'est-à-dire les classes 0 et 1 de QS des réseaux IP.

Pour les calculs, l'on admet ici qu'un opérateur de réseau offre un choix de différentes classes de QS de réseau IP, y compris les classes de QS pour lesquelles aucun objectif de variation IPDV n'est spécifié. Cet ensemble de propriétés explique la notion de flux "sensible à la variation du temps de transfert" (par exemple, classes de QS 0 et 1) et de flux "insensible à la variation du temps de transfert" (par exemple, classes de QS 2, 3, 4 et 5). Il est également supposé qu'un opérateur offrant un tel ensemble de classes de QS effectue un effort raisonnable pour séparer les flux sensibles des flux insensibles à la variation des flux. Les principaux éléments d'un tel effort consistent en une stratégie de programmation des paquets et en des mesures supplémentaires de commande du trafic. Pour les calculs figurant dans le présent appendice, il est supposé que les paquets de flux sensibles à la variation sont planifiés avec une priorité sans préemption sur les paquets issus de flux insensibles à la variation et que la planification dans chacune de ces deux catégories est de type FIFO.

NOTE – Cette simple hypothèse ne vise qu'à obtenir un modèle "calculable". D'autres stratégies de planification de paquets (telles que la pondération de gestion équitable de files) ou d'autres mesures de gestion du trafic ne sont pas exclues. Il est également supposé que la performance des autres méthodes est soit meilleure soit aussi bonne que celle de la méthode utilisée pour ces calculs.

IV.1 Contributions à la variation du temps de transfert de paquets IP

Les facteurs suivants sont pris en compte en tant que contributions les plus notables à la variation du temps de transfert de paquets IP (IPDV) pour les flux sensibles à la variation:

- temps de transfert variable parce que le temps de traitement de la décision de renvoi de paquets (exploration du routage) n'a pas une seule valeur fixe mais peut varier de paquet à paquet;
- temps de transfert variable parce que le paquet doit attendre derrière d'autres paquets sensibles à la variation, déjà arrivés;
- temps de transfert variable parce que le paquet doit attendre l'achèvement du service d'un paquet insensible à la variation qui est déjà arrivé et qui est déjà en service.

IV.2 Modèles et procédures de calcul afin d'établir une limite supérieure de la variation IPDV

IV.2.1 Variation du temps de transfert due à l'exploration du routage

Pour un paquet qui arrive, le routeur a besoin d'établir l'accès sortant vers lequel le paquet doit être renvoyé, sur la base de l'adresse IP. Le temps nécessaire pour cette décision de renvoi peut varier de paquet à paquet.

Les routeurs à hautes performances peuvent mettre en cache les adresses IP récemment utilisées afin d'accélérer ce processus pour les paquets subséquents. Tous les paquets d'un flux, sauf le premier, sont censés rencontrer de brefs temps d'exploration et de très petites variations entre ces temps. Bien que, au sens strict, le plus long temps de transfert du premier paquet contribue à la variation IPDV, le temps de transfert exceptionnel du premier paquet est négligé dans ces calculs parce qu'il s'agit d'un événement isolé et que son effet disparaîtra dans les flux de durée relativement longue (par exemple, un flux VoIP).

Il est prévu que la variation de paquet à paquet du temps d'exploration du routage ne sera pas supérieure à quelques dizaines de microsecondes dans chaque routeur. Pour les calculs, la variabilité est supposée être inférieure à 30 μ s par routeur.

Etant donné que l'on ne dispose pas de beaucoup d'informations sur la répartition de cet élément de temps de transfert, la variabilité composite de plusieurs routeurs en cascade est considérée comme égale à la somme des variabilités individuelles, c'est-à-dire que les effets statistiques ne sont pas pris en compte pour ce composant de variation IPDV.

IV.2.2 Variation du temps de transfert due aux paquets sensibles à la variation

Un paquet sensible à la variation devra attendre que d'autres paquets sensibles à la variation, qui sont arrivés plus tôt, aient été desservis (règle FIFO). Chaque flux sensible à la variation est modélisé comme un flux de paquets ayant une variation du temps de transfert de paquets IP négligeable à 1 point, comparable au concept de "variation CDV négligeable" utilisé pour un flux à débit CBR de cellules ATM (voir la Rec. UIT-T E.736).

Pour les calculs, il est également supposé que tous les paquets sensibles à la variation ont une longueur fixe de 1500 octets. Cela permet d'appliquer le modèle bien connu M/D/1 de files d'attente (voir la Rec. UIT-T E.736) pour le calcul de cet élément dans la variation du temps de transfert de paquet. La durée de service fixe est déterminée par la longueur fixe de paquet prise en compte (1500 octets) et par le débit de liaison de sortie du routeur, par exemple, 80,13 μ s sur une liaison au débit STM-1.

Pour le regroupement en agrégats de cet élément de temps de transfert sur plusieurs routeurs en cascade, la convolution des répartitions des temps de transfert correspondants doit être utilisée, compte tenu de différents débits de liaison de sortie si applicable. Le quantile inférieur est supposé

être zéro et le quantile supérieur ($1 - 10^{-3}$) peut être approché avec précision au moyen de la théorie des grands écarts, en particulier l'estimation de Bahadur-Rao qui est développée dans [IFIP].

La Figure IV.1 décrit le résultat de tels calculs. Elle montre le quantile ($1 - 10^{-3}$) de variation du temps de transfert pour l'élément composite de temps de transfert dû au brouillage issu du trafic sensible à la variation, pour différents niveaux de charge de trafic sensible à la variation et pour différents nombres de bonds de routeur en cascade.

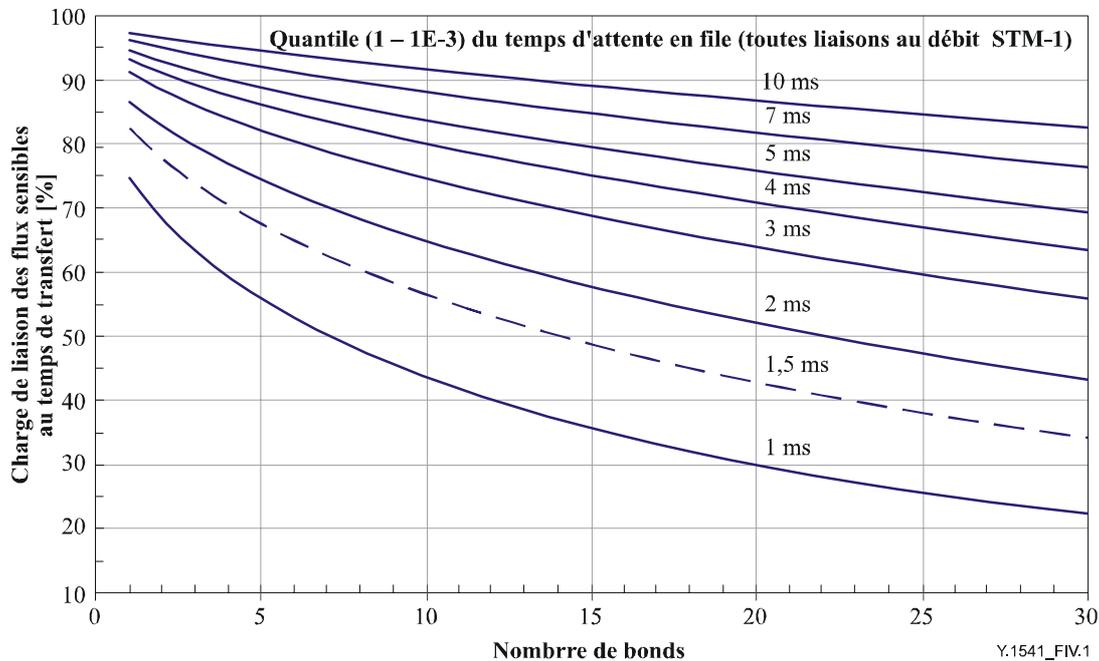


Figure IV.1/Y.1541 – Quantile ($1 - 10^{-3}$) de l'élément composite de temps d'attente en file dû à un trafic sensible à la variation pour différents niveaux du trafic sensible à la variation et pour différents nombres de bonds de routeur en cascade

La Figure IV.1 part du principe que toutes les liaisons du réseau sont au débit STM-1 et que toutes les liaisons montrent le même niveau de charge pour le trafic sensible à la variation. Si une ou plusieurs liaisons ont une capacité supérieure au débit STM-1, le temps de transfert de bout en bout résultant sera inférieur; si certaines liaisons ont une capacité inférieure, le temps de transfert de bout en bout résultant sera supérieur. Ces effets peuvent être calculés (voir § IV.2.4) mais ne peuvent pas être facilement reflétés dans la Figure IV.1.

Finalement, il est supposé que, dans un réseau qui prend en charge le trafic aussi bien sensible qu'insensible à la variation, la charge de trafic sensible à la variation sur une liaison n'est pas supérieure à 50% de la liaison pour refléter la tendance observée vers "plus de données que de voix". De la Figure IV.1, l'on peut donc déduire cet élément de temps de transfert n'apporte pas plus qu'environ 2,48 ms au temps IPDV sur le chemin, même si celui-ci traverse un très grand nombre de 25 bonds de routeur STM-1.

IV.2.3 Variation du temps de transfert due à un paquet insensible à la variation

Un paquet d'arrivée sensible à la variation n'a pas priorité sur la desserte d'un paquet insensible à la variation qui est arrivé plus tôt. Par conséquent, le paquet sensible à la variation peut rencontrer un élément de file d'attente dans chaque routeur limité par le temps nécessaire pour desservir un paquet insensible à la variation.

Pour le calcul, il est supposé que chaque paquet sensible à la variation rencontre un temps de transfert aléatoire dû à un paquet insensible à la variation qui est uniformément réparti entre zéro et le temps de desserte des paquets de longueur maximale (1500 octets) qui sont insensibles à la variation du débit de liaison de sortie correspondant. Sur une liaison de sortie au débit STM-1, cela correspond à un temps de transfert uniformément réparti compris entre 0 et 80,13 μ s dans chaque routeur.

Pour le regroupement en agrégats de cet élément de temps de transfert passant par plusieurs routeurs en cascade, la convolution des répartitions des temps de transfert correspondants peut être utilisée, compte tenu de différents débits de liaison de sortie lorsque applicable. Le quantile inférieur est supposé être zéro et le quantile supérieur ($1 - 10^{-3}$) peut être calculé exactement. Dans la plupart des cas, une bonne approximation est obtenue au moyen d'une approximation par une loi normale (gaussienne) ou par le cas le moins favorable, selon ce qui donne la plus petite valeur. Le quantile ($1 - 10^{-3}$) est situé à $(\mu + 3,72 \cdot \sigma)$.

IV.2.4 Variation composite du temps de transfert pour paquets sensibles à la variation

Une limite supérieure de la variation IPDV sur un chemin HRP se calcule en ajoutant les valeurs calculées pour chacun des trois éléments indiqués aux § IV.2.1 à IV.2.3.

NOTE – La valeur calculée résultante est censée être supérieure à la valeur rencontrée dans un réseau réel. Les facteurs suivants sont notés:

- l'addition de trois valeurs de quantile donne une valeur supérieure au quantile de temps de transfert réel;
- la longueur réelle des paquets sensibles à la variation (tels que les paquets VoIP) est censée être beaucoup plus petite que la longueur supposée de 1500 octets. Par ailleurs, la charge avec trafic sensible à la variation sur la plupart des liaisons est censée être plus petite que la valeur supposée de 50%. Donc, le temps réel d'attente en file causé par un brouillage avec le trafic sensible à la variation est censé être plus petit que sa valeur calculée;
- la répartition réelle des paquets insensibles à la variation (par exemple, acquittements de protocole TCP) contient également des paquets qui sont (beaucoup) plus petits que la longueur supposée de 1500 octets. Par ailleurs, la charge totale (trafic sensible à la variation plus trafic insensible à la variation) sur la plupart des liaisons est censée être généralement plus petite que la valeur supposée de 100%. Donc, le temps d'attente réel en raison de brouillages avec le trafic insensible à la variation est censé être plus petit que sa valeur calculée.

IV.3 Exemples de calcul

Les trois exemples suivants montrent le calcul de la variation IPDV introduite dans un chemin HRP d'utilisateur à utilisateur (voir Figure II.1).

- Un exemple où toutes les liaisons sont à débit relativement élevé (STM-1 ou supérieur).
- Un exemple où les liaisons entre client et réseau et les liaisons entre sections de réseau ont un débit inférieur (E3 ou T3).
- Un exemple où les liaisons entre client et réseau sont à bas débit (par exemple, 1,544 Mbit/s, T1).

IV.3.1 Exemple avec liaisons STM-1

Dans cet exemple, toutes les liaisons sont supposées être STM-1. Le chemin HRP entre les interfaces de réseau avec le nuage de réseau IP (voir Figure III.2) se compose de 12 bonds de routeur. Donc, les facteurs d'influence sur la variation IPDV de ce chemin peuvent être calculés comme suit:

- variation de temps d'exploration de routeur (voir § IV.2.1): $12 \times 30 \mu\text{s} = 0,36 \text{ ms}$;
- variation du temps d'attente en file due au trafic sensible à la variation (voir Figure IV.1 pour une charge de 50% et 12 bonds STM-1): $\approx 1,36 \text{ ms}$;

- variation du temps d'attente en file due au trafic insensible à la variation (voir § IV.2.3): $\approx 9,01 \times 80,13 \mu\text{s} = 0,72 \text{ ms}$.

Donc, la variation IPDV sur ce chemin à haut débit de liaison peut être supposée plus petite que **2,44 ms**.

IV.3.2 Exemple avec liaisons d'interconnexion E3

Dans cet exemple, toutes les liaisons sont supposées être STM-1 sauf les liaisons utilisateur-réseau et la liaison entre sections de réseau qui sont supposées être au débit E3 (34 Mbit/s). Le chemin HRP entre les interfaces réseau avec le nuage de réseau IP (voir Figure III.2) se compose de 12 bonds de routeur, dont 2 ont le débit E3 inférieur. Donc, les facteurs d'influence sur la variation IPDV dans ce chemin peuvent être calculés comme suit:

- variation du temps d'exploration de routeur (voir § IV.2.1): $12 \times 30 \mu\text{s} = 0,36 \text{ ms}$;
- variation du temps d'attente en file due au trafic sensible à la variation (pour une charge de 50% et 10 bonds STM-1 plus 2 bonds E3): $\approx 2,92 \text{ ms}$;
- variation du temps d'attente en file due au trafic insensible à la variation (pour 10 bonds STM-1 plus 2 bonds E3): $\approx 1,19 \text{ ms}$.

Donc, la variation IPDV sur ce chemin à débit de liaison mixte peut être supposée plus petite que **4,47 ms**.

IV.3.3 Exemple avec liaison d'accès à bas débit

Dans cet exemple, toutes les liaisons sont supposées être STM-1 sauf les liaisons d'utilisateur-réseau qui sont supposées être au débit d'environ 1,5 Mbit/s T1. Le chemin HRP entre les interfaces réseau avec le nuage de réseau IP (voir Figure III.2) se compose de 12 bonds de routeur, dont 1 au débit inférieur. Dans ce cas, la contribution de la liaison d'accès est traitée séparément. Les facteurs d'influence sur la variation IPDV dans la partie à haut débit de ce chemin peuvent être calculés comme suit:

- variation du temps d'exploration de routeur (voir § IV.2.1): $12 \times 30 \mu\text{s} = 0,36 \text{ ms}$;
- variation du temps d'attente en file due au trafic sensible à la variation (pour charge de 50% et 11 bonds STM-1): $\approx 1,29 \text{ ms}$;
- variation du temps d'attente en file due au trafic insensible à la variation (pour 11 bonds STM-1): $\approx 8,364 \times 80,13 \mu\text{s} = 0,67 \text{ ms}$.

Donc, la variation IPDV sur ce chemin de noyau à liaison supérieure peut être supposée inférieure à **2,32 ms**.

Sur la liaison d'accès, la contribution au temps de transfert due au brouillage avec un paquet insensible à la variation peut atteindre 15,6 ms lorsque deux paquets de 1500 octets sont desservis avant un paquet sensible à la variation (un de ces paquets peut faire partie du flux sensible au temps de transfert). La contribution à la variation IPDV due au brouillage avec d'autres flux sensibles à la variation dépend fortement du nombre de ces flux et de la longueur réelle des paquets utilisés.

Noter que le nombre de flux sensibles à la variation et la longueur de paquet associée sur la liaison d'accès à bas débit est déterminé par les applications choisies par les utilisateurs finals. Sans influence particulière, l'opérateur de réseau se trouvera dans une position difficile pour s'engager sur une valeur stricte de l'objectif de performance du réseau en termes de variation IPDV en présence d'une liaison d'accès à bas débit.

Si le trafic sensible au temps de transfert possède une longueur de paquet constante (contenant chacune 20 ms de voix à codage G.711, compatible avec l'Appendice III), et n'occupe pas plus que 50% de la liaison d'accès, alors le temps de transfert peut être estimé comme suit. Il peut y avoir

jusqu'à 9 flux vocaux de 50 paquets/s ayant chacun une charge utile de 160 octets plus des en-têtes de 40 octets pour les protocoles RTP, UDP et IP (soit un total de 80 kbit/s pour chacun).

- La variation du temps d'attente en file due au trafic sensible à la variation (pour une charge de 46,9% et 1 bond T1), au moyen du modèle de files d'attente M/D/1, montre que la contribution en temps de transfert due à ces relativement petits paquets sensibles à la variation sur la liaison d'accès est de 5,12 ms.
- La variation du temps d'attente en file due au trafic insensible à la variation (pour 1 bond T1): 7,81 ms.

La contribution à la variation du temps de transfert sur la liaison d'accès a donc une valeur composite de 12,93 ms, conduisant donc à un total de 15,25 ms. La contribution de la liaison d'accès domine donc la variation IPDV dans ce cas.

IV.3.4 Résumé et conclusions de l'exemple

Ces exemples de calcul montrent qu'un opérateur de réseau qui consent un modeste effort pour prendre en charge les deux trafics, sensible et insensible à la variation du temps de transfert, peut s'engager sur des valeurs assez strictes de variation IPDV sur un long chemin HRP où toutes les liaisons ont un débit raisonnablement élevé (par exemple, une association de liaisons STM-1 et E3/T3 ou supérieures). L'engagement sur une valeur de variation IPDV de l'ordre de 10 ms laisse une large place à des liaisons additionnelles à débit inférieur (E3/T3) ou à une section de réseau supplémentaire.

Si une liaison à bas débit (1,5 Mbit/s T1, ou E1) est présente, l'engagement sur une valeur basse de variation IPDV devient difficile. L'opérateur de réseau possède peu ou pas du tout d'influence sur le nombre réel de flux sensibles à la variation et sur la longueur réelle des paquets sensibles à la variation. Donc, les engagements en termes de variation IPDV conclus par le réseau seront dominés dans ce cas par la liaison d'accès et devront être beaucoup plus grands que 10 ms, comme indiqué dans le Tableau 1. Sur la liaison d'accès, l'utilisateur final peut décider du nombre et du type de flux prévus pour une classe sensible au temps de transfert et donc de la variation IPDV résultante. Dans l'hypothèse que la liaison d'accès n'est que modérément chargée (<50%) avec du trafic sensible à la variation et que la longueur dominante de ces paquets sera petite par rapport à la longueur maximale de 1500 octets, une marge supplémentaire de **20 ms** pour une liaison d'accès à bas débit peut être suffisante.

Appendice V

Données relatives aux méthodes de mesure de la performance IP

Le présent appendice, qui fera l'objet d'un complément d'étude, décrira des questions importantes à examiner lors de la mise au point de méthodes de mesure de la performance IP. Il décrira les effets, sur la performance mesurée, de conditions extérieures aux sections en essai, y compris les considérations relatives au trafic.

Les conditions suivantes devraient être spécifiées et contrôlées au cours des mesurages de la performance IP:

- 1) les sections exactes qui sont mesurées:
 - les extrémités SRC et DST pour les mesurages de bout en bout;
 - les points MP limitant un élément NSE mesuré;

NOTE – Il n'est pas nécessaire de mesurer entre toutes les paires de points MP pairs ou entre toutes les paires d'extrémités SRC et DST afin de caractériser la performance.

- 2) durée de mesurage:
 - intervalle de collecte des échantillons;
 - instants de mesurage;
- 3) caractéristiques de trafic exactes:
 - débit auquel l'extrémité SRC offre le trafic;
 - conformation du trafic à l'extrémité SRC;
 - trafics concurrents aux extrémités SRC et DST;
 - longueur de paquet IP;
- 4) type de mesurage:
 - en service ou hors service;
 - actif ou passif;
- 5) résumés des données mesurées:
 - moyennes, cas le moins favorable, quantiles empiriques;
 - période de résumé;
 - période brève (par exemple, une minute);
 - période longue (par exemple, une heure, un jour, une semaine, un mois).

Appendice VI

Applicabilité des capacités de transfert Y.1221 et des services différenciés de l'IETF aux classes de QS de réseau IP

Le présent appendice traite de l'applicabilité aux classes de QS de réseau IP définies dans la Rec. UIT-T Y.1541 des capacités de transfert définies dans la Rec. UIT-T Y.1221. Il y est aussi défini la relation entre ces capacités de transfert définies dans la Rec. UIT-T Y.1221 et les comportements par bond des services différenciés IETF compatibles avec les spécifications de la Rec. UIT-T Y.1221.

La Rec. UIT-T Y.1221 définit trois capacités de transfert (TC, *transfer capability*) nommées "en bande spécialisée" (DBW, *dedicated bandwidth*), "bande statique" (SBW, *statistical bandwidth*) et "au mieux" (BE, *best-effort*). Chacun des modèles de services visés par les définitions des capacités de transfert de la Rec. UIT-T Y.1221 permet habituellement de définir un ensemble de paramètres de performance du réseau conformes à ceux qui sont indiqués dans le Tableau 1. Les capacités de transfert définies dans la Rec. UIT-T Y.1221 peuvent être employées pour répondre aux objectifs de performance des six classes de QS définies dans la Rec. UIT-T Y.1541.

Les classes de QS 0 et 1 dans le Tableau 1 permettent de définir les limites aussi bien pour les temps de transfert des paquets IP que pour la variation de ces temps de transfert, ainsi que pour le taux de perte des paquets IP. La capacité de transfert donnée dans la Rec. UIT-T Y.1221 qui permet qu'un contrat de trafic définisse les limites relatives aux temps de transfert des paquets IP et à la variation de ces temps de transfert, ainsi qu'à la perte de paquets IP est une capacité de transfert "en bande spécialisée". Les classes de QS 2, 3 et 4 dans le Tableau 1 permettent de définir les limites pour les taux de perte des paquets IP, mais pas pour la variation des temps de transfert de ces paquets IP. La capacité de transfert donnée dans la Rec. UIT-T Y.1221 qui permet qu'un contrat de trafic définisse les limites relatives aussi bien à la perte des paquets IP qu'à la variation des temps de transfert de ces paquets est à l'étude. La classe de QS 5 dans le Tableau 1 ne permet pas de définir

des limites pour le taux de perte de paquets IP ou pour le temps de transfert des paquets IP ou la variation de ces temps de transfert. La capacité de transfert définie dans la Rec. UIT-T Y.1221 qui ne propose aucun engagement en ce qui concerne la qualité de service est la capacité de transfert "au mieux". Le Tableau VI.1 indique le mappage entre les classes de QS décrites dans la Rec. UIT-T Y.1541 et les capacités de transfert qui sont décrites dans la Rec. UIT-T Y.1221.

Dans la Rec. UIT-T Y.1221 est donnée le mappage entre les trois capacités de transfert qui y sont définies et les comportements par bond des services différenciés IETF qui devraient être employés dans les réseaux fondés sur l'architecture DiffServ. Dans le Tableau VI.1 est indiqué le mappage entre les capacités de transfert définies dans la Rec. UIT-T Y.1221 et les comportements par bond DiffServ IETF.

**Tableau VI.1/Y.1541 – Relation des classes de QS conformes
à la Rec. UIT-T Y.1541 avec les capacités de transfert et les comportements
par bond des services différenciés conformes à la Rec. UIT-T Y.1221**

Capacités de transfert Y.1221	Comportements par bond DiffServ associés	Classe de QS de réseau IP	Remarques
Au mieux (BE)	Par défaut	Classe de QS 5 non spécifiée	Service existant, qui, exploité sur un réseau faiblement chargé, peut assurer un bon niveau de QS de réseau IP.
Bande statistique sensible au temps de transfert (DSBW)	AF	Classes de QS 2, 3 et 4	L'objectif IPLR ne s'applique qu'aux paquets IP des niveaux de priorité les plus élevés de chaque classe AF. L'objectif de temps IPTD s'applique à tous les paquets.
En bande spécialisée (DBW)	EF	Classes de QS 0 et 1	

Appendice VII

Effets de la QS de réseau sur la qualité de transmission de bout en bout de signaux vocaux telle que perçue par l'utilisateur

Dans le présent appendice sont donnés des calculs de la qualité de transmission de bout en bout de signaux vocaux, employant les objectifs des classes 0 et 1 de QS de réseau, conformes à la Rec. UIT-T Y.1541, comme point de départ. Ces objectifs imposent aux contributeurs-clés une performance des applications qui souvent influe fort sur les calculs. Avec la performance des équipements utilisateur bien conçus, on peut estimer que les objectifs fournis par cette Recommandation permettent bien d'atteindre un niveau élevé de qualité de transmission de bout en bout de signaux vocaux telle que perçue par les utilisateurs. Toutefois, les données fournies par les Recommandations UIT-T de la série G.100 devraient aussi être prises en compte.

Les Recommandations UIT-T G.107, G.108, G.109, G.113 et G.114 sont les principaux documents nécessaires pour évaluer la qualité vocale de bouche à oreille qui peut être obtenue avec les valeurs de la classe de QS de réseau correspondante.

La Rec. UIT-T G.114 indique les valeurs limites et les attributions de bout en bout pour le temps moyen de transfert dans un sens, indépendamment d'autres dégradations de la transmission. La nécessité de considérer les effets combinés de toutes les dégradations sur la qualité de transmission globale est prise en compte dans la Rec. UIT-T G.107 par le modèle dit E en tant que Modèle d'évaluation de l'indice de transmission, qui est la méthode commune recommandée par l'UIT-T pour la planification de la transmission de signaux vocaux de bout en bout. La Rec. UIT-T G.108 donne des exemples détaillés sur la façon d'utiliser ce modèle afin d'évaluer la qualité de transmission de connexions mettant en jeu diverses dégradations, y compris le temps de transfert. La Rec. UIT-T G.109 mappe les prédictions d'évaluation de l'indice de transmission dans des catégories de qualité de transmission vocale. Donc, bien que la Rec. UIT-T G.114 indique des informations utiles concernant le temps moyen de transfert dans un sens en tant que paramètre autonome, la Rec. UIT-T G.107 (et ses Recommandations associées UIT-T G.108 et G.109) devrait être utilisée afin d'évaluer les effets de temps de transfert en combinaison avec d'autres dégradations (par exemple, distorsions dues au traitement des signaux vocaux).

Par ailleurs, la Rec. UIT-T G.101 (le plan de transmission) et les Recommandations associées font actuellement l'objet d'une révision fondamentale.

VII.1 Exemple de calcul de temps de transfert de la voix sur IP avec une performance de réseau de classe 0 selon la Rec. UIT-T Y.1541

A titre d'exemple, l'extrémité fictive de référence (HRE, *hypothetical reference endpoint*) pour le média vocal peut être comme indiquée ci-dessous. Les informations s'écoulent du locuteur jusqu'à la pile de protocoles située à gauche, en passant par le chemin HRP, vers la pile de protocoles située à droite jusqu'à l'auditeur (un seul sens de transmission est représenté).

Locuteur		Auditeur
Codeur G.711		Décodeur G.711, Appendice I/G.711 Masquage de la perte de paquet
Dimension de charge utile RTP de 20ms		Tampon de compensation de gigue de 60 ms
UDP		UDP
IP		IP
	(Couches inférieures)	

Figure VII.1/Y.1541 – Exemple d'une extrémité fictive de référence pour le média vocal

Au moyen de l'extrémité fictive de référence de la Figure VII.1, le temps de transfert à l'extrémité peut être comme indiqué ci-dessous. Ces calculs sont obtenus au moyen des formules données dans la Rec. UIT-T G.1020 pour le temps de transfert global.

Tableau VII.1/Y.1541 – Analyse du temps de transfert à l'extrémité

	Temps (ms)	Notes
Formation des paquets	40	2 fois la dimension de la trame plus 0 préalable
Tampon moyen de compensation de gigue	30	milieu du tampon de 60 ms
Masquage de la perte de paquet	10	une "trame" PLC
Total, ms	80	

Le temps de transfert à l'extrémité calculé dans le Tableau VII.1 est cohérent avec l'objectif pour un terminal de catégorie B selon la Rec. UIT-T P.1010. Si nous combinons ce temps moyen à l'extrémité avec le retard de réseau de classe 0, le temps moyen total pour le chemin d'utilisateur à utilisateur est de $100 + 80 = 180$ ms. L'exemple de chemin de référence de classe 0 à l'Appendice III indique que ce temps peut être réalisé sur une distance de 4070 km.

Une installation client de 50 ms (émission-réception dans un seul sens) est possible avec un temps de formation des paquets de 10 ms et un tampon de compensation de gigue de 50 ms.

Tableau VII.2/Y.1541 – Analyse du temps (faible) de transfert à l'extrémité

	Temps (ms)	Notes
Formation des paquets	20	2 fois la dimension de la trame plus 0 préalable
Tampon moyen de compensation de gigue	25	milieu du tampon de 50 ms
Masquage de la perte de paquet	0	"Répétition du précédent" ne nécessitant pas de temps supplémentaire
Autres équipements	5	
Total, (ms)	50	

Le temps de transfert à l'extrémité calculé dans le Tableau VII.2 est cohérent avec l'objectif pour un terminal de catégorie A selon la Rec. UIT-T P.1010. Le temps de transfert IPTD du chemin de classe 0 et les temps de l'installation client totalisent une durée de 150 ms de transmission de bouche à oreille dans un seul sens, ce qui répond aux besoins de la plupart des applications (conformément à la Rec. UIT-T G.114).

Il faut noter que la contribution d'un tampon de compensation de gigue au temps de transfert de bouche à oreille est fondée sur la durée moyenne passée par les paquets dans le tampon et non pas sur la capacité maximale du tampon. Les paquets dont le temps de transfert est minimal attendront pendant la durée maximale dans le tampon de compensation de gigue avant d'être extraits sous forme de train synchrone, bien que l'inverse soit vrai pour les paquets ayant le temps de transfert maximal convenu (ces paquets passent le temps minimal dans le tampon de compensation de gigue). De cette façon, le tampon de compensation de gigue compense les variations de temps de transfert et garantit que les paquets peuvent être enlevés conformément à un rythme synchrone d'extraction. Dans la Rec. UIT-T G.1020 est donnée une description détaillée du tampon de compensation de gigue et de ses contributions au temps de transfert global.

VII.2 Exemple de calcul de temps de transfert de la voix sur IP avec une performance de réseau de classe 1 selon la Rec. UIT-T Y.1541

Avec la même hypothèse et les délais de l'extrémité de chemin fictif de référence du Tableau VII.1, et l'exemple de chemin de classe 1 de l'Appendice III, le temps moyen de transfert total sur un trajet d'utilisateur à utilisateur de 27 500 km est de $233 + 80 = 313$ ms.

VII.3 Calcul de la qualité vocale pour des chemins fictifs de référence selon la Rec. UIT-T Y.1541

Il est aussi possible d'évaluer la qualité vocale des réseaux IP en employant l'outil de planification de la transmission décrit dans la Rec. UIT-T G.107, aussi nommé modèle E.

A l'Appendice III sont donnés les hypothèses et les détails des configurations des calculs pour le réseau (UNI-UNI). Les exemples d'hypothèses à l'extrémité et de calculs des temps de transfert ci-dessus incluent le codec (G.711), la dimension des paquets, le masquage de la perte de paquet, la

dimension du tampon de compensation de gigue, etc. D'autres codecs vocaux à débits binaires plus faibles, d'autres dimensions de paquets et d'autres variations sont possibles.

Dans la Figure VII.2 est illustrée la connexion de référence pour cette analyse.

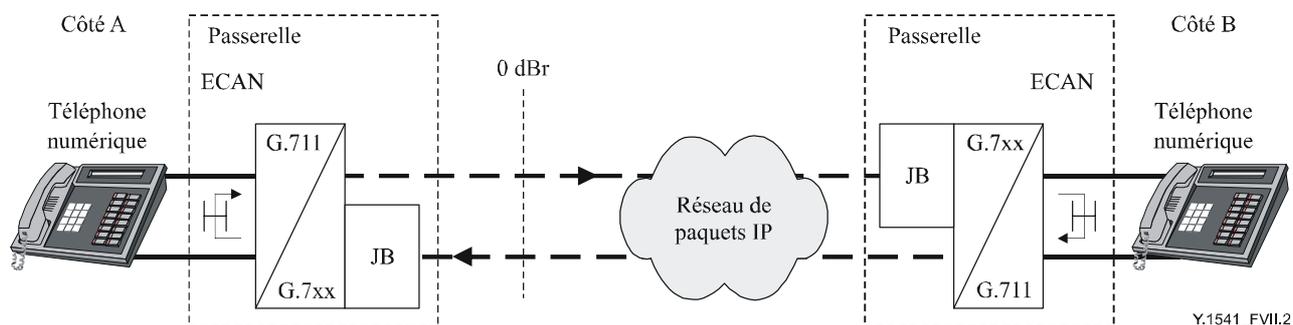


Figure VII.2/Y.1541 – Connexion de référence

Dans le Tableau VII.3 sont donnés les paramètres du modèle E employés dans l'analyse.

Tableau VII.3/Y.1541 – Paramètres du modèle E

Paramètres		Valeurs initiales du modèle		
Symbole	Définition	Valeurs G.107 par défaut	Valeurs initiales	Unité
Nc	Bruit du circuit électrique au point à 0 dBr	(-70)	-70,0	dBm0p
Pos	Bruit ambiant (émission)	(35)	35,0	dB(A)
Por	Bruit ambiant (réception)	(35)	35,0	dB(A)
SLR	Equivalent pour la sonie à l'émission	(8)	8,0	dB
RLR	Equivalent pour la sonie à la réception	(2)	2,0	dB
Ds	Facteur D (émission)	(3)	3,0	
LSTR	Affaiblissement d'effet local pour l'auditeur	(equ.)	18,0	dB
Nfor	Bruit de fond	(-64)	-64,0	dBmp
STMR	Affaiblissement d'effet local pour la méthode de masquage	(15)	15,0	dB
qdu	Unités de distorsion par quantification	(1)	1,0	units
T	Temps moyen de transfert dans un sens	(0)	150,0	ms
TELR	Equivalent pour la sonie de l'écho pour le locuteur	(65)	65,0	dB
WEPL	Affaiblissement pondéré du trajet d'écho	(110)	110,0	dB
Ta	Temps de transfert de l'émetteur au récepteur	(0)	150,0	ms
Tr	Temps de transfert aller-retour	(0)	300,0	ms
Ie	Facteur de dégradation de l'équipement	(0)	0,0	
Bpl	Facteur de résistance à la perte de paquets	(1)	4,8	
Ppl	Probabilité de perte aléatoire de paquets	(0)	0,0	%
A	Facteur d'espérance	(0)	0,0	
Dr	Facteur D (réception)	(3)	3,0	

Nous avons supposé les valeurs par défaut pour tous les paramètres, sauf les paramètres T, Ta et Tr. Le temps moyen absolu de transfert dans un sens a été calcul en employant 100 ms pour le temps de transfert du réseau (UNI-UNI, conformément à l'objectif de QS de classe 0) et 50 ms pour le terminal d'extrémité, y compris la mise sous forme de paquets et le tampon de compensation de gigue selon la Rec. UIT-T G.711 ($100 + 50 = 150 \text{ ms} = T = T_a = T_r/2$). Ici, $R = 89,5$.

La perte de paquets influence aussi la qualité vocale. Nous incluons ci-dessous une colonne où une perte d'environ 0,1% est combinée avec un facteur de résistance à la perte de paquets $B_{pl} = 4,8$ lorsque le masquage de la perte de paquets employé avec la Rec. UIT-T G.711 est 1 répété, suivi de silence. Lors de l'utilisation de PLC selon l'Appendice I/G.711, nous supposons un facteur de résistance à la perte de paquets $B_{pl} = 25,1$.

L'Appendice III contient aussi des calculs indiquant de plus longs temps de transfert de réseau et de plus longs temps de transfert au niveau du terminal. Les résultats sont récapitulés dans le Tableau VII.4.

Tableau VII.4/Y.1541 – Résultats du modèle E avec des chemins fictifs de référence et des terminaux d'extrémité

Réseau, moyenne dans un sens (ms)	Terminal, moyenne dans un sens (ms)	Total, moyenne dans un sens (ms)	Dimension du paquet (ms)	Masquage de la perte de paquets	R, pas de perte	R, avec ~0,1% de perte de paquets	Classe de QS Y.1541
100	50	150	10	Rpt. 1/Sil	89,5	87,6	0
100	80	180	20	G.711ApI	87,8	87,5	0
150	80	230	20	G.711ApI	81,9	81,5	1
233	80	313	20	G.711ApI	71,1	70,7	1

Appendice VIII

Effets de la performance du réseau IP sur la qualité du service d'émission de télévision numérique

VIII.1 Introduction

Dans le présent appendice est détaillée une partie de l'analyse sur laquelle repose la spécification dans le Tableau 3 des classes 6 et 7 provisoires de QS de réseau. Les valeurs des objectifs ont été choisies de manière à prendre en charge les émissions de télévision numérique. L'objectif de taux de perte de paquets IP (IPLR) dans les classes 0 à 4 était insuffisant pour prendre en charge cette application, comme indiqué dans la précédente version du présent appendice.

VIII.2 Extrémité fictive de référence (HRE) pour les signaux vidéo à grande largeur de bande

Il est important d'établir d'abord une extrémité de référence pour la transmission vidéo. L'extrémité proposée résulte des travaux effectués précédemment par le comité ATIS T1A1.3 ainsi que de l'analyse des modèles courants d'extrémités de transmission vidéo, que la vidéo soit comprimée ou non, par le Forum des services vidéo. En dernier ressort, il pourrait s'avérer nécessaire d'établir plus d'une extrémité HRE afin que puissent être réalisées des transmissions de point à point et de point à multipoints, mais cette analyse est limitée au cas simple d'une extrémité de transmission de point à point.

Émetteur		Récepteur
Vidéo (SDI non comprimée, DVB-ASI à flux MPEG comprimé multiple ou unique, etc.). Flux audio multiple, données auxiliaires		Vidéo (SDI non comprimée, DVB-ASI à flux MPEG comprimé multiple ou unique, etc.). Flux audio multiple, données auxiliaires
Système d'incorporation		Système de désincorporation
Système de paquets/d'entrelacement/de correction FEC		Système de correction FEC-1/de désentrelacement/de dépaquetisation
RTP		Tampon de compensation de gigue de 100 ms
UDP		UDP
IP		IP
	(Couche Physique)	

Figure VIII.1/Y.1541 – Extrémité fictive de référence pour la télévision numérique

La transmission de la télévision numérique emploie un réseau IP où des paquets vidéo non comprimés ou des paquets vidéo comprimés MPEG sont encapsulés soit dans les protocoles UDP/IP ou RTP/UDP/IP. Nous supposons que le protocole RTP/UDP/IP est le protocole employé et que l'en-tête suivant de protocole s'applique:

Longueur de paquet IP = (7 × paquet MPEG à 188 octets) + en-tête de paquet RTP/UDP/IP

Dans les paragraphes suivants sont décrits trois profils de services vidéo et est donnée la raison de la mise en place de mécanismes de correction des erreurs dans les réseaux IP pour garantir le niveau approprié de qualité et de fiabilité.

VIII.3 Profils de services et exigences en matière de qualité des paquets de bout en bout

Les prescriptions techniques dans le présent appendice seront restreintes à trois profils de services: profil de services contributifs, profil de services de distribution primaire et profil de services de distribution d'accès. Ces trois profils regroupent la plupart des applications et des besoins du secteur vidéo. Nous présentons aussi les exigences en matière de performance pour ces profils, en terme de perte de paquets, à trois niveaux différents de qualité pour le spectateur ou à des débits élevés.

VIII.3.1 Profil de services vidéo contributifs

Les services contributifs ont généralement la meilleure performance et peuvent varier de signaux vidéo et audio non comprimés à moyennement comprimés. Les connexions contributives permettent l'échange de contenus par un réseau ou ses affiliés pour usage ultérieur, par exemple l'acheminement en retour des signaux d'emplacements fixes, temporaires ou distants vers le studio en vue de l'édition ou de la rediffusion immédiate. Dans ces scénarios, pour des applications de longue distance, on peut utiliser des connexions à fibres terrestres, des connexions micro-ondes ou des connexions vers les extrémités d'une infrastructure à satellite.

Par services contributifs, on peut aussi entendre la fourniture vers l'extérieur de signaux en provenance du studio du réseau principal vers les affiliés du réseau pour rediffusion, qui utilise généralement les services de réseau à satellite ou terrestre à longue distance. Aujourd'hui, ces connexions vers l'extérieur sont fournies au moyen de lignes louées fixes ou privées à la demande (fibres) ou, dans certaines applications moins à extension moindre, au moyen des services en mode ATM offrant des largeurs de bande DS-3, OC-3 ou OC-12.

Outre ces applications en temps réel, les services IP sont parfois utilisés pour l'échange différé de fichiers entre serveurs vidéo et audio et pour la surveillance et la commande de systèmes distants. Puisque le même utilisateur peut employer les services IP pour le transfert contributif vidéo et de

fichiers, le profil du service contributif se prête aussi facilement à la commande du transfert de fichiers et à la commande à distance.

VIII.3.2 Profil de services vidéo de distribution primaire

Par distribution, on entend la fourniture de contenus vidéo et audio soit directement au consommateur soit en tête de câble pour transmission à travers une installation de télévision par câble. Dans ces applications, une qualité de signaux moindre (débits de données inférieurs) est généralement nécessaire, puisque le signal ne nécessite que peu de traitement supplémentaire. Normalement pour ces applications, on emploie les services terrestres ou à satellite. Il existe deux types de signaux de distribution, les signaux de distribution primaire et d'accès. Les connexions de distribution primaire sont alimentées par les affiliés locaux à destination des têtes de câble ou des antennes d'émission de télévision, et d'ordinaire, ces connexions sont comparables, ou de qualité légèrement moindre, aux connexions contributives. La distribution primaire peut être fournie au moyen de satellite, de micro-ondes terrestres de courte distance ou de connexions optiques à fibres. La distribution d'accès implique la fourniture du contenu de la tête de câble jusqu'au consommateur final à travers une installation de télévision par câble ou par la voie aérienne sous la forme d'une émission diffusée à partir d'une antenne d'émission de télévision. Le Forum des services vidéo recommande que 40 Mbit/s soit le débit binaire de ce type de service.

VIII.3.3 Profil de services de distribution d'accès

Le profil de services de distribution d'accès est défini comme incluant des services de télévision couramment fournis par les réseaux câblés et à satellite. Comme la qualité obtenue dans ces réseaux est en quelque sorte objective, cette contribution verra la qualité être caractérisée par le nombre maximal d'erreurs sur les données vidéo (dues au réseau) dans une fenêtre de temps donnée.

VIII.3.4 Exigences en matière de performance pour les profils de services

La qualité de service pour cette application doit être donnée en terme de nombre réel d'erreurs (perturbations brusques en matière de performance) dans un intervalle de temps donné. Le Tableau VIII.1 a été établi sur la base de recommandations de la part de membres actifs du Forum des services vidéo et représente les taux d'erreurs prévues qui seraient exigés par les fournisseurs de services (par exemple, DirecTV) ainsi que par les utilisateurs (par exemple, Fox Sports Network).

Tableau VIII.1/Y.1541 – Recommandations relatives au taux d'erreurs/de pertes pour la télévision numérique

Profil (Débit binaire habituel)	Une perturbation en 10 jours	Une perturbation par jour	10 perturbations par jour
Contribution (270 Mbit/s)	4×10^{-11}	4×10^{-10}	4×10^{-9}
Distribution primaire (40 Mbit/s)	3×10^{-10}	3×10^{-9}	3×10^{-8}
Distribution d'accès (3 Mbit/s)	4×10^{-9}	4×10^{-8}	4×10^{-7}

Dans ce tableau, on suppose que tous les paquets perdus peuvent entraîner une perturbation brusque (avec éventuellement une dégradation visible ou audible) et que sept paquets TS MPEG sont encapsulés dans un unique paquet IP. Le taux de pertes de paquets requis est donné à l'intersection du taux de perturbations et du profil. Par exemple, une distribution d'accès admettant un niveau de performance d'une perturbation par jour exige un taux de pertes de paquets de 4×10^{-8} .

VIII.4 Correction d'erreurs vers l'avant (FEC)/entrelacement destinés à améliorer la performance des liaisons UNI-UNI

Un réseau IP conforme aux classes 6 ou 7 de QS n'est pas en mesure d'assurer les taux de pertes de paquets exigés pour les profils ci-dessus, et un équipement d'extrémité est nécessaire pour corriger les erreurs sur les paquets, les pertes de paquets et reclasser les paquets. Nous supposons que le service utilise la correction FEC/l'entrelacement, tels qu'ils sont définis dans la recommandation CPO-3 du Forum Pro-MPEG (Code de pratique) et reproduits dans le Tableau VIII.2.

Tableau VIII.2/Y.1541 – Correction FEC/entrelacement permettant d'atteindre les débits souhaités de perturbations

	Correction minimale	Correction modérée	Correction forte
Performance de réseau minimale			
Distance de pertes (paquets)	100	50	50
Nombre de pertes (paquets)	5	5	10
Correction FEC appliquée			
Correction FEC L, D	5, 20	5, 10	10, 5
En-tête de correction FEC (%)	5	10	20
Performance vidéo résultante?	Elevée	Elevée	Elevée

A noter que dans la spécification de la performance de réseau ci-dessus sont employés deux nouveaux termes. La distance de pertes (LD, *loss distance*) et période de pertes (LP, *loss period*), définis dans la norme RFC 3357, sont des paramètres de configuration de perte de paquets. La période LP définit le nombre maximal de paquets consécutifs qui peuvent être perdus, tandis que la distance LD définit le nombre minimal de bons paquets qui doivent arriver parmi les paquets perdus afin que l'algorithme puisse corriger les pertes comme il convient. Les valeurs LD et LP décrivent la performance de réseau minimale, susceptible d'être corrigée par la correction FEC correspondante dans la même colonne. La correction FEC est définie par les paramètres de l'algorithme longueur (L) et profondeur (D), qui définissent la robustesse de la méthode.

La correction de la dégradation du réseau n'est pas gratuite, parce qu'elle consomme une largeur de bande supplémentaire. Les valeurs des intitulés de colonne dans le tableau correspondent à trois niveaux de robustesse, 5% représentant la correction minimale, 10% la correction la correction modérée et 20% la correction la plus forte. A noter que plus robuste est l'algorithme que nous choisissons, que plus l'intitulé de colonne est fort. Le Forum des services vidéo est d'avis que ces trois englobent la majorité des besoins du secteur.

A titre d'exemple, un service vidéo à 2 Mbit/s exigeant une correction minimale devrait être configuré à l'aide du réglage pour (L, D) de (5, 20). Cela produirait un trafic supplémentaire de réseau de 100 kbps (5% de 2 Mbit/s) pour les paquets FEC, résultant en un taux total de données de 2,1 Mbit/s. De même, un service à 270 Mbit/s nécessitant une correction forte devrait être configuré au moyen des valeurs (L, D) de (10, 5) qui produiraient un trafic de réseau supplémentaire de 54 Mbit/s, résultant en un débit agrégé de 324 Mbit/s.

VIII.5 Evaluation en laboratoire de l'efficacité de la correction d'erreur vers l'avant (FEC)/de l'entrelacement

Les résultats d'essais en laboratoire avec la correction FEC/l'entrelacement (5, 50) indiquent que:

- le taux de pertes de liaison UNI-UNI de 10^{-4} s'améliore pour donner $1,5 \times 10^{-8}$ (englobe la plupart des profils d'accès);

- le taux de pertes de liaison UNI-UNI de 10^{-5} s'améliore pour donner 2×10^{-10} (englobant la plupart des profils).

Il a été conclu qu'un réseau IP avec des taux IPLR et IPER de liaisons UNI-UNI conformes aux classes 6 et 7 dans le Tableau 3 prendra en charge l'application de télévision numérique décrite ci-dessus, à condition que la correction FEC/l'entrelacement appropriés soient appliqués.

VIII.6 Paramètres de performance supplémentaires

Le Forum des services vidéo a conclu que les valeurs pour temps IPTD et la variation IPDV spécifiés dans les classes 6 et 7 du Tableau 3 suffisent pour la transmission de la télévision numérique.

Appendice IX

Effets de la QS de réseau sur la qualité de transmission de données de bout en bout au moyen du protocole TCP

IX.1 Introduction

Dans le présent appendice est détaillée une partie de l'analyse sur laquelle repose la spécification dans le Tableau 3 des classes 6 et 7 provisoires de QS de réseau. Les valeurs des objectifs ont été choisies de manière à prendre en charge des applications employant les services fiables de transfert de flux d'octets du protocole de commande de transmission (TCP) [norme RFC793] au débit de données le plus grand possible. L'objectif actuel de taux de pertes de paquets IP (IPLR) (dans les classes 0 à 4) prend en charge le protocole TCP sans les restrictions des anciennes configurations largement déployées ou suppose que des goulets d'étranglement se produiront au-delà du chemin de liaison UNI-UNI.

Deux facteurs-clés limitent la capacité de transfert TCP:

- 1) Les **mécanismes de commande de flux tenant compte des encombrements** permettent de déduire qu'un encombrement a eu lieu sur le chemin au moment de la perte de paquets. En réponse à la perte, la commande de flux réduit la fenêtre d'émission de moitié et admet une augmentation linéaire lorsqu'une fenêtre complète de paquets a été transférée avec succès. **La perte de paquets peut donc limiter la capacité.**
- 2) La **dimension maximale de la fenêtre** peut être limitée par les réglages TCP de l'émetteur ou du récepteur, ou par le système d'exploitation lui-même (en limitant la quantité de mémoire disponible à une application particulière de mise en tampon des données de réseau). Ceci est le produit classique temps-largeur de bande, où le taux de transmission est donné sous la forme **d'une fenêtre d'octets par temps aller-retour** (pour accusé de réception).

Etant donné que le temps de transfert des paquets est habituellement dominé par le temps de propagation, le but de l'analyse était de déterminer un objectif pour le taux IPLR qui puisse assurer une capacité de transfert TCP très élevée lorsque d'autres facteurs, tels que la dimension de la fenêtre ou la largeur de bande des goulets d'étranglement, n'encombrent pas le processus. Un taux de pertes de paquets de 10^{-5} a été choisi pour les classes 6 et 7 et l'analyse ci-après indique les capacités qui peuvent être atteintes.

IX.2 Modèle de performance TCP

La base de cette étude est le modèle de performance TCP de Reno [RFC2001] élaboré et vérifié par Padhye et al [Padhye98]. Leur modèle peut s'exprimer approximativement au moyen de la formule suivante:

$$B(p) \approx \min \left(\frac{W_{\max}}{RTT}, \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2bp}{3}} + T_0 \min \left(1, 3 \sqrt{\frac{3bp}{8}} \right) p (1 + 32 p^2)} \right)$$

où:

$B(p)$	valeur approchée du débit TCP [paquets/s]
W_{\max}	dimension maximale du tampon de la fenêtre [paquets]
RTT	temps aller-retour [sec]
b	nombre de paquets dont il est accusé réception à l'aide d'un message reçu ACK
p	probabilité de perte d'un paquet
T_0	temporisation pour la retransmission d'un paquet (perdu) dont il n'est pas accusé réception [sec]

Il existe de nombreuses combinaisons pour les caractéristiques TCP et les différentes combinaisons sont parfois nommées suivant le lieu de réunion où elles ont été adoptées (Vegas, Tahoe et Reno). Une étude des caractéristiques TCP est disponible dans la référence [Morton98] et dans de nombreuses autres références. Pour un modèle TCP encore plus simple avec un seul paramètre d'ajustement qui sert dans l'ensemble des versions, voir la référence [Mathis97].

IX.3 Extrémité fictive TCP de référence (HRE)

Dans divers appendices de la présente Recommandation sont abordés les extrémités fictives de référence et leur couplage au moyen de chemins fictifs de référence pour évaluer les niveaux de qualité des applications utilisateur que les objectifs de performance de réseau peuvent prendre en charge. Nous définissons ci-après une extrémité fictive TCP de référence.

Application d'émission		Application de réception
Modèle TCP de Reno Fenêtre maximale = 16 koctets, 64 koctets ou 256 koctets Temporisation $T_0 = 1$ sec Option grandes fenêtres		Modèle TCP de Reno Fenêtre maximale = 16 koctets, 64 koctets ou 256 koctets $b = 1$ ACK/2 packets Option grandes fenêtres
IP		IP
	(Couches inférieures)	

Figure IX.1/Y.1541 – Extrémité fictive TCP de référence

Nous supposons que l'application d'émission fournit un flux continu d'octets sans intervalles inoccupés et que la contribution du serveur de réception au temps RTT est négligeable. A noter que les dimensions de la fenêtre maximale d'émission et de réception varieront dans l'analyse qui suit.

IX.4 Observations

Dans la Figure IX.2 est indiquée l'évaluation de la capacité TCP "ancienne" de Reno en fonction du temps aller-retour (y compris le traitement du serveur) et la perte de paquets. On a tracé sur la surface tridimensionnelle des lignes correspondant aux temps aller-retour de 20, 40, 100, 200, 400, 1000, 2000 et 4000 ms qui croisent des lignes de taux de pertes de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} et 10^{-6} . La hauteur de la surface indique la capacité TCP en bits/sec et la couleur de la surface change lorsqu'elle croise un niveau de capacité indiqué.

Nous notons qu'aucune des atténuations dues aux longs temps de propagation n'a été appliquée ici, telles que les grandes fenêtres de la norme RFC 1323 ou les accusés de réception sélectifs (SACK) de la norme RFC 2018.

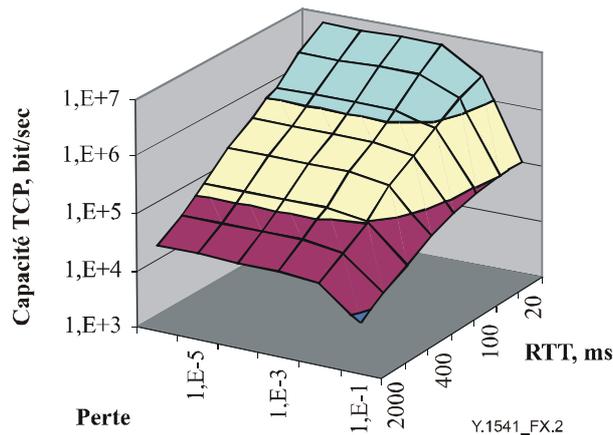


Figure IX.2/Y.1541 – Capacité TCP ("ancienne") avec une fenêtre de 16 koctets

Une fenêtre de 8 koctets ou 16 koctets est la configuration par défaut pour de nombreuses implémentations TCP anciennes. La Figure IX.2 montre que la perte de paquets $> 10^{-3}$ affecte la capacité, mais que la limitation de la dimension de la fenêtre domine la qualité de la capacité en fonction de la perte pour une large gamme de temps aller-retour (RTT). Donc, l'objectif de taux IPLR $< 10^{-3}$ est suffisant dans ces conditions et les classes 2, 3 et 4 de QS de réseau produisent une capacité suffisante.

Bien que des capacités de transfert de l'ordre de 10 Mbit/s sont possibles pour de temps RTT très faibles, le temps de transfert des paquets influe aussi sur la capacité pour la paire émetteur-récepteur TCP "ancienne".

Dans la Figure IX.3 est illustrée la capacité TCP de Reno lorsque la dimension maximale de la fenêtre est fixée à 64 koctets. Ceci est habituellement possible au moyen de simples procédures de réglage, mais la grande majorité des utilisateurs de réseau IP ne se lancent pas dans le réglage ou n'en ressentent pas le besoin. Les utilisateurs qui souhaitent exploiter à fond les possibilités de l'accès à large bande tout en réduisant le temps de transfert de fichiers très volumineux (par fichiers ISO de distribution Linux contenant des images CD-ROM de 700 Moctets) peuvent vouloir disposer des avantages du réglage.

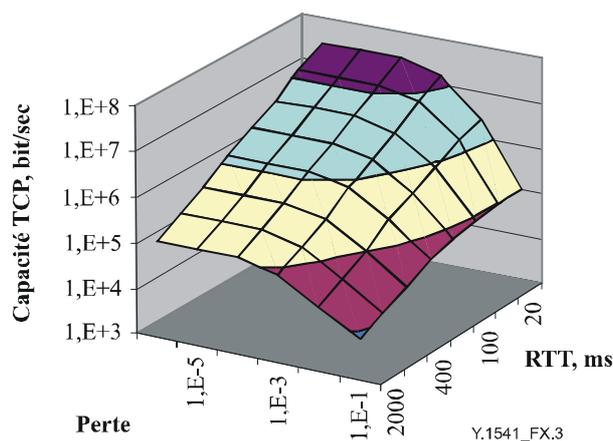


Figure IX.3/Y.1541 – Capacité TCP avec une fenêtre de 64 koctets

Une fenêtre de 64 koctets est le réglage maximal pour les implémentations TCP normalisées qui n'admettent pas les grandes fenêtres de la norme RFC 1323. La Figure IX.3 indique que la perte de paquets $> 10^{-4}$ affecte la capacité, mais que la limitation de la dimension de fenêtre domine la capacité à partir de là.

Dans la Figure IX.4 est illustrée la capacité TCP de Reno lorsque la dimension maximale de la fenêtre est fixée à 256 koctets. Ceci est possible pour de nombreux systèmes d'exploitation et l'option des grandes fenêtres TCP doit être disponible.

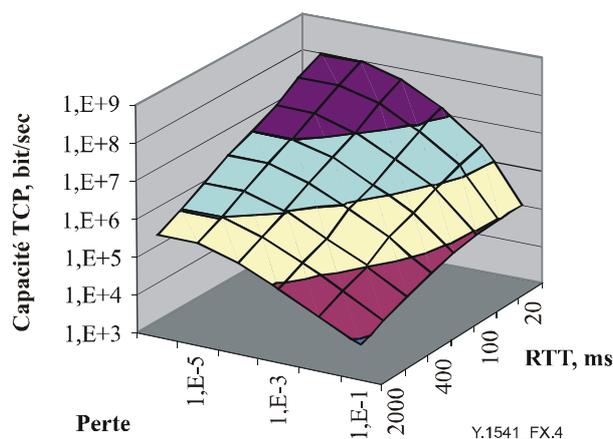


Figure IX.4/Y.1541 – Capacité TCP avec une fenêtre de 256 koctets (et la norme RFC 1323)

La Figure IX.4 indique qu'une perte de paquets $> 10^{-5}$ affecte la capacité, mais que la limitation de la dimension de la fenêtre domine la performance de la capacité en fonction de la perte à partir de ce point. En conséquence, ce sont des cas dans lesquels les nouvelles classes provisoires (avec un objectif de taux $< 10^{-5}$) sont nécessaires pour assurer la capacité maximale.

Les capacités de transfert de l'ordre de 100 Mbit/s sont possibles pour de très faibles temps RTT et l'option de grande fenêtre (norme RFC 1323) réduit l'influence négative du temps RTT sur la capacité.

IX.5 Résumé de l'évaluation des capacités TCP

Dans le Tableau IX.1 est donnée un résumé chiffré des Figures IX.2 à IX.4 pour les valeurs des temps et du taux de perte figurant dans les objectifs.

Tableau IX.1/Y.1541 – Résumé de l'évaluation des capacités TCP (bits/sec)

Dimension de la fenêtre	Perte de paquets (p)	IPTD =RTT/2= 100 ms	IPTD =RTT/2= 400 ms
16 koctets	10^{-3}	640 000	160 000
	10^{-5}	640 000	160 000
64 koctets	10^{-3}	1 624 887	409 640
	10^{-5}	2 560 000	640 000
256 koctets	10^{-3}	1 624 887	409 640
	10^{-5}	10 240 000	2 560 000

A noter que les valeurs en caractères **gras** sont limitées par le taux de perte de paquets. Sinon, la dimension de la fenêtre limite la capacité. Un taux de perte de paquets de 10^{-5} ne limite pas la capacité, quelle que soit la dimension de la fenêtre examinée, indiquant clairement les avantages des nouvelles classes de QS de réseau.

BIBLIOGRAPHIE

- Recommandation UIT-T J.241 (2005), *Classification et méthodes de mesure de la qualité de service pour les services vidéonumériques fournis sur des réseaux IP à large bande.*
- Recommandation UIT-T P.911 (1998), *Méthodes d'évaluation subjective de la qualité audiovisuelle pour applications multimédias.*
- ETSI TIPHON TR 101 329 – *Part 2, Quality of Service (QoS) Classes.*
- IETF RFC 768 (STD-6) (1980), *User Datagram Protocol.*
- IETF RFC 792 (STD-5) (1981), *Internet Control Message Protocol.*
- IETF RFC 793 (STD-7) (1981), *Transmission Control Protocol – DARPA Internet program Protocol specification.*
- IETF RFC 919 (STD-5) (1984), *Broadcasting Internet datagrams.*
- IETF RFC 922 (STD-5) (1984), *Broadcasting Internet datagrams in the presence of subnets.*
- IETF RFC 950 (1985), *Internet Standard Subnetting Procedure (updates RFC 792).*
- IETF RFC 959 (STD-9) (1985), *File Transfer Protocol (FTP).*
- IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (v3) – Specification, Implementation and Analysis.*
- IETF RFC 1786 (1995), *Representation of IP Routing Policies in a Routing Registry.*
- IETF RFC 1812 (1995), *Requirements for IP Version 4 Routers.*
- IETF RFC 1889 (1996), *RTP: A transport protocol for real-time applications.*
- IETF RFC 2018 (1996), *TCP Selective Acknowledgment Options.*
- IETF RFC 2330 (1998), *Framework for IP performance metrics.*
- IETF RFC 2474 (1998), *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers.*
- IETF RFC 2475 (1998), *An Architecture for Differentiated Services.*
- IETF RFC 2597 (1999), *Assured Forwarding PHB Group.*
- IETF RFC 2598 (1999), *An Expedited Forwarding PHB.*
- IETF RFC 2679 (1999), *A One-way Delay Metric for IPPM.*
- IETF RFC 2680 (1999), *A One-way Packet Loss Metric for IPPM.*
- IETF RFC 2681 (1999), *A Round-trip Delay Metric for IPPM.*
- IETF RFC 2733 (1999), *An RTP payload format for generic forward error correction.*
- IETF RFC 3086 (2001), *Definition of Differentiated Services Per Domain Behaviours and Rules for their Specification.*
- IETF RFC 3357 (2002), *One-way loss pattern sample metrics.*
- IETF RFC 3432 (2002), *Network Performance Measurement with Periodic Streams.*
- [RFC1323] IETF RFC 1323 (1992), *TCP Extensions for High Performance.*

- [RFC2001] IETF RFC 2001 (1997), *TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms*.
- IFIP: MANDJES (Michel), VAN DER WAL (Kees), KOOIJ (Rob), BASTIAANSEN (Harrie): End-to-end delay models for interactive services on a large-scale IP network, *Proceedings* (edited by Guido H. Petit) *of the seventh IFIP workshop on Performance Modelling and Evaluation of ATM Networks: IFIP ATM'99*, Paper 42, Antwerp, Belgium, juin 1999.
- [Mathis97] MATHIS (M.), SEMKE (J.), MAHDAVI (J.), OTT (T.): The Macroscopic Behaviour of TCP Congestion Avoidance Algorithm, *Computer Communications Review*, Vol. 27, No. 3, juillet 1997, ISSN# 0146-4833.
http://www.psc.edu/networking/papers/model_ccr97.ps
- [Morton98] MORTON (A.C): Transmission Control Protocol Overview, T1A1.3/98-015; PROJECT#: T1A1-14; MEETING DATE: 03/16/98.
<ftp://ftp.t1.org/pub/t1a1/98-t1a1.3/8a130150.doc>
- [Padhye98] PADHYE (J.), FIROIU (V.), TOWSLEY (D.), AND KUROSE (J.): Modelling TCP Throughput: a Simple Model and its Empirical Validation, *SIGCOMM 1998*.
<ftp://gaia.cs.umass.edu/pub/Padhye-Firoiu98:TCP-throughput.ps.Z>
- PADHYE (J.), FIROIU (V.), TOWSLEY (D.), KUROSE (J.): Modelling TCP Reno Performance: A Simple Model and its Empirical Validation, *IEANEP*, Vol. 8, No. 2, pp. 133-145, avril 2000.
 - Commission d'études 12 Contribution tardive D15: The effect of Packet Losses on Speech Quality, C. Karlsson, *Telia AB*, février 2001.
 - Commission d'études 12 Contribution tardive D22: A Framework for Setting Packet Loss Objectives for VoIP, J. Rosenbluth, *AT&T*, octobre 2001.
 - T1 Standard* T1.522-2000, Quality of Service for Business Multimedia Conferencing.

* Les normes T1 sont maintenues par l'ATIS depuis novembre 2003.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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