



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

Y.1541

(05/2002)

SÉRIE Y: INFRASTRUCTURE MONDIALE DE
L'INFORMATION ET PROTOCOLE INTERNET

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

**Objectifs de qualité de fonctionnement pour les
services en mode IP**

Recommandation UIT-T Y.1541

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y
INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION ET PROTOCOLE INTERNET

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

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

Recommandation UIT-T Y.1541

Objectifs de qualité de fonctionnement pour les services en mode IP

Résumé

La présente Recommandation définit des classes de qualité de service (QS) de réseau et spécifie des objectifs provisoires pour les paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux en protocole Internet. 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 ATM pourrait prendre en charge la qualité de fonctionnement de la couche IP. L'Appendice II analyse des variantes de définition de la variation du temps de transfert IP. Les données de l'Appendice II seront ultérieurement intégrées dans la Rec. UIT-T Y.1540. L'Appendice III présente les conduits fictifs de référence en fonction desquels les objectifs de QS de la Recommandation 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 mesurages IP sont effectués. L'Appendice VI décrit la relation entre la présente Recommandation et les mécanismes définis par le Groupe IETF afin de gérer la QS. L'Appendice VII analyse l'objectif en termes de temps de transfert de paquet IP et ses liens avec d'autres Recommandations. L'Appendice VIII présente une bibliographie. L'Appendice IX analyse les applications possibles des réseaux IP.

Source

La Recommandation Y.1541 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 13 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 7 mai 2002 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

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.

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 n'avait pas 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 responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2002

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	Domaine d'application 1
2	Références normatives..... 1
3	Abréviations..... 2
4	Capacité de transfert, conventions de capacité et applicabilité des classes de QS 4
5	Objectifs de qualité de fonctionnement 5
5.1	Analyse générale de la qualité de service (QS)..... 5
5.2	Conduit de référence pour QS d'interface UNI à interface UNI 6
5.3	Classes de QS de réseau 7
5.3.1	Nature des objectifs de qualité de fonctionnement..... 8
5.3.2	Intervalles d'évaluation et exigences de compte rendu..... 9
5.3.3	Longueur de paquet à évaluer..... 9
5.3.4	Qualité de fonctionnement non spécifiée (non limitée) 10
5.3.5	Discussion des objectifs en termes de temps IPTD..... 10
5.3.6	Directives sur l'usage des classes 10
6	Objectifs de disponibilité..... 11
7	Réalisation des objectifs de qualité de fonctionnement..... 11
	Appendice I – Prise en charge de la QS des réseaux IP par la QS d'un réseau ATM..... 11
	Appendice II – Considérations relatives à la définition du paramètre de variation du temps de transfert IP 12
	Appendice III – Exemples de conduit fictif de référence pour valider les objectifs de qualité IP..... 14
III.1	Nœuds de numéro IP dans le conduit HRP 14
III.2	Exemples de calculs pour prendre en charge le temps de transfert de bout en bout de classes 0 et 1 16
III.3	Exemple de calcul de temps de transfert de bout en bout de classe 1 19
III.4	Exemple de calculs pour prendre en charge le temps de transfert de bout en bout de classe 4..... 20
III.5	Niveau de charge dans le conduit HRP 20
III.6	Satellites géostationnaires dans le conduit HRP 20
	Appendice IV – Exemples de calcul de la variation du temps de transfert de paquets IP 21
IV.1	Contributions à la variation du temps de transfert de paquets IP 21
IV.2	Modèles et procédures de calcul afin d'établir une limite supérieure de la variation IPDV..... 22
IV.2.1	Variation du temps de transfert due à l'exploration du routage..... 22
IV.2.2	Variation du temps de transfert due aux paquets sensibles à la variation 22

	Page
IV.2.3 Variation du temps de transfert due à un paquet insensible à la variation	23
IV.2.4 Variation composite du temps de transfert pour paquets sensibles à la variation.....	24
IV.3 Exemples de calcul	24
IV.3.1 Exemple avec liaisons STM-1	24
IV.3.2 Exemple avec liaisons d'interconnexion E3	25
IV.3.3 Exemple avec liaison d'accès à bas débit	25
IV.3.4 Résumé et conclusions de l'exemple	26
Appendice V – Données relatives aux méthodes de mesure de la qualité de fonctionnement IP.....	26
Appendice VI – Applicabilité des services différenciés de l'IEF aux classes de QS de réseau IP	27
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	28
Appendice VIII – Bibliographie	29
Appendice IX – Analyse de la vidéo numérique de qualité radiodiffusion sur réseaux IP	30

Recommandation UIT-T Y.1541

Objectifs de qualité de fonctionnement pour les services en mode IP

1 Domaine d'application

La présente Recommandation spécifie des valeurs de qualité de fonctionnement IP qui doivent être obtenues au niveau international pour chacun des paramètres de qualité de fonctionnement définis dans la Rec. UIT-T Y.1540. Certaines de ces valeurs dépendent de la classe de qualité de service (QS) de réseau que les utilisateurs finals et les fournisseurs de réseau adoptent. La présente Recommandation définit six classes de QS différentes. La présente Recommandation s'applique aux conduits de réseau IP internationaux de bout en bout. 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.

Le nombre limité de classes de QS définies ici prend en charge une large gamme d'applications, y compris ce qui suit: la téléphonie en temps réel, les conférences multimédias et le transfert de données interactif. Bien que les besoins qualitatifs de ces applications soient plus stricts que la plupart des autres, il peut y avoir d'autres applications qui nécessitent des classes nouvelles ou révisées. 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 applicables lorsque les vitesses de liaison d'accès sont au moins au débit T1 ou E1.

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 (précédemment Rec. UIT-T I.380) 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.

- [1] Recommandation UIT-T G.114 (2000), *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 (1999), *Paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur pour les conduits numériques internationaux à débit constant égal ou supérieur au débit primaire*.

- [4] Recommandation UIT-T I.113 (1997), *Terminologie du RNIS à large bande.*
- [5] 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.*
- [6] Recommandation UIT-T Y.1540 (1999), *Service de communication de données par protocole Internet – Paramètres de performances en matière de transfert de paquets IP et de disponibilité.*
- [7] IETF RFC 791 (STD-5) 1981, *Internet Protocol, DARPA Internet Program Protocol Specification.*
- [8] Recommandation UIT-T Y.1231 (2000), *Architecture du réseau d'accès IP.*
- [9] Recommandation UIT-T E.651 (2000), *Connexions de référence pour l'ingénierie du trafic sur les réseaux d'accès IP.*
- [10] Recommandation UIT-T G.1000 (2001), *Qualité de service des communications: cadre et définitions.*
- [11] Recommandation UIT-T G.1010 (2001), *Catégories de qualité de service multimédia pour l'utilisateur final.*
- [12] Recommandation UIT-T Y.1221 (2002), *Gestion du trafic et des encombrements dans les réseaux en mode IP.*
- [13] Recommandation UIT-T G.107 (2002), *Le modèle E, modèle de calcul utilisé pour la planification de la transmission.*
- [14] Recommandation UIT-T G.108 (1999), *Application du modèle E: guide de planification.*
- [15] *Guides d'implémentation n° 1 et n° 2 pour la Recommandation G.114.*

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>)
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 (<i>digital hierarchy transmission at 2.048 Mbit/s</i>)
E3	transmission en hiérarchie numérique à 34 Mbit/s (<i>digital hierarchy transmission at 34 Mbit/s</i>)
EF	réacheminement exprès (<i>expedited forwarding</i>)
FIFO	premier entré, premier sorti (<i>first-in, first-out</i>)
FTP	protocole de transfert de fichiers (<i>file transfer protocol</i>)

GW	routeur passerelle (<i>gateway router</i>)
HRE	extrémité fictive de référence (<i>hypothetical reference endpoint</i>)
HRP	conduit 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 de temps de paquet 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>)
IPOP	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>)
IPTD	temps de transfert de paquet IP (<i>IP packet transfer delay</i>)
ISP	fournisseur de service Internet (<i>Internet service provider</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 (<i>the minimum number of packets recommended for assessing the availability state</i>)
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 restoral</i>)
N	nombre de paquets dans une sonde de débit de dimension N (<i>number of packets in a throughput probe of size N</i>)
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	premier conduit ouvert le plus court (<i>open shortest path first</i>)
PDB	comportement domaine par domaine (<i>per domain behavior</i>)
PDH	hiérarchie numérique plésiochrone (<i>plesiosynchronous digital hierarchy</i>)
PHB	comportement par saut (<i>per hop behavior</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 erratiques (<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 I; durée minimale d'indisponibilité IP (<i>minimum length of time of IP availability; minimum length of time of IP unavailability</i>)
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>)
T _{max}	temps de transfert maximal de paquet IP au-delà duquel le paquet est déclaré perdu (<i>maximum IP packet delay beyond which the packet is declared to be lost</i>)
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>)

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 qualité de fonctionnement 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 maximale qui sera disponible à un ou plusieurs flux de paquets dans une classe de QS spécifique. 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 que la vérification. Par exemple, le débit de crête (y compris le surdébit de couche inférieure) peut être suffisant. 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 [12], ou dans le protocole RSVP) et la classe de QS, et s'applique à un flux spécifique.

Les objectifs de qualité de fonctionnement 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 sont pas comptés comme des paquets perdus lors de l'évaluation de la qualité du réseau en termes de taux IPLR.

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 qualité de fonctionnement du réseau n'a besoin d'être honoré. Cependant, le réseau peut offrir un engagement modifié de qualité de fonctionnement du réseau.

5 Objectifs de qualité de fonctionnement

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 qualité de fonctionnement 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 provisoires et ne doivent pas nécessairement être obtenues tant qu'elles n'ont pas été revues (en plus ou en moins) sur la base de l'expérience opérationnelle réelle.

NOTE – Du point de vue d'un utilisateur, les classes de QS de réseau ne forment qu'une partie de la qualité de transmission vocale de bout en bout qui est perçue par l'utilisateur (qualité du couplage bouche-oreille). L'Appendice VII fournit des directives concernant les Recommandations appropriées à ce sujet.

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 qualité de fonctionnement 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 conduit 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 conduit 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).

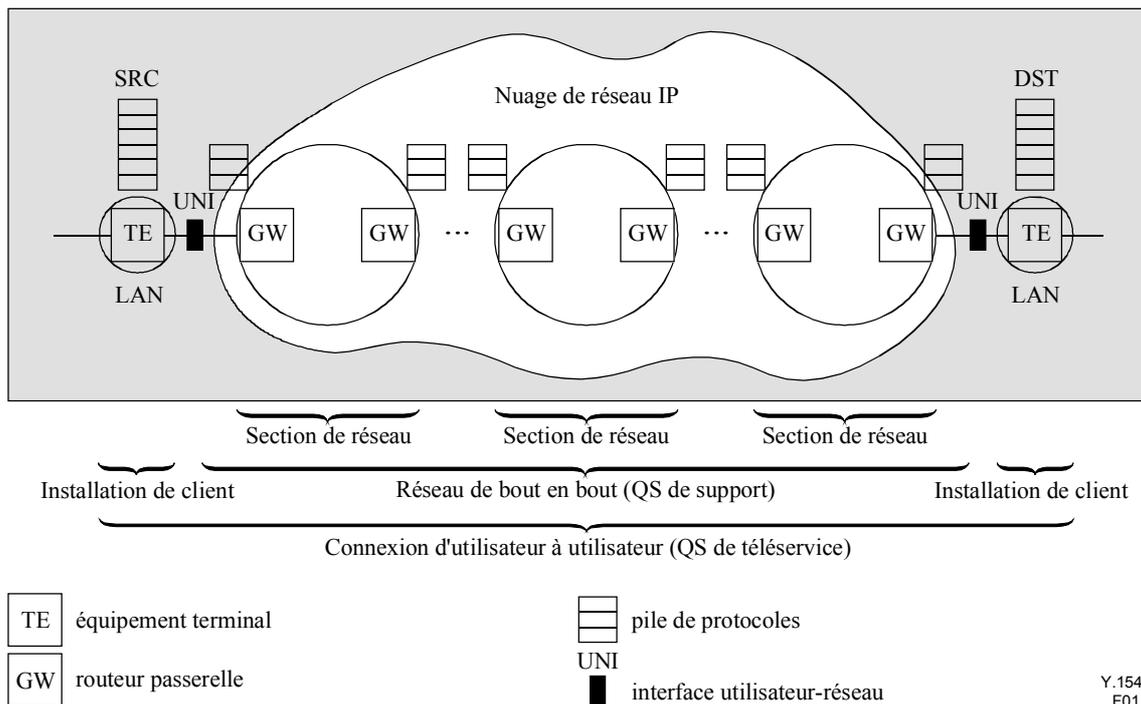
Les protocoles permettant de prendre en charge les requêtes dynamiques de QS entre utilisateurs et fournisseurs de réseau, et entre fournisseurs de réseau, sont à l'étude. Lorsque ces protocoles et systèmes d'appui seront implémentés, les utilisateurs ou les réseaux pourront demander et recevoir différentes 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 Conduit de référence pour QS d'interface UNI à interface UNI

Chaque paquet contenu dans un flux suit un conduit spécifique. Tout flux (avec un ou plusieurs paquets sur un conduit) qui répond aux objectifs de qualité de fonctionnement du présent paragraphe peut être considéré comme entièrement conforme aux dispositions normatives de la présente Recommandation.

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

Les objectifs de qualité de fonctionnement d'interface UNI à interface UNI sont définis pour les paramètres de qualité de fonctionnement IP correspondant aux événements de référence de transfert de paquets IP (IPRE, *IP packet transfer reference event*). Les objectifs de qualité de fonctionnement IP d'interface UNI à interface UNI s'appliquent d'interface usager-réseau à interface utilisateur-réseau dans la Figure 1. Le conduit 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 NS sont synonymes des domaines d'opérateur et peuvent comprendre des architectures de réseau d'accès IP comme décrit dans les Recs. UIT-T E.651 et Y.1231. Ce conduit de référence est une adaptation du modèle de qualité de fonctionnement Y.1540.



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

Figure 1/Y.1541 – Conduit 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 passerelles qui se connectent aux équipements terminaux peuvent également être appelées passerelles d'accès.

Les conduits 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 passerelles sur leurs frontières et un certain nombre de routeurs intérieurs jouant divers rôles;
- 3) le nombre de sections de réseau dans un conduit 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 conduit;
- 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 qualité de fonctionnement. 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 qualité de fonctionnement provisoires

Paramètre de qualité de fonctionnement du réseau	Nature de l'objectif de qualité de fonctionnement 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

Tableau 1/Y.1541 – Définitions de classe de QS de réseau IP et objectifs de qualité de fonctionnement provisoires

Notes générales:

Les objectifs s'appliquent aux réseaux publics IP. Les objectifs sont estimés être réalisables sur des réalisations 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 conduits IP revendiquant la conformité à la Rec. UIT-T Y.1541 devraient atteindre ces objectifs. Pour certains paramètres, la qualité de fonctionnement sur des conduits plus courts et/ou moins complexes peut être notablement meilleure.

Un intervalle d'évaluation de 1 min est provisoirement suggéré pour IPTD, IPDV, et IPLR. Dans tous les cas, l'intervalle doit toujours être signalé.

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

La lettre "U" signifie "qualité non spécifiée" ou "qualité non limitée". Lorsque la qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement concernant ce paramètre peut, parfois, être arbitrairement basse.

Toutes les valeurs sont provisoires et ne doivent pas nécessairement être obtenues par les réseaux tant qu'elles n'ont pas été revues (en plus ou en moins) sur la base de l'expérience opérationnelle réelle.

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 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.

NOTE 2 – La définition et la nature de l'objectif en termes de variation IPDV est à l'étude. Voir l'Appendice II pour plus de détails.

NOTE 3 – Cette valeur dépend de la capacité de liaisons entre réseaux. 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 qualité de fonctionnement

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 qualité de fonctionnement qui apparaissent dans les rangées suivantes.

Les objectifs de qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement en termes de variation de temps de transfert de paquet IP à deux points 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 qualité de fonctionnement en termes de variation IPDV.

Les objectifs de qualité de fonctionnement 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 erratiques (SPR, *spurious packet ratio*) défini dans la Rec. UIT-T Y.1540.

5.3.2 Intervalles d'évaluation et exigences de compte rendu

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 qualité de fonctionnement 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 s 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 provisoirement suggérée. De toute façon, la valeur utilisée doit toujours être signalée, en même temps que les éventuelles hypothèses et les intervalles de confiance. 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.

5.3.3 Longueur de paquet à évaluer

La longueur de paquet influence les résultats avec la plupart des paramètres de qualité de fonctionnement. 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 signalée. De même, un champ d'informations de 1500 octets est recommandé pour l'estimation de qualité de fonctionnement 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 Qualité de fonctionnement non spécifiée (non limitée)

Pour certaines classes de QS de réseau, la valeur de certains paramètres de qualité de fonctionnement 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 recommandera pas de telles valeurs minimales.

Les utilisateurs de ces classes de QS devraient être conscients du fait que la qualité de fonctionnement 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 s.

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 une route mondiale. 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 conduit 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 mises en application 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 suivant 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	Route/conduit quelconque
5	Applications traditionnelles de réseaux IP par défaut	File séparée (priorité la moins élevée)	Route/conduit quelconque

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 IX.

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 qualité de fonctionnement

Des études complémentaires sont requises afin de déterminer la façon d'atteindre ces objectifs de qualité lorsque de multiples fournisseurs de réseau sont impliqués.

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 qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement IP indiquées ici sont les meilleures qui puissent être attendues. Dans les scénarios où des routeurs intermédiaires existent, la qualité de fonctionnement 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
Conduit 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 apériodiques 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 la 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 dans l'Appendice II/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 min 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.

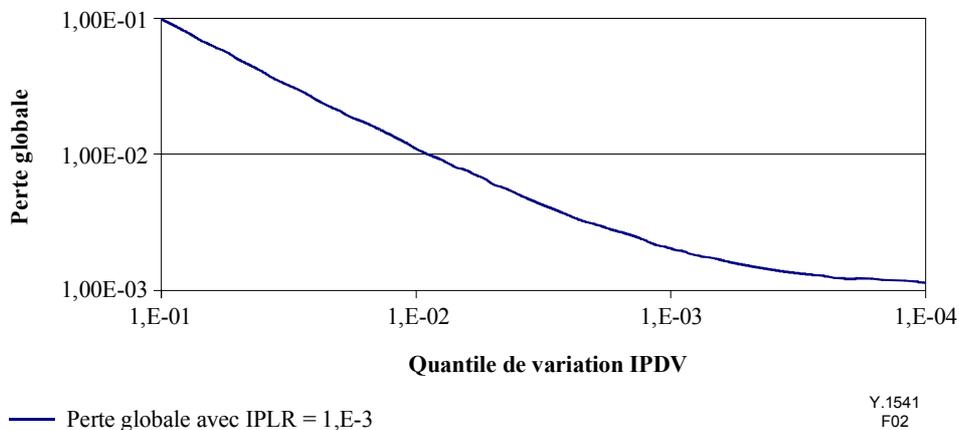


Figure II.1/Y.1541 – Effet de différents quantiles de variation IPDV sur la perte globale lorsque IPLR = 0,001

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 conduit fictif de référence pour valider les objectifs de qualité IP

Le présent appendice présente les conduits fictifs de référence pris en considération lors de la validation de la faisabilité des objectifs de qualité de bout en bout présentés au § 5. Ces conduits 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 conduit particulière.

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

Les objectifs de qualité de bout en bout sont définis pour les paramètres de qualité de fonctionnement 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 conduits fictifs de référence présentés.

III.1 Nœuds de numéro IP dans le conduit HRP

Les conduits HRP ont des attributs similaires au conduit de référence du § 5.

Les sections de réseau peuvent être représentées comme des nuages avec des routeurs passerelles sur leurs frontières, et un certain nombre de routeurs intérieurs jouant divers rôles. Dans ce cas, les conduits HRP sont équivalents au "résumé de conduit" de la requête IETF 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.

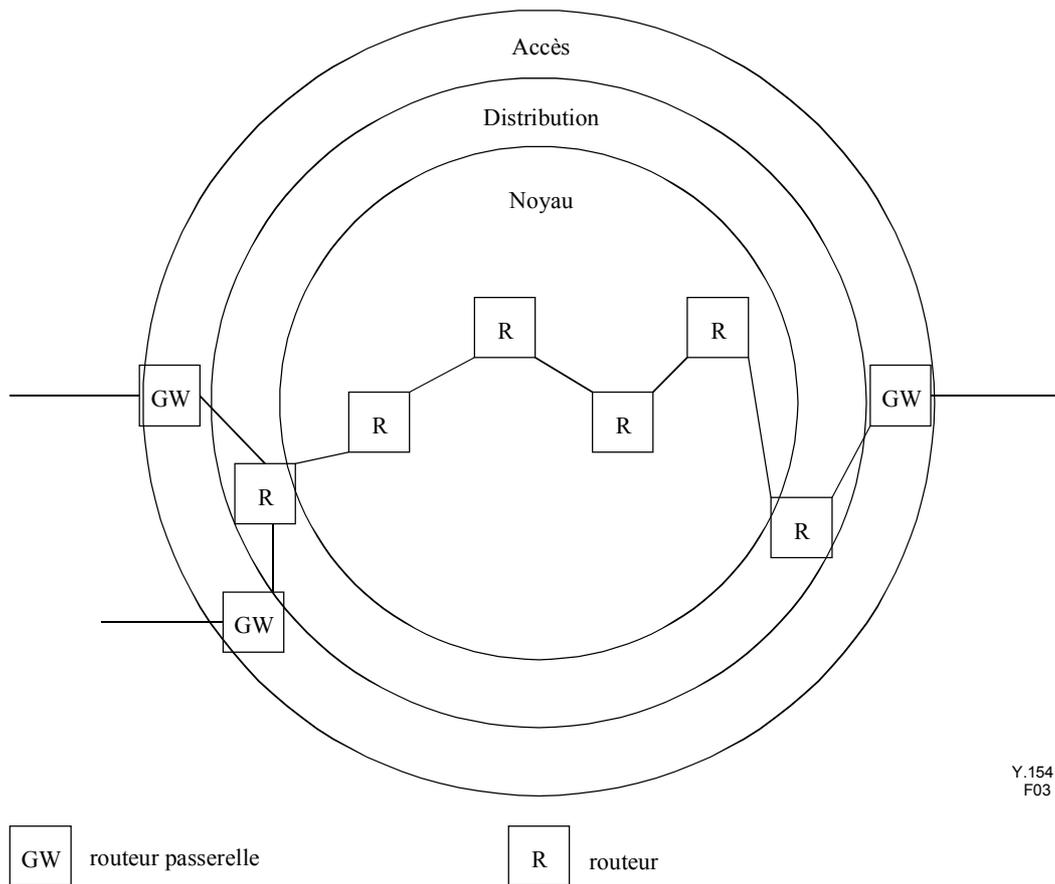


Figure III.1/Y.1541 – Rôle des nœuds IP dans une section de réseau

Noter que 1 ou plusieurs routeurs sont nécessaires pour jouer chaque rôle et que le conduit de noyau illustré possède quatre routeurs en cascade. Dans cet exemple, un conduit passant par une section NS pourrait rencontrer aussi peu que 3 routeurs ou autant que 8.

La contribution des routeurs à divers paramètres peut varier selon leur rôle.

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 qualité de fonctionnement différentes des passerelles d'accès.

Une des applications principales de la présente Recommandation est la prise en charge de la téléphonie IP.

Par exemple, une extrémité fictive de référence (HRE, *hypothetical reference endpoint*) de média téléphonique peut être comme indiqué ci-dessous. Les informations s'écoulent du locuteur jusqu'à la

pile de protocoles située à gauche, en passant par le conduit 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 – Masquage de perte de paquets
Longueur de charge utile du protocole RTP = 20 ms		Tampon de compensation de gigue = 60 ms
UDP		UDP
IP		IP
	(couches inférieures)	

Figure III.2/Y.1541 – Exemple d'extrémité fictive de référence

Calcul de longueur de route

Si le composant fondé sur la distance est proportionnel à la distance terrestre réelle, plus une marge proportionnelle à un rapport normal de route physique à distance réelle. Le calcul de longueur de route 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 route 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 conduit 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 route 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 N_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 conduit HRP suivant. Ce conduit contient le nombre minimal de réseaux IP (deux), et un point d'interfonctionnement de réseaux.

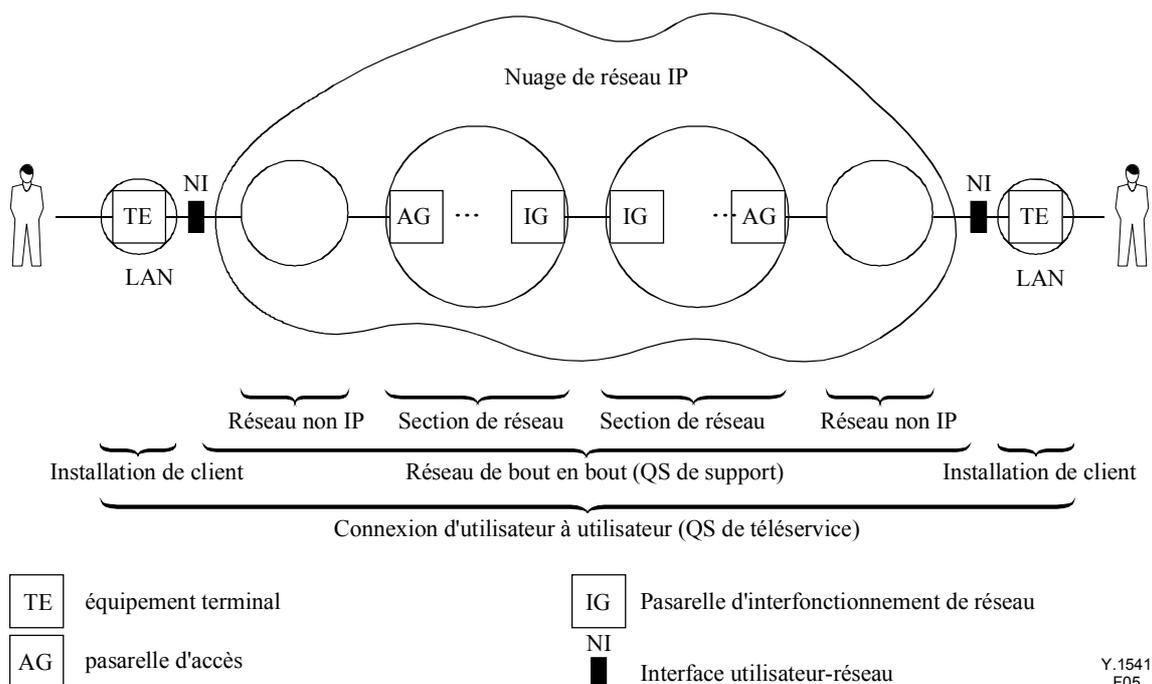


Figure III.3/Y.1541 – Conduit fictif de référence pour classe de QS 0

Les configurations de routeur intérieur ne sont pas indiquées dans le conduit fictif de référence (HRP) de la Figure III.3. 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 1 500 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 conduit de classe 0

Élément	Unité	Unité IPTD	IPTD moyen	Unité IPDV	IPDV max.
Distance	4070 km				
Route	5087,5 km		25		
Temps d'insertion	200 octets (1500 octets)		1 (8)		
Réseau non IP 1			15		0

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

Élément	Unité	Unité IPTD	IPTD moyen	Unité IPDV	IPDV max.
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 conduit HRP en termes de nombre et de type de routeurs, de distance et de contribution de tous les éléments du conduit 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.

Au moyen de l'extrémité fictive de référence de la Figure III.3, le temps de transfert à l'extrémité est comme ci-dessous.

Tableau III.3/Y.1541 – Analyse du temps de transfert à l'extrémité

	Temps de transfert, ms	Notes
Formation des paquets	40	2 fois longueur de trame plus 0 exploration
Tampon de compensation de gigue, moy.	30	Centre du tampon de 60 ms
Masquage de perte de paquet	10	Une seule "trame" de masquage PLC
Total, ms	80	

Le temps moyen de transfert total pour le conduit d'utilisateur à utilisateur de 4 070 km est de $100 + 80 = 180$ ms.

Une installation de 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. Le temps de transfert IPTD du conduit de classe 0 et les temps de l'installation de 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).

	Temps de transfert, ms	Notes
Formation des paquets	20	2 fois la longueur de trame plus 0 exploration
Tampon de compensation de gigue, moy.	25	Centre du tampon de 50 ms
Masquage de perte de paquet	0	La "répétition du paquet précédent" ne nécessite aucun retard supplémentaire
Autres équipements	5	
Total, ms	50	

Il faut toujours 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 qui rencontrent le temps de transfert 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 supprimés conformément à un rythme synchrone d'extraction.

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 conduit et des conduits de réseau plus complexes. En prenant les mêmes hypothèses que dans le Tableau III.2 et le Tableau III.3 ci-dessus, 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 3 sections NS.

Tableau III.4/Y.1541 – Exemple de calcul pour conduit de classe 1

Elément	Unité	Unité IPTD	IPTD moyen	Unité IPDV	IPDV max.
Distance	km				
Route	27 500 km		138		
Temps d'insertion	200 octets (1500 octets)		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

Tableau III.4/Y.1541 – Exemple de calcul pour conduit de classe 1

Élément	Unité	Unité IPTD	IPTD moyen	Unité IPDV	IPDV max.
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.4 donne la configuration de conduit HRP, configuration en termes de nombre et de type de routeurs, de distance et de contribution de tous les éléments de conduit HRP au temps de transfert (IPTD) et à sa variation (IPDV).

Avec la même hypothèse et l'extrémité de conduit fictif de référence du Tableau III.3, le temps moyen de transfert total sur le conduit d'utilisateur à utilisateur de 27 500 km est de $233 + 80 = 313$ ms.

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.5/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 route de 27 500 km, le temps de transfert moyen dans un seul sens serait de 884 ms (avec le conduit HRP et la configuration nodale comme décrit dans le Tableau III.2).

III.5 Niveau de charge dans le conduit 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 conduit HRP

L'utilisation de satellites géostationnaires a été prise en considération au cours de l'étude des conduits HRP. Un seul satellite géostationnaire peut être utilisé dans les conduits 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 conduits HRP.

Lorsqu'un conduit 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 conduits 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 conduits 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 qualité de fonctionnement 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, *IP packet delay variation*) 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 µs 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 µs 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.

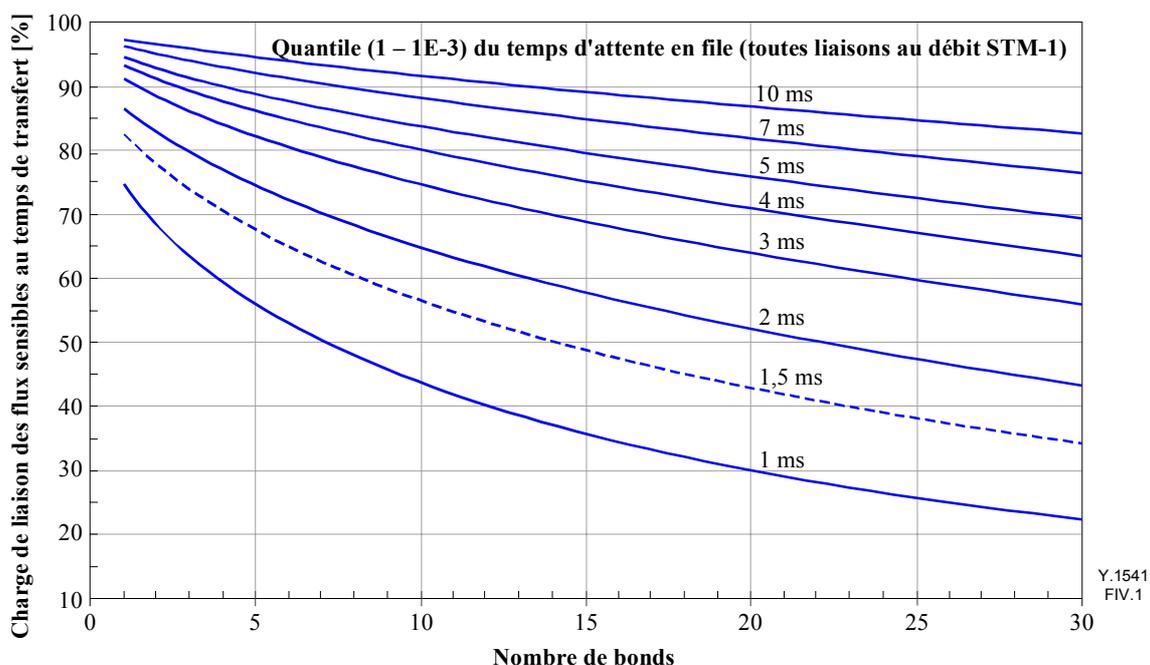


Figure IV.1/Y.1541 – Quantile ($1 - 10^{-3}$) de l'élément composite de temps d'attente en file dû à un trafic sensible à la variation pour différents niveaux du trafic sensible à la variation et pour différents nombres de bonds de routeur en cascade

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 conduit, 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 du paquet de longueur maximale (1 500 octets) qui est insensible 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 conduit HRP se calcule en ajoutant les valeurs calculées pour chacun des trois éléments indiqués en IV.2.1 à IV.2.3.

NOTE – La valeur ainsi calculée 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 conduit 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, 1544 Mbit/s, T1).

IV.3.1 Exemple avec liaisons STM-1

Dans cet exemple, toutes les liaisons sont supposées être STM-1. Le conduit HRP entre les interfaces de réseau avec le nuage de réseau IP (voir Figure III.3) se compose de 12 bonds de routeur. Donc, les facteurs d'influence sur la variation IPDV de ce conduit 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 conduit 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 conduit HRP entre les interfaces réseau avec le nuage de réseau IP (voir Figure III.3) 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 conduit 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 conduit 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 conduit HRP entre les interfaces réseau avec le nuage de réseau IP (voir Figure III.3) 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 conduit 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 conduit 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 1 500 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 qualité de fonctionnement 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 conduit 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 qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement IP. Il décrira les effets, sur la qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement 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 qualité de fonctionnement.
- 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 services différenciés de l'IEF aux classes de QS de réseau IP

Le présent appendice traite de l'applicabilité des services différenciés définis par le Groupe IETF afin de prendre en charge les classes de QS de réseau IP définies. Aucun objectif de QS n'est spécifié dans les définitions de ces capacités IETF. Cependant, les modèles de service spécifient bien que les utilisateurs du service peuvent se fonder sur des caractéristiques de QS spécifiques.

Lorsque le nuage de réseau IP de la Figure 1 est une région DiffServ (DS) (IETF RFC 2474), alors les classes de QS spécifient les objectifs de qualité de bout en bout pour cette région. Une région DS peut contenir un ou plusieurs domaines DS (sections de réseau), conformes à des comportements domaine par domaine (PDB) (IETF RFC 3086) avec des spécifications de niveau de service mesurable d'extrémité à extrémité. Les spécifications PDB sont en cours d'étude. Un ou plusieurs comportements saut par saut (PHB, *per hop behavior*) peuvent être combinés avec d'autres outils Diffserv (tels que les conditionneurs de trafic) afin de construire les comportements domaine par domaine. Les comportements de service différencié actuellement définis sont le réacheminement assuré (AF, *assured forwarding*) (IETF RFC 2597) et la commutation à garantie variable (EF) (IETF RFC 2598). La spécification AF définit un groupe de 4 classes AF qui devraient être traitées indépendamment.

Le Tableau VI.1 associe les classes Y.1541 de QS aux services intégrés et différenciés. Il part du principe que tous les paquets IP sont contenus dans un profil, lorsqu'un tel profil de trafic est spécifié pour le flux de paquets IP.

**Tableau VI.1/Y.1541 – Association possible des classes Y.1541 de QS
avec les services différenciés**

Service de transfert IP	Classe IP de QS	Remarques
PDB au mieux	Non spécifiée Classe de QS 5	Service IP existant qui, lorsqu'il est exploité sur un réseau faiblement chargé, peut donner un bon niveau de QS IP
Comportements PDB sur la base de la transmission assurée	Classes de QS 2, 3, 4	L'objectif de taux IPLR ne s'applique qu'aux paquets IP des niveaux supérieurs de priorité de chaque classe AF. Le temps IPTD s'applique à tous les paquets
Comportements PDB sur la base de la commutation à garantie variable	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

Bien qu'il soit estimé 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, les données fournies par les Recommandations UIT-T de la série G.100 devraient être prises en compte.

Les Recs. UIT-T G.107, G.108, G.109, G.113 et G.114, avec leurs deux guides d'implémentation associés, sont les principaux documents nécessaires pour calculer une estimation de la qualité vocale de bouche à oreille qui peuvent 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 Recs. 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.

Appendice VIII

Bibliographie

- 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 959 (STD-9) (1985), *File Transfer Protocol (FTP)*.
- IETF RFC 950 (1985), *Internet Standard Subnetting Procedure (updates RFC 792)*.
- 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 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 3086 (2001), *Definition of Differentiated Services Per Domain Behaviors and Rules for their Specification*.
- ETSI TIPHON TR 101 329 – Part 2, *Quality of Service (QoS) Classes*.
- Recommandation UIT-T P.911 (1998), *Méthodes d'évaluation subjective de la qualité audiovisuelle pour applications multimédias*.
- Commission d'études 12, Contribution tardive D15: The effect of Packet Losses on Speech Quality, C. Karlsson, *Telia AB*, Fév. 2001.
- Commission d'études 12, Contribution tardive D22: A Framework for Setting Packet Loss Objectives for VoIP, J. Rosenbluth, *AT&T*, Oct. 2001.
- T1 Standard T1.522-2000, *Quality of Service for Business Multimedia Conferencing*.

- 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.
- 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.

Appendice IX

Analyse de la vidéo numérique de qualité radiodiffusion sur réseaux IP

Les classes indiquées dans le Tableau 1 sont destinées à couvrir une large gamme d'applications dont on connaît les exigences de transport. Exemples d'applications non couvertes par ces classes: distribution TV par radiodiffusion, données audio de programme, cinéma numérique et transport de TVHD comprimée, où de très faibles pertes peuvent être requises, et éventuellement un faible temps de transfert dans le réseau.

Au moment de cette publication, des études complémentaires sont nécessaires afin de définir les exigences de qualité de fonctionnement en termes de transfert de paquets pour le transport de signaux vidéo numériques à des débits très élevés au moyen d'applications à basse tolérance aux dégradations, pour une communauté d'utilisateurs très exigeante.

Le Forum des services vidéo (VSF, *video services forum*) a commencé à recueillir les exigences de qualité télévisuelle sur une série d'applications de transport de signaux vidéo. Dans une série de tableaux, l'Annexe B/P.911 donne des exemples de niveaux de qualité de transport de signaux télévisuels et multimédias. Les travaux du Forum VSF développent les catégories TV1 et TV2 afin de donner plusieurs exemples spécifiques de transport vidéo.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

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