



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

G.1020

(11/2003)

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE
TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX
NUMÉRIQUES

Qualité de service et de transmission – Aspects
génériques et aspects liés à l'utilisateur

**Définition des paramètres de performance pour
les applications vocales et autres applications
en bande vocale utilisant les réseaux IP**

Recommandation UIT-T G.1020

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G
SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION – ASPECTS GÉNÉRIQUES ET ASPECTS LIÉS À L'UTILISATEUR	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

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

Recommandation UIT-T G.1020

Définition des paramètres de performance pour les applications vocales et autres applications en bande vocale utilisant les réseaux IP

Résumé

La transmission vocale et la fourniture d'autres services en bande vocale dans les réseaux en mode paquet s'accompagne de formes nouvelles et parfois même spécifiques de dégradation de la qualité. Il existe de nombreuses définitions relatives aux paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux en mode paquet; toutefois, la gestion de la qualité pour les applications isochrones non élastiques requière la présence d'informations additionnelles et complémentaires. L'objet de la présente Recommandation est de définir les paramètres de qualité des réseaux et terminaux en mode paquet qui reflètent mieux la qualité perçue des applications. Elle est principalement axée sur les dégradations de la qualité qui résultent des variations de temps de transfert et de la perte de paquets qui sont propres à l'IP et autres technologies en mode paquet, et qui n'existent pas dans les réseaux TDM traditionnels. Elle étudie les interactions et les compromis entre les dégradations associées à la présence de paquets et décrit les mécanismes ou dispositifs (tampons de suppression de gigue, dispositifs de masquage des pertes de paquets, etc.) qui permettent d'atténuer leurs effets sur la qualité vocale et dans les autres applications. Toutefois, la présente Recommandation évite, dans la mesure du possible, tout chevauchement en se référant à des définitions existantes.

Dans de nombreux cas, les paramètres définis dans la présente Recommandation ne concernent pas uniquement la couche IP. Il faut également définir des paramètres de bout en bout relatifs au système en mode paquet (association des terminaux d'extrémité et du réseau) pour pouvoir déterminer la qualité vocale ou en bande vocale. Les § 5, 6 et 7 contiennent respectivement les définitions des paramètres concernant les terminaux source, les réseaux en mode paquet, les terminaux de destination (avec l'ensemble des paramètres) respectivement. L'Appendice I contient des informations sur les distributions des pertes de paquets et leurs modèles. L'Appendice II donne un exemple d'émulateur de tampon de suppression de gigue adaptatif.

Source

La Recommandation G.1020 de l'UIT-T a été approuvée le 13 novembre 2003 par la Commission d'études 12 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT 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 2004

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.....	3
3	Définitions	3
4	Abréviations.....	4
5	Paramètres relatifs aux paquets du terminal source.....	5
	5.1 Précision de conversion d'horloge analogique/numérique (non asservie).....	5
	5.2 Taille du champ d'information de paquet	6
	5.3 Préfixe des paquets	6
	5.4 Délai dû au terminal	7
	5.5 Variation du délai dû au terminal	7
6	Paramètres de qualité de transfert des paquets dans le réseau.....	7
	6.1 Récapitulatif des paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux	7
	6.2 Autres paramètres de réseau recommandés.....	8
7	Paramètres relatifs aux paquets au niveau du terminal de destination et paramètres globaux relatifs aux paquets	10
	7.1 Etude du traitement des paquets à la destination.....	10
	7.2 Catégorisation des types/paramètres et modèles de tampon de suppression de gigue	11
	7.3 Détermination du décalage de fréquence du système au moyen de l'horloge de destination servant de référence.....	15
	7.4 Masquage des pertes de paquets (type, temps de transfert).....	16
	7.5 Temps de transfert global (incluant la source, le réseau et la destination).....	16
	7.6 Discontinuités de l'échelle temporelle dans les flux postsuppression de gigue et PLC	17
	7.7 Perte globale (trame/paquet) (incluant le réseau et la destination).....	17
	Appendice I – Distribution des pertes de paquets et modèles de pertes de paquets	18
	I.1 Introduction	18
	I.2 Modèles courants de pertes de paquets	18
	I.3 Exemple de courbes relatives aux paquets	20
	I.4 Bibliographie de l'Appendice I.....	21
	Appendice II – Exemple d'émulateur de tampon de suppression de gigue adaptatif.....	22
	Appendice III – Bibliographie	24

Introduction

La transmission vocale et autres signaux en bande vocale sur les réseaux en mode paquet s'accompagne parfois de formes nouvelles et spécifiques de dégradation de la qualité. Il existe de nombreuses définitions relatives aux paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux en mode paquet; toutefois, pour pouvoir gérer la qualité dans le cas d'applications isochrones non élastiques, il faut disposer d'informations additionnelles ou complémentaires. L'objet de la présente Recommandation est de définir les paramètres relatifs à la qualité des réseaux et terminaux en mode paquet qui ne concernent pas uniquement la couche IP et qui reflètent mieux la qualité perçue. Elle définit également les paramètres de bout en bout relatifs au système en mode paquet (association des terminaux d'extrémité et du réseau) nécessaires pour déterminer la qualité vocale ou en bande vocale.

Recommandation UIT-T G.1020

Définition des paramètres de performance pour les applications vocales et autres applications en bande vocale utilisant les réseaux IP

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit un ensemble de paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux et des terminaux d'extrémité en mode paquet qui peuvent aider à quantifier la qualité de bout en bout des applications vocales et en bande vocale. Elle met l'accent sur les dégradations de qualité qui résultent de la variation des temps de transfert et de la perte de paquets qui sont propres à l'IP et aux autres technologies en mode paquet, et qui n'existent pas dans les réseaux traditionnels TDM. Elle étudie les interactions et les compromis entre les dégradations associés à la présence de paquets et décrit les mécanismes ou dispositifs (tampons de suppression de gigue, dispositifs de masquage des pertes de paquets) qui permettent d'atténuer leurs effets sur la qualité vocale et dans les autres applications.

La présente Recommandation reprend les définitions existantes des paramètres de qualité et évite toute duplication. De nombreux facteurs qui déterminent la qualité de la voix et des applications en bande vocale sont communs aux réseaux TDM et IP, et traités dans des Recommandations existantes. Dans le langage de la Rec. UIT-T I.350, le domaine d'application de la présente Recommandation est limité à la fonction de transfert de l'information de la matrice 3×3 , et uniquement au canal support. Les aspects au traitement d'appel de l'accès et du retrait des connexions (par exemple, temps d'attente de la tonalité d'invitation à numéroté et délai après numérotation) ne sont pas pris en considération dans la présente Recommandation. De plus, la présente Recommandation ne spécifie pas les objectifs chiffrés pour les réseaux et les terminaux d'extrémité en mode paquet, mais cette question sera étudiée ultérieurement.

La Figure 1 illustre le domaine d'application de la présente Recommandation ainsi que certaines autres spécifications avec leurs champs qu'elles couvrent. La présente Recommandation ne définit que les paramètres qui décrivent les dégradations qui affectent la transmission dans les terminaux en mode paquet et la transmission en mode paquet, paramètres qui sont spécifiques de l'évaluation de la qualité des applications vocales et en bande vocale.

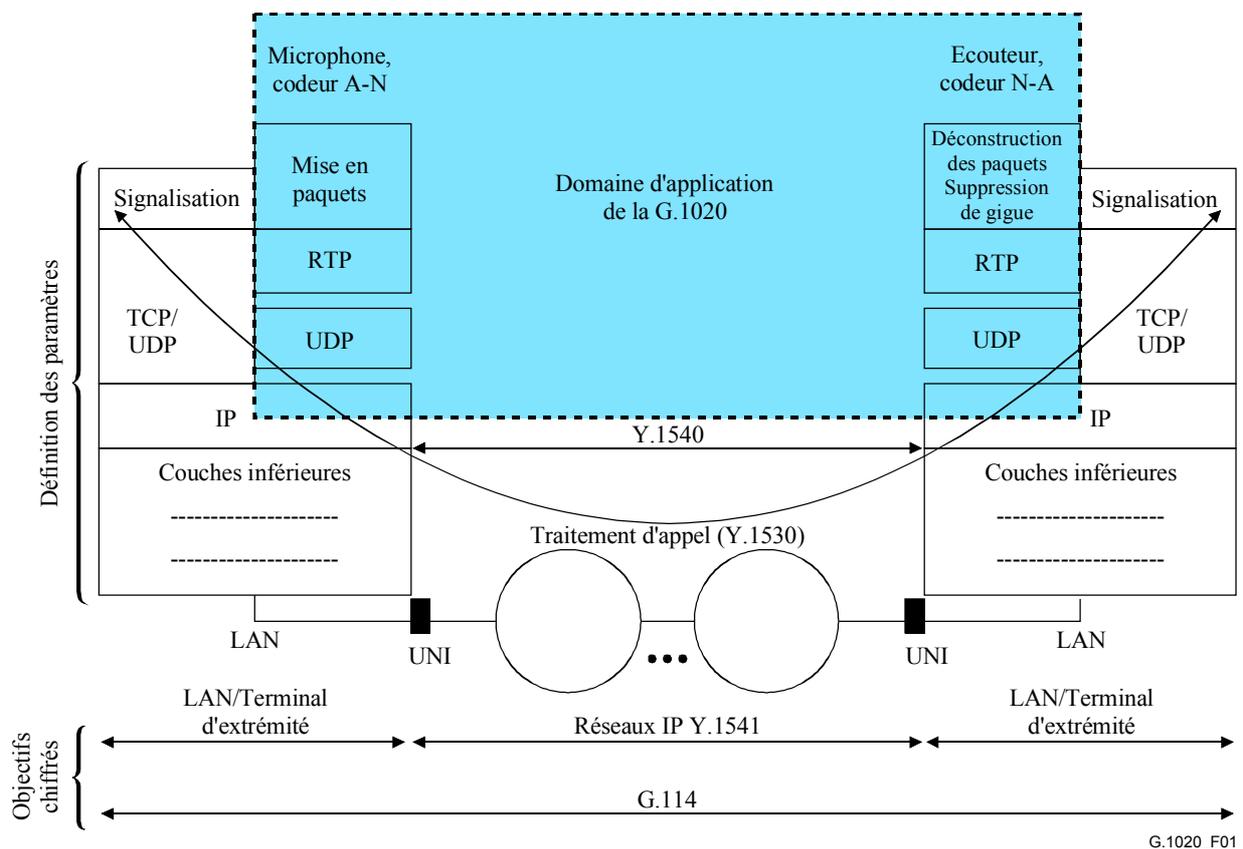


Figure 1/G.1020 – Domaine d'application de la présente Recommandation et ses relations avec d'autres spécifications de qualité

A noter que ces définitions ne limitent pas le nombre de réseaux IP situés entre les terminaux.

D'autres Recommandations de l'UIT-T viennent compléter les paramètres définis dans la présente Recommandation. Ainsi, la planification de la transmission sur des connexions hybrides Internet/RTPC est traitée dans la Rec. UIT-T G.177. D'autres Recommandations spécifient ces paramètres dans le contexte de l'évaluation de la qualité de fonctionnement du transfert des paquets IP dans les services internationaux de transmission de données (par exemple, la Rec. UIT-T Y.1540). Les objectifs de qualité de fonctionnement des réseaux pour différentes classes de QS des services IP sont décrits dans la Rec. UIT-T Y.1541, et les objectifs de temps de transmission dans un sens de bout en bout sont spécifiés dans la Rec. UIT-T G.114.

De nouvelles Recommandations devraient venir compléter la Rec. UIT-T G.1020. Les aspects traitement d'appel de la connexion sont à l'étude. L'UIT-T travaille actuellement à l'élaboration de nouvelles Recommandations traitant du cas où le réseau est essentiellement un réseau IP avec des îlots RTPC, et du cas où le réseau est principalement un réseau RTPC avec des îlots IP. Enfin, l'UIT-T travaille à la définition des objectifs de qualité de fonctionnement des terminaux et des passerelles VoIP et à l'élaboration de méthodes d'évaluation de la qualité de fonctionnement sur la base de mesures de la qualité de bout en bout de la VoIP.

Les définitions des paramètres de transmission en mode paquet propres aux réseaux ATM ne font pas explicitement partie du domaine d'application de la présente Recommandation.

La présente Recommandation devrait être particulièrement utile aux personnes novices dans le domaine de la téléphonie IP (VoIP) désireuses d'avoir une meilleure compréhension des facteurs qui affectent la qualité de ces systèmes de télécommunication. Les personnes chargées du développement d'équipements de télécommunications pourront utiliser les paramètres définis dans la présente Recommandation pour spécifier les facteurs qui influencent sur la qualité de

transmissions de bout en bout. Les fournisseurs de services pourront utiliser ces paramètres pour décrire sommairement les performances des solutions réseaux IP.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

- Recommandation UIT-T G.107 (2003), *Le modèle E: modèle de calcul utilisé pour la planification de la transmission.*
- Recommandation UIT-T G.113 (2001), *Dégradations de la transmission dues au traitement vocal.*
- Recommandation UIT-T G.114 (2003), *Temps de transmission dans un sens.*
- Recommandation UIT-T G.177 (1999), *Planification de la transmission pour les services en bande vocale sur les connexions hybrides Internet/RTPC.*
- Recommandation UIT-T I.356 (2000), *Caractéristiques du transfert de cellules de la couche ATM du RNIS-LB.*
- Recommandation UIT-T P.51 (1996), *Bouche artificielle.*
- Recommandation UIT-T P.57 (2002), *Oreilles artificielles.*
- Recommandation UIT-T Y.1540 (2002), *Service de communication de données par protocole Internet – Paramètres de performance pour le transfert de paquets IP et la disponibilité de ce service.*
- Recommandation UIT-T Y.1541 (2002), *Objectifs de qualité de fonctionnement pour les services en mode IP.*

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 point de référence oreille: point virtuel de référence géométrique situé à l'entrée de l'oreille de l'auditeur, en général utilisé pour le calcul des équivalents pour la sonie en téléphonométrie [P.57].

3.2 point de mesure d'entrée du terminal: point de mesure dans le support physique qui connecte un terminal à un réseau IP et qui est traversé par des paquets quittant le réseau IP et entrant dans le terminal. Ce point de mesure est aussi proche que possible du terminal.

3.3 terminal IP: dispositif d'extrémité destiné à être connecté à un réseau IP et à prendre en charge des communications vocales. Ces dispositifs peuvent être spécialisés (poste téléphonique par exemple) ou à usage général (par exemple, ordinateur exécutant une application fonction terminal).

3.4 point de référence de sortie de terminal: point de mesure sur support physique qui connecte un terminal à un réseau IP et qui est traversé par des paquets quittant le terminal et entrant dans le réseau IP. Ce point de mesure est aussi proche que possible du terminal.

3.5 tampon de suppression de gigue: tampon conçu pour supprimer la variation du temps de transfert des paquets (c'est-à-dire la gigue) et qui influe sur l'instant d'arrivée des paquets. Les

données sont introduites dans le tampon de suppression de gigue avec un débit variable (c'est-à-dire chaque fois qu'elles arrivent en provenance du réseau) et en ressortent avec un débit constant.

3.6 point de référence bouche: point situé sur l'axe de référence, à 25 mm du plan des lèvres [P.51].

3.7 signal temps réel: signal représentant de manière exacte des signaux acoustiques ou électriques dans le domaine temps.

3.8 point électrique de référence à la réception: point électrique de référence équivalant au point de référence oreille du point de vue mesure du temps de propagation du terminal.

3.9 point électrique de référence à l'émission: point électrique de référence équivalant au point de référence bouche du point de vue mesure du temps de propagation du terminal.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

A-N	convertisseur analogique-numérique
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
DSCP	point de code des services différenciés (<i>differentiated services code point</i>)
Dst	destination
HDLC	commande de liaison de données à haut niveau (<i>high-level data link control</i>)
IETF	Groupe de travail d'ingénierie Internet (<i>Internet engineering task force</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
IPER	taux d'erreur sur les paquets IP (<i>IP packet error ratio</i>)
IPErr	décompte des paquets IP avec erreur (<i>errored IP packet count</i>)
IPLR	taux de perte des paquets IP (<i>IP packet loss ratio</i>)
IPPM	(Groupe de travail des) mesures de performance IP (<i>IP performance metrics</i>)
IPRE	événement de référence de transfert des paquets IP (<i>IP packet transfer reference event</i>)
IPSLB	bloc avec perte grave de paquets IP (<i>IP packet severe loss block</i>)
IPSLBR	taux des blocs avec perte grave de paquets IP (<i>IP packet severe loss block ratio</i>)
IPTD	temps de transfert des paquets IP (<i>IP packet transfer delay</i>)
IPv4	protocole Internet version 4 (<i>Internet protocol version 4</i>)
IPv6	protocole Internet version 6 (<i>Internet protocol version 6</i>)
MAPDV2	variation du temps de transfert moyen absolu des paquets 2 (<i>mean absolute packet delay variation 2</i>)
NA	non disponible
N-C	convertisseur numérique-analogique
QS	qualité de service
RFC	demande de commentaires (<i>request for comments</i>)
RSVP-TE	protocole de réservation de ressource – ingénierie du trafic (<i>resource reservation protocol – traffic engineering</i>)

RTCP	protocole de commande de transport en temps réel (<i>real-time transport control protocol</i>)
RTP	protocole de transport en temps réel (<i>real-time transport protocol</i>)
RTPC	réseau téléphonique public commuté
RTPErr	décompte des paquets RTP avec erreur (<i>errored RTP packet count</i>)
SPR	taux de paquets erratiques (<i>spurious packet ratio</i>)
Src	source
TDM	multiplex par répartition dans le temps
UDP	protocole datagramme d'utilisateur (<i>user datagram protocol</i>)
UDPErr	décompte des paquets UDP avec erreur (<i>errored UDP packet count</i>)
UNI	interface utilisateur-réseau (<i>user-network interface</i>)

5 Paramètres relatifs aux paquets du terminal source

Le présent paragraphe définit les paramètres relatifs aux paquets pour les terminaux d'émission, qui ont un effet direct sur la qualité perçue de la voix ou de la transmission en bande vocale. La Figure 2 indique la position des points de mesure et les composantes du système.

5.1 Précision de conversion d'horloge analogique/numérique (non asservie)

Le décalage relatif de fréquence d'une horloge peut être spécifié par la formule suivante:

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{nominale}}} = \frac{f_{\text{mesurée}} - f_{\text{nominale}}}{f_{\text{nominale}}}$$

L'erreur de fréquence mesurée doit être minimisée, et on préférera utiliser une référence de fréquence atomique pour la mesure (la fréquence nominale devra être aussi parfaite que possible dans la pratique).

La précision à long terme (ou en fin de vie) type d'oscillateur d'horloge (par exemple, à quartz) peut également être indiquée si elle est connue, étant donné qu'elle définit la limite supérieure du décalage de fréquence.

Supposons par exemple, que la fréquence nominale de l'oscillateur de conversion analogique-numérique est de 8000 Hz. Une mesure effectuée sur l'oscillateur de terminal source indique une fréquence de 8000,0027 Hz. Le décalage relatif de fréquence est alors $0,0027/8000 = 3,38 \times 10^{-7}$. Des oscillateurs asservis à quartz permettent d'obtenir couramment des décalages relatifs de 1×10^{-6} sur la base de leurs spécifications de précision.

A noter qu'il doit être possible de déduire la fréquence d'horloge d'émission des mesures du débit de paquet source (sous des circonstances favorables, par exemple lorsque la suppression des silences est désactivée), ce qui permettrait d'effectuer une mesure en utilisant des signaux externes. Cette méthode appelle un complément d'étude.

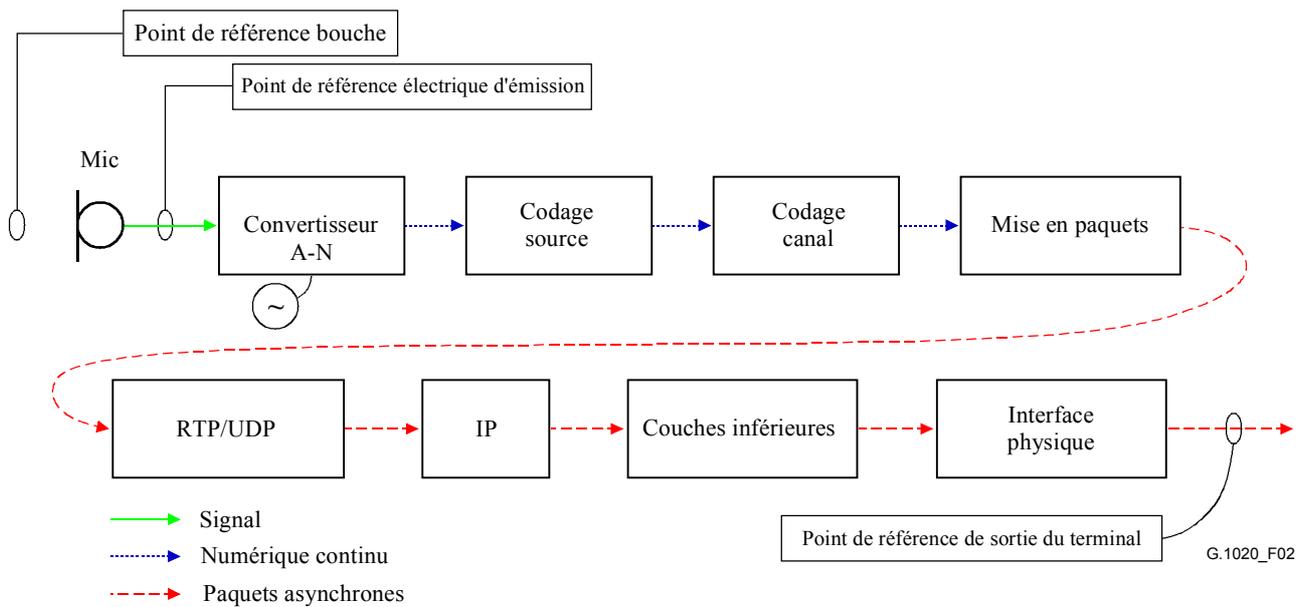


Figure 2/G.1020 – Diagramme synoptique d'un terminal avec localisation des points de référence associés

5.2 Taille du champ d'information de paquet

La taille du champ d'information de paquet spécifie le nombre de signaux codés en bande vocale contenus dans un paquet. Cette taille doit être exprimée de manière non ambiguë, en utilisant autant d'unités de mesure suivantes que nécessaire:

- 1) le nombre d'octets de signaux codés en bande vocale ainsi que l'information associée (par exemple, le bit associé au code de correction direct pour faciliter le masquage des pertes de paquets, ou les bits associés avec le cryptage);
- 2) le nombre de trames du codeur (le type de codeur et la taille de trame locale doivent également être spécifiés);
- 3) durée du signal continu représenté par les bits codés dans le champ d'information.

Les champs d'information types contiennent une ou deux trames de codage et combinent 10 ou 20 ms de temps signal en un même paquet. L'Annexe A/G.114 contient des indications sur le calcul des retards introduits par divers codeurs et sur les tailles de champ d'information de paquet.

5.3 Préfixe des paquets

Le nombre total de paquets accrochés au champ d'information de paquet doit être compté séparément pour chaque en-tête de couche protocolaire. Le nombre total de paquets associés aux en-têtes non informatifs peut être compté lorsque le paquet quitte le point de référence de sortie du terminal, en incluant donc les effets de l'éventuelle compression d'en-tête. La taille en octet des paquets affectés à la commande de flux de médias, aux rapports d'état/de performance (par exemple, RTCP), ou autre non-média acheminant des paquets doivent être décomptés séparément. Voici quelques éléments types susceptibles de faire partie des préfixes (en octets):

RTP	12	UDP	8	IPv4	20	IPv6	40
HDLC Encapsulation	8	Indicateur	1				

5.4 Délai dû au terminal

Le délai dû au terminal est défini comme étant l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant où le signal atteint le point de référence bouche et l'instant où le premier bit du signal correspondant codé et mis en paquets quitte le point de référence de sortie du terminal. Dans certains cas, on peut remplacer le point de référence bouche par le point électrique à l'émission. Par définition, ce délai inclut la totalité du temps de mise en paquets/de déconstruction des paquets, et les signaux de test et les méthodes utilisées doivent permettre d'obtenir une quantité suffisante d'informations pour pouvoir évaluer la variabilité du temps de mise en paquets due à l'alignement entre le signal de test et les limites des paquets. Par exemple, le signal de test doit être suffisamment long pour atteindre les limites de paquets et permettre aussi l'identification des limites à temps. La partie du signal acheminée par la partie antérieure de la charge utile du paquet doit être utilisée.

NOTE – Ce délai doit inclure éventuellement la variation du délai dû au terminal, et des statistiques appropriées doivent être utilisées pour résumer cette variation.

5.5 Variation du délai dû au terminal

La notion fondamentale de paramètre de variation de délai en un point est la comparaison entre le profil d'émission des paquets réel et le profil d'émission voulu (en général périodique). Certaines variantes de ces définitions font intervenir une horloge "à sauts", comme dans la Rec. UIT-T I.356.

La variation du délai dû au terminal est définie comme étant le temps qui s'écoule entre l'émission du premier bit d'un paquet au niveau du point de référence de sortie du terminal et le temps de référence périodique théorique. Pour le premier paquet d'un flux, le temps de référence théorique périodique est fixé comme étant égal à l'instant d'émission. Les émissions de paquets subséquents sont comparées avec cette référence comme indiqué ci-dessous:

Variation du temps de propagation source-sortie du terminal = $t(\text{packet}_n) - t(\text{reference_packet}_n)$

où $t(\text{reference_packet}_n)$ est l'instant d'émission du packet_n pour le flux de référence périodique théorique. L'intervalle de temps de mesure ainsi que les statistiques appropriées doivent être précisés.

NOTE – Des mesures portant sur des longs intervalles de temps peuvent inclure des effets non désirés de décalage de la fréquence source. La variation due à ce décalage doit être consignée et éliminée comme mesure d'erreur, chaque fois que possible.

6 Paramètres de qualité de transfert des paquets dans le réseau

Les normes de qualité de transfert des paquets de la couche IP (voir par exemple les Recommandations UIT-T Y.1540 et Y.1541, et les RFC IETF 2330, 2678 à 2681, 3357 et 3393) se réfèrent aux paramètres suivants: temps de transfert unidirectionnel, variation du temps de transfert et perte des paquets. Ces paramètres doivent être convertis pour la couche Application afin d'estimer convenablement leurs effets pour l'utilisateur.

6.1 Récapitulatif des paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux

Le tableau ci-après est un récapitulatif des paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux IP applicables à la présente Recommandation, et des relations entre les paramètres relatifs aux réseaux et paramètres relatifs aux terminaux qui constituent la base des paramètres systémiques globaux. De gauche à droite, chaque rangée identifie un paramètre et indique comment il peut être combiné avec d'autres paramètres pour obtenir un paramètre spécifique de qualité de fonctionnement global portant sur un aspect particulier de la qualité de bout en bout ou d'utilisateur à utilisateur (bien que les formules exactes soient données dans des sections subséquentes).

Tableau 1/G.1020 – Récapitulatif des paramètres de qualité de fonctionnement des réseaux IP et de leur conversion en paramètres globaux/utilisateur-utilisateur

Paramètre de réseau IP (Note)	Traduction en termes globaux	Paramètre global
Temps de transfert (IPTD, moyenne)	IPTD + délai source + délai destination	Temps de transfert moyen utilisateur-utilisateur
Variation de temps de transfert (IPDV; 99,9 percentile moins le minimum)	Associé à la distribution de la variation du délai source	Contribue au temps de transfert vers le destinataire ou à la perte de trame audio
Saut de temps de transfert (éventuellement associé à la RFC 3393, par exemple)	Peut venir des modifications de trajet/d'installation, ou peut uniquement apparaître en sortie du tampon de suppression de gigue	Discontinuité d'échelle temporelle audio
Paquet avec erreur (en-têtes)	IPErr + UDPErr + RTPErr ⇒	Perte de trame audio (élimination des paquets ou des trames de codec)
Paquet réordonné (Appendice VII/Y.1540)	(peut être considéré comme perdu) ⇒	Perte de trame audio
Perte de paquet	Perte IP + (tous les défauts audio) ⇒	Perte de trame audio (prémasquage)
Bloc avec perte grave IP (IPSLB)	(dépend de la durée des blocs)	Interruption d'appel
Séquence de perte (par exemple, RFC 3357)	Perte/arrivée de flux complet ⇒	Longueur de rafale/perte consécutive
Débit de paquet (déduit des autres caractéristiques de système)	Différence entre oscillateurs A-N et N-A des terminaux source et de destination respectivement	Décalage de fréquence système (par rapport à la destination)
NOTE – Provient de la Rec. UIT-T Y.1540, sauf indications contraires.		

6.2 Autres paramètres de réseau recommandés

Toutes les définitions fondamentales sur les résultats du transfert d'un paquet sont données dans la Rec. UIT-T Y.1540 (et les RFC de l'IETF dont la liste se trouve dans la partie Bibliographie de l'Appendice III). Il est cependant possible de déduire d'autres paramètres utiles lorsque l'on prend en considération les flux de paquets, comme c'est le cas pour la planification en matière de VoIP et les mesures associées.

6.2.1 Événement de perte consécutive de paquets

Dans les cas où des paquets successifs, envoyés dans un flux périodique (conformément à la RFC 3432 par exemple), sont considérés comme perdus conformément à la définition de "résultat de perte de paquets" dans la Rec. UIT-T Y.1540, la durée de l'événement devrait être spécifiée en termes de nombre de paquets perdus en séquence. Cette perte doit être consignée séparément pour chaque événement. Après une mesure signalant plusieurs événements de perte consécutifs, la durée de chaque événement devrait également être consignée. Le nombre de séquences contenues dans les en-têtes de paquets peut aider à obtenir cette valeur mesurée.

6.2.2 Seconde avec dégradation

Un résultat "seconde avec dégradation" se produit pour un bloc de paquets observé pendant un intervalle d'une seconde lorsque le rapport paquet perdu à la sortie de l'interface UNI sur le nombre total de paquets dans l'intervalle de une seconde correspondant à l'entrée de l'interface UNI dépasse

une certaine valeur D%. Les numéros de séquence et les horodates contenus dans les en-têtes de paquet peuvent faciliter l'obtention de cette mesure.

La valeur de D est provisoirement fixée à 15% et pourra évoluer en fonction des expériences pratiques ultérieures ou des études. Ainsi, si dans un flux de 50 paquets par seconde il y a 8 pertes de paquets (16%), la qualité sera dégradée indépendamment du fait que les pertes sont consécutives ou réparties dans la seconde considérée.

6.2.3 Quantification de la variation/gigue de temps de transfert IP à court terme

Les paragraphes suivants décrivent deux approches concernant la quantification de la gigue à court terme. Lorsqu'on connaît la répartition des temps de transfert sur des intervalles courts, la première approche fondée sur une fourchette à court terme est recommandée. Toutefois, si les séries chronologiques complètes de la variation de temps de transfert sont connues, l'approche basée sur la variation moyenne absolue des temps de transfert des paquets peut permettre d'obtenir des informations additionnelles.

6.2.3.1 Approche fondée sur une fourchette à court terme

Cette définition est cohérente avec l'Appendice II/Y.1541.

La variation à court terme du temps de transfert IP est définie comme étant le temps IPTD maximum moins le temps IPTD minimum pendant un bref intervalle de mesure donné.

$$IPDV_{Short_Term} = IPTD_{max} - IPTD_{min}$$

où:

$IPTD_{max}$ est le temps IPTD maximum consigné pendant l'intervalle bref de mesure;

$IPTD_{min}$ est le temps IPTD minimum consigné pendant l'intervalle bref de mesure.

Cette méthode simple et assez précise permet de calculer la variation du temps IPDV en temps réel. La durée de l'intervalle de mesure *bref* appelle un complément d'étude. L'intervalle de mesure influence la capacité de mesurer et de saisir les variations de fréquence faibles et élevées du temps de transfert des paquets IP.

Afin d'être cohérent avec d'autres définitions de paramètres figurant dans la présente Recommandation, on a retenu provisoirement un intervalle de mesure de 1 seconde.

De nombreuses valeurs du temps $IPDV_{Short_Term}$ sont mesurées sur un intervalle de temps plus long (composé de nombreux intervalles de mesure brefs). Le 99,9^e percentile des valeurs de $IPDV_{Short_Term}$ devrait remplir l'objectif de 50 ms fixé dans la Rec. UIT-T Y.1541 (à noter que cet objectif était défini pour un intervalle de mesure d'une minute et le percentile est évalué, pour chaque paquet, en supposant une fréquence d'émission de 50 paquets par seconde ou plus).

Par exemple, supposons 1200 mesures d'une seconde du paramètre $IPDV_{Short_Term}$ réalisées pendant 20 minutes. Si deux mesures ou plus du paramètre $IPDV_{Short_Term}$ donnent des valeurs supérieures à 50 ms, l'objectif fixé dans la Rec. UIT-T Y.1541 peut ne pas avoir été rempli pendant quelques intervalles, et il est justifié de procéder à une évaluation plus exacte de l'objectif.

6.2.3.2 Approche fondée sur la variation moyenne absolue de temps de transfert des paquets

Une autre approche consiste à déterminer la variation moyenne absolue de temps de transfert des paquets en ce qui concerne une valeur moyenne minimale à court terme – appelée ici *variation ajustée absolue du temps de transfert des paquets*. Cela permet d'avoir un rapport plus significatif avec le comportement du tampon de suppression de gigue.

La gigue à court terme est calculée pour le paquet courant (i) dont le temps de transfert est appelé t_i . Le paquet (i) est comparé avec une estimée courante du temps de transfert moyen (utilisant les 16 temps de transfert de paquets précédents), et auquel on attribue une valeur d'écart positive ou négative.

$$\text{temps de transfert moyen } D_i = (15 \times D_{i-1} + t_{i-1}) / 16$$

$$\text{écart positif } P_i = t_i - D_i \quad \text{si } t_i > D_i (N_i \text{ n'est pas disponible})$$

$$\text{écart négatif } N_i = D_i - t_i \quad \text{si } t_i < D_i (P_i \text{ n'est pas disponible})$$

si $t_i = D_i$, P_i et N_i ne sont pas disponibles

On calcule la variation moyenne absolue du temps de transfert des paquets 2 (MAPDV2) pour le paquet (i) comme étant:

$$MAPDV2 = \text{mean}(P_i) + \text{mean}(N_i)$$

où $\text{mean}(P_i)$ est le P global incluant le paquet courant.

7 Paramètres relatifs aux paquets au niveau du terminal de destination et paramètres globaux relatifs aux paquets

Le présent paragraphe définit les paramètres relatifs aux paquets au niveau du terminal de destination qui influencent directement la qualité perçue de la parole et des applications en bande de base, et un ensemble de paramètres globaux relatifs aux paquets. La Figure 3 permet de situer les points de mesure et les composants du système.

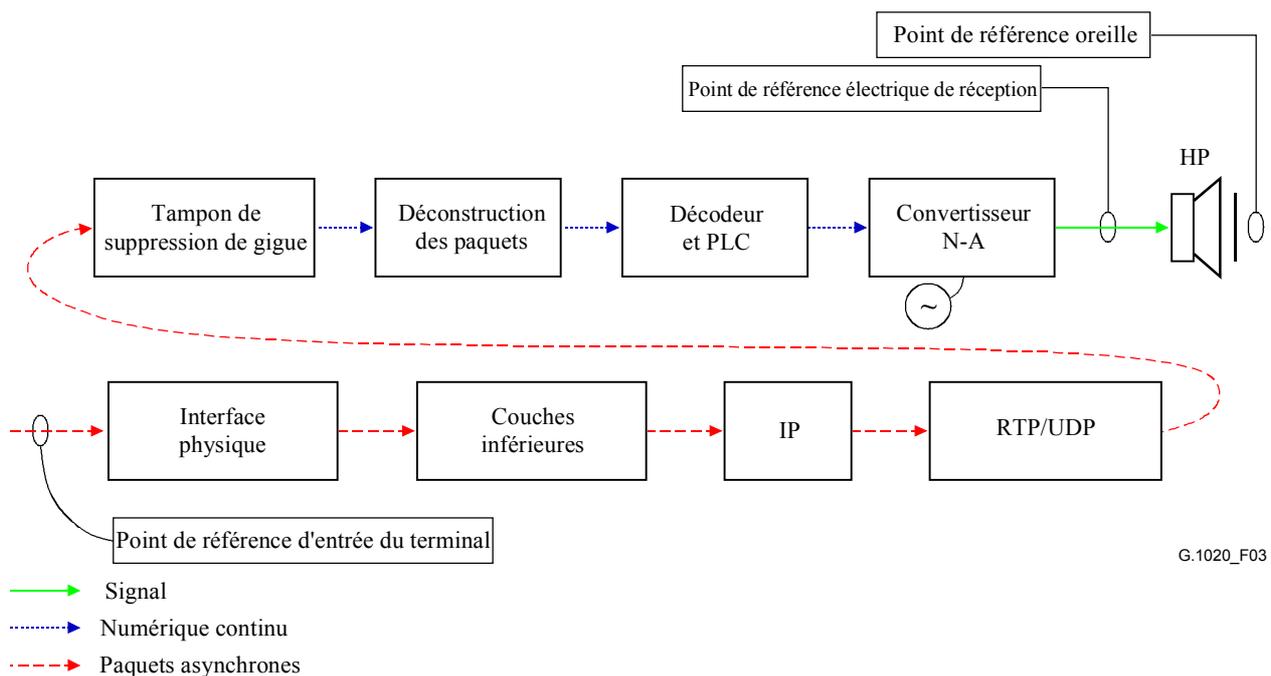


Figure 3/G.1020 – Composantes du terminal de destination

7.1 Etude du traitement des paquets à la destination

La Figure 4 illustre le processus par lequel les paramètres/dégradations concernant les paquets IP (temps de transfert, variation du temps de transfert, perte de paquets et erreurs) peuvent être convertis au niveau de la couche Application en termes de pertes et de temps de transferts globaux.

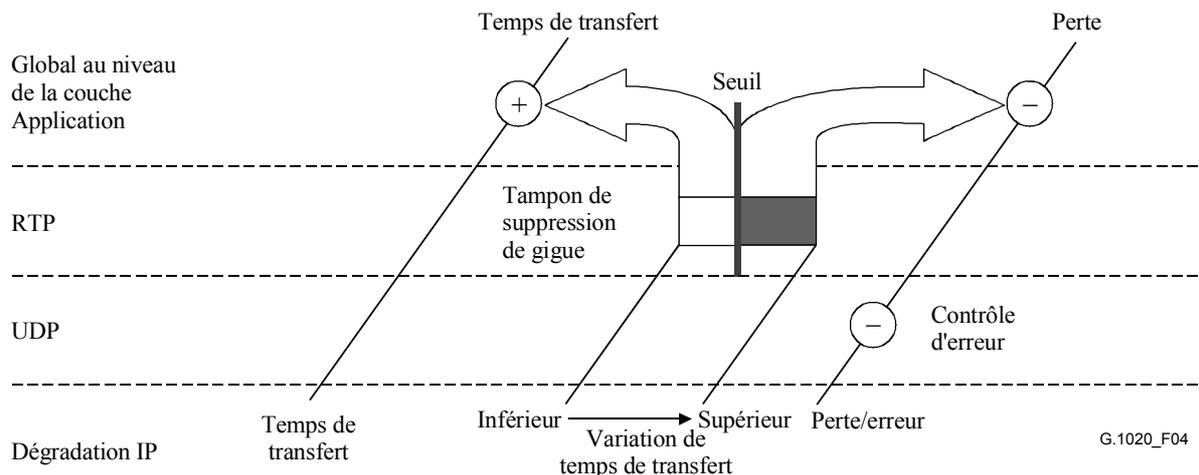


Figure 4/G.1020 – Mappage des caractéristiques de transfert des paquets IP dans la couche Application

Dans le bas de la figure, les paquets arrivent avec diverses dégradations dues au terminal source et au(x) réseau(x) ou n'arrivent pas du tout (perte). Les paquets arrivants sont traités à mesure qu'ils remontent la pile protocolaire afin de supprimer le plus possible les dégradations. Nous montrons que certaines formes de dégradation (erreurs, gigue) se traduisent par d'autres dégradations (perte globale, temps de transfert global).

La Figure 4 illustre les compromis entre les temps de transfert et les pertes au niveau de l'application sous forme d'un seuil dans la plage de variation de temps de transfert, fondé sur la taille du tampon de suppression de gigue. Les paquets qui présentent des variations de temps de transfert dans la plage "blanche" sont pris en charge, tandis que les paquets avec une variation plus grande (plage "noire") sont ignorés. Un tampon de suppression de gigue plus important peut prendre en charge des paquets présentant des variations de temps de transfert plus grandes, ainsi un faible nombre de paquets serait perdu dans l'ensemble mais le temps de transfert global serait plus long. Inversement, un tampon de suppression de gigue plus petit aurait pour conséquence un temps de transfert global plus faible, le risque de voir un plus grand nombre de paquets ignoré par le terminal et ainsi une perte globale de paquets augmentée.

7.2 Catégorisation des types/paramètres et modèles de tampon de suppression de gigue

On distingue deux principaux types de tampon de suppression de gigue, les tampons à longueur fixe et les tampons à longueur adaptative. Les tampons de suppression de gigue peuvent être conçus de différentes façons, incluant les attributs suivants identifiés dans le Tableau 2. Les valeurs des paramètres des tampons de suppression de gigue doivent être connues lors de l'évaluation de la qualité de fonctionnement d'un système.

Tableau 2/G.1020 – Types et paramètres relatifs au tampon de suppression de gigue

Type	Attributs	Possibilités	
Fixe (et adaptatif)	Taille (configure la taille maximale et nominale ou minimale)	Nombre entier de paquets	Nombre fractionnaire de paquets
Adaptatif	Contrôle	Décroissance temporisée en cas de débordement ou de sous-passement	Evalue le taux de perte (configure le seuil inférieur applicable, et le décompte minimal de paquets entre ajustement)
	Ajustement	Temporisé	Intervalle de silence seulement
	Initialisation	Premier paquet	Petit échantillon
	Granularité du réglage	Taille de paquet	Fraction de taille de paquet
	Rétablit l'ordre des paquets	Oui	Non
	Mode donné en bande vocale	Détecte la tonalité à 2100 Hz, réglé à la longueur maximale	Néant

7.2.1 Temps de transfert au niveau du terminal de destination et évaluation des pertes

Les principaux éléments qui contribuent au temps de transfert ont des origines variables. Le présent paragraphe illustre la façon dont la taille du tampon de suppression de gigue et la variation du temps de transfert des paquets IP dans le réseau se chevauchent, et comment il faut élaborer des statistiques propres aux temps de transfert pour obtenir des temps de transfert totaux corrects.

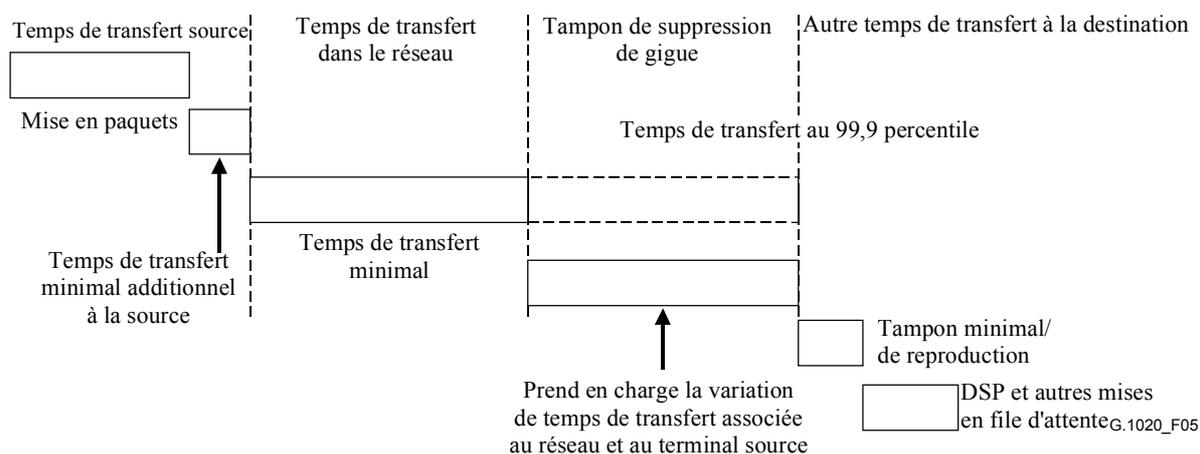


Figure 5/G.1020 – Temps de transfert dans les réseaux en mode paquet et éléments de réseau

La Figure 5 illustre certains des éléments d'un trajet VoIP qui contribue à la formation du temps de propagation de bout en bout. Au niveau de l'émetteur, le temps de mise en paquets peut être important. Il y a en général un temps de transfert variable à mesure que les paquets traversent le réseau. Au niveau du récepteur, il y a un tampon de suppression de gigue qui prend en charge les variations de temps de transfert et délivre un flux de charge utile continu. A noter que le temps

passé dans le tampon de suppression de gigue est maximal pour les paquets dont le temps de transfert source et réseau est minimal; et inversement, le temps passé dans le tampon de suppression de gigue est maximal pour les paquets dont le temps de transfert est le plus long. Les paquets doivent passer un minimum de temps à l'intérieur du tampon au niveau du récepteur dont la durée est éventuellement égale au temps de transfert d'un paquet.

Les paragraphes qui suivent donnent un aperçu général du processus permettant d'associer les pertes et les temps de transfert au niveau de la couche IP avec les contributions supplémentaires issues des fonctions de couches supérieures du terminal de destination, telles celles qui concernent le tampon de suppression de gigue.

7.2.1.1 Pertes

Selon le type de tampon de suppression de gigue, certains critères seront définis pour déterminer si chaque paquet spécifique d'un flux est pris en charge ou ignoré. Le résultat peut changer totalement la distribution des pertes de paquets globales. Par exemple, si des erreurs binaires aléatoires font que des paquets échouent au contrôle par somme de contrôle UDP, les pertes de paquets auront une distribution aléatoire lorsqu'ils atteindront la couche Application. Mais si plusieurs paquets consécutifs conduisent à des temps de transfert excessifs, d'autres mises à l'écart dues aux limitations du tampon de suppression de gigue feront que la distribution globale des pertes apparaîtra comme ayant une structure par rafales et non pas aléatoire. Par conséquent, la caractérisation de la distribution des pertes doit avoir lieu au niveau de la couche Application (en utilisant des techniques telles que celles qui figurent dans l'Appendice I, où le rapport Burst défini dans l'Appendice I/G.113), avant l'estimation des performances de l'application avec des outils tel le modèle E (voir la Rec. UIT-T G.107).

Il existe des circonstances où l'ordre des paquets peut être modifié pendant le transfert dans le réseau. Certains tampons de suppression de gigue sont incapables de rétablir l'ordre de ces paquets désordonnés (Rec. UIT-T Y.1540) et dans ce cas, ces paquets sont appelés paquets ignorés.

7.2.1.2 Temps de transfert

La valeur correcte du temps de transfert dans le tampon à combiner avec les autres temps de transfert dépend des statistiques descriptives disponibles. Ainsi, le temps de transfert moyen dans le réseau doit être additionné avec le temps d'occupation moyen dans le tampon de suppression de gigue (et autres temps de transfert) pour obtenir le temps de transfert moyen global. Cette méthode permet l'adaptation du tampon, nécessitant seulement le temps de séjour moyen dans la file d'attente pour tous les paquets dans l'intervalle de temps d'évaluation. Par ailleurs, si l'on connaît seulement le temps de transfert minimal dans le réseau, celui-ci doit être additionné au temps maximal d'occupation dans le tampon de suppression de gigue (ou la taille utilisée et autres temps de transfert) pour donner un temps de transfert global.

Il faut maintenant étudier l'initialisation dans le cas d'un tampon de suppression de gigue de taille fixe. Si le premier paquet arrivant présente le temps de transfert minimal, le récepteur placera le paquet dans le tampon pendant la totalité du temps demandé, et la taille de mise en tampon sera celle attendue. Heureusement, de nombreux paquets arrivent avec un temps de transfert proche ou égal au minimum, de sorte que ce cas présente une probabilité assez bonne.

Par contre, si le premier paquet présente un temps de transfert assez long, il faudra disposer d'un espace de tampon plus important pour prendre en charge l'arrivée "précoce" des paquets présentant un temps de transfert proche ou égal au minimum, et le tampon de suppression de gigue aura un effet plus important que le temps de transfert attendu pour le calcul global.

7.2.1.3 Tampon de suppression de gigue de taille fixe et modèle de terminal de destination

Dans le modèle réel le plus simple de la perte due à un tampon de suppression de gigue de taille fixe on désigne comme étant ignorés tous les paquets dont le temps de transfert est supérieur au temps de transfert minimal pour le flux de paquets plus la longueur du tampon de suppression de gigue (fixe).

La procédure ci-après permet le mappage entre la couche IP et la couche Application, en prenant pour hypothèse des tampons de suppression de gigue de taille fixe pour l'évaluation de la qualité de fonctionnement du terminal de destination.

- 1) Considérer comme étant perdus tous les paquets qui échouent à la vérification par somme de contrôle UDP;
- 2) considérer comme étant ignorés tous les paquets dont le temps de propagation est supérieur au temps de transfert minimal pour le flux de paquets plus la taille du tampon de suppression de gigue (fixe), ou ceux dont le temps de transfert est inférieur au minimum fixé;
- 3) additionner le temps de transfert moyen dans le réseau (IPTD) avec le temps de transfert moyen du terminal source et du terminal de destination pour obtenir un temps de transfert moyen global, OU, additionner le temps de transfert minimal dans le terminal source au temps de transfert minimal dans le réseau avec le temps de transfert maximal dans le terminal de destination (reflétant l'occupation du tampon de suppression de gigue maximale lorsqu'il y a gigue dans le réseau, ou la taille maximale utilisée).

Dans l'étape 2 ci-dessus, le temps de transfert minimal doit être évalué sur des intervalles courts (fixés provisoirement à 10 secondes). Le minimum pour le premier intervalle est utilisé tout au long, sauf si le minimum à court terme croît au-delà de la plage admissible du tampon. Dans ce cas, aucun paquet ne sera livré aux couches supérieures et le tampon de suppression de gigue devra être remis au nouveau minimum, comme cela pourrait être probablement le cas dans la pratique. De même, si le minimum à court terme devait tomber à une valeur où un fort pourcentage (provisoirement 50%) de paquets serait considéré comme étant perdu en raison d'une arrivée précoce, le tampon de suppression de gigue devrait être remis à un nouveau minimum.

Lorsqu'on calcule la contribution d'un tampon de suppression de gigue fixe à la dégradation globale, la variation de la distribution des temps de transfert détermine la proportion de paquets qui seront ignorés. La distribution des temps de transfert de paquets qui sont pris en charge (non ignorés) peut être utilisée pour calculer le temps d'occupation moyen du tampon de suppression de gigue comme suit:

Temps moyen d'occupation = [taille du tampon de suppression de gigue] – (temps de transfert moyen des paquets pris en charge – temps de transfert minimal)

Cela signifie que le temps de transfert peut être ajouté à d'autres constantes de temps de transfert dans le terminal de destination pour obtenir une estimée du temps moyen de transfert au niveau du terminal de destination. Si la destination ne connaît pas la distribution exacte des temps de transfert, on admet qu'une valeur égale à la moitié de la taille du tampon de suppression de gigue peut remplacer le temps moyen d'occupation dans les calculs utilisés pour la planification des réseaux.

S'il faut disposer du temps de transfert maximal au niveau du terminal de destination pour les calculs, on peut ajouter la taille maximale du tampon de suppression de gigue aux autres constantes de temps de transfert au niveau du terminal de destination pour obtenir une estimée du temps de transfert maximal.

7.2.1.4 Modèle de tampon de suppression de gigue adaptatif

Le tampon de suppression de gigue fixe visé au point 2 ci-dessus peut être remplacé par l'émulation d'un tampon de suppression de gigue adaptatif, tel que décrit ici lorsqu'on dispose d'une série chronologique d'informations de flux de paquets.

La série chronologique des arrivées de paquets peut être utilisée avec un émulateur de tampon de suppression de gigue adaptatif pour déterminer le temps d'occupation moyen du tampon de suppression de gigue (temps de transfert) sur la série. Ce temps de transfert moyen peut être combiné avec d'autres constantes de temps de transfert au niveau du terminal de destination pour obtenir une estimée du temps de transfert moyen au niveau du terminal de destination.

Un exemple d'émulateur de tampon de suppression de gigue adaptatif est donné dans l'Appendice II.

7.2.2 Temps de transfert au niveau du terminal de destination

Le temps de transfert au niveau du terminal de destination est l'intervalle défini comme commençant à l'instant où le premier bit d'un paquet représentant un signal franchit le point de référence d'entrée du terminal et se terminant à l'instant où le signal décodé correspondant et dépaquetisé atteint le point de référence oreille. On peut au besoin remplacer le point de référence oreille par le point de référence électrique à la réception.

NOTE – Ce temps de transfert peut varier en présence d'un tampon de suppression de gigue adaptatif et on doit alors appliquer les statistiques appropriées pour résumer la variation.

Etant donné que, par définition, le temps de transfert au niveau du terminal source inclut le temps entier de mise en paquets/de dépaquetisation, les signaux de tests des paquets au niveau du terminal de destination doivent être construits de manière à occuper la partie la plus précoce de la charge utile. De cette façon, les mesures de temps de transfert au niveau des terminaux de source et de destination seront effectuées à des moments équivalents tout en tenant compte du temps de mise en paquets.

7.3 Détermination du décalage de fréquence du système au moyen de l'horloge de destination servant de référence

Le décalage en fréquence du système peut être évalué en observant l'incrément de numéro de séquence par unité de temps ou le décalage accumulé de l'horodate, ce décalage est une mesure de la différence entre les précisions des horloges de conversion analogique/numérique source et de destination. Le décalage relatif de fréquence entre les horloges source et de destination peut être spécifié par la formule suivante:

$$\frac{\Delta f}{f_{Destination}} = \frac{f_{Source} - f_{Destination}}{f_{Destination}}$$

Ce décalage de fréquence peut être utilisé pour déterminer la fréquence des événements de débordement ou de sous-passement du tampon au niveau du terminal de destination, qui résulte habituellement de perte supplémentaire de paquets, en notant que le décalage fractionnaire de fréquence est équivalent au décalage temporel (Δt) observé sur un intervalle (T)

$$\frac{\Delta f}{f_{Destination}} = -\frac{\Delta t}{T}$$

(notant que les différences de fréquence et de période de temps ont une relation négative). Par exemple, supposons que la fréquence source est de 7999,997 Hz, que la fréquence de destination est de 8000,001 Hz et que la taille du tampon de suppression de gigue est de 20 ms. Etant donné que l'horloge du convertisseur N-A de destination lit l'information plus rapidement que la source qu'il alimente, le tampon de suppression de gigue sera éventuellement vide ou en sous-passement. Avec un décalage relatif de fréquence de:

$$\frac{7999,997 - 8000,001}{8000,001} = -5 \times 10^{-7}$$

(où le signe moins indique que les impulsions d'horloge source se produisent plus lentement que les impulsions correspondantes à la destination), le décalage temporel égal à la taille totale du tampon de suppression de gigue, s'additionne dans l'intervalle d'observation égal à:

$$T = \frac{-(\Delta t = 0,02)}{-5 \times 10^{-7}} = 40\,000 \text{ sec} = 667 \text{ min}$$

7.4 Masquage des pertes de paquets (type, temps de transfert)

De nombreux codeurs vocaux standardisés disposent d'une fonction spécifique de masquage des pertes de paquets (PLC, *packet loss concealment*), et qu'il suffit de spécifier si cette fonction est active ou non, et si elle induit un temps de transfert additionnel. Par exemple, dans l'algorithme décrit dans l'Appendice I/G.711, on ajoute au moins 3,75 ms comme temps de traitement associé à l'algorithme et éventuellement plus en fonction de l'implémentation. Cette fonction PLC peut être utilisée avec d'autres codeurs de signaux, tels les codeurs G.726.

De nombreuses formes de fonction PLC non normalisée sont apparues dans la pratique, en particulier pour des codeurs G.711 et d'autres codeurs de signaux. Si ceux-ci sont utilisés, l'algorithme spécifique PLC et le temps de transfert doivent être spécifiés.

A noter que la fonction PLC la mieux adaptée aux utilisateurs humains ne l'est peut-être pas aux détecteurs de porteuse des modems en bande vocale. S'il y a un classificateur de signaux pour les données en bande vocale et les modems de télécopie, et qu'une fonction PLC spéciale est sélectionnée pour améliorer leur fonctionnement dans les réseaux en mode paquet, le type de fonction PLC et la méthode de classification des signaux doivent être spécifiés.

7.5 Temps de transfert global (incluant la source, le réseau et la destination)

Après l'analyse du tampon de suppression de gigue et autres composantes du terminal de destination, tels que décrits dans le détail au § 7.2.1 et illustrés à la Figure 5, il est possible de les combiner avec le temps de transfert du terminal source et du ou des réseaux pour déterminer le temps de transfert global du système. Les formules ci-dessous sont valables, leur utilisation étant déterminée par les statistiques spécifiques relatives au temps de transfert disponibles pour les calculs.

Lorsqu'on connaît les temps de transfert moyen de toutes les composantes, on a:

$$\text{Overall_Mean_Delay} = \text{mean}(\text{source_delay}) + \text{mean}(\text{net_delay}) + \text{mean}(\text{destination_delay})$$

Comme l'illustre bien la Figure 5, les temps de transfert minimaux de la source et du réseau peuvent être combinés avec le temps de transfert maximal du terminal de destination pour obtenir une estimée en utilisant les constantes:

$$\text{Overall Delay (constante)} = \text{min}(\text{source_delay}) + \text{min}(\text{net_delay}) + \text{max}(\text{destination_delay})$$

Lorsqu'il est mesuré directement, le temps de transfert global est défini comme étant l'intervalle qui s'écoule entre l'instant où le signal franchit le point de référence bouche et l'instant où le signal correspondant sort du point de référence oreille (ou points de référence équivalents).

Une méthode de mesure directe du temps de transfert global figure en Annexe B de [B-11].

Plusieurs exemples de calcul de temps de transfert moyen global sont donnés dans l'Appendice III/Y.1541. Ces exemples portent sur diverses configurations de réseau et terminaux de référence avec plusieurs tailles de paquets, plusieurs modèles de tampons de suppression de gigue et plusieurs formes de dissimulation de perte de paquets. L'Appendice X/Y.1541 décrit ensuite le calcul des valeurs de R du modèle E pour chacun de ces cas [G.107].

7.6 Discontinuités de l'échelle temporelle dans les flux postsuppression de gigue et PLC

Une discontinuité d'échelle temporelle est définie comme étant un changement brusque du temps de transfert global mesuré entre le point de référence bouche et le point de référence oreille. Ce paramètre décrit la fréquence d'apparition des décalages de référence temporelle de l'utilisateur, dus au trajet emprunté sur le réseau, au tampon de suppression de gigue ou aux deux.

7.7 Perte globale (trame/paquet) (incluant le réseau et la destination)

Ce paramètre peut être exprimé en termes de paquets ou de trames de codeur. Il est important de comprendre la relation entre la perte de trames et la perte de paquets. Par exemple, lorsque deux trames sont combinées dans chaque paquet, chaque perte de paquet implique une perte en rafale de deux trames et le décodeur/PLC doit tenter un rétablissement dans des circonstances qui sont bien plus difficiles que celles qui correspondent à la perte isolée d'une trame.

7.7.1 Taux de perte global (trame/paquet)

Le taux de perte global pour un intervalle d'évaluation donné est défini comme suit:

Taux de perte global =

$$1 - \frac{(\text{Total_pkt_sent} - \text{Lost_net} - \text{Lost_error_check} - \text{Discarded_de-jitter-buffer} - \text{Discarded_reordering})}{\text{Total_pkt_sent}}$$

7.7.2 Modèle de perte global (trame/paquet)

Afin d'évaluer les conséquences des pertes et des éliminations dans les applications VoIP, il est utile d'étudier la distribution temporelle de ces dégradations. Des approches types font intervenir le modèle Gilbert-Elliott et des modèles similaires de type Markov. La référence bibliographique [B-10] spécifie l'utilisation du modèle de Gilbert-Elliott pour décrire la distribution des pertes de paquets et des mises à l'écart du paquet et donne un exemple d'un modèle de Markov à quatre états pour obtenir ces paramètres. L'Appendice I contient une description de ces modèles et donne un exemple de distribution type de perte/mise à l'écart de paquets. Les paramètres types de résultats sont la longueur moyenne des discontinuités et la densité de perte/mise à l'écart et la longueur moyenne des rafales et la densité de perte/mise à l'écart.

7.7.3 Décompte des événements de perte (trame/paquet) globale consécutive

Après examen, un flux de paquet envoyé conformément à [B-9] et un ensemble de paquets successifs ont été désignés comme étant perdus ou ignorés conformément à tous les critères applicables de perte/mise à l'écart dans le paramètre rapport global de perte, alors, la longueur de l'événement doit être spécifiée comme étant le nombre de paquets perdus en séquence. Cette longueur doit être spécifiée séparément pour chaque événement. Le décompte de chaque taille d'événement doit également être consigné comme résultat. Les numéros de séquence contenus dans les en-têtes de paquets peuvent être utilisés pour aider à cette mesure.

7.7.4 Calcul des paramètres globaux: erreurs et risques d'erreur

Une méthode simplifiée permettant d'obtenir le temps de transfert global de bout en bout consiste à prendre le temps de transfert moyen des paquets IP, et à le combiner avec des constantes pour d'autres éléments situés sur le trajet bouche-oreille. Cette procédure peut engendrer des erreurs en raison de l'existence de temps de transfert variables dans certaines composantes du terminal (par exemple dans le tampon de suppression de gigue) ou de la non-prise en compte d'éléments à temps de transfert variable.

Une autre erreur possible consisterait à utiliser le taux de perte de paquets tel qu'il est mesuré par un récepteur qui attend, par exemple, trois secondes avant de déclarer qu'un paquet est perdu, et donc de sous-estimer le taux de perte. Un tampon type de suppression de gigue aurait une tolérance bien

inférieure aux longs temps de transfert supérieurs à la norme. Là aussi, une bonne connaissance des caractéristiques du tampon de suppression de gigue est très importante dans le mappage entre les caractéristiques de transfert de paquet IP et les pertes au niveau de la couche Application.

Appendice I

Distribution des pertes de paquets et modèles de pertes de paquets

I.1 Introduction

On sait généralement que la distribution des pertes de paquets dans les réseaux IP a un caractère "en rafale", toutefois la certitude est moins grande pour ce qui est de l'utilisation de modèles de perte spécifiques, et en fait, un certain malentendu existe sur certains modèles couramment utilisés, par exemple le modèle de Gilbert. Le présent appendice décrit certains modèles principaux de pertes de paquets, analyse certaines données concernant les pertes de paquets, étudie le niveau d'adéquation des modèles et des données et propose l'utilisation d'un modèle de Markov à 4 états pour représenter la distribution des pertes.

I.2 Modèles courants de pertes de paquets

I.2.1 Rappel

Une grande partie des premiers travaux relatifs à la modélisation des pertes ou des erreurs date des années 60 et concerne la distribution des erreurs binaires sur des canaux téléphoniques.

Une des approches utilisées était un modèle de Markov ou modèle à plusieurs états. Gilbert [13] semble être le premier à décrire un modèle d'erreur en rafale de ce type, qui a par la suite été complété par Elliott [10] et [11] et par Simpson [6]. Blank et Trafton [3] ont élaboré des modèles de Markov avec un plus grand nombre d'états pour représenter les distributions d'erreurs.

Une autre approche a consisté à identifier la distribution statistique des espaces. Mertz [17] a utilisé les distributions hyperboliques et Berger et Mandelbrot [2] ont utilisé des distributions de Pareto pour modéliser les intervalles entre erreurs. Lewis et Cox [16] ont constaté que dans les distributions d'erreurs mesurées il y avait une forte corrélation positive entre intervalles adjacents.

La modélisation de la perte de paquets dans les réseaux IP semble avoir suivi une voie similaire, bien que la cause à l'origine des pertes (en général, l'encombrement) peut être différente de la cause à l'origine des erreurs binaires (en général, bruit sur le circuit ou gigue).

I.2.2 Modèle de Bernoulli ou modèle indépendant

Le modèle le plus utilisé est un simple canal de perte indépendante, dans lequel un paquet est perdu (ou une erreur binaire se produit) avec une probabilité P_e . Dans le cas où il y a un très grand nombre de paquets N , le nombre attendu de pertes de paquets est égal à $N \times P_e$. La probabilité de perte peut être évaluée en comptant le nombre de paquets perdus et en divisant ce nombre par le nombre total de paquets transmis.

I.2.3 Modèles de Gilbert et de Gilbert-Elliott

Le modèle sporadique le plus connu est le modèle de Gilbert [13] dont une variante connue est le modèle de Gilbert-Elliott [10] et [11]. Il s'agit de deux modèles d'état qui passent d'un état "bon" ou état d'intervalle 0 à un état "mauvais" ou état erratique 1 conformément aux probabilités de transition d'état P_{01} et P_{11} :

- i) *Modèle de Gilbert*
 - a) l'état 0 est un état sans perte/erreur;
 - b) l'état 1 est un état avec perte avec une probabilité de perte indépendante P_{e1} .

ii) *Modèle Gilbert-Elliott*

- a) l'état 0 est un état à faible perte avec une probabilité de perte indépendante P_{e0} ;
- b) l'état 1 est un état avec perte avec une probabilité de perte indépendante P_{e1} .

On suppose souvent que l'état *avec perte* du modèle de Gilbert correspond à un état "avec perte", c'est-à-dire que la probabilité de perte d'un paquet dans l'état 1 est égale à 1, toutefois cela n'est *pas correct* (il serait plus approprié de décrire ceci comme un modèle de Markov à 2 états). Cela conduit à une analyse du caractère sporadique des pertes de paquets en terme uniquement de pertes consécutives qui ne rend pas compte des effets des longues périodes avec densité de perte élevée. Comme l'illustre la figure donnée en [14], ces longues périodes de densité de perte élevée peuvent avoir un effet important sur les services VoIP.

Considérons par exemple ce qui suit:

Séquence de perte 0000011001010101101100000000000000000000

Application correcte du modèle de Gilbert – longueur des rafales 15, densité de rafale 60%

Application incorrecte du modèle de Gilbert – longueur moyenne des rafales 1,5 paquet

D'autres exemples sont donnés dans [21].

I.2.4 Modèles de Markov

Un modèle de Markov est un modèle multi-état général dans lequel un système passe entre les états i et j avec une certaine probabilité de transition $p(i, j)$.

Un modèle de Markov à 2 états présente l'avantage de pouvoir rendre compte des liens à très court terme entre les paquets perdus, c'est-à-dire des pertes consécutives [1], [4], [15] et [19]. Il s'agit en général d'événements de très courte durée (disons de 1 à 3 paquets de durée) mais les anomalies occasionnelles de liaison peuvent se traduire par de très longues séquences de pertes qui peuvent atteindre des dizaines de secondes [5].

En combinant le modèle à 2 états, avec un modèle de Gilbert-Elliott, il est possible de rendre compte d'événements de perte consécutive de durée très brève et d'événements de faible densité plus longs.

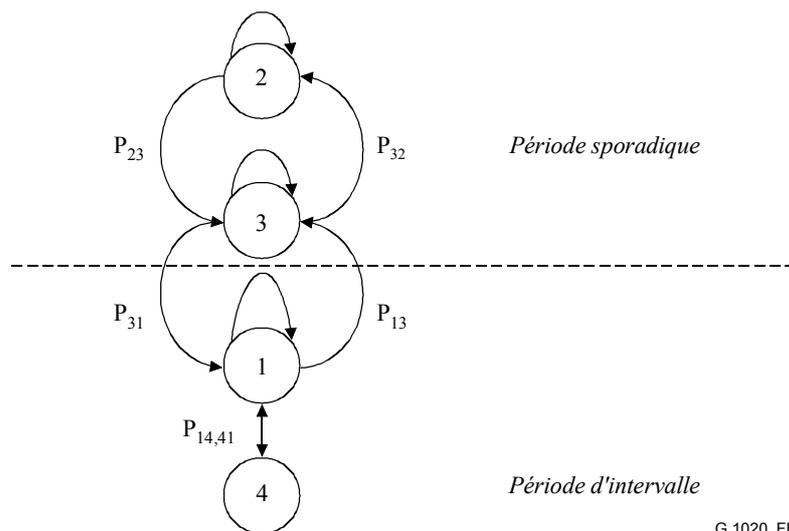


Figure I.1/G.1020 – Modèle de Markov à 4 états

Ce modèle de Markov à 4 états [7] et [12] représente les périodes de *rafale*, durant lesquelles les paquets sont reçus et perdus conformément à un premier modèle à 2 états et des *intervalles* pendant

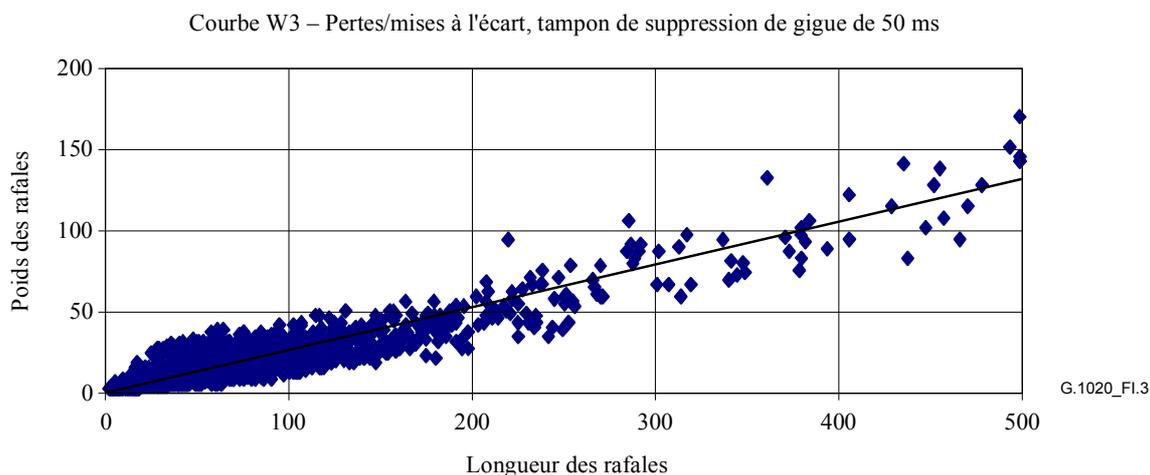


Figure I.3/G.1020 – Diagramme de dispersion de la courbe poids des rafales en fonction de leur longueur pour des pertes et des mises à l'écart de paquets (tampon de suppression de gigue de 50 ms)

I.4 Bibliographie de l'Appendice I

- [1] ALTMAN (E.), AVRACHENKOV (K.), BARAKAT (C.): TCP in the Presence of Bursty Losses, *Performance Evaluation* 42, pp. 129-147, 2000.
- [2] BERGER (J.M.), MANDELBROT (B.): A New Model for Error Clustering in Telephone Circuits, *IBM J R&D*, juillet 1963.
- [3] BLANK (H.A), TRAFTON (P.J.): A Markov Error Channel Model, *Proc. Nat Telecomm Conference*, 1973.
- [4] BOLOT (J.C.), VEGA GARCIA (A.): The case for FEC based error control for packet audio in the Internet, *ACM Multimedia Systems*, 1997.
- [5] BOUTREMANS (C.), IANNACCONE (G.), DIOT (C.): Impact of Link Failures on VoIP Performance, *Sprint Labs Technical Report IC/2002/015*.
- [6] CAIN (J.B.), SIMPSON (R.S.): The Distribution of Burst Lengths on a Gilbert Channel, *IEEE Trans IT*, 15 septembre 1969.
- [7] CLARK (A.): Modelling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality, *IPtel 2001 workshop*.
- [8] DRAJIC (D.), VUCETIC (B.): Evaluation of Hybrid Error Control Systems, *IEE Proc. F*. Vol. 131, avril 1984.
- [9] EBERT (J-P.), WILLIG (A.): A Gilbert-Elliott Model and the Efficient Use in Packet Level Simulation, *TKN Technical Report 99-002*.
- [10] ELLIOTT (E.O.): Estimates of Error Rates for Codes on Burst Noise Channels, *BSTJ* 42, septembre 1963.
- [11] ELLIOTT (E.O.): A Model of the Switched Telephone Network for Data Communications, *BSTJ* 44, janvier 1965.
- [12] ETSI TIPHON TS 101 329-5 VI.1.2 (2002), *Annex E, QoS measurements for Voice over IP*.
- [13] GILBERT (E.N.): Capacity of a Burst Noise Channel, *BSTJ*, septembre 1960.
- [14] UIT-T CE 12 D.139, *Study of the relationship between instantaneous and overall subjective speech quality for time-varying quality speech sequences*, France Telecom.

- [15] JIANG (W.), SCHULZRINNE (H.): Modelling of Packet Loss and Delay and their effect on Real Time Multimedia Service Quality, *NOSSDAV*, 2000.
- [16] LEWIS (P.), COX (D.): A Statistical Analysis of Telephone Circuit Error Data, *IEEE Trans COM-14*, 1966.
- [17] MERTZ (P.): Statistics of Hyperbolic Error Distributions in Data Transmission, *IRE Trans CS-9*, décembre 1961.
- [18] SANNECK (H.), CARLE (G.): A Framework Model for Packet Loss Metrics Based on Loss Runlengths, *Proc. ACM MMCN*, janvier 2000.
- [19] YAJNIK (M.), MOON (S.), KUROSE (J.), TOWSLEY (D.): Measuring and Modelling of the Temporal Dependence in Packet Loss, *UMASS CMPSCI Tech. Report 98-78*.
- [20] UIT-T CE 12, Contribution tardive D.22, *A framework for setting packet loss objectives for VoIP*, AT&T, octobre 2001.
- [21] UIT-T CE 12, Contribution tardive D.97, *Packet Loss Distributions and Packet Loss Models*, Telchemy, janvier 2003.

Appendice II

Exemple d'émulateur de tampon de suppression de gigue adaptatif

Dans cet exemple, un émulateur de tampon de suppression de gigue fonctionne en suivant le temps de transfert minimal à court terme et en utilisant cette valeur pour placer une fenêtre temporelle équivalente en taille à la taille du tampon de suppression de gigue. L'instant réel d'arrivée d'un paquet est comparé à la fenêtre temporelle pour déterminer si le paquet sera ignoré ou pris en charge.

Le résultat obtenu avec cet émulateur de tampon de suppression de gigue est un événement de perte/mise à l'écart de paquets associé à un décompte du nombre de paquets valides (c'est-à-dire non perdus ou non ignorés), événement qui sert de données au modèle de distribution de perte de paquets.

L'algorithme d'émulation du tampon de suppression de gigue détermine la variation de temps de transfert pour chaque paquet RTP arrivant, basé sur l'horodate/numéro de séquence RTP et une horloge locale. Cette approche est préférable à la mesure de la variation de l'intervalle de temps paquet-paquet étant donné que:

- i) il prend en charge des paquets qui ne sont pas dans l'ordre sans exiger qu'ils soient mis en tampon, ce qui réduit la complexité des calculs;
- ii) il peut détecter les variations de temps à moyen-long terme, dues aux encombrements, aux modifications de trajet ou à une dérive de synchronisation.

L'émulateur de tampon de suppression de gigue fonctionne comme suit:

Le premier paquet RTP qui arrive est le point de référence initial de l'horodate RTP à savoir R_{ref} .

La valeur nominale est fixée au temps de transfert pour les paquets arrivant à temps (paramètre de configuration).

Le délai maximal est fixé comme étant égal au nombre de paquets que multiplie la taille d'un paquet (paramètre de configuration).

On définit une fenêtre précoce = maximum – nominal.

On définit une fenêtre tardive = nominal.

Pour chaque paquet RTP associé à un flux qui passe par le point d'observation:

On associe une horodate locale L avec l'instant d'arrivée du paquet RTP.

On identifie l'horodate RTP R du paquet.

On fait une estimation de l'instant d'arrivée attendu du paquet RTP fondé sur le paquet RTP de référence en utilisant l'expression $L_{\text{expected}} = L_{\text{ref}} + (R - R_{\text{ref}})$.

On fait une estimation de la variation du temps de transfert du paquet RTP grâce à la formule $D = L - L_{\text{attendu}}$.

Si $D <$ inférieur à la fenêtre précoce, alors

on marque le paquet comme étant ignoré

on réinitialise le point de référence sur ce paquet.

Si $D >$ à la fenêtre tardive, alors

on marque le paquet comme étant ignoré.

Si le paquet est le double d'un paquet déjà reçu, celui-là doit être ignoré en silence.

On maintient une fenêtre glissante de 32 paquets, classés par numéro de séquence, marqués par défaut comme étant perdus – On marque les paquets à l'intérieur de cette fenêtre comme étant prise en charge ou ignorée.

A la fin de la fenêtre, on identifie les paquets comme étant perdus/ignorés ou pris en charge.

La fenêtre précoce/tardive peut être dynamiquement ajustée pour suivre le comportement du tampon de suppression de gigue adaptatif.

Algorithme d'ajustement:

définir le seuil $T1$ égal au rythme inférieur inacceptable d'élimination (paramètre configurable)

définir le seuil $T2$ égal à la période de temps entre ajustement vers le bas de la taille du tampon de la suppression de gigue (en paquets, paramètre configurable)

maintenir une moyenne mobile des éliminations tardives $C1$ avec un facteur d'échelle, S (en général 15)

$C1 = (C1 \times (S - 1) + D)/S$ où D est égal à 1 si un paquet est ignoré ou 0 dans le cas contraire

maintenir un décompte des paquets reçus depuis la dernière élimination tardive $C2$

si $C1$ dépasse un seuil $T1$ et que le tampon est inférieur au maximum, augmenter la taille du tampon et réinitialiser $C1$

si $C2$ dépasse un seuil $T2$ et que le tampon est supérieur au minimum, diminuer la taille du tampon et réinitialiser $C2$

La valeur maximale de la fenêtre temporelle ou la longueur maximale du tampon de suppression de gigue doit être spécifiée afin que l'émulateur ne fasse pas croître le tampon à des valeurs extrêmes qui ne seraient pas possibles dans la pratique.

Appendice III

Bibliographie

- [B-1] RFC 3550, RTP (2003), *A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
- [B-2] RFC 2330 (1998), *Framework for IP Performance Metrics*.
- [B-3] RFC 2678 (1999), *IPPM Metrics for Measuring Connectivity*.
- [B-4] RFC 2679 (1999), *A One-way Delay Metric for IPPM*.
- [B-5] RFC 2680 (1999), *A One-way Packet Loss Metric for IPPM*.
- [B-6] RFC 2681 (1999), *A Round-trip Delay Metric for IPPM*.
- [B-7] RFC 3357 (2002), *One-way Loss Pattern Sample Metrics*.
- [B-8] RFC 3393 (2002), *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics IPPM*.
- [B-9] RFC 3432 (2002), *Network performance measurement for periodic streams*.
- [B-10] RFC 3611 (2003), *RTP Control Protocol Extended Reports (RTPC XR)*.
- [B-11] ETSI TS 101 329-5 V1.1.2 (2002), *TIPHON release 3, End-to-End Quality of Service in TIPHON Systems, Part 5 Quality of Service (QoS) Measurement Methodologies*.

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, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication