



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.360.3

(05/2002)

SÉRIE E: EXPLOITATION GÉNÉRALE DU RÉSEAU,
SERVICE TÉLÉPHONIQUE, EXPLOITATION DES
SERVICES ET FACTEURS HUMAINS

Plan d'acheminement international

**Routage en fonction de la qualité de service
et méthodes associées d'ingénierie du trafic –
Méthodes de gestion des ressources en
fonction de la qualité de service**

Recommandation UIT-T E.360.3

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE E
**EXPLOITATION GÉNÉRALE DU RÉSEAU, SERVICE TÉLÉPHONIQUE, EXPLOITATION DES
SERVICES ET FACTEURS HUMAINS**

EXPLOITATION DES RELATIONS INTERNATIONALES	
Définitions	E.100–E.103
Dispositions de caractère général concernant les Administrations	E.104–E.119
Dispositions de caractère général concernant les usagers	E.120–E.139
Exploitation des relations téléphoniques internationales	E.140–E.159
Plan de numérotage du service téléphonique international	E.160–E.169
Plan d'acheminement international	E.170–E.179
Tonalités utilisées dans les systèmes nationaux de signalisation	E.180–E.189
Plan de numérotage du service téléphonique international	E.190–E.199
Service mobile maritime et service mobile terrestre public	E.200–E.229
DISPOSITIONS OPÉRATIONNELLES RELATIVES À LA TAXATION ET À LA COMPTABILITÉ DANS LE SERVICE TÉLÉPHONIQUE INTERNATIONAL	
Taxation dans les relations téléphoniques internationales	E.230–E.249
Mesure et enregistrement des durées de conversation aux fins de la comptabilité	E.260–E.269
UTILISATION DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE INTERNATIONAL POUR LES APPLICATIONS NON TÉLÉPHONIQUES	
Généralités	E.300–E.319
Phototélégraphie	E.320–E.329
DISPOSITIONS DU RNIS CONCERNANT LES USAGERS	
PLAN D'ACHEMINEMENT INTERNATIONAL	E.350–E.399
GESTION DE RÉSEAU	
Statistiques relatives au service international	E.400–E.409
Gestion du réseau international	E.410–E.419
Contrôle de la qualité du service téléphonique international	E.420–E.489
INGÉNIERIE DU TRAFIC	
Mesure et enregistrement du trafic	E.490–E.505
Prévision du trafic	E.506–E.509
Détermination du nombre de circuits en exploitation manuelle	E.510–E.519
Détermination du nombre de circuits en exploitation automatique et semi-automatique	E.520–E.539
Niveau de service	E.540–E.599
Définitions	E.600–E.649
Ingénierie du trafic des réseaux à protocole Internet	E.650–E.699
Ingénierie du trafic RNIS	E.700–E.749
Ingénierie du trafic des réseaux mobiles	E.750–E.799
QUALITÉ DE SERVICE: CONCEPTS, MODÈLES, OBJECTIFS, PLANIFICATION DE LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT	
Termes et définitions relatifs à la qualité des services de télécommunication	E.800–E.809
Modèles pour les services de télécommunication	E.810–E.844
Objectifs et concepts de qualité des services de télécommunication	E.845–E.859
Utilisation des objectifs de qualité de service pour la planification des réseaux de télécommunication	E.860–E.879
Collecte et évaluation de données d'exploitation sur la qualité des équipements, des réseaux et des services	E.880–E.899

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

Recommandation UIT-T E.360.3

Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de gestion des ressources en fonction de la qualité de service

Résumé

Les Recommandations de la série E.360.x décrivent, analysent et recommandent des méthodes qui permettent de commander la réponse d'un réseau à des demandes de trafic et à d'autres stimuli (défaillances de liaison ou de nœud, etc.). Les fonctions examinées et les recommandations formulées concernant l'ingénierie du trafic (TE, *traffic engineering*) concordent avec la définition donnée dans le document cadre du groupe TEWG (*traffic engineering working group*) du Groupe de travail d'ingénierie Internet (IETF, *Internet engineering task force*):

L'ingénierie du trafic Internet a pour objet de chercher à optimiser la performance des réseaux opérationnels. Elle englobe la mesure, la modélisation, la caractérisation et le contrôle du trafic Internet ainsi que l'application de techniques permettant d'atteindre certains objectifs de performance, notamment en termes de fiabilité et de rapidité de circulation du trafic dans le réseau, d'efficacité d'utilisation des ressources du réseau et de planification de la capacité du réseau.

Les méthodes examinées dans la série E.360.x se rapportent au routage d'appel et de connexion, à la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, à la gestion des tables de routage, au routage de transport dynamique, à la gestion de la capacité et aux exigences opérationnelles. Certaines de ces méthodes sont également examinées ou sont étroitement liées à celles proposées dans les Recommandations UIT-T E.170 à E.179 et E.350 à E.353 pour le routage, E.410 à E.419 pour la gestion de réseau et E.490 à E.780 pour d'autres aspects de l'ingénierie du trafic.

Les méthodes recommandées sont censées s'appliquer aux réseaux IP, ATM et TDM, ainsi qu'à l'interfonctionnement de ces types de réseau. Presque toutes les méthodes recommandées sont déjà largement appliquées dans des réseaux opérationnels dans le monde entier, en particulier dans des RTPC employant la technologie TDM. Il s'avère toutefois qu'elles peuvent être étendues aux réseaux utilisant des technologies de transmission par paquets – à savoir IP et ATM – et, pour les réseaux qui évoluent vers ces technologies, il est important de disposer de bases solides relatives aux méthodes applicables. Les méthodes recommandées dans cette série de Recommandations sont donc destinées à servir de base à des méthodes requises spécifiques et, en fonction des besoins, à l'élaboration de protocoles d'implémentation des méthodes dans des réseaux IP, ATM et TDM.

La présente Recommandation porte notamment sur des méthodes de gestion du trafic par le biais du contrôle des fonctions de routage, qui comprennent la gestion des ressources en fonction de la qualité de service. Elle expose les résultats de modèles d'analyse, illustrant les compromis entre diverses approches. Sur la base de ces résultats et compte tenu des pratiques établies et de l'expérience acquise, elle préconise des méthodes à prendre en considération dans les réseaux évoluant vers les technologies IP, ATM et/ou TDM.

Source

La Recommandation E.360.3 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 2 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 16 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 2003

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.....	2
3	Définitions	2
4	Abréviations.....	2
5	Identification de la classe de service, détermination de la table de routage en fonction de règles et étapes à suivre pour la gestion des ressources de QS.....	2
5.1	Identification de la classe de service	2
5.2	Détermination de la table de routage en fonction de règles	2
5.3	Etapes à suivre pour la gestion des ressources de QS	4
6	Principes d'attribution, de protection et de réservation dynamiques de la largeur de bande.....	5
7	Attribution, protection et réservation de la largeur de bande par réseau virtuel.....	8
7.1	Attribution/réservation de la largeur de bande par réseau VNET – Cas d'un réseau à maillage dense.....	12
7.2	Attribution/réservation de la largeur de bande par réseau VNET – Cas d'un réseau à maillage peu dense.....	15
8	Attribution, protection et réservation de largeur de bande par flux.....	17
8.1	Attribution/réservation de largeur de bande par flux – Cas d'un réseau à maillage dense	17
8.2	Attribution/réservation de la largeur de bande par flux – Cas d'un réseau à maillage peu dense	19
9	Contrôle du trafic au niveau paquet.....	21
10	Autres contraintes associées à la gestion des ressources de QS	23
11	Gestion des ressources de QS pour un routage interdomaine.....	24
12	Conclusions/recommandations	25
Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic		26
A.1	Performance associée aux méthodes de réservation de la largeur de bande ..	26
A.2	Performance d'un réseau multiservice: comparaison d'une attribution de largeur de bande par réseau VNET et d'une attribution de largeur de bande par flux	28
A.3	Performance d'un réseau multiservice: comparaison entre un réseau non hiérarchique à zone unique et un réseau hiérarchique à deux niveaux à zones multiples	31
A.4	Qualité de réseau multiservice: nécessité de commutation MPLS et de services différenciés	33

Introduction

Les fonctions liées à la gestion des ressources de qualité de service QS (appelée parfois routage en fonction de la qualité de service) comprennent entre autres: l'identification de la classe de service, la détermination de la table de routage, l'admission de connexion, l'attribution de la largeur de bande, la protection de la largeur de bande, la réservation de la largeur de bande, le routage selon la priorité, la mise en file d'attente selon la priorité. On peut grossièrement classer ces fonctions en deux catégories:

- 1) celle des fonctions de contrôle au niveau connexion qui permettent d'atteindre de manière économique les objectifs de qualité d'écoulement du trafic requis au niveau connexion;
- 2) celle des fonctions de contrôle au niveau paquet qui permettent d'atteindre les objectifs de qualité d'écoulement du trafic requis au niveau paquet.

La catégorie 1) fait l'objet des § 5 à 8, les fonctions de la catégorie 2) étant traitées au § 9.

Les méthodes de gestion des ressources de QS ont été appliquées de manière concluante dans des réseaux TDM [A98]; on les utilise à présent également pour les réseaux IP et les réseaux ATM. Suivant l'une de ces méthodes, on répartit la largeur de bande (attribution par pas discrets) entre plusieurs réseaux virtuels (VNET), à chacun desquels est affecté un niveau de priorité donné: élevé (service clé), normal (service normal) ou faible (service assuré au mieux). Voici quelques exemples de services correspondant à différentes catégories de réseau VNET:

- les services clés à priorité élevée tels que la téléphonie;
- les services à priorité normale tels le service de téléphonie à débit constant, interactif et sensible au temps de transmission, le service de téléphonie IP à débit variable, interactif et sensible au temps de transmission et le service de transfert de fichiers sur le Web à débit variable, non interactif et insensible au temps de transmission;
- les services assurés au mieux à faible priorité tels que la messagerie vocale, le courrier électronique ou le transfert de fichiers (services à débit variable, non interactifs et insensibles au temps de transmission).

Les nœuds périphériques peuvent modifier la largeur de bande pour un réseau VNET, soit par flux (par connexion) soit en se fondant sur la demande de largeur de bande totale cumulée pour le réseau VNET. Dans ce dernier cas d'attribution de largeur de bande par réseau VNET fondée sur la demande de largeur de bande cumulée, les nœuds périphériques modifient périodiquement par pas discrets l'attribution de largeur de bande (diminution ou accroissement), par exemple sur les chemins commutés par étiquette pour un routage fondé sur des contraintes (CRLSP, *constraint-based routing label switched paths*) constituant un réseau VNET.

Dans le cas de notre exemple de méthode de gestion des ressources de QS (censée être fondée sur la commutation multiprotocole avec étiquette (MPLS, *multiprotocol label switching*), le contrôle d'attribution de largeur de bande pour chaque chemin de réseau CRLSP VNET dépend des besoins de largeur de bande estimés, de l'utilisation de la largeur de bande ainsi que de l'état des liaisons de ce chemin CRLSP. La décision d'accroître ou de diminuer la largeur de bande d'un réseau VNET sur un chemin CRLSP est déterminée par le nœud périphérique ou nœud d'origine (ON, *originating node*), qui effectue les modifications d'attribution de largeur de bande à l'aide d'une procédure donnée de modification pour les chemins CRLSP utilisant la commutation MPLS. Dans le cadre de la procédure d'attribution de la largeur de bande, on peut utiliser le protocole de distribution d'étiquettes pour un routage fondé sur des contraintes (CRLDP, *constraint-based routing label distribution protocol*) [J00] ou le protocole de réservation de ressources (RSVP-TE, *resource reservation protocol-traffic engineering*) [AGBLSS00], par exemple, pour spécifier les paramètres nécessaires dans un message de demande d'étiquette afin:

- a) de solliciter des modifications d'attribution de largeur de bande sur chaque liaison du chemin CRLSP;

- b) afin de déterminer s'il est possible d'attribuer une largeur de bande à chacune de ces liaisons.

Si l'attribution d'une largeur de bande à une liaison n'est pas autorisée, un message de notification comprenant un paramètre de "retour en arrière" permet au nœud d'origine de rechercher une éventuelle attribution de largeur de bande sur un autre chemin CRLSP. On trouvera, en particulier, l'exemple d'un paramètre optionnel "profondeur de recherche" (DoS, *depth-of-search*) figurant dans le message de demande d'étiquette et servant à contrôler l'attribution de largeur de bande sur chaque liaison d'un chemin CRLSP. On trouvera aussi l'exemple d'un paramètre optionnel de modification figurant dans le message de demande d'étiquette et permettant la modification dynamique des paramètres de trafic attribués (tels que le débit de données maximal, le débit de données garanti, etc.) d'un chemin CRLSP existant. On trouvera enfin l'exemple d'un paramètre "de retour en arrière" figurant dans le message de notification et permettant à un nœud périphérique de rechercher d'autres chemins CRLSP lorsqu'un chemin CRLSP donné ne peut acheminer une demande de largeur de bande.

On peut ainsi appliquer une méthode de gestion des ressources de QS par flux (ou par appel, ou encore par demande de connexion); on peut également l'appliquer avec profit aux faisceaux de trafic (connus également sous le terme de "tuyaux de largeur de bande" ou "faisceaux virtuels"), c'est-à-dire aux chemins CRLSP pour les réseaux IP ou aux conduits virtuels commutés (SVP, *switched virtual path*) pour les réseaux ATM.

La gestion des ressources de QS permet d'intégrer, sur un réseau partagé, des services appartenant à de nombreuses classes, notamment:

- la classe des services à débit constant: téléphonie, transmission de données numériques commutées RNIS-LB à 64, 384 ou 1536 kbit/s, transit international commuté, communications de défense prioritaires, réseaux privés virtuels, libre appel (800), transmission de préférence par fibres optiques, etc.;
- la classe des services en temps réel à débit variable: téléphonie IP, vidéo comprimée, etc.;
- la classe des services en temps différé à débit variable: transfert de fichiers sur le Web, vérification des cartes de crédit, etc.;
- la classe des services à débit binaire non spécifié: messagerie vocale, messagerie électronique, transfert de fichiers, etc.

Nous illustrons dans la suite de la présente Recommandation les principes relatifs à la gestion des ressources de QS, qui, comme indiqué plus haut, repose sur l'intégration de nombreuses classes de trafic.

Recommandation UIT-T E.360.3

Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de gestion des ressources en fonction de la qualité de service

1 Domaine d'application

Les Recommandations de la série E.360.x décrivent, analysent et recommandent des méthodes qui permettent de commander la réponse d'un réseau à des demandes de trafic et à d'autres stimuli (défaillances de liaison ou de nœud, etc.). Les fonctions examinées et les recommandations formulées concernant l'ingénierie du trafic (TE, *traffic engineering*) concordent avec la définition donnée dans le document cadre du groupe TEWG (*traffic engineering working group*) de l'IETF (*Internet engineering task force*).

L'ingénierie du trafic Internet a pour objet de chercher à optimiser la performance des réseaux opérationnels. Elle englobe la mesure, la modélisation, la caractérisation et le contrôle du trafic Internet ainsi que l'application de techniques permettant d'atteindre certains objectifs de performance, notamment en termes de fiabilité et de rapidité de circulation du trafic dans le réseau, d'efficacité d'utilisation des ressources du réseau et de planification de la capacité du réseau.

Les méthodes examinées dans la série E.360.x se rapportent au routage d'appel et de connexion, à la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, à la gestion des tables de routage, au routage de transport dynamique, à la gestion de la capacité et aux exigences opérationnelles. Certaines de ces méthodes sont également examinées ou sont étroitement liées à celles proposées dans les Recommandations E.170 à E.179 et E.350 à E.353 pour le routage, E.410 à E.419 pour la gestion de réseau et E.490 à E.780 pour d'autres aspects de l'ingénierie du trafic.

Les méthodes recommandées sont censées s'appliquer aux réseaux IP, ATM et TDM, ainsi qu'à l'interfonctionnement de ces types de réseau. Presque toutes les méthodes recommandées sont déjà largement appliquées dans des réseaux opérationnels dans le monde entier, en particulier dans des RTPC employant la technologie TDM. Il s'avère toutefois qu'elles peuvent être étendues aux réseaux utilisant des technologies de transmission par paquets – à savoir IP et ATM – et, pour les réseaux qui évoluent vers ces technologies, il est important de disposer de bases solides relatives aux méthodes applicables. Les méthodes recommandées dans cette série de Recommandations sont donc destinées à servir de base à des méthodes requises spécifiques et, en fonction des besoins, à l'élaboration de protocoles d'implémentation des méthodes dans des réseaux IP, ATM et TDM.

Ainsi, les méthodes dont il est question dans cette série de Recommandations portent sur:

- la gestion du trafic par le biais du contrôle des fonctions de routage, qui comprennent le routage d'appel (conversion de numéro ou de nom en adresse de routage), le routage de connexion, la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, la gestion des tables de routage et le routage de transport dynamique;
- la gestion de capacité par le biais du contrôle de la conception du réseau, y compris la conception du routage;
- les exigences opérationnelles relatives à la gestion du trafic et à la gestion de la capacité, y compris la prévision, la surveillance de la performance et l'ajustement des réseaux à court terme.

La présente Recommandation expose les résultats de modèles d'analyse, illustrant les compromis entre diverses approches. Sur la base de ces résultats et compte tenu des pratiques établies et de l'expérience acquise, elle préconise des méthodes à prendre en considération dans les réseaux évoluant vers les technologies IP, ATM et/ou TDM.

2 Références normatives

Voir le paragraphe 2/E.360.1.

3 Définitions

Voir le paragraphe 3/E.360.1.

4 Abréviations

Voir le paragraphe 4/E.360.1.

5 Identification de la classe de service, détermination de la table de routage en fonction de règles et étapes à suivre pour la gestion des ressources de QS

Les fonctions de gestion des ressources de QS comprennent l'identification de la classe de service, la détermination de la table de routage, l'admission de connexion, l'attribution de la largeur de bande, la protection de la largeur de bande, la réservation de la largeur de bande, le routage selon la priorité et la mise en file d'attente selon la priorité. L'identification de la classe de service et la détermination de la table de routage font l'objet du présent paragraphe.

5.1 Identification de la classe de service

Gérer les ressources de QS nécessite d'identifier la classe de service ainsi que les paramètres afférents, au nombre desquels on peut compter:

- l'identité de service (SI, *service identity*),
- le réseau virtuel (VNET, *virtual network*),
- la rapidité de liaison (LC, *link capability*),
- les paramètres de QS et de seuils de trafic.

Le paramètre SI indique le service réellement associé à l'appel. Le paramètre VNET décrit les paramètres d'attribution de largeur de bande et de table de routage à utiliser pour l'appel. Le paramètre LC donne les caractéristiques physiques de la liaison (liaison par fibres optiques, liaison radioélectrique, liaison par satellite ou équipement de multiplication de circuit numérique (DCME, *digital circuit multiplexing equipment*) par exemple) qui sont exigées, préférées pour l'appel. Ces trois paramètres SI, VNET et LC constituent la classe de service, qui, associée au numéro de nœud de réseau, permet d'accéder aux données de la table de routage.

Outre le contrôle de l'attribution de la largeur de bande, les procédures de gestion des ressources de QS servent à vérifier le temps de transfert de bout en bout, la variation de ce temps de transfert ainsi que des paramètres de qualité de transmission tels que les affaiblissements, les échos ou le bruit (voir le paragraphe 10 ci-après).

Pour déterminer la classe de service, il faut commencer par convertir le numéro ou le nom au niveau du nœud d'origine afin d'obtenir l'adresse de routage du nœud de destination. Si l'on utilise un routage à entrées/sorties multiples, on obtient plusieurs adresses de nœud de destination pour l'appel. Pour déterminer la classe de service associée à l'appel, on utilise également d'autres informations relatives à l'appel, telles que les caractéristiques de liaison, les éléments d'information des messages Q.931, les chiffres d'échange d'informations, ainsi que les informations de routage associées aux points de contrôle du réseau.

5.2 Détermination de la table de routage en fonction de règles

Pour déterminer les paramètres de classe de service, on applique certaines règles à des paramètres d'entrée, ce qui permet de déterminer la table de routage et les paramètres qui lui sont associés. Parmi les paramètres d'entrée permettant d'obtenir les valeurs de SI, VNET et LC, on peut citer le

plan de numérotage, le type de réseau d'origine/de destination et le type de service. Le tableau de routage et les paramètres associés peuvent ensuite être obtenus grâce à l'application des règles de routage aux paramètres SI, VNET et LC précédemment obtenus.

Les règles de routage permettent ainsi de déterminer le paramètre SI compte tenu par exemple du type de réseau d'origine, du type de réseau de destination, du type de service de signalisation et du type de service associé au numéro/nom composé. On peut en principe déduire le type de réseau d'origine de la connaissance du type de liaison entrante dans le domaine du réseau connecté, relié à un emplacement d'équipement de client directement connecté (on parle aussi d'équipement nodal), à un opérateur de centre de commutation local à accès commuté ou à l'emplacement d'un opérateur international. De même, on détermine le type de réseau de destination en se fondant sur le plan de numérotage utilisé: il peut s'agir d'un emplacement de client directement connecté (nodal) [cas d'un plan de numérotage privé (au sein par exemple d'un réseau privé virtuel)], d'un emplacement de client à accès commuté [cas d'un plan de numérotage national (NNP, *national numbering plan*)] ou d'un emplacement de client international (cas du plan de numérotage international E.164). Le type de service de signalisation est obtenu à partir de l'information de capacité support figurant dans les messages de signalisation, à partir des chiffres d'information figurant dans les codes de chiffres composés, à partir du plan de numérotage ou à partir d'autres informations de signalisation; il peut s'agir par exemple d'un service longue distance (LDS, *long-distance service*), d'un service de réseau privé virtuel (VPN, *virtual private network*) ou d'un service numérique commuté RNIS (SDS, *switched digital service*). Enfin, le type de service associé au numéro composé est établi à partir d'indicatifs particuliers du numéro composé, tels que l'indicatif 800 (service de libre appel) ou l'indicatif 900 (service d'annonce de masse). Le type de réseau d'origine, le type de réseau de destination, le type de service de signalisation et le type de service associé au numéro composé sont ensuite utilisés conjointement pour obtenir l'identité de service SI.

On trouvera ci-après des exemples d'utilisation de règles de routage pour la détermination de la classe de service. Ainsi, on détermine l'identité de service SI d'un service longue distance (LDS) grâce aux informations suivantes:

- 1) le type de réseau d'origine correspond au réseau d'un opérateur de centre de commutation local à accès commuté, car l'appel provient d'un nœud exploité par un tel opérateur;
- 2) le type de réseau de destination correspond au réseau d'un opérateur de centre de commutation local à accès commuté; il est obtenu à partir du numéro composé appartenant à un plan de numérotage national;
- 3) le type de service de signalisation correspond à un service longue distance; il est obtenu à partir du plan de numérotage national;
- 4) le type de service associé au numéro composé n'est pas utilisé pour déterminer l'identité de service d'un service longue distance.

Le paramètre SI d'un service de libre appel (indicatif 800) est déterminé de manière analogue, si ce n'est que:

- le type de service associé au numéro composé est obtenu à partir du numéro de libre appel composé (comportant l'indicatif 800).

Le paramètre SI d'un service de réseau VPN est déterminé de manière analogue, si ce n'est que:

- le type de service de signalisation est obtenu sur la base du client d'origine ayant accès aux services d'un réseau intelligent (RI) VPN.

Une table de mappage permet de déterminer l'identité de service à partir des quatre paramètres d'entrée susmentionnés. Le personnel administratif peut mettre à jour cette table et notamment y ajouter des informations relatives à de nouveaux services sans modification de traitement informatique au niveau des nœuds. Le paramètre VNET est obtenu à partir d'une table de correspondance dont SI et la capacité de service support constituent les entrées.

Le Tableau A.1/E.360.2 comprend une table de mappage entre réseaux VNET et paramètres SI. Pour les paramètres de routage relatifs aux services prioritaires ou aux services clés on se reportera aux paragraphes suivants.

Le choix de la capacité de liaison permet d'acheminer les appels sur des liaisons présentant les caractéristiques voulues. Un ensemble de caractéristiques de liaison peut être exigé, préféré ou à éviter pour un appel telles que la transmission par fibres optiques, la transmission par voie radioélectrique, la transmission par satellite ou la transmission avec compression vocale. On peut déterminer la capacité de liaison requise pour l'appel grâce à l'identité de service associée à ce dernier ou grâce à d'autres informations figurant dans le message de signalisation ou dans le numéro de routage. La logique de routage permet d'éviter d'acheminer l'appel sur les liaisons ne présentant pas les bonnes caractéristiques et de chercher la capacité répondant le mieux aux exigences.

5.3 Etapes à suivre pour la gestion des ressources de QS

La méthode de gestion des ressources de QS donnée à titre d'exemple comprend les étapes décrites ci-après:

au niveau du nœud d'origine, on détermine le nœud de destination (DN, *destination node*), l'identité de service, le réseau VNET et les informations de gestion des ressources de QS, en utilisant la base de données de conversion numéro/nom et d'autres informations de service disponibles au niveau de ce nœud.

On utilise les informations relatives au nœud de destination et à la gestion des ressources de QS pour accéder au réseau VNET et à la table de routage applicables entre le nœud d'origine et le nœud de destination.

La demande de connexion est établie sur le premier chemin disponible dans la table de routage, le choix des ressources de transmission requises étant fondé sur les données de gestion des ressources de QS.

Dans un premier temps, le nœud d'origine convertit les chiffres composés pour déterminer l'adresse du nœud de destination. Si l'on utilise un routage à entrées/sorties multiples, on obtient pour la demande de conversion plusieurs adresses de nœuds de destination. La demande de connexion comprend d'autres informations telles que les caractéristiques de liaison, les éléments d'information de message Q.931, les chiffres d'échange d'informations (II, *information interchange*) et les informations de routage associées aux points de commande de service (SCP, *service control point*); ces informations permettent de déterminer les paramètres de gestion des ressources de QS (SI, VNET, LC et les seuils de QS/de trafic). SI indique le service effectivement associé à la demande de connexion: VNET décrit les paramètres d'attribution de largeur de bande et de table de routage à utiliser pour la demande, et LC donne les caractéristiques de liaison (liaison par fibres optiques, liaison radioélectrique, liaison par satellite, ou liaison avec compression vocale) exigées, préférées ou à éviter pour cette demande. Chaque demande de connexion est classée selon son identité de service. Une demande de connexion pour un service donné se voit attribuer une largeur de bande équivalente EQBW (*equivalent bandwidth*) et est acheminée sur un réseau VNET particulier. La largeur de bande équivalente pour les services à débit constant correspond au débit binaire moyen ou au débit admissible. Dans le cas des services à débit variable, EQBW dépend du débit admissible, du débit maximal, voire également d'autres paramètres. Cette largeur de bande peut correspondre à 64 kbit/s dans le cas de communications vocales à débit constant, à 64 kbit/s pour des communications numériques commutées RNIS à débit constant de 64 kbit/s, ou à 384 kbit/s pour des communications numériques commutées RNIS à débit constant de 384 kbit/s (pour plus de détails sur la largeur de bande équivalente et sur le contrôle d'admission de connexion, on se reportera au paragraphe 9).

Dans un deuxième temps, on détermine le réseau VNET grâce à la valeur du paramètre SI. Dans le cas d'un réseau multiservice faisant l'objet d'une gestion des ressources de QS, la largeur de bande

est soit répartie entre les différents réseaux virtuels et protégée en fonction des besoins, soit partagée. Dans les conditions normales de fonctionnement du réseau (pas de blocage ni de retard), l'ensemble de la largeur de bande disponible est partagé entre tous les services. Lorsqu'un réseau VNET i donné connaît des retards ou des blocages, la procédure de réservation de la largeur de bande permet d'empêcher que la capacité attribuée à ce réseau VNET ne soit utilisée pour acheminer du trafic dérivé ou du trafic associé à d'autres réseaux VNET. On associe à chaque réseau VNET un paramètre de largeur de bande moyenne (BW_{avg}, *average bandwidth*) et un paramètre de largeur de bande maximale (BW_{max}, *maximum bandwidth*), afin de contrôler l'attribution et la protection de la largeur de bande (ces points font l'objet du paragraphe 6). Comme on l'a indiqué plus haut, le choix de la capacité de liaison permet d'acheminer les demandes de connexion sur des liaisons de transmission présentant les caractéristiques voulues.

Dans un troisième temps, la table de routage associée au réseau VNET permet de déterminer la capacité de réseau pouvant être choisie pour une demande de connexion donnée. Cela étant, le nœud d'origine prend d'abord le chemin de premier choix déterminé par les règles de choix de la table de routage. La question de savoir si une certaine largeur de bande peut être attribuée à la demande de connexion sur le chemin de premier choix est déterminée par les règles de gestion des ressources de QS exposées ci-après. Si ce chemin n'est pas accessible, le nœud d'origine essaie un chemin de remplacement déterminé par les règles de routage FR/routage fixe, *fixed routing*), TDR (routage en fonction du temps, *time-dependant routing*) SDR (routage en fonction de l'état, *state-dependant routing*), ou EDR (routage en fonction des événements, *event-dependant routing*) figurant dans la Rec. UIT-T E.360.2. Une fois encore, la question de savoir si une certaine largeur de bande peut être attribuée à la demande de connexion sur le chemin de remplacement est déterminée par les règles de gestion des ressources de QS.

6 Principes d'attribution, de protection et de réservation dynamiques de la largeur de bande

Les fonctions de gestion des ressources de QS comprennent l'identification de la classe de service, la détermination de la table de routage, l'admission de connexion, l'attribution de la largeur de bande, la protection de la largeur de bande, la réservation de la largeur de bande, le routage selon la priorité et la mise en file d'attente selon la priorité. L'admission de connexion, l'attribution, la protection et la réservation de la largeur de bande font l'objet du présent paragraphe.

Les contrôles d'attribution des ressources et les mécanismes de priorité, ainsi que les informations liées à leur mise en œuvre, sont précisés dans le présent paragraphe. Dans la méthode de gestion des ressources de QS donnée à titre d'exemple, le contrôle d'admission de connexion/d'attribution de largeur de bande pour chaque liaison du chemin est exécuté sur la base de l'état de la liaison. Le nœud d'origine peut choisir n'importe quel chemin dont la première liaison satisfait aux critères de gestion des ressources de QS. Si une liaison ultérieure sur ce chemin ne satisfait pas aux exigences requises, un message de libération comportant le paramètre "retour en arrière/largeur de bande non disponible" est renvoyé au nœud d'origine afin qu'un chemin de remplacement puisse être choisi. Le choix de chemin EDR (qui implique l'utilisation d'un message de libération comportant le paramètre "retour en arrière/largeur de bande non disponible en vue de chercher un chemin disponible) constitue une alternative à la méthode de choix de chemin SDR (qui peut induire l'inondation du réseau par des paramètres d'état de liaison variant fréquemment, tels que le débit de cellules disponible). Les avantages et inconvénients du routage EDR avec retour en arrière et du routage SDR avec inondation du réseau par des informations d'état de liaison sont examinés plus avant dans la Rec. UIT-T E.360.6. En particulier, si l'on préfère le premier au deuxième, l'inondation du réseau par des paramètres état de liaison est moins fréquente, ce qui permet d'augmenter la taille des groupes homologues. Cette technique d'inondation peut en effet nécessiter des ressources importantes au niveau des nœuds (traitement des messages) et des liaisons (largeur de bande occupée par les messages).

Deux types de gestion des ressources de QoS sont étudiés dans la présente Recommandation: la gestion par réseau VNET (per-VNET, *per-virtual-network*) et la gestion par flux. Dans le premier cas (appliqué par exemple pour les réseaux IP à commutation MPLS), la gestion de la largeur de bande cumulée pour le chemin LSP vise à satisfaire à l'ensemble des besoins des services de réseaux VNET en termes de largeur de bande. Une largeur de bande est attribuée à chaque flux circulant sur un chemin CRLSP, en fonction des disponibilités. Dans le second cas, une largeur de bande est attribuée à chaque flux (par exemple pour la mise en place d'un circuit SVC dans un réseau ATM) en fonction de la totalité de la largeur de bande disponible. Ces méthodes d'attribution de largeur de bande reposent essentiellement sur l'utilisation de techniques de réservation de la largeur de bande. Nous examinerons en premier lieu les principes de réservation de la largeur de bande, avant d'aborder la question de l'attribution des ressources de QS par réseau VNET ou par flux.

La réservation de la largeur de bande ("réservation de jonction", selon la terminologie employée pour les réseaux TDM) favorise le trafic "préféré" en lui permettant d'occuper toute la largeur de bande libre sur une liaison, le trafic "non préféré" ne pouvant utiliser à son profit une partie de la largeur de bande libre que si celle-ci dépasse un certain seuil appelé niveau de réservation. P.J. Burke [Bur61] a été le premier à analyser la manière dont évolue cette réservation de largeur de bande, en se fondant sur la solution des équations de naissance et de mort pour le modèle de réservation de largeur de bande. Le modèle de Burke a permis de comparer le niveau de perte du trafic "préféré" (trafic non soumis à des contraintes de réservation de la largeur de bande) et le niveau de perte du trafic "non préféré" (trafic soumis à des contraintes de réservation de la largeur de bande). Les pourcentages de perte du trafic "préféré" et du trafic "non préféré" sur une liaison type présentant une surcharge de trafic de 10% sont indiqués sur la Figure 1. On observe que la perte de trafic est quasi nulle dans le cas du trafic "préféré", et qu'elle est beaucoup plus grande dans le cas du trafic "non préféré". Cette différence persiste pour une grande plage de valeurs de pourcentage de charge de trafic "préféré". Ainsi, la protection par réservation de largeur de bande est un processus robuste vis-à-vis des variations de trafic, qui protège de façon dynamique et efficace les flux de trafic.

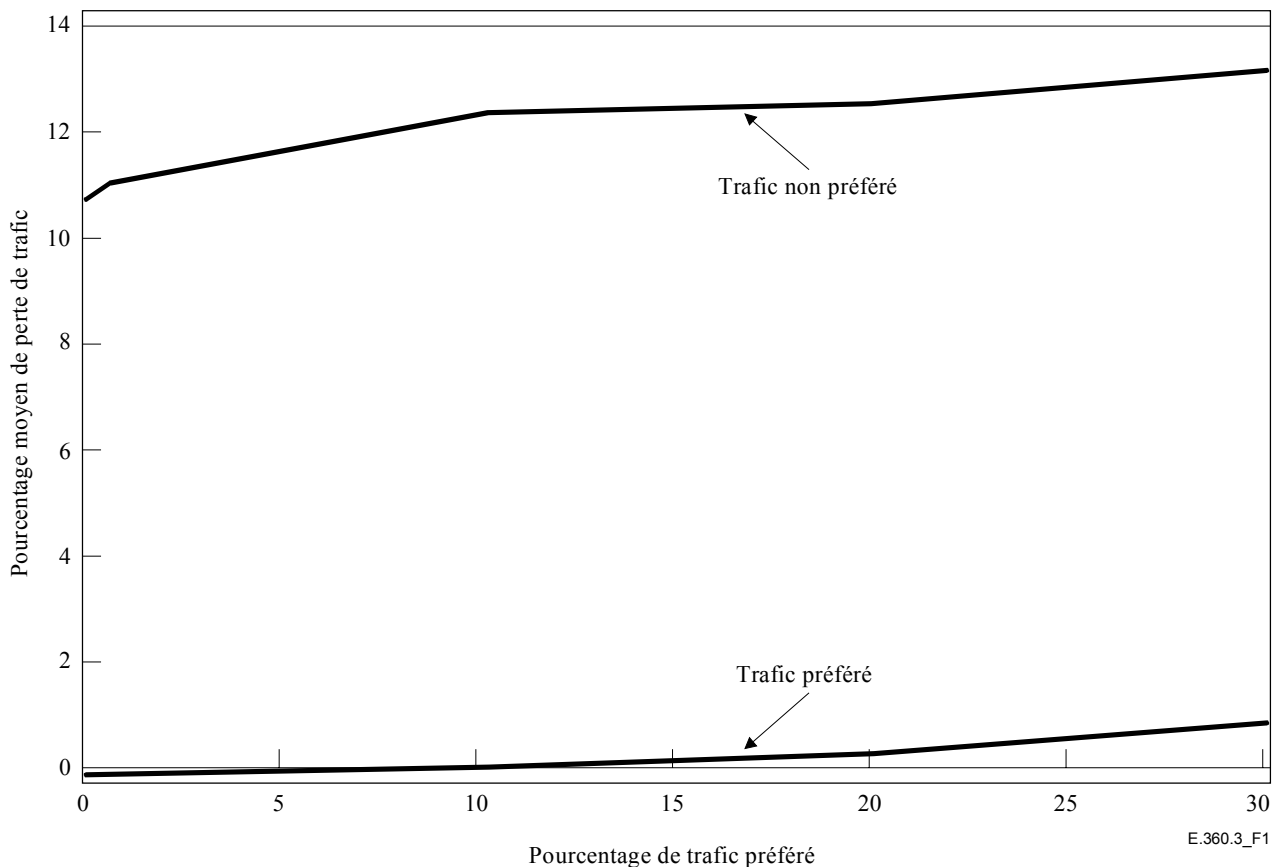


Figure 1/E.360.3 – Résultats de l'utilisation de la réservation dynamique de la largeur de bande pour une surcharge de trafic de 10%

La réservation de la largeur de bande est une technique importante utilisée dans les réseaux non hiérarchiques pour éviter "l'instabilité", susceptible de réduire considérablement la capacité d'écoulement durant les périodes d'encombrement (parfois jusqu'à 50% de la capacité de trafic d'un réseau [E.525]). Concernant ce phénomène d'instabilité, il existe une solution mathématique intéressante pour les équations de flux de réseau, que l'on trouvera dans plusieurs études [NaM73], [Kru82], [Aki84]. Ces études indiquent que les réseaux non hiérarchiques présentent deux états stables (phénomène de bistabilité) en cas d'encombrement, avec une transition possible entre ces deux états, comme l'ont montré des simulations. En effet, dans une situation d'encombrement, un réseau n'est souvent pas en mesure de faire aboutir une demande de connexion en utilisant le chemin primaire le plus court, constitué par exemple d'une liaison unique. Si un déroutage sur des chemins plus longs à liaisons multiples (2 liaisons dans notre exemple) est autorisé, on peut alors faire aboutir la demande de connexion en utilisant un chemin à deux liaisons choisi parmi un grand nombre de chemins de ce type, un seul d'entre eux devant disposer d'une largeur de bande libre suffisante sur les deux liaisons pour pouvoir router la connexion. Cette connexion sur deux liaisons mobilisant des ressources qui pourraient peut-être être affectées à deux connexions sur une liaison, il s'agit donc là d'une utilisation moins efficace des ressources de réseau. Si une grande partie de toutes les connexions ne peuvent être acheminées sur la liaison directe mais sur des chemins à deux liaisons, la capacité d'écoulement totale du réseau est réduite de moitié car la plupart des connexions utilisent deux fois plus de ressources que ce qui serait théoriquement nécessaire. Cette situation correspond donc à l'un des états stables (la plupart ou la totalité des connexions utilisent deux liaisons). L'autre état stable correspond à la situation où la plupart ou la totalité des connexions utilisent une seule liaison, ce qui correspond à la situation souhaitée.

La réservation de la largeur de bande est utilisée pour éviter ce comportement instable, de façon à ce que le trafic "préféré" sur une liaison soit routé sur le chemin primaire le plus court, alors que le

trafic "non préféré" (soumis à des contraintes de réservation de largeur de bande comme indiqué plus haut) soit dérivé sur des chemins plus longs. Ainsi, on interdit au trafic dérivé d'utiliser des chemins de remplacement plus longs, lorsque la capacité de jonction libre n'est pas suffisante sur l'ensemble des liaisons d'une connexion de remplacement (ce qui est le cas le plus probable en cas d'encombrement du réseau et des liaisons). Les études mathématiques du comportement bistable d'un réseau ont montré que la réservation de largeur de bande utilisée de cette manière pour favoriser les connexions primaires les plus courtes élimine le problème de la bistabilité dans les réseaux non hiérarchiques et permet de maintenir une certaine efficacité d'utilisation de ces réseaux en cas d'encombrement, en privilégiant les connexions acheminées sur les chemins les plus courts. De ce fait, la réservation dynamique de la largeur de bande est appliquée de manière universelle dans les réseaux TDM non hiérarchiques [E.529] et souvent dans les réseaux hiérarchiques [Mum76].

Des différences existent toutefois quant au moment et à la manière d'appliquer la réservation de largeur de bande; la réservation de largeur de bande peut ainsi être toujours active pour les connexions avec acheminement sur le chemin primaire, ou elle peut être déclenchée de manière dynamique et n'être utilisée qu'en cas d'encombrement de réseau ou de liaison. Il s'agit là de problèmes complexes de compromis en termes de capacité d'écoulement dans le réseau, puisque la réservation de largeur de bande peut induire certaines pertes de capacité d'écoulement dans les situations normales où l'encombrement est faible. En effet, si une certaine largeur de bande est réservée sur le chemin primaire sans que des demandes de connexion n'arrivent, cette capacité est réservée inutilement alors qu'elle pourrait être utilisée pour acheminer du trafic dérivé qui pourrait sinon rester bloqué. Lorsque le réseau est encombré, il est cependant essentiel de mettre en œuvre le processus de réservation de largeur de bande, afin d'empêcher l'instabilité du réseau, comme expliqué plus haut [E.525], [E.529], [E.731].

Il est recommandé d'inclure des techniques de réservation de largeur de bande dans les méthodes de routage IP ou ATM, afin de garantir une utilisation efficace des ressources du réseau, en particulier dans les situations d'encombrement. Les méthodes actuellement recommandées pour le choix de chemin (telles que les méthodes d'optimisation multichemin pour l'ingénierie du trafic dans les réseaux avec commutation MPLS basés sur le protocole IP [V99] ou le choix de chemin dans les réseaux PNNI basés sur le protocole ATM [ATM960055]) ne comportent aucune directive relative à la nécessité d'utiliser des techniques de réservation de largeur de bande. De telles directives sont toutefois essentielles pour que la qualité de fonctionnement des réseaux soit acceptable [E.737].

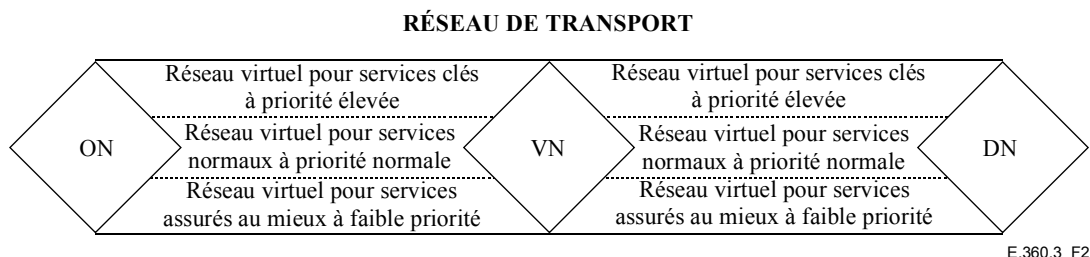
La présente Recommandation contient des exemples de techniques de réservation de largeur de bande à déclenchement dynamique, le déclenchement ne se produisant qu'en cas d'encombrement du réseau. De telles méthodes s'avèrent efficaces pour trouver un compromis entre le niveau de protection des ressources de réseau en cas d'encombrement et le niveau de disponibilité des ressources aux fins de partage lorsque les conditions le permettent. Dans le paragraphe 6, on illustre ce phénomène d'instabilité de réseau dans le cadre d'études de simulation et on montre que la réservation de largeur de bande est efficace pour éliminer cette instabilité. On a également pu montrer que le mécanisme de réservation de la largeur de bande constituait une technique efficace de partage de la largeur de bande entre services acheminés sur un chemin primaire. Dans ce cas, la réservation sert à privilégier une classe de service particulière (plutôt qu'une autre) en lui attribuant une capacité de liaison sur le chemin primaire en cas d'encombrement. Ces deux propriétés du mécanisme de réservation de la largeur de bande (éviter l'instabilité et partager la largeur de bande entre services) font l'objet des paragraphes 6, 7 et 8.

7 Attribution, protection et réservation de la largeur de bande par réseau virtuel

La gestion des ressources QS, qui fait appel à des techniques d'attribution de la largeur de bande, de réservation de la largeur de bande et de gestion des encombrements, permet d'assurer une bonne qualité de fonctionnement de réseau dans des conditions d'exploitation normales ou anormales, pour

tous les services utilisant en partage le réseau intégré. Ces méthodes ont été examinées dans la pratique pour les réseaux TDM [A98] et dans le cadre d'études de modélisation pour les réseaux IP [ACFM99]. (La présente Recommandation décrit des méthodes de gestion des ressources de QS pour les réseaux IP.) Cependant, il ne s'agit pas ici de préconiser une implémentation, mais d'illustrer les principes généraux applicables à la gestion des ressources de QS.

Comme illustré sur la Figure 2, dans le réseau multiservice à gestion des ressources de QS, une largeur de bande est attribuée à chaque réseau VNET (pour les services clés à priorité élevée, pour les services à priorité normale et pour les services assurés au mieux à faible priorité).



- Méthode répartie appliquée à chaque réseau VNET.
- Le nœud d'origine attribue une largeur de bande à chaque réseau VNET en fonction de la demande.
- Concernant l'augmentation de la largeur de bande attribuée à un réseau VNET:
 - ❖ le nœud d'origine détermine le seuil de modification de la largeur de bande de la liaison (P_i) en se fondant sur:
 - la largeur de bande utilisée (BWIP);
 - la priorité de routage (service clé, normal ou assuré au mieux);
 - l'attribution de la largeur de bande moyenne BW_{avg} ;
 - le chemin choisi: de premier choix ou de remplacement;
 - ❖ le nœud d'origine envoie un message de demande d'étiquette CRLDP contenant la route explicite, le drapeau de modification, les paramètres de trafic et le seuil P_i (figurant dans l'élément priorité pour l'établissement).
- Les nœuds intermédiaires conservent l'état local de la liaison: peu chargé (LL, *lightly loaded*), très chargé (HL, *heavily loaded*), réservé (R) ou occupé (B, *busy*) compte tenu de la largeur de bande de liaison libre (ILBW).
- Les nœuds intermédiaires comparent l'état de la liaison au seuil P_i .
- Les nœuds intermédiaires envoient au routeur ILSR un message de notification indiquant retour en arrière/largeur de bande non disponible si la valeur de seuil P_i n'est pas atteinte.

ON Nœud d'origine
DN Nœud de destination
VN Nœud intermédiaire
◇ Nœud

Figure 2/E.360.3 – Gestion de la largeur de bande attribuée aux réseaux VNET

Cette largeur de bande attribuée est protégée par des méthodes de réservation si nécessaire, et elle est partagée dans les autres cas. Chaque nœud d'origine contrôle l'utilisation de la largeur de bande sur chaque chemin CRLSP et détermine si cette largeur doit être augmentée ou diminuée. Les modifications de la largeur de bande attribuée aux réseaux VNET sont déterminées par les nœuds d'origine, en fonction de la demande totale cumulée de largeur de bande (et non en fonction de la demande par connexion). Les nœuds d'origine procèdent ainsi périodiquement à des modifications par pas discrets de l'attribution de la largeur de bande aux réseaux VNET, c'est-à-dire à un accroissement ou à une diminution de la largeur de bande sur les divers chemins CRLSP. Par exemple, si des demandes de connexion correspondent à des largeurs de bande sur des chemins CRLSP supérieures à celles attribuées au moment où sont faites ces demandes, le nœud d'origine établit une demande de modification de la largeur de bande pour le ou les chemins CRLSP concernés. Cette demande peut ainsi viser à accroître la largeur de bande attribuée par un pas discret appelé ici DBW. (DBW, *delta-bandwidth*) doit avoir une valeur suffisamment élevée pour que les demandes de modification puissent être relativement peu fréquentes. Le nœud d'origine contrôle périodiquement (chaque minute par exemple) l'utilisation de la largeur de bande sur les chemins CRLSP; si la largeur de bande utilisée sur un chemin CRLSP est inférieure à la valeur attribuée sur

ce chemin, le nœud d'origine procède à une demande de modification visant à diminuer la largeur attribuée par une certaine valeur incrémentale (telle que DBW par exemple).

Pour modifier l'attribution de largeur de bande d'un réseau VNET, le nœud d'origine détermine les paramètres de gestion des ressources de QS pour ce réseau, c'est-à-dire le niveau de priorité (pour un service clé, normal ou assuré au mieux), la largeur de bande utilisée, les seuils d'attribution de la largeur de bande et le type de chemin CRLSP (de premier choix ou de remplacement). Ces paramètres permettent d'accéder à une table de profondeur de recherche (DoS, *depth-of-search*) afin de déterminer le seuil d'état de charge DoS, c'est-à-dire la "profondeur" avec laquelle une capacité de réseau peut être attribuée pour une demande de modification de la largeur de bande du réseau VNET. Ce seuil, qui permet d'attribuer une capacité de largeur de bande au réseau VNET, est utilisé par le nœud d'origine pour choisir un chemin CRLSP de premier choix sur la base des règles de choix associées à la table de routage.

Dans le cadre du réseau IP considéré ici, la méthode de choix de chemin IP peut utiliser le protocole du chemin ouvert le plus court en premier (OSPF, *open shortest path first*) pour le routage intradomaine. Dans le cas d'un routage de couche 3 reposant sur le protocole OSPF (voir l'illustration sur la Figure 3), le nœud d'origine A établit la liste des chemins les plus courts en utilisant, par exemple, l'algorithme de Dijkstra.

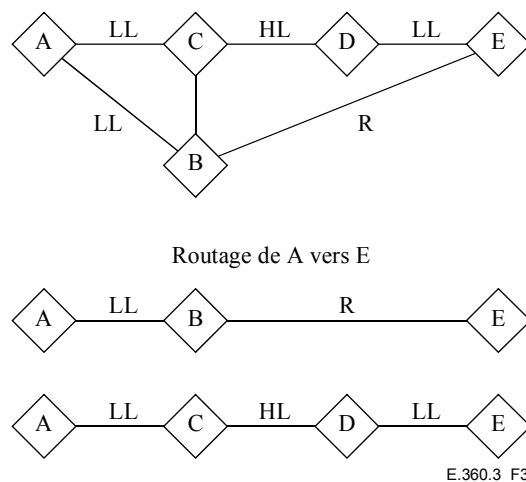


Figure 3/E.360.3 – Choix de chemin commuté par étiquette pour la demande de modification de la largeur de bande

On peut établir cette liste de chemins en se fondant sur les poids administratifs de chaque liaison, qui sont communiqués à tous les nœuds situés dans le domaine du système autonome (AS, *autonomous system*). On peut par exemple fixer ces poids à $[1 + \text{epsilon} \times \text{distance}]$, epsilon conférant un poids un peu moins important en fonction de la distance, par comparaison avec le cas du comptage des bonds. Le nœud d'origine sélectionne un chemin sur cette liste en se fondant par exemple sur l'une des méthodes de choix de routage (FR, TDR, SDR ou EDR) indiquées dans la Rec. UIT-T E.360.2.

Par exemple, pour utiliser le premier chemin CRLSP A-B-E de la Figure 3, le nœud d'origine A envoie un message de demande d'étiquette MPLS au nœud intermédiaire B, qui, à son tour, fait suivre ce message au nœud de destination E. Les nœuds B et E sont mentionnés dans le paramètre de routage explicite (ER, *explicit routing*) du message de demande d'étiquette. Chaque nœud du chemin CRLSP lit cette information ER et transmet le message de demande d'étiquette au nœud suivant mentionné dans le paramètre ER. Si l'une quelconque des liaisons du premier chemin est bloquée, un message de notification MPLS avec paramètre de retour en arrière est renvoyé au nœud A, qui tente alors un acheminement par le chemin suivant. Dans le cas d'un routage FR, ce chemin est le chemin suivant figurant sur la liste des chemins les plus courts (par exemple,

A-C-D-E). Dans le cas d'un routage TDR, c'est le chemin suivant de la table de routage pour la période de temps en cours. Dans le cas d'un routage SDR, le protocole OSPF implémente une méthode répartie d'inondation du réseau par des informations d'état de liaison, déclenchée périodiquement et/ou en cas de franchissement d'un seuil d'état de charge. Cette méthode d'inondation peut consommer beaucoup de ressources, et ne présente peut-être pas une plus grande efficacité que des méthodes de choix de chemin plus simples telles que le routage EDR. Dans le cas du routage EDR, le chemin choisi correspond au dernier chemin ayant donné satisfaction; si ce chemin ne donne pas satisfaction, un nouveau chemin de remplacement est recherché conformément à la méthode de choix de chemin EDR.

Ainsi, pour utiliser le chemin CRLSP choisi, le nœud d'origine envoie à chaque nœud intermédiaire et au nœud de destination un message de demande d'étiquette MPLS comprenant les informations de route explicite, les paramètres de trafic requis (débit maximal, débit garanti, etc.), un paramètre DoS ainsi qu'un paramètre de modification. Chaque nœud intermédiaire appliquant les règles de gestion des ressources de QS détermine si une largeur de bande correspondant à la demande de modification de largeur de bande peut être attribuée sur le chemin CRLSP de premier choix. Selon ces règles, le nœud intermédiaire détermine les états de liaison sur le chemin CRLSP en se fondant sur la largeur de bande utilisée et la largeur de bande disponible; il compare ensuite l'état de charge de la liaison au seuil DoS P_i figurant dans les paramètres de signalisation MPLS, comme on l'explique plus bas. Si la modification de largeur de bande n'est pas possible sur le chemin CRLSP de premier choix, un nœud intermédiaire ou le nœud de destination redonne le contrôle au nœud d'origine en lui envoyant un message de notification MPLS contenant le paramètre de retour en arrière. Le nœud d'origine peut alors tenter un acheminement par un chemin CRLSP de remplacement. Une fois encore, la question de savoir si une largeur de bande correspondant à la demande de modification de largeur de bande peut être attribuée sur le chemin de remplacement est déterminée en chaque nœud intermédiaire en fonction de l'état de charge de liaison du chemin CRLSP par rapport au seuil DoS. La procédure de mise en file d'attente selon la priorité est utilisée durant l'établissement du chemin CRLSP; pour chaque liaison, on fait en sorte que la priorité attribuée aux paquets dépende de la priorité de trafic sur le réseau virtuel.

Il est donc nécessaire, dans le cadre de la gestion des ressources de QS, de déterminer les états de charge des liaisons d'un chemin CRLSP pour pouvoir choisir la capacité de réseau sur le chemin CRLSP de premier choix ou sur un chemin CRLSP de remplacement. On distingue quatre états de charge pour une liaison: une liaison peu chargée (LL, *lightly loaded*), très chargée (HL, *heavily loaded*), réservée (R) ou occupée (B, *busy*). La méthode de gestion de capacité des chemins CRLSP utilise le modèle d'état de liaison et le modèle DoS pour déterminer si une demande de modification de largeur de bande peut être acceptée pour un chemin CRLSP donné. Le seuil P_i d'état de charge DoS autorisé permet de décider si on peut accepter une demande de modification de la largeur de bande sur une liaison donnée, avec une certaine "profondeur" de largeur de bande disponible. Lors de l'établissement de la demande de modification de largeur de bande, le nœud d'origine code le seuil d'état de charge DoS autorisé sur chaque liaison et place le résultat dans le paramètre de DoS P_i , qui est acheminé dans la demande d'étiquette MPLS. Si, au niveau d'un nœud intermédiaire donné, une liaison du chemin CRLSP présente une largeur de bande libre et un état de charge inférieur au seuil P_i d'état de charge DoS autorisé, ce nœud envoie au nœud d'origine un message de notification MPLS avec le paramètre de retour en arrière; le nœud d'origine peut alors acheminer la demande de modification de la largeur de bande sur un chemin CRLSP de remplacement. Ainsi, sur la Figure 3, le chemin CRLSP A-B-E peut correspondre au premier choix, la liaison A-B étant dans l'état LL et la liaison B-E dans l'état R. Si l'état de charge DoS autorisé est $P_i = HL$ dans le pire des cas (c'est-à-dire $P_i = HL$ ou $P_i = LL$), la demande de modification de largeur de bande CRLSP contenue dans le message de demande d'étiquette MPLS sera acheminée sur la liaison A-B mais ne sera pas acceptée sur la liaison B-E, cette demande de modification, placée dans le message de notification MPLS, sera alors renvoyée au nœud d'origine A, qui tentera un acheminement par le chemin de remplacement CRLSP A-C-D-E. La demande de modification sera alors acheminée avec

succès, puisque les états de charge de toutes les liaisons du chemin A-C-D-E sont, dans le pire des cas, égaux à HL.

7.1 Attribution/réservation de la largeur de bande par réseau VNET – Cas d'un réseau à maillage dense

Deux méthodes d'attribution/réservation de largeur de bande sont illustrées ici, suivant le type de topologie considérée: réseaux à maillage dense ou réseaux à maillage peu dense. Dans le cas d'un réseau à maillage dense, où l'utilisation d'un grand nombre de liaisons logiques conduit à l'acheminement d'une faible quantité de trafic par liaison, les fonctions telles que la réservation de la largeur de bande doivent être contrôlées soigneusement. Dans le cas d'un réseau à maillage peu dense, où le trafic est concentré sur des liaisons logiques beaucoup moins nombreuses et de débit bien plus important, la réservation de la largeur de bande n'a pas besoin d'être gérée aussi rigoureusement. Ainsi, dans le cas d'un réseau à maillage dense, il est utile de faire appel à des fonctions de déclenchement et de suspension automatique de réservation de la largeur de bande, suivant le niveau d'encombrement de la liaison/du réseau. Il n'est pas indispensable toutefois de mettre en œuvre ce type de fonctions complexes dans le cas d'un réseau à maillage peu dense, dans lequel une réservation de la largeur de bande peut être autorisée à tout moment sans dégradation de la performance.

Le présent paragraphe traite de l'attribution/réservation de largeur de bande pour un réseau à maillage dense, le cas d'un réseau à maillage peu dense étant traité au § 7.2.

Le seuil d'état de charge DoS dépend de la largeur de bande utilisée, de la priorité associée au réseau VNET et des seuils d'attribution de largeur de bande, comme il est indiqué dans le Tableau 1.

Tableau 1/E.360.3 – Détermination du seuil d'état de charge de profondeur de recherche (DoS) (attribution de largeur de bande par réseau VNET, cas d'un réseau à maillage dense)

Etat de charge autorisé _i	Réseau VNET à priorité élevée	Réseau VNET à priorité normale		Réseau VNET à faible priorité (au mieux)
		Chemin CRLSP de premier choix	Chemin CRLSP de remplacement	
R	Si $BWIP_i \leq 2 \times BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{avg_i}$	Interdit	Note
HL	Si $BWIP_i \leq 2 \times BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{avg_i}$	Note
LL	N'importe quel $BWIP_i$	N'importe quel $BWIP_i$	N'importe quel $BWIP_i$	Note

où:

$BWIP_i$ = largeur de bande utilisée sur le réseau VNET i

BW_{avg_i} = largeur de bande minimale garantie nécessaire pour l'acheminement sur le réseau VNET i de la charge moyenne dans la largeur de bande offerte

BW_{max_i} = largeur de bande nécessaire pour le réseau VNET i afin de remplir l'objectif de qualité d'écoulement du trafic en termes de probabilité de blocage/de retard, pour les demandes d'attribution de largeur de bande CRLSP

= $1,1 \times BW_{avg_i}$

NOTE – Une largeur de bande nulle est attribuée aux chemins CRLSP pour les réseaux VNET à faible priorité; la mise en file d'attente de paquets à faible priorité pour des services différenciés (Diffserv) n'est possible que si une largeur de bande est disponible sur une liaison donnée.

Il est à noter que les grandeurs $BWIP$, BW_{avg} et BW_{max} sont associées à un couple nœud d'origine-nœud de destination donné, et que dans le cadre de la méthode de gestion des ressources de QS, on fait la distinction entre réseau VNET à priorité élevée, réseau VNET à priorité normale et

réseau VNET à faible priorité. Un service clé accepté par un nœud d'origine pour être acheminé sur un réseau VNET à priorité élevée se voit attribuer une priorité de routage plus élevée (un niveau DoS plus grand pour le choix du chemin) qu'un service normal admis sur un réseau VNET à priorité normale. Inversement, un service assuré au mieux admis sur un réseau VNET de faible priorité se voit attribuer une priorité de routage plus faible (un niveau DoS plus petit pour le choix de chemin) qu'un service normal. Il est également à noter que ces niveaux de priorité (élevée, normale ou faible) correspondent à des priorités au niveau connexion, les priorités au niveau paquet étant traitées au paragraphe 9. Les valeurs BW_{avg_i} sont calculées périodiquement, par exemple toutes les semaines (w). On peut calculer leur moyenne sur plusieurs semaines de la manière suivante:

$$BW_{avg_i}(w) = 0,5 \times BW_{avg_i}(w - 1) + 0,5 \times [BWIP_{avg_i}(w) + BWOV_{avg_i}(w)]$$

$BWIP_{avg_i}$ = largeur de bande moyenne utilisée durant une certaine période de charge sur le réseau VNET i

$BWOV_{avg_i}$ = demande d'attribution de largeur de bande moyenne refusée (valeur de débordement) durant une certaine période de charge sur le réseau VNET i

Toutes ces variables sont relatives à un couple nœud d'origine – nœud de destination donné, et $BWIP_{avg_i}$ et $BWOV_{avg_i}$ correspondent aux valeurs moyennes de $BWIP_i$ et de $BWOV_i$ pour une certaine période de charge (par exemple, le matin, l'après-midi ou le soir en semaine, ou le samedi ou le dimanche).

**Tableau 2/E.360.3 – Détermination de l'état de charge d'une liaison
(cas d'un réseau à maillage dense)**

Etat de charge de la liaison		Condition
Occupé	B	$ILBW_k < DBW$
Réservé	R	$ILBW_k \leq Rthr_k$
Très chargé	HL	$Rthr_k < ILBW_k \leq HLthr_k$
Peu chargé	LL	$HLthr_k < ILBW_k$
où:		
$ILBW_k$	=	largeur de bande libre sur la liaison k
DBW	=	incrément de largeur de bande requis pour une demande d'attribution de largeur de bande
$Rthr_k$	=	seuil de réservation de largeur de bande pour la liaison k = $N \times 0,05 \times TBW_k$ (pour le niveau N de réservation de largeur de bande)
$HLthr_k$	=	seuil de largeur de bande correspondant à une liaison k très chargée = $Rthr_k + 0,05 \times TRBW_k$
$TRBW_k$	=	largeur de bande totale requise sur la liaison k pour pouvoir atteindre l'objectif de qualité d'écoulement du trafic en termes de probabilité de blocage/de retard, pour les demandes d'attribution de largeur de bande sur le chemin CRLSP de premier choix.

Dans le cadre de la gestion des ressources de QS, on implémente une logique de réservation de largeur de bande qui favorise les connexions acheminées sur le chemin CRLSP de premier choix dans les situations d'encombrement de liaisons. Lorsqu'un encombrement/un blocage/un retard est détecté sur une liaison, la procédure de réservation de largeur de bande est immédiatement déclenchée et un niveau de réservation N est attribué à la liaison selon l'encombrement constaté.

Ainsi, les demandes d'attribution de largeur de bande que l'on tente de dérouter sur une liaison encombrée sont soumises à la réservation de largeur de bande, et les demandes acheminées sur un chemin CRLSP de premier choix sont privilégiées pour cette liaison. Dans le même temps, on augmente les seuils d'état de charge LL et HL dans les proportions voulues afin de prendre en charge le niveau de réservation de largeur de bande N pour le réseau VNET. L'attribution de largeur de bande et les mécanismes permettant de protéger cette largeur de bande grâce à des méthodes de réservation sont illustrés sur la Figure 4. La largeur de bande est partagée dans sa totalité lorsqu'il s'agit d'une demande d'attribution en conditions normales; en revanche, en cas de surcharge, la largeur de bande est protégée par des mécanismes de réservation permettant à chaque réseau VNET d'utiliser la largeur de bande qui lui a été attribuée. Les mécanismes de réservation sont également mis en œuvre en cas de panne, mais dans ce cas, on accorde d'abord au réseau VNET à priorité élevée la largeur de bande qui lui a été attribuée avant d'accorder au réseau VNET à priorité normale la largeur de bande qui lui a été attribuée. Comme indiqué au Tableau 1, aucune largeur de bande n'est attribuée ou réservée pour un réseau VNET à faible priorité. On trouvera au paragraphe 7 d'autres illustrations de la robustesse de la méthode de réservation dynamique de largeur de bande aux fins de protection des demandes de largeur de bande préférées dans des conditions de trafic très diverses.

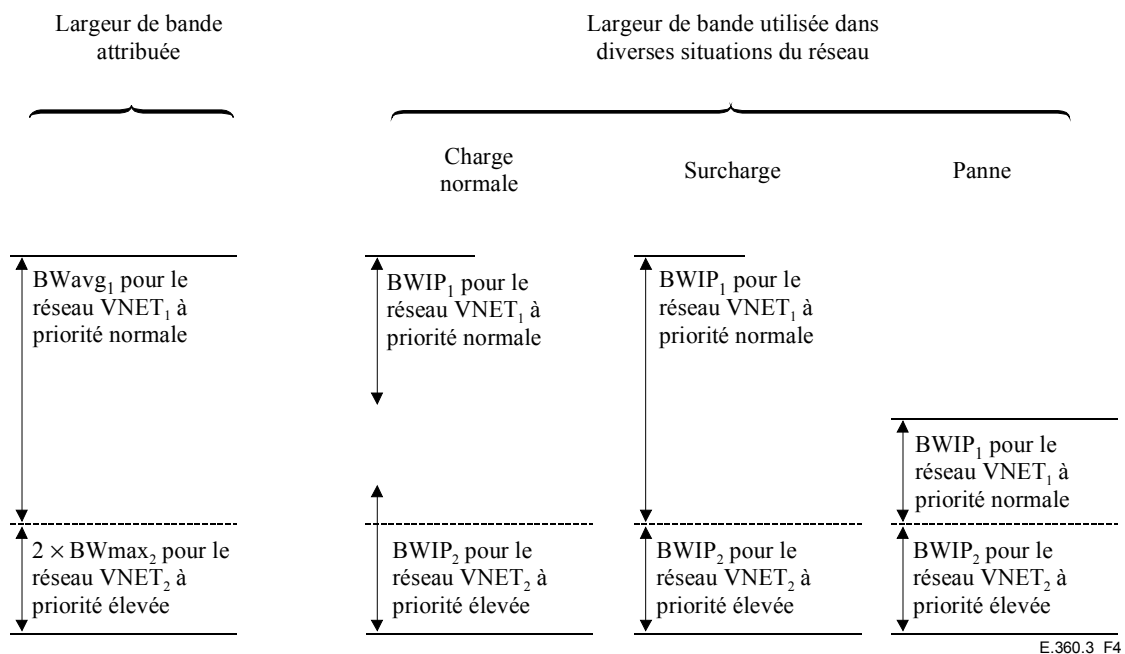


Figure 4/E.360.3 – Attribution/protection de la largeur de bande et routage selon la priorité

On calcule le niveau de réservation N (qui peut, par exemple, prendre quatre valeurs différentes) pour chaque liaison k en se fondant sur le niveau de blocage/de retard des demandes d'attribution de largeur de bande sur la liaison. Ce niveau de blocage/de retard est égal au rapport entre la valeur de l'attribution de largeur de bande totale demandée mais refusée (valeur de débordement) sur la liaison et la valeur de l'attribution de largeur de bande totale demandée sur la liaison, durant le dernier intervalle de mise à jour périodique (intervalle de trois minutes par exemple). On a donc:

$BWOV_k =$ attribution totale de largeur de bande demandée mais refusée (valeur de débordement) sur la liaison k

$BWOF_k =$ attribution de largeur de bande totale demandée ou offerte sur la liaison k

$$\begin{aligned} \text{LBL}_k &= \text{niveau de blocage/de retard sur la liaison } k \\ &= \text{BWOV}_k/\text{BWO}_k \end{aligned}$$

Si LBL_k est supérieur à une valeur seuil, le niveau de réservation N est calculé en conséquence. On calcule la valeur de la largeur de bande réservée et les états de liaison en fonction de la largeur de bande totale requise sur la liaison k (TRBW_k). TRBW_k est calculé en ligne, par exemple une fois par intervalle de temps m de 1 minute, grâce à l'approximation suivante:

$$\text{TRBW}_k(m) = 0,5 \times \text{TRBW}_k(m-1) + 0,5 \times [1,1 \times \text{TBWIP}_k(m) + \text{TBWOV}_k(m)]$$

TBWIP_k = somme de toutes les largeurs de bande utilisées (BWIP_i) par tous les réseaux VNET i pour les demandes de largeur de bande sur un chemin CRLSP de premier choix comprenant la liaison k

TBWOV_k = somme de tous les débordements de largeurs de bande (BWOV_i , *bandwidth overflow*) utilisés par tous les réseaux VNET i pour les demandes de largeur de bande sur un chemin CRLSP de premier choix comprenant la liaison k

Le niveau de réservation et les seuils d'état de charge sont donc proportionnels à la charge estimée dans la largeur de bande requise; ainsi, la largeur de bande réservée et la largeur de bande requise pour qu'une liaison se trouve dans l'état peu chargé varient dans le même sens que la charge, ce qui est conforme à notre intuition.

7.2 Attribution/réservation de la largeur de bande par réseau VNET – Cas d'un réseau à maillage peu dense

Le présent paragraphe traite de l'attribution/réservation de la largeur de bande pour un réseau à maillage peu dense. Une méthode plus simple est exposée ici pour la réservation de largeur de bande dans le cas d'un réseau à maillage peu dense: elle s'appuie sur le fait que le trafic est concentré sur un petit nombre de liaisons dorsales à forte capacité. On utilise, sur chaque liaison, un niveau faible et constant de réservation de largeur de bande, présent en permanence, comme indiqué ci-après:

si le seuil d'état de charge DoS dépend à nouveau de la largeur de bande utilisée, de la priorité assignée au réseau VNET et des seuils d'attribution de largeur de bande, seuls les états réservé (R) et non réservé (NR) sont utilisés, voir le Tableau 3 ci-dessous:

Tableau 3/E.360.3 – Détermination du seuil d'état de charge de profondeur de recherche (DoS) (attribution de largeur de bande par réseau VNET, cas d'un réseau à maillage peu dense)

Etat de charge autorisé _i	Réseau VNET à priorité élevée	Réseau VNET à priorité normale		Réseau VNET à faible priorité (au mieux)
		Chemin CRLSP de premier choix	Chemin CRLSP de remplacement	
R	Si $BWIP_i \leq 2 \times BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{avg_i}$	Interdit	Note
NR	Si $2 \times BW_{max_i} < BWIP_i$	Si $BW_{avg_i} < BWIP_i$	Si $BW_{avg_i} < BWIP_i$	Note

où:

$BWIP_i$ = largeur de bande utilisée sur le réseau VNET i

BW_{avg_i} = largeur de bande minimale garantie nécessaire pour l'acheminement sur le réseau VNET i de la charge moyenne dans la largeur de bande offerte

BW_{max_i} = largeur de bande nécessaire pour le réseau VNET i afin de remplir l'objectif de qualité d'écoulement du trafic en termes de probabilité de blocage/de retard, pour les demandes d'attribution de largeur de bande CRLSP

= $1,1 \times BW_{avg_i}$

NOTE – Une largeur de bande nulle est attribuée aux chemins CRLSP pour les réseaux VNET à faible priorité; la mise en file d'attente de paquets à faible priorité pour des services différenciés (Diffserv) n'est possible que si une largeur de bande est disponible sur une liaison donnée.

Le tableau correspondant d'états de charge pour un réseau à maillage peu dense est le suivant:

Tableau 4/E.360.3 – Détermination de l'état de charge d'une liaison (cas d'un réseau à maillage peu dense)

Etat de charge de la liaison	Condition
Occupé B	$ILBW_k < DBW$
Réservé R	$ILBW_k - RBW_{r_k} < DBW$
Non réservé NR	$DBW \leq ILBW_k - RBW_{r_k}$

où:

$ILBW_k$ = largeur de bande libre sur la liaison k

DBW = incrément de largeur de bande requis pour une demande d'attribution de largeur de bande

RBW_{r_k} = largeur de bande réservée pour la liaison k

= $0,01 \times TLBW_k$

$TLBW_k$ = largeur de bande totale sur la liaison k

Il convient de noter que le niveau de réservation est constant: il ne dépend ni du niveau de blocage de liaison (LBL, *link blocking level*) ni de la largeur de bande totale requise (TRBW, *total required bandwidth*). Dans cet exemple de méthode d'attribution/de protection de largeur de bande, il n'est donc pas nécessaire de surveiller l'évolution des valeurs LBL et TRBW.

8 Attribution, protection et réservation de largeur de bande par flux

Les méthodes de gestion des ressources de QS par flux ont été appliquées avec succès dans les réseaux TDM, dans lesquels l'attribution de largeur de bande est déterminée par les nœuds périphériques en fonction de la largeur de bande requise pour chaque demande de connexion. Ces nœuds périphériques modifient l'attribution de largeur de bande en fonction de la largeur requise, en utilisant par exemple la méthode de gestion des ressources de QS fondée sur les circuits SVC, décrite dans le présent paragraphe. Dans le cadre de la gestion des ressources de QS, il faut à nouveau déterminer les états de charge des liaisons afin de choisir une capacité de réseau sur le chemin de premier choix ou sur un chemin de remplacement. Le seuil d'état de charge DoS autorisé permet de plus de décider si une demande de connexion donnée peut être admise sur une liaison donnée avec une certaine "profondeur" de largeur de bande disponible. Pour tout établissement d'une demande de connexion, le nœud d'origine code le seuil d'état de charge DoS autorisé sur chaque liaison et place le résultat dans l'élément d'information "établissement de connexion". Si, au niveau d'un nœud intermédiaire, une liaison donnée présente une largeur de bande libre et un état de charge inférieurs au seuil d'état de charge DoS autorisé, ce nœud envoie au nœud d'origine un élément d'information "retour en arrière/largeur de bande non disponible", le nœud d'origine peut alors acheminer la demande de connexion sur un chemin de remplacement. Ainsi, sur la Figure 3, le chemin CRLSP A-B-E peut correspondre au premier choix, la liaison A-B étant dans l'état LL et la liaison B-E dans l'état R. Si l'état de charge DoS autorisé est HL dans le pire des cas (c'est-à-dire HL ou LL), la demande de connexion sera acheminée sur la liaison A-B mais sera refusée sur la liaison B-E; cette demande de connexion sera alors renvoyée au nœud d'origine A, qui tentera un acheminement par le chemin de remplacement A-C-D-E. La demande de connexion sera alors acheminée avec succès, puisque les états de charge de toutes les liaisons du chemin A-C-D-E sont, dans le pire des cas, égaux à HL.

8.1 Attribution/réservation de largeur de bande par flux – Cas d'un réseau à maillage dense

Une fois encore, deux méthodes d'attribution/réservation de largeur de bande sont illustrées ici, suivant le type de topologie considérée: réseaux à maillage dense ou réseaux à maillage peu dense. Dans le cas d'un réseau à maillage dense, où l'utilisation d'un grand nombre de liaisons conduit à l'acheminement d'une faible quantité de trafic par liaison, les fonctions telles que la réservation de la largeur de bande doivent être contrôlées soigneusement. Dans le cas d'un réseau à maillage peu dense, où le trafic est concentré sur des liaisons beaucoup moins nombreuses et de débit bien plus important, la réservation de la largeur de bande n'a pas besoin d'être gérée aussi rigoureusement (gestion faisant appel par exemple à des fonctions de déclenchement et de suspension automatique de réservation de la largeur de bande suivant le niveau d'encombrement de la liaison/du réseau).

Le présent paragraphe traite de l'attribution/réservation de largeur de bande pour un réseau à maillage dense, le cas d'un réseau à maillage peu dense étant traité au § 8.2.

Le seuil d'état de charge DoS dépend de la largeur de bande utilisée, de la priorité de service et des seuils d'attribution de largeur de bande, comme il est indiqué dans le tableau ci-après:

**Tableau 5/E.360.3 – Détermination du seuil d'état de charge
de profondeur de recherche (DoS)
(attribution de largeur de bande par flux, cas d'un réseau à maillage dense)**

Etat de charge autorisé _i	Réseau à priorité élevée	Service normal		Réseau à faible priorité (au mieux)
		Chemin de premier choix	Chemin de remplacement	
R	Si $BWIP_i \leq 2 \times BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{avg_i}$	Interdit	Interdit
HL	si $BWIP_i \leq 2 \times BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{avg_i}$	Interdit
LL	N'importe quel $BWIP_i$	N'importe quel $BWIP_i$	N'importe quel $BWIP_i$	N'importe quel $BWIP_i$

où:

$BWIP_i$ = largeur de bande utilisée sur le réseau VNET i

BW_{avg_i} = largeur de bande minimale garantie nécessaire pour l'acheminement sur le réseau VNET i de la charge moyenne dans la largeur de bande offerte

BW_{max_i} = largeur de bande nécessaire pour le réseau VNET i afin de remplir l'objectif de qualité d'écoulement du trafic en termes de probabilité de blocage/de retard

= $1,1 \times BW_{avg_i}$

Il convient de noter que tous les paramètres sont associés à un couple nœud d'origine-nœud de destination donné, et que dans le cadre de la méthode de gestion des ressources de QS, on fait la distinction entre services clés, services normaux et services assurés au mieux. Un service clé se voit attribuer une priorité de routage plus élevée (un niveau DoS plus grand pour le choix de chemin) qu'un service normal. Inversement, à un service assuré au mieux se voit attribuer une priorité de routage plus faible (un niveau DoS plus petit pour le choix de chemin) qu'un service normal. Les valeurs BW_{avg_i} sont calculées périodiquement, par exemple toutes les semaines (w). On peut calculer leur moyenne sur plusieurs semaines de la manière suivante:

$$BW_{avg_i}(w) = 0,5 \times BW_{avg_i}(w-1) + 0,5 \times [BWIP_{avg_i}(w) + BWOV_{avg_i}(w)]$$

$BWIP_{avg_i}$ = largeur de bande moyenne utilisée durant une certaine période de charge sur le réseau VNET i

$BWOV_{avg_i}$ = débordement moyen de largeur de bande durant une certaine période de charge

$BWIP_{avg_i}$ et $BWOV_{avg_i}$ correspondent aux valeurs moyennes de $BWIP_i$ et de $BWOV_i$ pour une certaine période de charge (par exemple le matin, l'après-midi ou le soir en semaine, ou le samedi ou le dimanche). Des exemples de valeurs de seuil permettant de déterminer les états de charge d'une liaison sont donnés dans le Tableau 2.

Dans le cadre de la gestion des ressources de QS, on implémente une logique de réservation de largeur de bande qui favorise les connexions acheminées sur le chemin de premier choix dans les situations d'encombrement de liaisons. Lorsqu'un blocage/retard est détecté sur une liaison, la procédure de réservation de largeur de bande est immédiatement déclenchée et un niveau de réservation N est attribué à la liaison selon l'encombrement constaté. Ainsi, le trafic que l'on tente de dérouter sur une liaison encombrée est soumis à la réservation de largeur de bande, et le trafic acheminé sur un chemin de premier choix est favorisé pour cette liaison. Dans le même temps, on augmente les seuils d'état de liaison LL et HL dans les proportions voulues afin de prendre en charge le niveau de réservation de largeur de bande N pour le réseau VNET. On calcule le niveau de réservation N (qui peut par exemple prendre quatre valeurs différentes) pour chaque liaison k en se fondant sur le niveau de blocage/de retard et le trafic estimé pour cette liaison. Ce niveau de blocage/de retard sur la liaison est égal au rapport entre le comptage équivalent de débordement de

largeur de bande et le comptage équivalent de référence, durant le dernier intervalle de mise à jour périodique (intervalle de 3 mn en général). Ainsi:

$BWOV_k$ = comptage équivalent de débordement de largeur de bande sur la liaison k

$BWPC_k$ = comptage équivalent de référence sur la liaison k

LBL_k = niveau de blocage/de retard sur la liaison k
= $BWOV_k / BWPC_k$

Si LBL_k est supérieur à une valeur seuil, le niveau de réservation N est calculé en conséquence. La largeur de bande réservée et les états de liaison sont calculés en fonction de la largeur de bande totale requise sur la liaison k (TBW_k). TBW_k est calculé en ligne, par exemple, une fois par intervalle de temps, grâce à l'approximation suivante:

$TBW_k(m) = 0,5 \times TBW_k(m - 1) + 0,5 \times [1,1 \times TBWIP_k(m) + TBWOV_k(m)]$

$TBWIP_k$ = somme de toutes les largeurs de bande utilisées ($BWIP_i$) par les différents réseaux VNET i pour les connexions sur un chemin de premier choix comprenant la liaison k

$TBWOV_k$ = somme des débordements de largeur de bande ($BWOV_i$) pour tous les réseaux VNET i pour les connexions sur un chemin de premier choix comprenant la liaison k

Le niveau de réservation et les seuils d'état de charge sont donc proportionnels à la charge du trafic estimée dans la largeur de bande requise, ce qui signifie que la largeur de bande réservée et la largeur de bande requise pour qu'une liaison se trouve dans l'état "peu chargé" varient dans le même sens que la charge de trafic, ce qui est intuitivement correct.

8.2 Attribution/réservation de la largeur de bande par flux – Cas d'un réseau à maillage peu dense

Le présent paragraphe traite de l'attribution/réservation de la largeur de bande pour un réseau à maillage peu dense. Une méthode plus simple est exposée ici pour la réservation de largeur de bande dans le cas d'un réseau à maillage peu dense: elle s'appuie sur le fait que le trafic est concentré sur un petit nombre de liaisons dorsales à forte capacité. Un niveau faible et constant de réservation de largeur de bande est utilisé sur chaque liaison, comme indiqué ci-après:

si le seuil d'état de charge DoS dépend à nouveau de la largeur de bande utilisée, de la priorité associée du réseau VNET et des seuils d'attribution de largeur de bande: seuls les états réservé (R) et non réservé (NR) sont utilisés, voir le Tableau 6 ci-dessous:

Tableau 6/E.360.3 – Détermination du seuil d'état de charge de profondeur de recherche (DoS) (attribution de largeur de bande par flux, cas d'un réseau à maillage peu dense)

Etat de charge autorisé _i	Réseau VNET à priorité élevée	Réseau VNET à priorité normale		Réseau VNET à faible priorité (au mieux)
		Chemin de premier choix	Chemin de remplacement	
R	Si $BWIP_i \leq 2 \times BW_{max_i}$	Si $BWIP_i \leq BW_{avg_i}$	Interdit	Note
NR	Si $2 \times BW_{max_i} < BWIP_i$	Si $BW_{avg_i} < BWIP_i$	Si $BW_{avg_i} < BWIP_i$	Note

où:

$BWIP_i$ = largeur de bande utilisée sur le réseau VNET i

BW_{avg_i} = largeur de bande minimale garantie nécessaire pour l'acheminement sur le réseau VNET i de la charge moyenne dans la largeur de bande offerte

BW_{max_i} = largeur de bande nécessaire pour le réseau VNET i afin de remplir l'objectif de qualité d'écoulement du trafic en termes de blocage/de retard

= $1,1 \times BW_{avg_i}$

NOTE – Une largeur de bande nulle est attribuée aux chemins CRLSP pour les réseaux VNET à faible priorité; la mise en file d'attente de paquets à faible priorité pour des services différenciés (Diffserv) n'est possible que si une largeur de bande est disponible sur une liaison donnée.

Le tableau correspondant d'états de charge pour un réseau à maillage peu dense est le suivant:

Tableau 7/E.360.3 – Détermination de l'état de charge d'une liaison (cas d'un réseau à maillage peu dense)

Etat de charge de la liaison		Condition
Occupé	B	$ILBW_k < EQBW$
Réservé	R	$ILBW_k - RBW_{r_k} < EQBW$
Non réservé	NR	$EQBW \leq ILBW_k - RBW_{r_k}$

où:

$ILBW_k$ = largeur de bande libre sur la liaison k

$EQBW$ = largeur de bande équivalente nécessaire pour une demande d'attribution de largeur de bande

RBW_{r_k} = largeur de bande réservée pour la liaison k

= $0,01 \times TLBW_k$

$TLBW_k$ = largeur de bande totale sur la liaison k

Il convient de noter que le niveau de réservation est constant: il ne dépend ni du niveau de blocage de liaison LBL (*link blocking level*) ni de la largeur de bande totale requise TRBW (*total required bandwidth*). Pour cet exemple il n'est donc pas nécessaire de surveiller l'évolution des valeurs LBL et TRBW.

9 Contrôle du trafic au niveau paquet

Les contrôles de trafic peuvent être classés suivant qu'ils visent à offrir des garanties de qualité de service au niveau paquet (taux de perte de paquets par exemple) ou au niveau connexion (probabilité de blocage d'une connexion, par exemple). Les contrôles au niveau connexion ont déjà été traités dans les paragraphes 5 à 8.

Dans un réseau en mode connexion, chaque demande de connexion est spécifiée par un descripteur de trafic, une tolérance de variation de temps de transfert et des exigences de QS. Le descripteur de trafic de source comprend une liste de paramètres de trafic devant:

- a) être compréhensibles et conformes aux prescriptions;
- b) être utilisés pour une attribution de ressources correspondant aux exigences de performance du réseau;
- c) pouvoir être mis en œuvre via le contrôle des paramètres d'utilisation et le contrôle des paramètres de réseau.

Les paramètres de trafic peuvent se rapporter de manière explicite aux caractéristiques de trafic de connexion telles que le débit de données maximal ou définir ces caractéristiques de manière implicite par référence à un type de service. Les critères de qualité de service de bout en bout au niveau paquet utilisent les paramètres de performance suivants:

- a) le temps de transfert;
- b) la variation du temps de transfert;
- c) le taux de perte.

Les objectifs de performance de bout en bout relatifs à l'ingénierie de trafic sont les suivants:

- a) temps maximal de mise en file d'attente de bout en bout;
- b) temps moyen de mise en file d'attente;
- c) taux de perte de paquets.

Ces objectifs de performance doivent être répartis entre les divers éléments de réseau contribuant à la dégradation de la performance pour une connexion donnée, de telle manière que les critères de qualité de service de bout en bout soient satisfaits.

Lorsque l'établissement d'une nouvelle connexion est demandé, le réseau doit déterminer s'il dispose de suffisamment de ressources pour l'accepter sans que cela ne porte atteinte aux exigences de qualité d'écoulement du trafic au niveau paquet pour toutes les connexions établies ainsi que pour la nouvelle connexion. C'est le rôle du contrôle d'admission de connexion (CAC), qui détermine si une liaison ou un chemin est capable de traiter la connexion demandée. Ainsi, des ressources sont parfois attribuées pour des connexions particulières ou pour des groupes de connexions, alors que de nouvelles demandes sont refusées lorsque les ressources disponibles sont insuffisantes. Notons qu'il s'agit en principe d'une attribution de type "logique": aucune ressource "physique" spécifique n'est attribuée à une connexion donnée. Ces ressources logiques sont généralement la largeur de bande et la mémoire tampon. On suppose que les ressources sont attribuées pour chaque liaison ou chemin, indépendamment des autres liaisons et que chaque sens de transmission est traité séparément. Une connexion ne sera établie que si des ressources sont disponibles sur toutes les liaisons d'un chemin, dans les deux sens. Le contrôle d'admission peut être mis en œuvre pour l'attribution d'un débit maximal, auquel l'opérateur de réseau peut choisir d'appliquer un facteur de surréservation. Le contrôle d'admission peut reposer sur une largeur de bande équivalente: on attribue à la connexion i une largeur de bande équivalente $EQBW_i$ et les connexions sont acceptées tant que $\sum EQBW_i < c$, où c est la largeur de bande de la liaison. Si la garantie d'une largeur de bande minimale constitue la seule exigence de performance, on peut décider d'attribuer à $EQBW_i$ cette largeur de bande minimale. (Comme il est indiqué dans la Rec. UIT-T E.736, lorsqu'il existe plusieurs priorités au niveau paquet pour différents services, il

convient d'appliquer des contraintes différentes pour les diverses largeurs de bande équivalentes (une contrainte par niveau de priorité). Dans la pratique, lorsqu'on applique ce modèle à un réseau avec trois niveaux de priorité (élevée, normale et faible), on peut procéder à la simplification explicitée ci-après. Si l'on suppose que le trafic à priorité élevée n'utilise pas une grande partie de la largeur de bande et qu'une largeur de bande équivalente nulle est attribuée au trafic à faible priorité, on peut ramener l'ensemble des trois contraintes associées aux trois niveaux de priorité à la contrainte unique suivante: $\sum EQBW_i < c.$)

Le contrôle du trafic au niveau paquet comprend les procédures de contrôle visant à satisfaire aux objectifs de qualité d'écoulement du trafic au niveau paquet [E.736]. Après qu'un flux a été accepté par le contrôle d'admission de connexion (CAC), le contrôle effectué au niveau paquet vise à garantir:

- a) que l'émission du trafic par l'utilisateur est effectivement conforme aux paramètres de trafic déclarés (gestion du trafic, par exemple contrôle des paramètres d'utilisation);
- b) que la qualité de service est différente suivant le service considéré (priorité de paquets et gestion de la mise en file d'attente).

Lorsqu'une connexion est acceptée, un contrat de trafic est défini implicitement, suivant lequel l'opérateur du réseau offre le niveau de qualité voulue à condition que le trafic émis par l'utilisateur soit conforme au descripteur de trafic déclaré: c'est là qu'intervient le contrôle des paramètres d'utilisation. Lorsqu'une connexion concerne plusieurs réseaux, il revient également à chaque réseau de vérifier que le trafic émanant du réseau voisin est conforme aux prescriptions: c'est là qu'intervient le contrôle des paramètres de réseau. Les paramètres de trafic doivent en particulier pouvoir être appliqués via le contrôle des paramètres d'utilisation et le contrôle des paramètres de réseau. Ces considérations ont conduit à définir les paramètres de trafic suivants: débit maximal, débit admissible et tolérance intrinsèque de rafales, la conformité étant déterminée par l'algorithme du compteur à fuite.

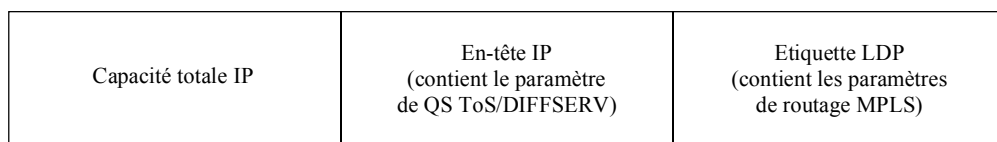
Les utilisateurs ou les exploitants de réseau peuvent augmenter le temps de transfert des paquets pour conformer un flux donné. Cette conformation, qui se traduit par un lissage des variations de débit des paquets, permet généralement de mieux utiliser les ressources du réseau, d'où un accroissement des gains de multiplexage. Cependant, des retards non négligeables peuvent résulter de cette mise en forme, il faut donc attribuer une partie de l'objectif de qualité d'écoulement du trafic de bout en bout au conformateur. L'utilisateur peut procéder à cette conformation du trafic, afin de garantir la conformité aux paramètres de trafic déclarés et à la tolérance de variation de temps de transfert. L'exploitant de réseau peut procéder à la conformation du trafic à l'entrée du réseau, dans le réseau ou à la sortie du réseau (il s'agit dans ce dernier cas de satisfaire aux contraintes relatives au trafic sortant). Ce processus de conformation constitue une option que peuvent mettre en œuvre les utilisateurs ou les exploitants de réseau. La réduction des variations de temps de transfert par l'espacement des paquets est un exemple de conformation du trafic: les paquets consécutifs du flux sont espacés d'une durée variable au moins égale à l'inverse du débit de données maximal.

Nous allons à présent aborder la question de la mise en file d'attente selon la priorité, qui constitue un exemple de méthode de planification de trafic. Nous supposons en outre qu'une fonction de gestion du trafic, telle que le modèle de compteur à fuite, est utilisée (voir ci-dessus) pour déterminer tout acheminement du trafic non conforme au contrat et procéder alors au marquage des paquets en vue de leur éventuelle élimination en cas d'encombrement. Ces mécanismes de planification et de gestion du trafic renforcent les mécanismes d'admission de connexion décrits dans les paragraphes précédents et utilisés pour l'attribution de largeur de bande sur les liaisons du réseau.

Il est à noter que la mise en file d'attente selon la priorité est une méthode de planification parmi d'autres. Pour les services différenciés, il n'est pas nécessaire d'implémenter un mécanisme de mise

en file d'attente particulier pour atteindre le niveau voulu de qualité de service en termes de réacheminement assuré (AF) ou de réacheminement exprès (EP), etc. On peut ainsi choisir pour les services différenciés différents types de mécanisme de mise en file d'attente, tels que la mise en file d'attente pondérée (WFQ, *weighted fair queuing*), la mise en file d'attente selon la priorité (PQ, *priority queuing*), etc. Nous avons utilisé ici le mécanisme PQ à titre d'exemple, mais des résultats identiques ou comparables auraient été obtenus avec un autre type de mécanisme de mise en file d'attente.

Outre la procédure de gestion de largeur de bande en fonction de la QS, utilisée pour les demandes d'attribution de largeur de bande, une capacité de mise en file d'attente selon la priorité de service est mise en œuvre durant l'établissement des connexions sur chacun des trois réseaux VNET. Des règles de mise en file d'attente sont imposées au niveau de chaque liaison, de telle sorte qu'une priorité de traitement soit attribuée aux paquets suivant la priorité du service acheminé dans l'ordre suivant: services clés, services normaux et services assurés au mieux. Conformément à la mise en œuvre de l'attribution d'une largeur de bande sur un chemin CRLSP à commutation MPLS et à l'application des règles de gestion des ressources de QS, le paramètre priorité de service et le paramètre étiquette doivent figurer dans chaque paquet IP transmis (voir la Figure 5). Le paramètre priorité de service peut figurer dans le paramètre type de service (ToS, *type of service*) ou services différenciés (Diffserv, *differentiated services*) [RFC2475], [LDVKCH00], [ST98] se trouvant déjà dans l'en-tête de paquet IP. Il est également possible que le paramètre priorité de service soit associé à l'étiquette MPLS figurant dans le paquet IP [LDVKCH00]. Dans les deux cas, le paramètre priorité de service permet au nœud IP de déterminer le traitement de QS approprié, en appliquant aux paquets les règles de gestion des ressources de QS [mise en file d'attente selon la priorité (élevée, normale ou faible)]. Le nœud IP peut déterminer, grâce au paramètre étiquette, le nœud suivant vers lequel acheminer le paquet IP, conformément au protocole MPLS. On peut donc implémenter de façon très simple un traitement des paquets au niveau des nœuds centraux permettant de gérer les ressources de QS et le routage MPLS.



E.360.3_F5

DIFFSERV	services différenciés (<i>differentiated services</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
LDP	protocole de distribution d'étiquettes (<i>label distribution protocol</i>)
MPLS	commutation par étiquette multiprotocole (<i>multiprotocol label switching</i>)
QS	qualité de service
ToS	type de service (<i>type of service</i>)

Figure 5/E.360.3 – Structure d'un paquet IP en mode de commutation MPLS

10 Autres contraintes associées à la gestion des ressources de QS

Outre l'attribution de largeur de bande, la protection de largeur de bande et le routage selon la priorité, d'autres contraintes sont prises en considération dans le cadre de la gestion des ressources de QS et des méthodes de choix de routage. Il s'agit du temps de transfert de bout en bout, de la variation du temps de transfert [G99a] et de caractéristiques liées à la qualité de transmission telles que l'affaiblissement, les échos et le bruit [D99], [G99a], [G99b]. De plus, le choix de la capacité de liaison (LC, *link capability*) permet d'acheminer les demandes de connexion sur des supports de transmission ayant les caractéristiques voulues. Pour une demande de connexion donnée, un ensemble de caractéristiques de transmission (transmission par fibres optiques ou par voie radioélectrique, transmission par satellite ou de Terre, transmission avec ou sans compression, etc.) peut, en général, être exigé, préféré ou à éviter. La logique inhérente à la table de routage permet

d'éviter d'acheminer la demande de connexion sur les liaisons ne possédant pas les caractéristiques souhaitées et de chercher la capacité répondant le mieux aux exigences. Pour chaque identité de service, un ensemble de préférences de choix de capacité de liaison est spécifié pour la demande de connexion considérée. Les préférences de choix de capacité de liaison peuvent se substituer à l'ordre normal de choix de chemins. Si une caractéristique de capacité de liaison est exigée, tout chemin dont une liaison ne présente pas cette caractéristique est éliminée. Si une caractéristique est préférée, on utilise d'abord les chemins dont toutes les liaisons présentent cette caractéristique, les autres étant utilisés ensuite, si besoin est. Une préférence de capacité de liaison est indiquée par la présence ou l'absence d'une caractéristique. Si, par exemple, une transmission par fibres optiques est exigée, seuls les chemins dont toutes les liaisons possèdent la caractéristique "fibres optiques = Oui" sont utilisés. Si l'utilisation d'une transmission par fibres optiques est préférée, les chemins dont toutes les liaisons possèdent la caractéristique "fibres optiques = Oui" sont utilisés en premier et les chemins dont certaines liaisons possèdent la caractéristique "fibres optiques = Non" seront utilisés ensuite, si nécessaire.

11 Gestion des ressources de QS pour un routage interdomaine

Dans la pratique, les protocoles de routage interdomaine n'intègrent généralement pas de procédure normalisée de choix de chemin ou de gestion des ressources de QS par classe de service. Dans les réseaux IP par exemple, le protocole BGP [RL00] est utilisé pour le routage interdomaine, mais ne permet pas (comme on le décrit dans le présent paragraphe) d'attribuer des ressources par classe de service. Par ailleurs, les techniques de commutation MPLS n'ont pas encore été utilisées pour des applications interdomaines. On peut donc envisager d'utiliser les extensions aux méthodes de routage interdomaine qui font l'objet du présent paragraphe pour étendre les concepts de routage d'appel et de routage de connexion au routage entre domaines de réseau.

Dans le cadre du routage interdomaine, on peut également appliquer les concepts de routage par classe de service (décrits au paragraphe 5), et accroître la souplesse de routage. Les principes exposés au paragraphe 5 concernant la détermination de la classe de service et la détermination de la table de routage en fonction de règles peuvent également être utilisés pour la gestion des ressources de QS dans le cas d'un routage interdomaine. Comme on l'indique dans la Rec. UIT-T E.360.2, une "synergie" peut exister entre le routage interdomaine et le routage à entrées/sorties multiples et le déroutage par chemin de remplacement par des domaines de transit. Le routage interdomaine peut utiliser les informations d'état de liaison ainsi que l'historique des aboutissements d'appel pour choisir les chemins, et mettre en œuvre des techniques de réservation dynamique de la largeur de bande (voir les paragraphes 6 à 8).

Le routage interdomaine peut faire appel au concept de réseau virtuel qui permet une intégration de services par l'attribution d'une largeur de bande aux services et le contrôle de la réservation dynamique de largeur de bande. Ce concept de réseau virtuel a été décrit dans la présente Recommandation, et peut être appliqué tel quel au routage interdomaine. Par exemple, on peut appliquer aux liaisons reliées aux nœuds passerelles du domaine d'origine (telles que les liaisons OGN1-DGN1, OGN2-DGN1, OGN1-VGN1, OGN1-VGN2, et OGN2-VGN2 de la Figure 5/E.360.2) les méthodes d'attribution, de protection et de réservation de largeur de bande pour des réseaux VNET, ainsi que les méthodes de routage, selon les principes exposés aux paragraphes 6 à 8. La largeur de bande peut ainsi être partagée dans sa totalité entre réseaux virtuels en l'absence d'encombrement. En cas d'encombrement dans un réseau donné, une largeur de bande est réservée de telle sorte que la largeur de bande du réseau virtuel soit égale à la largeur de bande qui lui a été attribuée. Le routage interdomaine peut faire appel à des capacités de routage par classe de service: protection de service clé, contrôle de flux directionnel, capacité de choix de liaison, attribution d'une largeur de bande variable dans le temps avec mise à jour automatique, ou encore capacité de routage par chemin de remplacement grâce à l'utilisation de chemins de remplacement et de paramètres de contrôle (tels que les périodes de charge pour le routage interdomaine). La capacité de choix de liaison permet de choisir préférentiellement certaines caractéristiques de

liaison, telles que la transmission par fibres optiques. Le routage interdomaine permet ainsi d'améliorer la performance et de réduire les coûts du réseau interdomaine, grâce à des capacités de routage souples (voir la Rec. UIT-T E.360.2).

Comme pour le routage intradomaine, on peut énumérer dans le cas d'un routage interdomaine un certain nombre d'étapes permettant d'établir un appel:

- le nœud passerelle de destination (DGN, *destination gateway node*), l'identité de service, le réseau VNET et les informations liées à la gestion des ressources de QS sont déterminés au niveau du nœud passerelle d'origine (OGN, *originating gateway node*) grâce à une base de données de conversion numéros/noms et à d'autres informations de service disponibles au niveau de ce nœud;
- la connaissance du nœud DGN et des informations de gestion des ressources de QS permet d'accéder au réseau VNET à utiliser et à la table de routage à employer entre les nœuds OGN et DGN;
- la demande de connexion est établie sur le premier chemin disponible figurant dans la table de routage, les ressources de transmission étant choisies en fonction de données de gestion de ressources de QS.

Comme indiqué dans les paragraphes 6 à 8, les règles applicables au choix du chemin primaire et des chemins de remplacement dans le cas du routage interdomaine d'un appel dépendent de la disponibilité de la largeur de bande sur le chemin primaire, de l'encombrement entre nœuds et des capacités de liaison. On choisira dans l'ordre: le chemin primaire (chemin le plus court), les chemins de remplacement peu chargés, les chemins de remplacement très chargés et les chemins de remplacement réservés. Ces états de charge sont réévalués au fur et à mesure en combinant les informations d'état de charge de liaison aux données d'encombrement pour le chemin. On choisira des chemins de remplacement interdomaine comprenant des nœuds uniquement dans le domaine d'origine et dans le domaine de destination, avant de choisir des chemins de remplacement comprenant des nœuds dans les domaines de transit. Comme indiqué aux paragraphes 7 et 8, une profondeur de choix de chemins plus importante est autorisée si l'on détecte un encombrement vers le domaine du réseau de destination, car un plus grand nombre de chemins de remplacement permet de réduire l'encombrement. En l'absence d'encombrement, la capacité que n'utilise pas un réseau virtuel est mise à la disposition de réseaux virtuels dont la charge de trafic est supérieure à la capacité qui leur a été attribuée.

Par exemple, le nœud passerelle peut calculer automatiquement chaque semaine les attributions de largeur de bande et peut faire varier ces attributions en fonction de la période de charge considérée (par exemple, 36 périodes de 2 heures: 12 durant un jour ouvrable, 12 le samedi et 12 le dimanche). Pour déterminer les attributions de la largeur de bande, on peut se fonder sur le calcul de la moyenne évolutive de la charge de trafic pour chaque réseau virtuel, chaque nœud de destination et chaque période de charge. En conditions normales (absence d'encombrement sur le réseau), l'ensemble de la capacité disponible est partagé entre les différents réseaux virtuels. En cas de surcharge d'appels, une largeur de bande est réservée afin de faire en sorte que chaque réseau virtuel dispose de la largeur de bande qui lui a été attribuée. Cette réservation dynamique de largeur de bande en période de surcharge permet d'atteindre un niveau de performance de réseau analogue à celui qu'on obtient lorsqu'une largeur de bande est attribuée à chaque réseau virtuel pour une liaison entre deux nœuds.

12 Conclusions/recommandations

Les conclusions/recommandations relatives au présent document sont les suivantes:

- la gestion des ressources de QS est recommandée. Elle s'avère efficace pour remplir les objectifs de qualité d'écoulement du trafic au niveau connexions et au niveau paquet, et pour différencier les services clés, les services normaux et les services assurés au mieux;

- le contrôle d'admission est recommandé. Il constitue la base de la plupart des autres contrôles décrits dans la présente Recommandation;
- la réservation de la largeur de bande est recommandée. Elle s'avère essentielle pour que les méthodes d'ingénierie de trafic utilisées dans un réseau conduisent à un fonctionnement stable et efficace. Elle garantit également la bonne exécution des opérations d'attribution de la largeur de bande, de protection de la largeur de bande et de traitement des priorités pour les différents services;
- l'attribution de la largeur de bande par réseau VNET est recommandée. Elle est quasiment équivalente à l'attribution de largeur de bande par flux en termes de performance et d'efficacité du réseau. On préférera l'attribution de la largeur de bande par réseau VNET plutôt que par flux, car les informations requises liées à la gestion de la table de routage sont alors beaucoup moins nombreuses (voir la Rec. UIT-T E.360.4);
- la gestion de la largeur de bande et de la qualité de service MPLS, ainsi que la gestion de la mise en file d'attente selon la priorité pour les services différenciés (*diffserv*), sont recommandées. Ces mécanismes sont importants, car, grâce à eux, les objectifs de qualité de fonctionnement du réseau multiservice sont satisfaits dans un grand nombre de situations de réseau. Ils sont mis en œuvre conjointement, afin que les procédures d'attribution des ressources de QS (attribution de la largeur de bande, protection de la largeur de bande, et mise en file d'attente selon la priorité) puissent être appliquées avec succès.

Annexe A

Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Dans la présente annexe est utilisé le modèle de réseau national en grandeur réelle présenté dans la Rec. UIT-T E.360.2, afin d'étudier divers scénarios d'ingénierie de trafic et les compromis possibles. On trouvera une illustration du modèle de réseau national à 135 nœuds sur la Figure A.1/E.360.2, un résumé du modèle de trafic multiservice dans le Tableau A.1/E.360.2, et un résumé du modèle de coûts dans le Tableau A.2/E.360.2.

A.1 Performance associée aux méthodes de réservation de la largeur de bande

Comme indiqué aux paragraphes 6, 7 et 8, on peut utiliser la réservation dynamique de largeur de bande pour privilégier une catégorie de trafic plutôt qu'une autre. Un exemple simple de mise en œuvre de cette méthode consiste à privilégier le trafic acheminé sur les chemins primaires (chemins les plus courts) plutôt que le trafic acheminé sur des chemins de remplacement (plus longs). Pour ce faire, le plus efficace est de réserver une certaine largeur de bande uniquement lorsque des liaisons sont encombrées. Nous allons à présent illustrer cette méthode, et comparer la performance d'un réseau dans lequel le mécanisme de réservation de largeur de bande est mis en œuvre en cas d'encombrement à la performance d'un réseau dans lequel il n'est pas mis en œuvre.

Dans notre exemple, on tente d'abord d'acheminer le trafic sur le chemin le plus court, puis sur un chemin plus long (chemin de remplacement) si le chemin primaire n'est pas disponible. Lorsque le mécanisme de réservation de largeur de bande est mis en œuvre, 5% de la largeur de bande de liaison sont réservés pour le trafic sur le chemin primaire en cas d'encombrement.

Le Tableau A.1 illustre la performance associée aux méthodes de réservation de largeur de bande à des heures de forte charge de trafic. Ces méthodes sont utilisées en particulier pour un routage par chemins à liaisons multiples employé pour l'établissement de chemins CRLSP par flux dans un réseau à maillage peu dense.

Tableau A.1/E.360.3 – Performance associée aux méthodes de réservation dynamique de largeur de bande pour l'établissement d'un chemin CRLSP – Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge (routage par chemins à liaisons multiples dans un réseau à maillage peu dense (routage par flux); modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Facteur de surcharge	Sans réservation de largeur de bande	Avec réservation de largeur de bande
7	11,94	3,86
8	22,85	9,66
10	37,74	24,78

Il apparaît à la lecture du Tableau A.1 que la réservation de largeur de bande permet d'accroître la performance. En effet, en l'absence de mécanisme de réservation, le trafic acheminé sur un chemin primaire (chemin direct) n'est pas privilégié en cas d'encombrement car aucune capacité ne lui est réservée. Un réseau non hiérarchique peut alors présenter un comportement instable, caractérisé par l'acheminement de la quasi-totalité des connexions sur des chemins de remplacement (plus longs), plutôt que sur le chemin primaire (plus court), ce qui a pour effet de diminuer considérablement la capacité d'écoulement du réseau et d'accroître grandement son encombrement [Aki84], [Kru82], [NaM73]. La mise en œuvre du mécanisme de réservation de la largeur de bande permet d'augmenter de manière très importante la performance du réseau.

Un autre exemple est donné par le Tableau A.2, qui correspond au cas d'un routage SDR (routage en fonction de l'état) à deux liaisons dans un réseau à maillage dense. Les charges moyennes de trafic professionnel ont été augmentées uniformément de 30% pour le modèle de réseau national à 65 nœuds considéré [A98]. Le Tableau A.2 présente le trafic horaire moyen perdu en raison du blocage d'admissions de connexion durant les heures 2, 3 (heures de pointe matinales) et 5 (heure de pointe de l'après-midi).

Tableau A.2/E.360.3 – Performance associée aux méthodes de réservation dynamique de largeur de bande – Pourcentage de perte de trafic en cas de surcharge de 30% [routage SDR à deux liaisons dans un réseau à maillage dense (routage par flux); modèle de réseaux à 65 nœuds]

Heure	Sans réservation de largeur de bande	Avec réservation de largeur de bande
2	12,19	0,22
3	22,38	0,18
5	18,90	0,24

Il est possible de constater selon les résultats du Tableau A.2 que la réservation de largeur de bande permet d'accroître considérablement la performance. Sans mécanisme de réservation, le réseau est instable, car en cas d'encombrement la quasi-totalité du trafic est acheminée sur deux liaisons au lieu d'une seule. Si le mécanisme de réservation est mis en œuvre, un flux sera plus vraisemblablement acheminé sur un chemin à une liaison, car il est peu probable de trouver un chemin à deux liaisons dont les deux disposent d'une largeur de bande libre, en plus de la largeur de bande réservée.

Le Tableau A.3 permet de comparer la performance avec et sans mise en œuvre du mécanisme de réservation de largeur de bande pour un réseau à 135 nœuds avec une panne sur une liaison observée sur une moyenne de 5 heures de pointe. Il apparaît clairement que le mécanisme de réservation de largeur de bande empêche la dégradation de la performance des différentes catégories de classe de service des réseaux virtuels.

**Tableau A.3/E.360.3 – Performance associée aux méthodes
de réservation dynamique de largeur de bande –
Pourcentage de trafic perdu/retardé dans le cas d'une surcharge générale de 50%
(routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Sans réservation de largeur de bande	Avec réservation de largeur de bande
Téléphonie professionnelle	2,42	0,00
Téléphonie privée	2,33	0,02
International sortant	2,46	1,33
International entrant (service clé)	2,56	0,00
Téléphonie à priorité élevée	2,41	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	2,37	0,10
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	2,04	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	12,87	0,00
Téléphonie VBR-RT	1,25	0,07
Multimédia VBR-NRT	1,90	0,01
Multimédia UBR	24,95	11,15

A.2 Performance d'un réseau multiservice: comparaison d'une attribution de largeur de bande par réseau VNET et d'une attribution de largeur de bande par flux

Le modèle à 135 nœuds est utilisé ici pour comparer les méthodes de gestion des ressources de QS par réseau virtuel (exposées au paragraphe 7) et les méthodes de gestion par flux (exposées au paragraphe 8). On illustre sur la Figure A.1 les cas d'attribution de largeur de bande sur un chemin CRLSP par réseau virtuel et par flux. Les qualités de fonctionnement sont comparées en termes de trafic perdu ou retardé, dans le cas d'une surcharge ponctuelle sur le nœud OKBK [Oakbrook, Illinois (Etats-Unis d'Amérique)], ce qui peut par exemple se produire si un grand nombre d'auditeurs téléphonent simultanément à une station radio suite à une offre promotionnelle radiodiffusée. Cette surcharge ponctuelle varie entre la charge de trafic normale sur le nœud OKBK (1×) et dix fois cette valeur (10×). Le routage fixe (FR, *fixed routing*) est utilisé dans les deux cas d'attribution de largeur de bande sur un chemin CRLSP (par flux et par réseau virtuel). Les résultats obtenus dans les deux cas en termes de qualité de fonctionnement sont analogues. On note toutefois que la performance est bien meilleure dans le cas d'un trafic à priorité élevée ou normale que dans le cas d'un trafic à faible priorité.

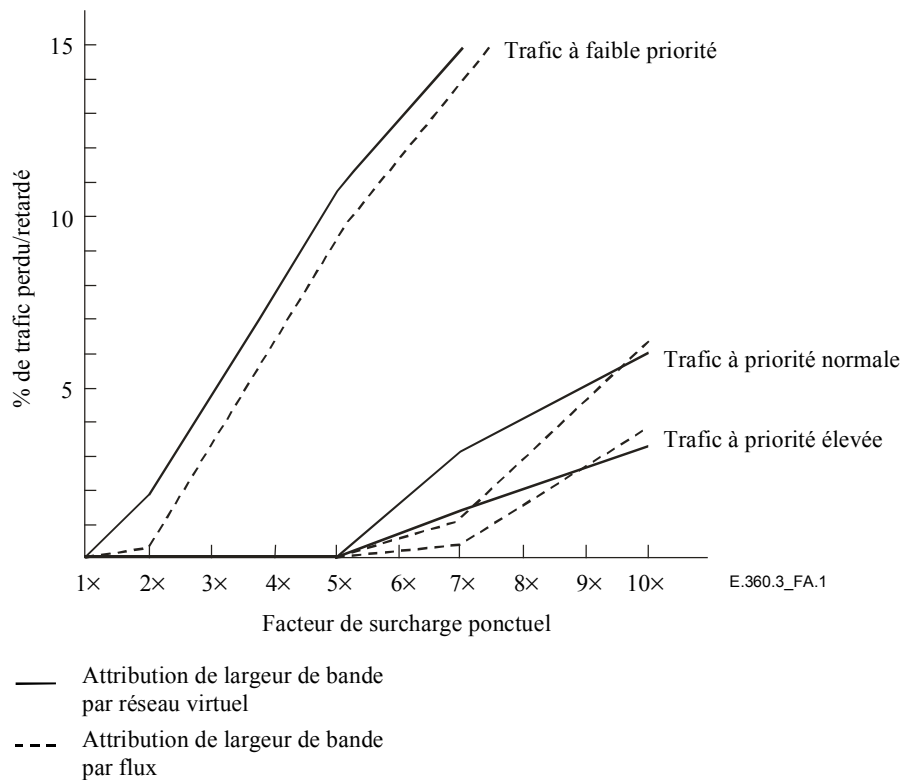


Figure A.1/E.360.3 – Performance en cas de surcharge ponctuelle sur le nœud OKBR

Est examinée ici la performance en cas de surcharge ou de panne pour une attribution de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel, lorsqu'un routage en fonction des événements (EDR, *event dependent routing*) avec réussite assurée (STT, *success-to-the-top*) est mis en œuvre. Nous simulons à nouveau le contrôle d'admission d'appel avec gestion des ressources de QoS, les services clés, normaux et assurés au mieux étant différenciés (voir les tableaux ci-dessous). On trouvera ci-après les Tableaux A.4 (performance pour une surcharge générale de 30%), A.5 (qualité de fonctionnement pour une surcharge six fois supérieure à la charge normale sur un nœud du réseau), et A.6 (performance en cas de panne sur une liaison de transport). On constate que les performances observées en cas de surcharge ou de panne pour un routage STT-EDR à liaisons multiples sont similaires, que le mécanisme d'attribution de largeur de bande se fasse par flux ou par réseau virtuel.

**Tableau A.4/E.360.3 – Performance pour une attribution
de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel –
Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge générale de 30%
(réseau non hiérarchique à zone unique; routage STT-EDR à liaisons multiples;
modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Attribution de largeur de bande par flux	Attribution de largeur de bande par réseau virtuel
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00
Téléphonie privée	0,00	0,00
International sortant	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
SDS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00
Multimédia UBR	4,15	3,94

**Tableau A.5/E.360.3 – Performance pour une attribution
de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel –
Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge ponctuelle sur le nœud OKBK
6 fois supérieure à la charge normale (réseau non hiérarchique à zone unique;
routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Attribution de largeur de bande par flux	Attribution de largeur de bande par réseau virtuel
Téléphonie professionnelle	0,00	0,01
Téléphonie privée	0,00	0,01
International sortant	0,00	0,01
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,01
Multimédia UBR	12,46	12,30

**Tableau A.6/E.360.3 – Performance pour une attribution de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel –
Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de panne sur la liaison CHCG-NYCM (Chicago downtown-New York City central Manhattan) (réseau non hiérarchique à zone unique; routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Attribution de largeur de bande par flux	Attribution de largeur de bande par réseau virtuel
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00
Téléphonie privée	0,00	0,00
International sortant	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00
Multimédia UBR	0,17	0,17

A.3 Performance d'un réseau multiservice: comparaison entre un réseau non hiérarchique à zone unique et un réseau hiérarchique à deux niveaux à zones multiples

Le présent paragraphe traite de la qualité de fonctionnement des réseaux hiérarchiques qui constituent la configuration topologique la plus souvent associée aux réseaux à zones multiples (ou à systèmes autonomes multiples (multi-AS, *multi-autonomous-system*) ou à domaines multiples). Le modèle considéré est représenté sur la Figure A.5/E.360.2; il est composé de 135 nœuds périphériques et de 21 nœuds centraux. Chaque nœud périphérique est relié à l'un des nœuds centraux. Le plus souvent, les nœuds périphériques peuvent être regroupés au sein de zones (ou de systèmes autonomes) distincts et les nœuds centraux dans une autre zone (ou dans un autre système autonome). Si chacune des zones est caractérisée par une topologie de routage non hiérarchique, une relation de routage hiérarchique existe entre les zones à nœuds périphériques et la zone à nœuds centraux. Cette hiérarchie de routage est modélisée pour des exemples d'attribution de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel. Les Tableaux A.7 à A.9 présentent les résultats correspondants, pour respectivement un cas de surcharge générale de 30%, un cas de surcharge ponctuelle égale à 6 fois la charge normale et un cas de panne de liaison. On constate que la performance est bien plus mauvaise pour un réseau hiérarchique que pour un réseau non hiérarchique (modélisé par une zone ou un système autonome unique comprenant 135 nœuds).

**Tableau A.7/E.360.3 – Performance d'un réseau hiérarchique à 2 niveaux à zones multiples –
 Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge générale de 30%
 Attribution de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel
 (routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Attribution de largeur de bande par flux	Attribution de largeur de bande par réseau virtuel
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00
Téléphonie privée	0,00	0,00
International sortant	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
SDS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00
Multimédia UBR	9,88	9,06

**Tableau A.8/E.360.3 – Performance d'un réseau hiérarchique à 2 niveaux à zones multiples –
 Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge ponctuelle
 sur le nœud OKBK égale à 6 fois la charge normale
 Attribution de largeur de bande par flux ou par réseau virtuel
 (routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Attribution de largeur de bande par flux	Attribution de largeur de bande par réseau virtuel
Téléphonie professionnelle	1,64	1,70
Téléphonie privée	2,27	2,22
International sortant	1,11	0,89
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	0,40	0,27
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,94	0,93
Multimédia VBR-NRT	1,85	1,80
Multimédia UBR	12,86	12,88

**Tableau A.9 – Performance d'un réseau hiérarchique à 2 niveaux à zones multiples –
Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de panne sur la liaison CHCG-NYCM
Attribution de la largeur de bande par flux ou par réseau virtuel
(routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Attribution de largeur de bande par flux	Attribution de largeur de bande par réseau virtuel
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00
Téléphonie privée	0,00	0,00
International sortant	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00
Multimédia UBR	1,22	1,38

A.4 Qualité de réseau multiservice: nécessité de commutation MPLS et de services différenciés

Les exemples suivants illustrent la prise en charge de la commutation MPLS et de services différenciés dans le modèle de réseau multiservice. Supposer en premier lieu que circulent entre les nœuds A et B un trafic à priorité normale de 10 Mbit/s ainsi qu'un trafic à faible priorité de 10 Mbit/s. Suivant notre modèle, le trafic à faible priorité est traité comme un trafic à débit UBR et aucune largeur de bande ne lui est attribuée. Il ne lui est donc attribué aucune largeur de bande sur les chemins CRLSP, et il n'est pas considéré comme étant un trafic de classe d'équivalence aval (FEC, *forward equivalence class*) MPLS. Pour acheminer ce trafic à faible priorité, on utiliserait alors un protocole de passerelle intérieur (IGP, *interior gateway protocol*), tel qu'OSPF. Il serait donc impossible de refuser une attribution de largeur de bande au trafic à faible priorité pour réduire considérablement son flux au niveau d'un routeur périphérique, alors que cela est possible pour un trafic normal ou un trafic à priorité élevée. De fait, la seule manière de supprimer/diminuer le trafic de faible priorité est de le supprimer au niveau des files d'attente; il est donc essentiel qu'un trafic auquel on attribue une largeur de bande sur un chemin CRLSP bénéficie au niveau des files d'attente d'une priorité plus élevée qu'un trafic de faible priorité. Ainsi, suivant ce modèle, on caractérise chacune des trois classes de trafic par l'attribution éventuelle d'une étiquette Diffserv: aucune étiquette pour le trafic à faible priorité (il sera associé à un niveau de priorité faible concernant la mise en file d'attente), une étiquette Diffserv de réacheminement assuré (AF, *assured forwarding*) pour le trafic à priorité normale (ce qui correspond à un niveau de priorité moyen concernant la mise en file d'attente) et une étiquette Diffserv de réacheminement exprès (EF, *expedited forwarding*) pour le trafic à priorité élevée (ce qui lui confère la priorité la plus grande concernant la mise en file d'attente).

Il faut supposer à présent que l'on dispose de 30 Mbit/s de largeur de bande entre les nœuds A et B pour acheminer le trafic de priorité normale et le trafic de faible priorité. Supposer alors que le débit de chacun de ces deux types de trafic atteigne 20 Mbit/s. Le trafic à priorité normale demande et obtient une attribution de largeur de bande pour le chemin CRLSP entre A et B correspondant à 20 Mbit/s. Quant au trafic de faible priorité, auquel aucun chemin CRLSP et donc aucune largeur de bande n'a été attribuée, il est envoyé dans le réseau avec un débit de 20 Mbit/s. Mais, puisque l'on ne dispose que de 30 Mbit/s de largeur de bande entre A et B, le réseau doit diminuer

de 10 Mbit/s le débit du trafic de faible priorité pour que le trafic normal puisse bénéficier d'un débit de 20 Mbit/s. Ceci est réalisé dans notre modèle grâce aux mécanismes de mise en file d'attente et d'attribution d'étiquette Diffserv pour chaque classe de trafic. Ainsi, 10 Mbit/s de trafic de faible priorité sont supprimés au niveau des files d'attente, grâce à l'utilisation des étiquettes de priorité Diffserv. Sans ces étiquettes, le trafic normal et le trafic de faible priorité seraient tous deux gérés suivant le principe du premier entré/premier sorti (FIFO, *first-in, first-out*) au niveau des files d'attente; cette égalité de traitement pourrait par exemple conduire à attribuer 15 Mbit/s à chacun des deux trafics, ce qui n'est pas le but recherché.

Pour aller plus avant dans notre exemple, imaginer le cas où le trafic normal et le trafic de faible priorité passent tous deux à un débit de 40 Mbit/s. Le trafic à priorité normale essaie alors d'obtenir une attribution de largeur de bande sur chemin CRLSP de 40 Mbit/s. Mais seuls 30 Mbit/s peuvent lui être attribués, et 10 Mbit/s lui sont donc refusés au titre de la procédure de routage basée sur les contraintes MPLS. La présence d'une étiquette Diffserv AF sur le trafic de priorité normale et son absence sur le trafic de faible priorité conduit à supprimer la quasi-totalité du trafic de faible priorité au niveau des files d'attente, puisque la totalité de la largeur de bande de 30 Mbit/s sur le chemin entre A et B est attribuée au trafic normal. En l'absence d'étiquette Diffserv, 15 Mbit/s seraient peut-être attribués à chacun de ces deux types de trafic. Puisque 40 Mbit/s de trafic de faible priorité et seulement 30 Mbit/s de trafic normal sont envoyés sur le réseau, et que par conséquent les files d'attente FIFO ont à traiter plus de bits en provenance du premier trafic que du second, il serait également possible que la quantité de trafic de faible priorité acheminé soit supérieure à la quantité de trafic de priorité normale.

On peut formuler les observations générales suivantes quant à la prise en charge de la commutation MPLS et des services Diffserv dans les modèles de réseau multiservice:

- 1) il convient de faire appel à l'attribution de largeur de bande de commutation MPLS et à la mise en file d'attente selon la priorité (étiquette Diffserv) dans le cas d'un réseau multiservice acheminant un trafic de faible priorité (trafic Internet, courrier électronique, ...) un trafic à priorité normale (téléphonie à débit constant, téléphonie IP, service numérique commuté, ...) et un trafic à priorité élevée (service 800, trafic international entrant, ...). Dans les modèles envisagés, la commutation MPLS est utilisée pour l'attribution de largeur de bande au trafic normal et au trafic à priorité élevée, aucune largeur de bande n'étant allouée au trafic à faible priorité. En cas d'encombrement (surcharge ou panne par exemple), les mécanismes de mise en file d'attente selon la priorité (étiquette Diffserv) éliminent le trafic de faible priorité au niveau des files d'attente, de telle sorte que le trafic normal et le trafic à priorité élevé puissent bénéficier de l'ensemble de la largeur de bande sur chemin CRLSP attribuée via la commutation MPLS;
- 2) dans un réseau multiservice comprenant un trafic à priorité normale et un trafic à priorité élevée, mais pas de trafic à faible priorité, l'attribution de largeur de bande grâce à la commutation MPLS garantit plus ou moins le non-débordement des files d'attente. Dans ce cas, on peut également utiliser le mécanisme de mise en file d'attente selon la priorité (étiquette Diffserv), afin d'assurer une bonne performance au niveau paquet;
- 3) plus on disposera de largeur de bande et plus le coût sera bas, plus élevé sera le seuil au-dessus duquel les mécanismes MPLS et Diffserv ont un effet déterminant en cas de surcharge de trafic. Les modèles indiquent ainsi que la valeur du facteur de surcharge correspondant à un encombrement du réseau augmente à mesure que s'accroît la largeur de bande (OC3, OC12, OC48, OC192, ...). En tout état de cause, des pannes ou des surcharges importantes conduiront toujours à mettre en œuvre des mécanismes MPLS/Diffserv pour réduire l'encombrement du réseau.

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