



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.360.1

(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 pour
les réseaux multiservice IP, ATM et TDM –
Cadre général**

Recommandation UIT-T E.360.1

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.360.1

Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic pour les réseaux multiservice IP, ATM et TDM – Cadre général

Résumé

La série de Recommandations E.360.x décrit, analyse et recommande 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 Recs. 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 de mise en œuvre 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.360.1 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.

Recommandation UIT-T E.360.1 – Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic pour les réseaux multiservice IP, ATM et TDM – Cadre général

- 1 Domaine d'application
- 2 Références normatives
- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 5 Modèle d'ingénierie du trafic
- 6 Modèles de trafic
- 7 Fonctions de gestion du trafic
- 8 Fonctions de gestion de la capacité
- 9 Exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic
- 10 Modélisation et analyse en ingénierie du trafic
- 11 Conclusions/recommandations
- 12 Méthodes recommandées en termes d'ingénierie du trafic et de qualité de service pour les réseaux multiservice

Bibliographie

Recommandation UIT-T E.360.2 – Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de routage d'appel et de routage de connexion

- 1 Domaine d'application
- 2 Références
- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 5 Méthodes de routage d'appel
- 6 Méthodes de routage de connexion (de chemin support)
- 7 Choix de chemin fondé sur le routage fixe (FR) hiérarchique
- 8 Choix de chemin fondé sur le routage en fonction du temps (TDR)
- 9 Choix de chemin fondé sur le routage en fonction de l'état (SDR)
- 10 Choix de chemin fondé sur le routage en fonction des événements (EDR)
- 11 Routage interdomaine
- 12 Conclusions/recom

mandations

Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du 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
- 2 Références normatives

- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 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
- 6 Principes d'attribution, de protection et de réservation dynamiques de la largeur de bande
- 7 Attribution, protection et réservation de la largeur de bande par réseau virtuel
- 8 Attribution, protection et réservation de largeur de bande par flux
- 9 Contrôle du trafic au niveau paquet
- 10 Autres contraintes associées à la gestion des ressources de QS
- 11 Gestion des ressources de QS pour un routage interdomaine
- 12 Conclusions/recommandations

Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Recommandation UIT-T E.360.4 – Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes et prescriptions de gestion des tables de routage

- 1 Domaine d'application
- 2 Références
- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 5 Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux IP
- 6 Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux ATM
- 7 Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux TDM
- 8 Exigences en matière de signalisation et d'échange d'informations
- 9 Exemples de routage interréseau
- 10 Conclusions et recommandations

Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Recommandation UIT-T E.360.5 – Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de routage de transport

- 1 Domaine d'application
- 2 Références
- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 5 Principes du routage de transport dynamique
- 6 Exemples de routage de transport dynamique
- 7 Conception d'un réseau de transport fiable
- 8 Conclusions/recommandations

Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Recommandation UIT-T E.360.6 – Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de gestion de la capacité

- 1 Domaine d'application
- 2 Références
- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 5 Modèles pour la conception de la capacité de liaison
- 6 Modèles de choix des chemins les plus courts
- 7 Modèles pour la conception de capacité de réseau sur plusieurs heures
- 8 Modèles pour la conception de capacité pour les variations de charge d'un jour sur l'autre
- 9 Modèles pour la conception de la capacité de réserve pour les incertitudes de prévision
- 10 Modèles pour les réseaux à maillage dense, pour les réseaux à maillage peu dense et pour le routage de transport dynamique
- 11 Conclusions/recommandations

Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Recommandation UIT-T E.360.7 – Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Prescriptions opérationnelles d'ingénierie du trafic

- 1 Domaine d'application
- 2 Références
- 3 Définitions
- 4 Abréviations
- 5 Gestion du trafic
- 6 Gestion de la capacité – Prévisions
- 7 Gestion de la capacité – Contrôle de la performance sur un jour et sur une semaine
- 8 Gestion de la capacité – Ajustement à court terme du réseau
- 9 Comparaison entre méthodes hors ligne (TDR) et méthodes en ligne (SDR/EDR)
- 10 Conclusions/recommandations

Introduction

L'ingénierie du trafic (TE, *traffic engineering*) est une fonction de réseau indispensable qui permet de commander la réponse d'un réseau aux demandes de trafic et à d'autres stimuli (défaillances du réseau, etc.). Elle englobe:

- la gestion du trafic par le biais du contrôle des fonctions de routage, qui comprennent la conversion de numéro ou de nom en adresse de routage, le routage de connexion, la gestion des tables de routage, la gestion des ressources en fonction de la qualité de service et le routage de transport dynamique;
- la gestion de la capacité par le biais du contrôle de la conception du réseau.

Les réseaux actuels et futurs évoluent rapidement vers des réseaux protocole Internet (IP, *Internet protocol*), mode de transfert asynchrone (ATM, *asynchronous transfer mode*) et multiplexage par répartition dans le temps ou multiplexage temporel (TDM, *time division multiplexing*) prenant en charge une multitude de services vocaux/RNIS et de services de transmission de données par paquets. La révolution des données, longue à venir, a maintenant lieu, et s'accompagne d'une croissance extrêmement rapide de services de données tels que les services multimédias IP et de relais de trame. Dans ces catégories de réseaux et de services s'appuyant sur les protocoles IP, ATM et TDM, diverses méthodes d'ingénierie du trafic ont changé. La présente Recommandation porte sur les mécanismes d'ingénierie du trafic et expose une analyse comparative et une évaluation de performances de diverses solutions en matière d'ingénierie du trafic. Enfin, elle traite des exigences opérationnelles relatives à la mise en œuvre de l'ingénierie du trafic.

La présente Recommandation-cadre commence par un modèle général des fonctions d'ingénierie du trafic, qui comprennent les fonctions de gestion du trafic et de gestion de la capacité permettant de répondre aux demandes de trafic sur le réseau. Elle expose ensuite un modèle de variations du trafic qui détermine ces fonctions d'ingénierie du trafic. Puis elle donne un aperçu des fonctions de gestion du trafic, qui comprennent le routage d'appel (conversion de numéro ou de nom en adresse de routage), le routage de connexion ou routage de chemin support, la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, la gestion des tables de routage et le routage de transport dynamique. Ces fonctions de gestion du trafic sont explicitées plus en détail dans les Recs. UIT-T E.360.2, E.360.3, E.360.4 et E.360.5. La présente Recommandation donne ensuite un aperçu des fonctions de gestion de la capacité, qui font l'objet de la Rec. UIT-T E.360.6. Enfin, elle expose brièvement les exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic, explicitées plus en détail dans la Rec. UIT-T E.360.7.

La Rec. UIT-T E.360.2 présente des modèles pour le routage d'appel, qui fait intervenir la conversion de numéro ou de nom en adresse de routage associée à des demandes de service, et compare diverses méthodes de routage de connexion (ou de chemin support). La Rec. UIT-T E.360.3 examine en détail les méthodes de gestion des ressources en fonction de la qualité de service, compare la gestion des ressources par flux et par réseau virtuel (ou par faisceau de trafic ou par tuyau de largeur de bande) et illustre la réalisation d'une intégration multiservice avec des services à routage selon la priorité. La Rec. UIT-T E.360.4 identifie et examine les solutions en matière de gestion des tables de routage. Elle traite notamment des exigences relatives à la signalisation et à l'échange d'informations dans le cadre de l'interfonctionnement de différents types de réseau, de sorte que l'échange d'informations aux interfaces soit compatible d'un type de réseau à l'autre. La Rec. UIT-T E.360.5 décrit des méthodes pour le routage de transport dynamique, rendu possible par des capacités telles que les brasseurs optiques, afin de réorganiser dynamiquement la capacité du réseau de transport. La Rec. UIT-T E.360.6 décrit les principes applicables à la gestion de la capacité et la Rec. UIT-T E.360.7 présente les exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic.

Recommandation UIT-T E.360.1

Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic pour les réseaux multiservice IP, ATM et TDM – Cadre général

1 Domaine d'application

La série de Recommandations E.360.x décrit, analyse et recommande 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) concordent avec la définition donnée dans le document cadre du groupe TEWG de l'IETF:

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 Recs. 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 de mise en œuvre 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 qualité de fonctionnement et l'ajustement des réseaux à court terme.

Cette série de Recommandations 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

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants qui, de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à vision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée.

- [E.164] Recommandation UIT-T E.164 (1997), *Plan de numérotage des télécommunications publiques internationales.*
- [E.170] Recommandation UIT-T E.170 (1992), *Acheminement du trafic.*
- [E.177] Recommandation UIT-T E.177 (1996), *Acheminement dans le RNIS à large bande.*
- [E.191] Recommandation UIT-T E.191 (2000), *Adressage dans le RNIS à large bande.*
- [E.350] Recommandation UIT-T E.350 (2000), *Interfonctionnement d'acheminement dynamique.*
- [E.351] Recommandation UIT-T E.351 (2000), *Acheminement de connexions multimédias à travers des réseaux TDM, ATM ou IP.*
- [E.352] Recommandation UIT-T E.352 (2000), *Directives pour des méthodes d'acheminement efficaces.*
- [E.353] Recommandation UIT-T E.353 (2001), *Routage des appels en cas d'utilisation d'adresses d'acheminement de réseau international.*
- [E.412] Recommandation UIT-T E.412 (1998), *Commandes de gestion de réseau.*
- [E.490] Recommandation UIT-T E.490 (1992), *Mesures et évaluation du trafic – Description générale.*
- [E.491] Recommandation UIT-T E.491 (1997), *Mesure du trafic par destination.*
- [E.492] Recommandation UIT-T E.492 (1996), *Période de référence du trafic.*
- [E.493] Recommandation UIT-T E.493 (1996), *Contrôle de la qualité d'écoulement du trafic.*
- [E.500] Recommandation UIT-T E.500 (1998), *Principes de mesure de l'intensité du trafic.*
- [E.501] Recommandation UIT-T E.501 (1997), *Estimation du trafic offert sur le réseau.*
- [E.502] Recommandation UIT-T E.502 (2001), *Spécifications des mesures de trafic relatives aux commutateurs numériques de télécommunication.*
- [E.503] Recommandation UIT-T E.503 (1992), *Analyse des données des mesures de trafic.*
- [E.504] Recommandation UIT-T E.504 (1988), *Gestion des mesures de trafic.*
- [E.505] Recommandation UIT-T E.505 (1992), *Mesures de la qualité de fonctionnement du réseau de signalisation par canal sémaphore.*
- [E.506] Recommandation UIT-T E.506 (1992), *Prévision du trafic téléphonique international.*
- [E.507] Recommandation UIT-T E.507 (1988), *Modèles de prévision du trafic international.*
- [E.508] Recommandation UIT-T E.508 (1992), *Prévisions relatives aux nouveaux services de télécommunication.*
- [E.520] Recommandation UIT-T E.520 (1988), *Détermination du nombre de circuits nécessaires (sans possibilité de débordement automatique) en exploitation automatique et semi-automatique.*

- [E.521] Recommandation UIT-T E.521 (1988), *Calcul du nombre de circuits dans un faisceau écoulant du trafic de débordement.*
- [E.522] Recommandation UIT-T E.522 (1988), *Nombre de circuits dans un faisceau débordant.*
- [E.523] Recommandation UIT-T E.523 (1988), *Schémas types de distribution du trafic dans le cas de courants de trafic internationaux.*
- [E.524] Recommandation UIT-T E.524 (1999), *Approximations du trafic de débordement pour des flux de trafic non aléatoires.*
- [E.525] Recommandation UIT-T E.525 (1992), *Conception des réseaux pour le contrôle de la qualité d'écoulement du trafic.*
- [E.526] Recommandation UIT-T E.526 (1993), *Dimensionnement d'un faisceau de circuits avec services supports à intervalles de temps multiples et sans trafic de débordement.*
- [E.527] Recommandation UIT-T E.527 (2000), *Dimensionnement d'un faisceau de circuits avec services supports à intervalles de temps multiples et trafic de débordement.*
- [E.528] Recommandation UIT-T E.528 (1996), *Dimensionnement des systèmes à équipements de multiplication de circuit numérique.*
- [E.529] Recommandation UIT-T E.529 (1997), *Dimensionnement de réseau au moyen des objectifs de qualité d'écoulement du trafic de bout en bout.*
- [E.600] Recommandation UIT-T E.600 (1993), *Termes et définitions relatifs à l'ingénierie du trafic.*
- [E.731] Recommandation UIT-T E.731 (1992), *Méthodes de dimensionnement des ressources exploitées en mode commutation de circuits.*
- [E.733] Recommandation UIT-T E.733 (1998), *Méthodes de dimensionnement des ressources dans les réseaux utilisant le système de signalisation n° 7.*
- [E.734] Recommandation UIT-T E.734 (1996), *Méthodes d'allocation et de dimensionnement des ressources des réseaux intelligents.*
- [E.735] Recommandation UIT-T E.735 (1997), *Cadre général de gestion de trafic et du dimensionnement dans le RNIS à large bande.*
- [E.736] Recommandation UIT-T E.736 (2000), *Méthodes de gestion du trafic au niveau des cellules dans le RNIS-LB.*
- [E.737] Recommandation UIT-T E.737 (2001), *Méthodes de dimensionnement pour le RNIS à large bande.*
- [E.743] Recommandation UIT-T E.743 (1995), *Mesures du trafic à des fins de dimensionnement et de planification dans le système de signalisation n° 7.*
- [G.723.1] Recommandation UIT-T G.723.1 (1996), *Codeurs vocaux: codeur vocal à double débit pour communications multimédias acheminées à 5,3 kbit/s et à 6,3 kbit/s.*
- [H.225.0] Recommandation UIT-T H.225.0 (2000), *Protocoles de signalisation d'appel et paquets des flux monomédias dans les systèmes de communication multimédias en mode paquet.*
- [H.245] Recommandation UIT-T H.245 (2001), *Protocole de commande pour communications multimédias.*
- [H.246] Recommandation UIT-T H.246 (1998), *Interfonctionnement des terminaux multimédias de la série H avec d'autres terminaux multimédias de la série H et des terminaux vocaux ou en bande vocale sur le RTGC et le RNIS.*

- [H.323] Recommandation UIT-T H.323 (2000), *Systèmes de communication multimédia en mode paquet*.
- [I.211] Recommandation UIT-T I.211 (1993), *Aspects service du RNIS à large bande*.
- [I.324] Recommandation UIT-T I.324 (1991), *Architecture du RNIS*.
- [I.327] Recommandation UIT-T I.327 (1993), *Architecture fonctionnelle du RNIS à large bande*.
- [I.356] Recommandation UIT-T I.356 (2000), *Caractéristiques du transfert de cellules de la couche ATM du RNIS-LB*.
- [Q.71] Recommandation UIT-T Q.71 (1993), *Services supports commutés en mode circuit sur le RNIS*.
- [Q.2761] Recommandation UIT-T Q.2761 (1999), *Description fonctionnelle du sous-système utilisateur du RNIS-LB du système de signalisation n° 7*.
- [Q.2931] Recommandation UIT-T Q.2931 (1995), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Spécification de la couche 3 de l'interface utilisateur-réseau pour la commande de connexion/appel de base*.

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

- 3.1 routage multichemins:** technique de routage pour laquelle on utilise plusieurs chemins, et pas uniquement le chemin le plus court, entre un nœud d'origine et un nœud de destination pour router le trafic; elle sert à répartir la charge entre plusieurs chemins dans le réseau.
- 3.2 système autonome:** domaine de routage placé sous une autorité administrative unique et ayant une politique de routage interne homogène. Un système autonome peut employer plusieurs protocoles de routage intradomaine et un protocole de routage interdomaines unique pour les relations avec d'autres systèmes autonomes.
- 3.3 blocage:** refus ou non-admission d'une demande d'appel ou de connexion, fondé par exemple sur le manque de ressources disponibles sur une liaison donnée (par exemple ressources en termes de largeur de bande de liaison ou ressources pour une mise en file d'attente).
- 3.4 appel:** terme générique employé pour décrire l'établissement, l'utilisation et la libération d'une connexion (chemin support) ou d'un flux de données.
- 3.5 routage d'appel:** conversion de numéro (ou de nom) en une ou plusieurs adresses de routage, des serveurs de réseau ou des bases de données de réseau intelligent (RI) étant éventuellement utilisés pour le traitement de service.
- 3.6 commutation de circuits:** transfert d'un ensemble donné de bits associés à un intervalle de temps TDM sur une connexion entre un port d'entrée et un port de sortie d'un nœud donné de commutation de circuits via la structure de commutation de circuits (voir commutation).
- 3.7 classe de service:** caractéristiques d'un service tel qu'il est décrit par une identité de service, un réseau virtuel, une capacité de liaison requise, des paramètres seuils en termes de qualité de service et de trafic.
- 3.8 connexion:** chemin support, chemin commuté par étiquette, circuit virtuel et/ou conduit virtuel établi par routage d'appel et routage de connexion.
- 3.9 contrôle d'admission de connexion (CAC, *connection admission control*):** processus par lequel on détermine si une liaison ou un nœud a suffisamment de ressources pour pouvoir assurer la qualité de service requise pour une connexion ou un flux. Le contrôle CAC est généralement

appliqué par chaque nœud du chemin associé à la connexion ou au flux au moment de l'établissement afin de vérifier la disponibilité des ressources locales.

3.10 routage de connexion: établissement de connexion fondé sur le choix d'un chemin parmi les chemins possibles déterminés par la table de routage.

3.11 retour en arrière: technique applicable lors de l'établissement d'une connexion ou d'un flux et pour laquelle on revient en arrière le long du chemin associé à l'appel/à la connexion/au flux jusqu'au premier nœud qui peut déterminer un autre chemin vers le nœud de destination.

3.12 nœud de destination: nœud de destination dans un réseau donné.

3.13 flux: trafic support associé à un certain flux donné en mode connexion ou sans connexion, correspondant à un nœud d'origine, à un nœud de destination, à une classe de service et à une identification de session donnés.

3.14 qualité d'écoulement du trafic (GoS, *grade of service*): ensemble de variables de conception de réseau permettant de mesurer l'adéquation d'un groupe de ressources dans des conditions déterminées (exemples de variables de qualité d'écoulement du trafic: probabilité de perte, durée d'attente de tonalité, etc.).

3.15 normes de qualité d'écoulement du trafic: valeurs de paramètre assignées comme objectifs aux variables de qualité d'écoulement du trafic.

3.16 services intégrés: modèle permettant d'intégrer des services associés à diverses classes de qualité de service, par exemple des services à priorité élevée, normale ou faible.

3.17 liaison: support de transmission ayant une certaine largeur de bande entre deux nœuds, conçu comme faisant un tout.

3.18 liaison logique: support de transmission ayant une largeur de bande fixe (par exemple T1, DS3, OC3, etc.) au niveau de la couche Liaison (couche 2) entre deux nœuds, établi sur un chemin composé de (éventuellement plusieurs) liaisons de transport physiques (au niveau de la couche 1) qui sont par exemple commutées au moyen de plusieurs brasseurs optiques.

3.19 nœud: élément de réseau (commutateur, routeur, central) ayant des capacités de commutation et de routage, ou ensemble d'éléments de réseau de ce type représentant un réseau.

3.20 réseau multiservice: réseau dans lequel diverses classes de service utilisent en partage des ressources du réseau pour la transmission, la commutation, la mise en file d'attente, la gestion, etc.

3.21 couple O-D: couple nœud d'origine – nœud de destination pour une demande donnée de connexion ou d'allocation de largeur de bande.

3.22 nœud d'origine: nœud d'origine dans un réseau donné.

3.23 commutation de paquets: transfert d'un paquet donné sur une connexion entre un port d'entrée et un port de sortie d'un nœud donné de commutation par paquets via la structure de commutation par paquets (voir commutation).

3.24 chemin: concaténation de liaisons permettant d'assurer une connexion ou une allocation de largeur de bande entre un couple O-D.

3.25 liaison de transport physique: support de transmission ayant une certaine largeur de bande au niveau de la couche Physique (couche 1) entre deux nœuds, par exemple dans un système à fibres optiques entre terminaux utilisés pour la transmission de bits ou de paquets (voir transport).

3.26 routage réglementé: fonction de réseau appliquant des règles aux paramètres d'entrée pour en déduire une table de routage et ses paramètres associés.

3.27 qualité de service (QS): ensemble d'exigences de service que le réseau doit respecter lors du transport associé à une connexion ou à un flux; effet collectif de la performance qui détermine le degré de satisfaction d'un *utilisateur* du *service*.

3.28 gestion des ressources en fonction de la qualité de service: fonctions de réseau qui comprennent l'identification des classes de service, l'établissement des tables de routage, l'admission des connexions, l'allocation de largeur de bande, la protection de largeur de bande, la réservation de largeur de bande, le routage selon la priorité et la mise en file d'attente selon la priorité.

3.29 routage en fonction de la qualité de service: voir gestion des ressources en fonction de la qualité de service.

3.30 variable de qualité de service: toute variable de performance (liée aux encombrements, aux retards, etc.) perceptible par l'utilisateur.

3.31 route: ensemble de chemins raccordant un même nœud d'origine à un même nœud de destination.

3.32 routage: processus de détermination, d'établissement et d'utilisation de tables de routage pour choisir des chemins entre un port d'entrée côté réseau de départ et un port de sortie côté réseau d'arrivée; inclut le routage d'appel et le routage de connexion (voir ces deux termes).

3.33 table de routage: table décrivant les chemins possibles et les règles permettant d'en choisir un pour une demande donnée de connexion ou d'allocation de largeur de bande.

3.34 commutation: connexion entre un port d'entrée et un port de sortie d'un nœud donné via la structure de commutation.

3.35 ingénierie du trafic: ensemble comprenant la gestion du trafic, la gestion de la capacité, la mesure et la modélisation du trafic, la modélisation du réseau et l'analyse de la performance.

3.36 méthodes d'ingénierie du trafic: fonctions de réseau d'ingénierie du trafic comprenant le routage d'appel, le routage de connexion, la gestion de ressources en fonction de la qualité de service, la gestion des tables de routage et la gestion de la capacité.

3.37 flux de trafic: classe de demandes de connexion ayant les mêmes caractéristiques de trafic.

3.38 faisceau de trafic: ensemble de flux de trafic de la même classe qui sont routés sur le même chemin (voir liaison logique).

3.39 transport: transmission de bits ou de paquets sur la couche physique (couche 1) entre deux nœuds, par exemple dans un système à fibres optiques entre terminaux [à noter que cette définition est distincte de celle donnée dans le cadre du protocole IP – connectivité de bout en bout au niveau de la couche 4 – applicable notamment au protocole de commande de transport (TCP, *transport control protocol*)].

3.40 nœud intermédiaire: nœud intermédiaire sur un chemin dans un réseau donné.

4 Abréviations

AAR	acheminement avec débordement automatique (<i>automatic alternate routing</i>)
ABR	débit binaire disponible (<i>available bit rate</i>)
ADR	adresse
AESA	adresse de système de terminaison ATM (<i>ATM end system address</i>)
AFI	identificateur d'autorité et de format (<i>authority and format identifier</i>)
AINI	interface interréseaux ATM (<i>ATM inter-network interface</i>)
ALB	largeur de bande de liaison disponible (<i>available link bandwidth</i>)

ARR	reroutage automatique (<i>automatic rerouting</i>)
AS	système autonome (<i>autonomous system</i>)
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
B	occupé (<i>busy</i>)
BBP	processeur du courtier pour la largeur de bande (<i>bandwidth broker processor</i>)
BGP	protocole de passerelle frontière (<i>border gateway protocol</i>)
BICC	commande d'appel indépendante du support (<i>bearer independent call control</i>)
BNA	largeur de bande non disponible (<i>bandwidth not available</i>)
BW	largeur de bande (<i>bandwidth</i>)
BWIP	largeur de bande en progression (<i>bandwidth in progress</i>)
BWOF	largeur de bande offerte (<i>bandwidth offered</i>)
BWOV	débordement de largeur de bande (<i>bandwidth overflow</i>)
BWPC	comptage de référence de largeur de bande (<i>bandwidth peg count</i>)
CAC	contrôle d'admission d'appel (ou de connexion) (<i>call (or connection) admission control</i>)
CBK	retour en arrière (<i>crankback</i>)
CBR	débit binaire constant (<i>constant bit rate</i>)
CCS	signalisation par canal sémaphore (<i>common channel signalling</i>)
CIC	code d'identification d'appel (<i>call identification code</i>)
CRLDP	protocole de distribution avec étiquette d'acheminement basé sur les contraintes (<i>constraint-based routing label distribution protocol</i>)
CRLSP	itinéraire commuté avec étiquette d'acheminement basé sur les contraintes (<i>constraint-based routing label switched path</i>)
DADR	routage dynamique adaptatif réparti (<i>distributed adaptive dynamic routing</i>)
DAR	acheminement dynamique avec débordement (<i>dynamic alternate routing</i>)
DCC	indicatif de pays pour transmission de données (<i>data country code</i>)
DCR	routage avec commande dynamique (<i>dynamically controlled routing</i>)
DIFFSERV	services différenciés (<i>differentiated services</i>)
DN	nœud de destination (<i>destination node</i>)
DNHR	routage dynamique non hiérarchique (<i>dynamic non-hierarchical routing</i>)
DoS	profondeur de recherche (<i>depth-of-search</i>)
DSP	sous-système propre au domaine (<i>domain specific part</i>)
DTL	liste de transit désignée (<i>designated transit list</i>)
EDR	routage en fonction des événements (<i>event dependent routing</i>)
ER	route explicite (<i>explicit route</i>)
FR	routage fixe (<i>fixed routing</i>)
GCAC	contrôle d'admission d'appel générique (<i>generic call admission control</i>)

GOS	qualité d'écoulement du trafic (<i>grade of service</i>)
HL	forte charge (<i>heavily loaded</i>)
IAM	message initial d'adresse (<i>initial address message</i>)
ICD	désignateur de code international (<i>international code designator</i>)
IDI	identificateur de domaine initial (<i>initial domain identifier</i>)
IDP	sous-système du domaine initial (<i>initial domain part</i>)
IE	élément d'information (<i>information element</i>)
IETF	Groupe de travail d'ingénierie Internet (<i>Internet engineering task force</i>)
II	échange d'informations (<i>information interchange</i>)
ILBW	largeur de bande sur la libre liaison (<i>idle link bandwidth</i>)
INRA	adresse d'acheminement du réseau international (<i>international network routing address</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
IPDC	équipement de commande de protocole Internet (<i>Internet protocol device control</i>)
LBL	niveau de blocage de liaison (<i>link blocking level</i>)
LC	capacité de liaison (<i>link capability</i>)
LDP	protocole de distribution avec étiquette (<i>label distribution protocol</i>)
LL	faible charge (<i>lightly loaded</i>)
LLR	routage à moindre charge (<i>least loaded routing</i>)
LSA	annonce d'état de liaison (<i>link state advertisement</i>)
LSP	conduit commuté avec étiquette (<i>label switched path</i>)
MEGACO	commande de passerelle média (<i>media gateway control</i>)
MOD	modifier
MPLS	commutation multiprotocolaire par étiquetage (<i>multiprotocol label switching</i>)
NANP	plan de numérotage Nord-Américain (<i>north american numbering plan</i>)
NSAP	point d'accès au service de réseau (<i>network service access point</i>)
ODR	routage dynamique optimisé (<i>optimized dynamic routing</i>)
ON	nœud d'origine (<i>originating node</i>)
OSPF	premier conduit ouvert le plus court (<i>open shortest path first</i>)
PAR	paramètres
PNNI	interface réseau-réseau privée (<i>private network-to-network interface</i>)
PTSE	éléments d'état de topologie PNNI (<i>PNNI topology state elements</i>)
QoS	qualité de service
R	réservé
RNIS-BE	réseau numérique à intégration de services à bande étroite
RNIS-LB	réseau numérique à intégration de services à large bande
RQE	élément demande d'acheminement (<i>routing query element</i>)

RRE	élément recommandation d'acheminement (<i>routing recommendation element</i>)
RSE	élément d'état d'acheminement (<i>routing state element</i>)
RSVP	protocole de réservation de ressources (<i>resource reservation protocol</i>)
RTNR	routage réseau en temps réel (<i>real-time network routing</i>)
RTPC	réseau téléphonique public commuté
SCP	point de commande de service (<i>service control point</i>)
SDR	routage en fonction de l'état (<i>state-dependent routing</i>)
SI	identité de service (<i>service identity</i>)
SIP	protocole d'initialisation de session (<i>session initiation protocol</i>)
SS7	système de signalisation n° 7 (<i>signalling system No. 7</i>)
STR	routage en fonction de l'état et du temps (<i>state- and time-dependent routing</i>)
SVC	circuit virtuel commuté (<i>switched virtual circuit</i>)
SVP	conduit virtuel commuté (<i>switched virtual path</i>)
TBW	largeur de bande totale (<i>total bandwidth</i>)
TBWIP	largeur de bande totale en progression (<i>total bandwidth in progress</i>)
TDR	routage en fonction du temps (<i>time-dependent routing</i>)
TIPHON	harmonisation de protocole de télécommunication et Internet entre réseaux (<i>telecommunications and Internet protocol harmonization over networks</i>)
TLV	type/longueur/valeur
ToS	type de service (<i>type of service</i>)
TR	réservation de jonctions (<i>trunk reservation</i>)
TRAF	trafic
TSE	élément d'état de topologie (<i>topology state element</i>)
UBR	débit non assigné (<i>unassigned bit rate</i>)
UNI	interface utilisateur-réseau (<i>user-network interface</i>)
VBR	débit variable (<i>variable bit rate</i>)
VC	circuit virtuel (<i>virtual circuit</i>)
VCI	identificateur de circuit virtuel (<i>virtual circuit identifier</i>)
VN	nœud intermédiaire (<i>via node</i>)
VNET	réseau virtuel (<i>virtual network</i>)
VPI	identificateur de conduit virtuel (<i>virtual path identifier</i>)
WIN	réseau intelligent global (acheminement) [<i>worldwide intelligent network (routing)</i>]

5 Modèle d'ingénierie du trafic

La Figure 1 illustre un modèle d'ingénierie du trafic dans un réseau. Le cadre central représente le réseau – qui peut avoir diverses architectures et configurations – et les tables de routage qui y sont utilisées. Le réseau peut être un réseau métropolitain, un réseau interurbain national ou un réseau global international, prenant en charge une structure hiérarchique et une structure non hiérarchique ainsi que des combinaisons des deux. Les tables de routage décrivent les chemins possibles entre un nœud d'origine et un nœud de destination, pour une demande de connexion relative à un service donné. Elles peuvent être hiérarchiques ou non hiérarchiques et fixes ou dynamiques. Elles sont utilisées pour divers types de trafic et divers services de transport sur le réseau de télécommunication.

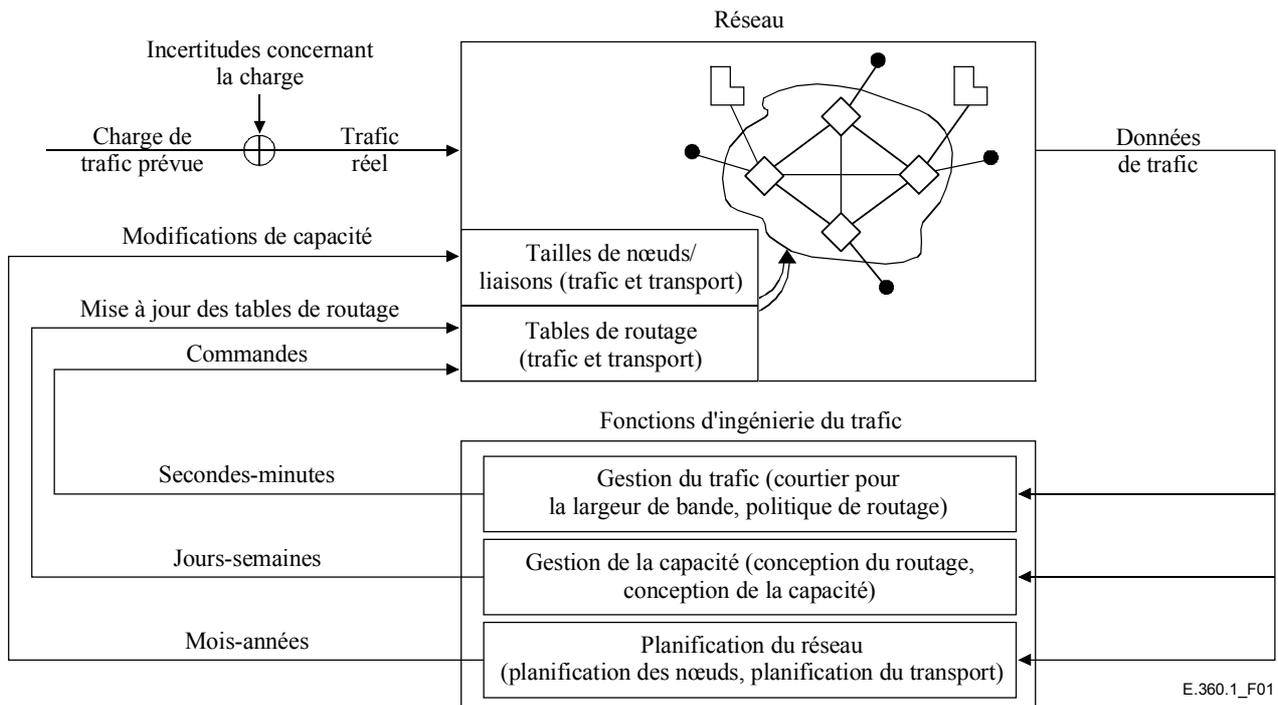


Figure 1/E.360.1 – Modèle d'ingénierie du trafic

Les fonctions indiquées sur la Figure 1 concordent avec la définition de l'ingénierie du trafic employée par le groupe TEWG de l'IETF:

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.

Concernant la terminologie utilisée dans la présente Recommandation, comme illustré sur la Figure 2, une liaison désigne un support de transmission (logique ou physique) qui raccorde deux nœuds, un chemin désigne une séquence de liaisons raccordant un nœud d'origine à un nœud de destination et une route désigne l'ensemble des différents chemins entre un nœud d'origine et un nœud de destination sur lesquels un appel peut être routé dans le cadre de certaines règles de routage. Ici, un appel est un terme générique employé pour décrire l'établissement, l'utilisation et la libération d'une connexion ou d'un flux de données. Dans ce contexte, un appel peut désigner un appel vocal établi éventuellement au moyen du protocole de signalisation du système SS7 ou une session de flux de données sur le web établie éventuellement au moyen du protocole HTTP et des protocoles associés fondés sur IP. Diverses mises en œuvre de tables de routage sont examinées dans la Rec. UIT-T E.360.2.

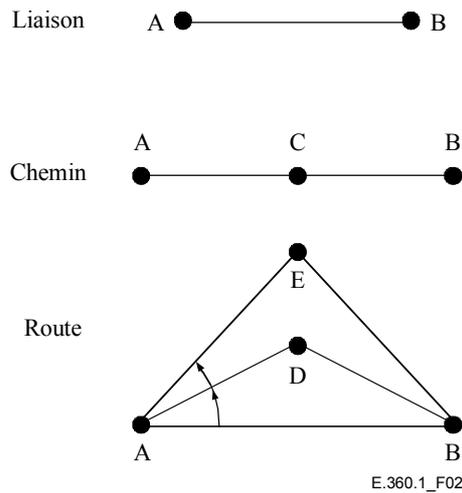


Figure 2/E.360.1 – Terminologie

Les fonctions d'ingénierie du trafic comprennent la gestion du trafic, la gestion de la capacité et la planification du réseau. La gestion du trafic vise à garantir que la performance du réseau est maximisée dans toutes les conditions, y compris en cas de décalage de charge ou de défaillance. La gestion de la capacité vise à garantir que, de par sa conception et sa configuration, le réseau permet d'atteindre les objectifs de qualité de fonctionnement relatifs aux demandes à un coût minimal. La planification du réseau vise à garantir que la capacité en termes de nœuds et de transport est planifiée et déployée en avance compte tenu des prévisions de croissance du trafic. La Figure 1 représente la gestion du trafic, la gestion de la capacité et la planification du réseau comme étant trois boucles de rétroaction interagissantes autour du réseau. Le réseau ("système") reçoit en entrée une charge de trafic avec bruit ("signal"), constituée de composantes prévisibles correspondant à la demande moyenne auxquelles s'ajoutent une erreur de prévision inconnue et des composantes de variation de charge. Ces composantes de variation de charge ont des constantes de temps différentes, pouvant être très brèves ou être égales à quelques heures, quelques jours ou quelques semaines à une saison. En conséquence, les constantes de temps des contrôles de rétroaction sont adaptées en fonction des variations de charge, leur rôle étant de permettre une régulation du service assuré par le réseau par le biais d'ajustements de la capacité et du routage.

Les fonctions de gestion du trafic comprennent:

- a) le routage d'appel, qui fait intervenir la conversion d'un numéro ou d'un nom en adresse de routage;
- b) les méthodes de routage de connexion ou de chemin support;
- c) la gestion des ressources en fonction de la qualité de service;
- d) la gestion des tables de routage;
- e) le routage de transport dynamique.

Ces fonctions peuvent être:

- a) décentralisées et réparties entre les nœuds du réseau;
- b) centralisées et attribuées à un contrôleur central (courtier pour la largeur de bande par exemple);
- c) exécutées dans le cadre d'une combinaison hybride de ces deux cas.

Dans le cadre de la gestion de la capacité, on planifie, prévoit et met à disposition la capacité nécessaire sur une période de plusieurs mois à un an, voire davantage. Exceptionnellement, une certaine capacité peut être ajoutée à court terme, dans un délai pouvant aller de une à plusieurs semaines, afin de remédier à des problèmes de service. La conception du réseau, qui fait partie de la

gestion de la capacité, englobe la conception du routage et la conception de la capacité. Dans le cadre de la conception du routage, on tient compte de la capacité fournie par la gestion de la capacité et on ajuste les tables de routage toutes les semaines voire en temps réel en fonction des besoins afin de résoudre les problèmes de service. Les tables de routage mises à jour sont mises à disposition (configurées) dans les systèmes de commutation soit directement soit par l'intermédiaire d'un système automatisé de mise à jour du routage. La planification du réseau inclut la planification des nœuds et la planification du transport et détermine l'extension de la capacité de réseau sur une période de plusieurs années sur la base des prévisions relatives au réseau.

Les méthodes d'ingénierie du trafic s'appliquent notamment dans le cadre de l'établissement de connexions pour des services multimédia à bande étroite, à bande étendue et à large bande à l'intérieur de réseaux multiservice et entre de tels réseaux. Un réseau multiservice désigne ici un réseau dans lequel diverses classes de service utilisent en partage les ressources de transmission, de commutation, de gestion et autres du réseau. Ces classes de service peuvent inclure des classes de trafic à débit constant (CBR, *constant bit rate*), à débit variable (VBR, *variable bit rate*), à débit non assigné (UBR, *unassigned bit rate*) et à débit disponible (ABR, *available bit rate*). Elles sont normalement associées à certains objectifs quantitatifs de qualité de fonctionnement, notamment en termes de blocage de bout en bout, de retard et/ou de retard-gigue. Ce sont la gestion du trafic et la gestion de la capacité qui, combinées, permettent d'atteindre ces objectifs.

La Figure 3 illustre une connexion entre un nœud d'origine dans un réseau donné et un nœud de destination dans un autre réseau, une ou plusieurs méthodes de routage étant utilisées dans des réseaux de divers types. Il s'agit d'une connexion multimédia entre deux PC acheminant du trafic associé à des applications regroupant voix, vidéo et images. Une connexion logique point à point est alors établie entre le PC desservi par le nœud a1 et le PC desservi par le nœud c2, par exemple une connexion RNIS CBR passant par le réseau A TDM et le réseau C ATM ou une connexion VBR via le réseau B IP. Les nœuds passerelles a3, b1, b4 et c1 fournissent les capacités d'interfonctionnement entre les réseaux TDM, ATM et IP. La connexion multimédia effective pourrait par exemple être routée sur un chemin passant par les nœuds a1-a2-a3-b1-b4-c1-c2 ou éventuellement sur un chemin différent passant par d'autres nœuds passerelles.

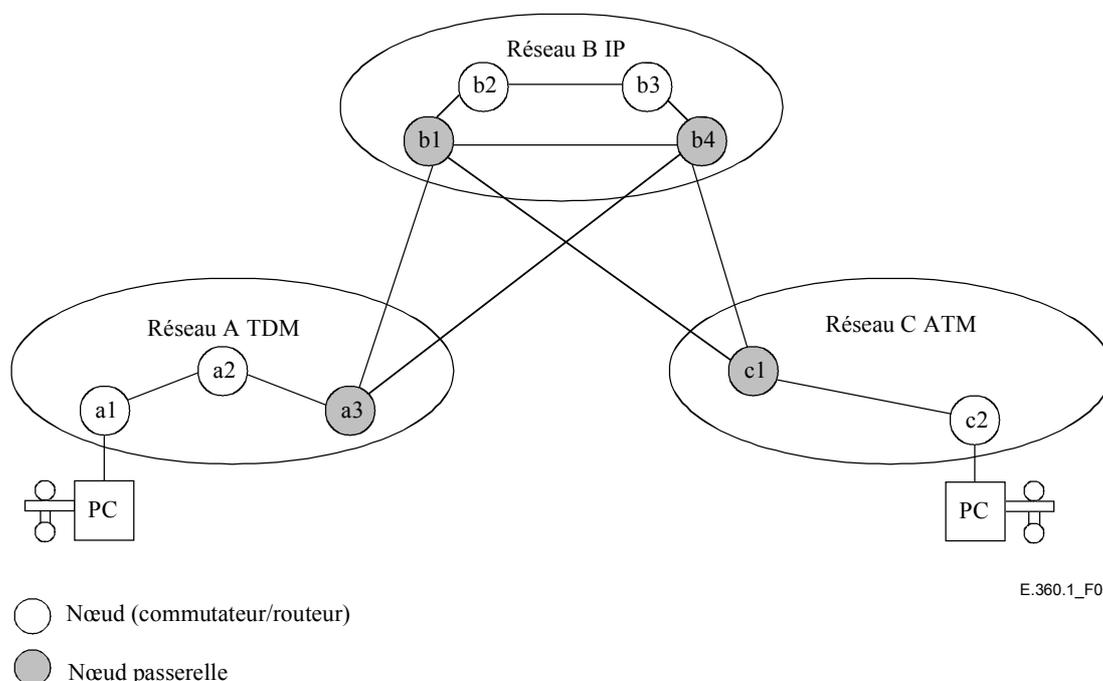


Figure 3/E.360.1 – Exemple de connexion multimédia passant par des réseaux TDM, ATM et IP

Les paragraphes qui suivent contiennent une brève description des modèles de trafic, des fonctions de gestion du trafic, des fonctions de gestion de la capacité et des exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic (explicités plus en détail dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.7 de la Recommandation).

6 Modèles de trafic

Le présent paragraphe porte sur les modèles de variation de charge qui gouvernent les fonctions d'ingénierie du trafic, à savoir la gestion du trafic, la gestion de la capacité et la planification du réseau. Le Tableau 1 résume quelques exemples de modèles pouvant être utilisés pour diverses variations de trafic. Il faut tenir compte à la fois du trafic vocal et du trafic de données dans les modèles de trafic.

Des études relatives à la mesure et à la caractérisation du trafic de données, notamment le trafic acheminé sur le web, ont été menées [FGLRRT00], [FGHW99], [LTWW94]. Certaines analyses laissent apparaître que le trafic acheminé sur le web peut être autosimilaire, ou fractal, sa variabilité étant très grande et les distributions de trafic associées comportant de très longues queues. Pour caractériser ce trafic de données, divers modèles classiques ont été envisagés, notamment le processus de Poisson modulé selon Markov (MMPP, *Markov modulated Poisson process*). Il a été montré que le processus MMPP avec deux paramètres reflète bien la nature essentielle du trafic de données [H99], [BCHLL99].

Des modélisations ont été faites afin de rechercher les causes de l'extrême variabilité du trafic acheminé sur le web. D'après le document [HM00], les mécanismes de gestion des encombrements appliqués au trafic acheminé sur le Web, notamment le contrôle de flux fenêtre par fenêtre pour le trafic du protocole de commande de transport (TCP, *transport-control-protocol*), semblent être à l'origine de cette extrême variabilité sur des périodes courtes. Le document [FGHW99] montre en outre que la variabilité sur des périodes courtes découle dans une large mesure de la présence d'algorithmes de contrôle de flux de type TCP qui entraînent un regroupement de paquets IP par rafales. Toutefois, le document [FGHW99] fait aussi apparaître que le comportement autosimilaire sur de longues périodes est dû presque exclusivement à une variabilité liée aux utilisateurs et ne dépend pas des aspects propres au réseau sous-jacent.

En ce qui concerne la modélisation du trafic vocal et du trafic de données dans un modèle multiservice, le document [HM00] laisse apparaître que les dynamiques normales de contrôle de flux sont plus utiles pour la modélisation que le trafic autosimilaire proprement dit. La plus grande partie du trafic à modéliser est un trafic VBR soumis à des accords de niveau de service (SLA, *service level agreement*). Ce trafic est assujéti à un contrôle d'admission fondé sur des besoins équivalents en largeur de bande et il est conformé de telle sorte que les paquets hors contrat portent une mention en vue d'être éliminés dans les files d'attente du réseau en cas d'encombrement. Les autres types de trafic VBR, notamment le trafic Internet acheminé au mieux, ne bénéficient d'aucune attribution de largeur de bande lors de l'admission des flux de session et, en cas de problème, tous les paquets seraient éliminés avant ceux du trafic CBR et du trafic VBR-SLA. Nous pouvons donc envisager un modèle de trafic à deux composantes:

- le trafic CBR et le trafic VBR-SLA dont les paquets ne portent pas de mention d'élimination forment une composante de trafic peu variable entrant dans le cadre de modèles classiques;
- le trafic VBR acheminé au mieux et le trafic VBR-SLA dont les paquets portent une mention d'élimination forment une composante de trafic très variable, autosimilaire.

Des efforts considérables ont été déployés afin de modéliser le trafic de données notamment à large bande, pour lequel des modèles à deux paramètres reflétant la moyenne et la variance associées aux processus d'arrivée de flux/connexion s'avèrent tout à fait convenables. Le document [E.716] constitue une bonne référence sur le sujet. De gros efforts ont également été faits afin de mesurer et

de caractériser le trafic vocal, pour lequel des modèles à deux paramètres reflétant la moyenne et la variance (le rapport entre la variance et la moyenne est parfois appelé paramètre d'irrégularité) du trafic s'avèrent être des modèles précis. La modélisation de la grande variabilité associée aux processus d'arrivée de paquets vise à rendre compte de l'extrême variabilité du trafic.

L'intérêt porte ici sur les modèles de trafic multiservice à deux paramètres pour les processus d'arrivée de flux/connexion, modèles qui sont gérables d'un point de vue modélisation et analyse et qui visent à rendre compte des aspects essentiels de la variabilité du trafic de données et du trafic vocal, ces modèles étant destinés à être utilisés dans le cadre des méthodes d'ingénierie du trafic et des méthodes liées à la qualité de service. La Rec. UIT-T E.360.2 présente les modèles reflétant la variabilité associée aux processus d'arrivée de paquets.

Tableau 1/E.360.1 – Modèles de variation de charge de trafic pour les processus d'arrivée de flux/connexion

Constante de temps des variations du trafic	Exemples de variation de charge pour la gestion du trafic	Exemple de modèle de trafic pour la gestion de la capacité	Incidences du point de vue de la capacité
Plusieurs minutes	Fluctuations de trafic aléatoires en temps réel; trafic de débordement par rafales; surcharges ponctuelles (par exemple dues à des appels pour la radio ou la télévision, à des catastrophes naturelles, etc.); surcharges générales (par exemple dues à des pointes d'appel quotidiennes); encombrement dû à une panne de réseau (par exemple rupture de fibre ou panne de nœud); décalages de trafic dus à des variations de prix pour le trafic de transit, à un arbitrage ou à une revente de masse.	Modèle stochastique; normalement avec deux paramètres (moyenne et variance); trafic lié à des surcharges ponctuelles ou générales exclu; trafic en cas de panne de réseau exclu	Capacité de trafic pour les heures de pointe (trafic lié à des surcharges ponctuelles ou générales et trafic en cas de panne de réseau exclus)
Plusieurs heures	Pointe quotidienne de trafic professionnel; pointe de trafic (privé) acheminé sur le Web, au cours des soirées; pointe de trafic (privé) mobile, au cours des soirées et des week-ends	Modèle déterministe; moyenne variable dans le temps, fonction des valeurs moyennées sur 20 jours; conception sur plusieurs heures	Capacité sur plusieurs heures

**Tableau 1/E.360.1 – Modèles de variation de charge de trafic
pour les processus d'arrivée de flux/connexion**

Constante de temps des variations du trafic	Exemples de variation de charge pour la gestion du trafic	Exemple de modèle de trafic pour la gestion de la capacité	Incidences du point de vue de la capacité
Plusieurs jours	La matinée du lundi est la plus chargée concernant le trafic professionnel quotidien; la soirée du dimanche est la plus chargée concernant le trafic acheminé sur le Web; la soirée du vendredi est la plus chargée concernant le trafic mobile;	Modèle stochastique; normalement avec deux paramètres (moyenne et variance); plusieurs niveaux de variance modélisés pour les variations faibles/moyennes/élevées d'un jour sur l'autre	Capacité dépendante du jour
Plusieurs semaines	Variations été/hiver; erreurs de prévision	Modèle stochastique; normalement avec 2 paramètres (moyenne et variance); conception de routage et de capacité pour un flux maximal	Capacité de réserve

En ce qui concerne les variations de charge de trafic instantanées, la charge est généralement modélisée sous forme de processus aléatoire stationnaire sur une période donnée (normalement une heure) caractérisé par une moyenne et une variance fixes. Pour les variations d'une heure sur l'autre, les charges de trafic moyennes sont modélisées comme variant de façon déterministe, par exemple, en fonction de leurs valeurs moyennées sur 20 jours. Pour les variations d'un jour sur l'autre, pour une heure donnée, la charge moyenne peut par exemple être modélisée sous forme de variable aléatoire ayant une distribution gamma dont la moyenne est égale à la charge moyennée sur 20 jours. Les variations de charge d'une semaine sur l'autre sont modélisées sous forme de processus aléatoire dans la procédure de conception du réseau. La composante aléatoire de la charge réelle sur plusieurs semaines correspond à l'erreur de prévision, qui est égale à l'écart entre la charge prévue et la charge réelle. Il est tenu compte de l'erreur de prévision dans la gestion de la capacité à court terme.

Face aux variations de charge (variations instantanées, d'une heure sur l'autre, d'un jour sur l'autre, d'une semaine sur l'autre), on veille, dans le cadre de la gestion du trafic, à ce que la conversion de numéro et le routage, le choix des chemins, la gestion des tables de routage et/ou la gestion des ressources en fonction de la qualité de service soient exécutés convenablement. La gestion du trafic permet de surveiller la performance du réseau grâce à la collecte et à l'affichage de données de trafic et de performance et permet d'insérer des commandes de gestion du trafic (par exemple, commande de blocage des appels vers une adresse de destination pour une connexion, commande d'espacement des appels pour une connexion, commande de modification de table de routage, commande de choix de chemin ou de reroutage) lorsque les circonstances le justifient. Par exemple, une surcharge ponctuelle pourrait conduire à l'application de commandes d'espacement des appels pour une connexion: une demande de connexion pour une adresse de destination donnée ou un ensemble d'adresses ne serait admise qu'une fois toutes les x secondes et les demandes de connexion arrivant après un appel accepté seraient rejetées pendant les x secondes suivantes. Ainsi, l'espacement des appels permet d'éviter toute surcharge du réseau en un point donné. La commande de modification

de table de routage et la commande de reroutage sont illustrées dans les Recs. E.360.2, E.360.3, E.360.5 et E.360.7.

La gestion de la capacité doit fournir une capacité suffisante pour pouvoir prendre en charge les variations de trafic prévues afin de respecter les objectifs de bout en bout en termes de blocage/retard. Le blocage désigne ici le refus ou la non-admission d'une demande d'appel ou de connexion, fondé par exemple sur le manque de ressources disponibles sur une liaison donnée (par exemple ressources en termes de largeur de bande de liaison ou ressources pour une mise en file d'attente). Les variations de charge sont directement associées à des capacités et peuvent être classées en:

- 1) variations instantanées ou d'une minute sur l'autre et capacité associée de trafic pour les heures de pointe;
- 2) variations d'une heure sur l'autre et capacité associée sur plusieurs heures;
- 3) variations d'un jour sur l'autre et capacité associée dépendante du jour;
- 4) variations d'une semaine sur l'autre et capacité de réserve associée.

Dans le cadre de la gestion de la capacité, les méthodes de conception tiennent compte de la moyenne et de la variance des variations de charge offerte et de charge de débordement au cours d'une heure. On utilise par exemple des méthodes classiques par exemple [Wil56] pour dimensionner les liaisons compte tenu de ces deux paramètres de charge. La conception de routage dynamique sur plusieurs heures tient compte des variations de charge d'une heure sur l'autre, la capacité sur plusieurs heures pouvant varier de zéro à 20% ou plus de la capacité du réseau. La capacité sur plusieurs heures peut être réduite par certains modèles applicables à la conception de routage dynamique sur plusieurs heures, notamment les modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets, d'optimisation pour des flux de charges de trafic et d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic décrits dans la Rec. UIT-T E.360.6. Comme indiqué dans le Tableau 1, dans le cadre de la gestion de la capacité, le trafic non récurrent est exclu, par exemple le trafic engendré par des surcharges (ponctuelles ou générales) ou des pannes. Pour plus de détails, on se reportera à la Rec. E.360.7.

Il est bien connu que certaines variations d'un jour sur l'autre sont systématiques (par exemple, le trafic professionnel est généralement plus élevé le lundi matin que le vendredi matin); toutefois, dans certains modèles de variation d'un jour sur l'autre, ces variations systématiques sont ignorées et sont prises en considération en bloc dans le modèle stochastique. La charge de trafic entre Los Angeles et New Brunswick est par exemple très semblable d'un jour sur l'autre, mais les volumes d'appel exacts diffèrent pour chaque jour de la semaine. Pour caractériser cette variation de charge, dans le cadre de la conception de réseau, on peut utiliser un modèle stochastique de variation d'un jour sur l'autre, qui se traduit par une capacité additionnelle appelée capacité dépendante du jour. Celle-ci est nécessaire pour pouvoir respecter l'objectif en termes de blocage et de retard moyens lorsque la charge varie conformément au modèle stochastique. La capacité dépendante du jour est non nulle en raison des niveaux non linéaires de blocage de liaison et de retard lié à la mise en file d'attente pour une liaison, niveaux qui sont fonction de la charge. Lorsque la charge sur une liaison fluctue autour d'une valeur moyenne, par suite de variations d'un jour sur l'autre, le blocage et le retard moyens sont plus élevés que le blocage et le retard produits par la charge moyenne. Une capacité additionnelle est donc prévue afin de continuer à respecter l'objectif en termes de blocage et de retard en présence de variation de charge d'un jour sur l'autre.

La capacité dépendante du jour qui est requise représente généralement de 4 à 7% des coûts liés au réseau pour, respectivement, des variations d'un jour sur l'autre qui sont moyennes à élevées. De même, du fait d'incertitudes relatives à la charge – dans ce cas, il s'agit d'erreurs de prévision – on est amené à prévoir une capacité de réserve en sus de la capacité de réseau qui correspond exactement aux charges prévues. Les réticences à déconnecter et réorganiser la capacité de liaison et la capacité de transport incitent à mettre en place cette capacité de réserve. Dans tous les cas, la

mesure courante de la charge moyenne sert à ajuster la conception du routage et de la capacité, en fonction des besoins. De plus, la composante de la variance liée aux erreurs de prévision est utilisée dans certains modèles pour intégrer une capacité dite de protection. La capacité de réserve ou de protection permet d'assurer une protection contre les surcharges et les pannes et permet généralement d'améliorer la performance du réseau. Toutefois, la fourniture d'une capacité de réserve n'est généralement pas intégrée dans le processus de conception de la capacité, mais découle de l'application de procédures administratives. Ces procédures visent à minimiser les coûts totaux liés au réseau (investissements et dépenses d'exploitation). Des études ont montré que, dans certains réseaux, la capacité de réserve représente entre 15 et 25% des coûts liés au réseau, voire davantage [FHH79]. Pour plus de détails, on se reportera aux Recs. UIT-T E.360.5 et E.360.6.

7 Fonctions de gestion du trafic

Les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.5 portent sur les fonctions de gestion du trafic et notamment sur les points suivants:

- a) méthodes de routage d'appel (Rec. UIT-T E.360.2). Pour le routage d'appel, il faut convertir un numéro ou un nom en adresse de routage, qui peut être une adresse de système d'extrémité ATM E.164 (AESA), une adresse de routage de réseau (NRA, *network routing address*) ou une adresse IP. Ces adresses servent pour le routage et doivent donc être acheminées dans l'élément d'information (IE, *information element*) établissement de connexion;
- b) méthodes de routage de connexion/chemin support (Rec. UIT-T E.360.2). Pour le routage de connexion ou de chemin support, il faut choisir un chemin entre le nœud d'origine et le nœud de destination dans un réseau. Dans cette Recommandation, on examine les méthodes de choix de chemin support, classées en quatre catégories selon le type de routage: routage fixe (FR, *fixed routing*), routage en fonction du temps (TDR, *time-dependent routing*), routage en fonction de l'état (SDR, *state-dependent routing*) et routage en fonction des événements (EDR, *event-dependent routing*). Ces méthodes sont associées à des tables de routage, constituées d'une route et de règles permettant de choisir un chemin parmi tous les chemins associés à la route pour une demande donnée de connexion ou d'allocation de largeur de bande;
- c) méthodes de gestion des ressources en fonction de la qualité de service (Rec. UIT-T E.360.3). Les fonctions de gestion des ressources en fonction de la qualité de service comprennent la détermination de la classe de service, l'établissement de tables de routage associées à un routage réglementé, l'admission de connexion, l'allocation de largeur de bande, la protection de largeur de bande, la réservation de largeur de bande, le routage selon la priorité, la mise en file d'attente selon la priorité et d'autres fonctions connexes de gestion des ressources;
- d) méthodes de gestion des tables de routage (Rec. UIT-T E.360.4). On utilise les informations de gestion des tables de routage (informations de mise à jour de la topologie, informations d'état, recommandations de routage) lorsqu'on applique les règles de conception de table de routage pour déterminer les chemins possibles dans la table de routage. Ces informations sont échangées entre deux nœuds: le nœud d'origine et le nœud de destination, ou un nœud et un élément de réseau, par exemple un processeur de courtier pour la largeur de bande (BBP, *bandwidth-broker processor*). Elles servent à générer la table de routage, qui sert à son tour à déterminer les chemins possibles parmi lesquels s'opérera le choix d'un chemin;
- e) méthodes de routage de transport dynamique (Rec. UIT-T E.360.5). La combinaison du routage de transport dynamique et du routage de trafic dynamique permet de transférer une certaine largeur de bande de transport entre couples de nœuds et entre services grâce à l'utilisation d'une technique de commutation de transport souple, par exemple le brassage optique. Le routage de transport dynamique a pour avantages d'être simple de conception et

d'être robuste face aux variations de charge et aux pannes de réseau. Il permet en outre d'assurer une configuration automatique des liaisons, un routage fondé sur une diversité de liaison et une restauration rapide de liaison en vue d'améliorer l'utilisation de la capacité de transport et la qualité de fonctionnement en cas de difficultés. Les brasseurs optiques (OXC, *optical cross-connect*) peuvent reconfigurer la capacité de transport logique à la demande, par exemple pour tenir compte du trafic pendant les jours de pointe, ou dans le cadre de la redéfinition hebdomadaire de la capacité de liaison, ou encore dans le cadre d'une restauration d'urgence de la capacité en cas de panne de nœud ou de défaillance de transport. Des capacités de commande MPLS sont proposées pour l'établissement des liaisons logiques de couche 2 via des brasseurs optiques [ARDC99].

8 Fonctions de gestion de la capacité

La Rec. UIT-T E.360.6 porte sur les méthodes de gestion de la capacité et notamment sur les points suivants:

- a) modèles pour la conception de la capacité de liaison. Ces modèles visent à trouver le meilleur compromis entre le trafic transporté sur le chemin de réseau le plus court (peut-être une liaison directe) et le trafic transporté sur d'autres chemins de réseau (plus longs, moins efficaces);
- b) modèles de choix des chemins les plus courts. Ces modèles permettent de déterminer les chemins les plus courts afin de disposer d'un plan de routage plus efficace et plus souple;
- c) modèles pour la conception de capacité de réseau sur plusieurs heures. Trois types de modèles sont décrits:
 - i) modèles optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*);
 - ii) modèles d'optimisation pour des flux de charges de trafic (TLFO, *traffic load flow optimization*);
 - iii) modèles d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic (VTFO, *virtual trunking flow optimization*).L'avantage des modèles DEFO tient à ce qu'il est possible de modéliser un trafic et des méthodes de routage de complexité arbitraire, par exemple un trafic autosimilaire;
- d) modèles pour la conception de capacité pour les variations de charge d'un jour sur l'autre. Ces modèles décrivent des techniques permettant de traiter les variations d'un jour sur l'autre dans le cadre de la conception de capacité;
- e) modèles pour la conception de la capacité de réserve pour les incertitudes de prévision. Ces modèles décrivent les moyens permettant de tenir compte des erreurs de projection des charges de trafic lors de la conception de la capacité du réseau.

9 Exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic

La Rec. UIT-T E.360.7 porte sur les exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic et notamment sur les points suivants:

- a) gestion du trafic. Sont abordées les exigences relatives à la surveillance de la performance en temps réel, aux commandes de réseau et aux fonctions des centres opérationnels. Ces dernières comprennent les commandes automatiques, les commandes manuelles, les commandes de blocage de code, les commandes d'annulation, les commandes de reroutage, les commandes pour les jours de pointe, la gestion de trafic les jours de pointe et les interfaces avec les autres centres opérationnels;
- b) gestion de la capacité – prévision. Sont abordées les exigences relatives à la prévision des charges, plus particulièrement les fonctions relatives à la base de données de configuration,

les fonctions de regroupement des charges et de détermination de la charge de base et de la charge projetée ainsi que le cycle d'ajustement des charges et le cycle d'ajustement économique. Il est également question de la conception de réseau, des fonctions des centres opérationnels et des interfaces avec les autres centres opérationnels;

- c) gestion de la capacité – surveillance de la performance sur un jour et sur une semaine. Sont abordées les exigences relatives à l'analyse des encombrements sur un jour, à l'analyse des encombrements sur une semaine et à l'analyse des encombrements sur une certaine période;
- d) gestion de la capacité – ajustement de réseau à court terme. Sont abordées les exigences relatives à la conception de réseau, aux fonctions des centres opérationnels et aux interfaces avec les autres centres opérationnels;
- e) comparaison des méthodes d'ingénierie du trafic hors ligne (TDR) et en ligne (SDR/EDR). Les méthodes d'ingénierie du trafic hors ligne, notamment dans un réseau à routage TDR, sont opposées aux méthodes d'ingénierie du trafic en ligne, notamment dans un réseau à routage SDR ou EDR.

10 Modélisation et analyse en ingénierie du trafic

Dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.6, nous utilisons des modèles de réseau pour illustrer les méthodes d'ingénierie du trafic qui y sont décrites. Les détails relatifs aux modèles sont présentés dans la série de Recommandations E.360.x dans lesquelles les fonctions d'ingénierie du trafic correspondantes sont illustrées.

La présente Recommandation utilise un modèle de réseau national en grandeur réelle à 135 nœuds avec un modèle de demande de trafic multiservice afin d'étudier divers scénarios d'ingénierie du trafic et divers compromis. On utilise des charges de trafic vocal/RNIS types pour modéliser les diverses solutions en termes de réseau. Ces charges de trafic sont ensuite segmentées dans le modèle en huit réseaux virtuels (VNET, *virtual network*) à débit binaire constant (CBR): téléphonie professionnelle, téléphonie privée, téléphonie internationale entrante et sortante, service téléphonique clé, service normal et service clé de transmission de données RNIS à 64 kbit/s et transmission de données RNIS à 384 kbit/s. Le modèle de trafic pour les services de transmission de données incorpore les diagrammes des charges de trafic types ainsi que les diagrammes de charge associés à trois autres VNET:

- a) un VNET à débit variable réel (VBR-RT, *variable bit rate real-time*), représentant des services tels que la téléphonie IP et la transmission de signaux vocaux compressés;
- b) un VNET à débit variable pas en temps réel (VBR-NRT, *variable bit rate non-real-time*), représentant des services tels que les services multimédias sur le web et la vérification de carte de crédit; et
- c) un VNET à débit non assigné (UBR, *unassigned bit rate*), représentant des services offerts au mieux tels que la messagerie électronique, la messagerie vocale et les applications multimédias de transfert de fichier. Le modèle de coûts représente les coûts types de commutation et de transport et illustre les économies d'échelle qu'il est prévu de réaliser dans l'avenir sur les coûts des éléments de réseau à capacité élevée.

De nombreux compromis de divers ordres sont examinés dans les modèles, notamment:

- 1) commande centralisée ou commande répartie de table de routage;
- 2) commande de table de routage hors ligne, préplanifiée (par exemple dans le cas d'un routage TDR) ou commande de table de routage en ligne (par exemple dans le cas d'un routage SDR ou EDR);
- 3) gestion de trafic par flux ou gestion de trafic par réseau virtuel (ou par faisceau de trafic ou par tuyau de largeur de bande);
- 4) topologie logique à maillage peu dense ou topologie logique à maillage dense;

- 5) choix de chemin fondé sur un routage FR ou TDR ou SDR ou EDR;
- 6) choix de chemin à liaisons multiples ou à deux liaisons;
- 7) choix de chemin utilisant des informations d'état locales ou des informations d'état globales;
- 8) différentes possibilités de diffusion des informations d'état globales: inondation du réseau par des informations d'état, interrogation répartie concernant les informations d'état et informations d'état centralisées dans un processeur de courtier pour la largeur de bande (BBP, *bandwidth-broker processor*).

Le Tableau 2 donne de brèves comparaisons et des observations pour chaque compromis ci-dessus, sur la base de la modélisation définie dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.6 (auxquelles on se reportera pour plus de détails).

Tableau 2/E.360.1 – Catégories de compromis et comparaisons (sur la base de la modélisation définie dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.6)

Catégorie de compromis	Comparaison des performances de gestion du trafic	Comparaison de la gestion des tables de routage	Comparaison de la gestion de la capacité
Application ou non-application de méthodes d'ingénierie du trafic	Les méthodes d'ingénierie du trafic permettent d'améliorer considérablement les performances	Charge de commande comparable	Efficacité de conception comparable
Commande centralisée ou commande répartie des tables de routage	Performances quelque peu meilleures pour la commande répartie (informations d'état plus à jour)	Charge de commande comparable pour chaque nœud	Efficacité de conception comparable
Commande de table de routage hors ligne/préplanifiée (TDR) ou en ligne (SDR, EDR)	Performances quelque peu meilleures pour la commande en ligne	Charge de commande plus petite pour TDR et EDR que pour SDR	Efficacité de conception comparable pour SDR & EDR et meilleure que pour TDR
Choix de chemin fondé sur un routage FR ou TDR ou SDR ou EDR	Performances meilleures pour EDR/SDR que pour TDR, elles-mêmes meilleures que pour FR	Charge de commande plus petite pour FR/TDR/EDR que pour SDR	Efficacité de conception meilleure pour EDR/SDR que pour TDR, elle-même meilleure que pour FR
Choix de chemin à liaisons multiples ou à deux liaisons	Choix de chemin à liaisons multiples meilleur en cas de surcharge; Choix de chemin à deux liaisons meilleur en cas de panne; Temps d'établissement d'appel plus court pour le choix de chemin à deux liaisons	Charge de commande généralement plus petite pour le choix de chemin à liaisons multiples	Efficacité de conception meilleure dans le cas de liaisons multiples

Tableau 2/E.360.1 – Catégories de compromis et comparaisons (sur la base de la modélisation définie dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.6)

Catégorie de compromis	Comparaison des performances de gestion du trafic	Comparaison de la gestion des tables de routage	Comparaison de la gestion de la capacité
Topologie logique à maillage peu dense ou topologie logique à maillage dense	Topologie à maillage peu dense meilleure en cas de surcharge; Topologie à maillage dense meilleure en cas de panne	Charge de commande généralement plus petite pour la topologie à maillage peu dense	Efficacité de conception quelque peu meilleure pour la topologie à maillage peu dense
Topologie non hiérarchique à une seule zone ou topologie hiérarchique à plusieurs zones	Performances meilleures pour une seule zone	Cas SDR: charge de commande plus petite dans le cas de plusieurs zones Cas EDR: charge de commande totale comparable	Efficacité de conception quelque peu meilleure dans le cas d'une seule zone
Informations d'état locales ou informations d'état globales	Performances quelque peu meilleures pour les informations d'état locales (informations plus à jour)	Charge de commande plus petite pour les informations d'état locales	Efficacité de conception comparable
Diffusion des informations d'état: inondation du réseau par des informations d'état ou interrogation répartie concernant les informations d'état ou informations d'état centralisées dans un BBP	Performances quelque peu meilleures pour l'interrogation répartie concernant les informations d'état (informations plus à jour)	Informations centralisées dans un BBP et interrogation répartie: charge de commande comparable pour chaque nœud; charge de commande beaucoup plus élevée pour l'inondation du réseau par des informations d'état	Efficacité de conception comparable
Gestion de trafic par flux ou gestion de trafic par réseau virtuel (par faisceau de trafic)	Performances comparables	Charge de commande plus petite dans le cas de la gestion par réseau virtuel	Efficacité de conception quelque peu meilleure dans le cas de la gestion par flux
Réseau intégré voix et données ou réseau voix et réseau données distincts	Performances meilleures pour le réseau intégré	Charge de commande totale comparable	Efficacité de conception meilleure pour le réseau intégré

11 Conclusions/recommandations

Le présent paragraphe récapitule les principales conclusions/recommandations obtenues dans les diverses Recommandations.

11.1 Conclusions/recommandations sur les méthodes de routage d'appel et de routage de connexion (Rec. UIT-T E.360.2)

- Il est recommandé d'appliquer des méthodes d'ingénierie du trafic. La performance du réseau est toujours meilleure et en général bien meilleure que lorsque aucune de ces méthodes n'est appliquée.
- Les réseaux avec routage à liaisons multiples et fondés sur une topologie à maillage peu dense, sont recommandés. Ils offrent une meilleure qualité générale de fonctionnement en cas de surcharge que les réseaux fondés sur une topologie à maillage dense, mais en cas de défaillance, les solutions fondées sur une topologie à maillage dense STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons sont privilégiées car elles offrent davantage de possibilités de déroutage.
- Les topologies non hiérarchiques à zone unique sont recommandées. Elles offrent une meilleure qualité de fonctionnement de réseau et, comme il a été examiné et modélisé dans la Rec. UIT-T E.360.6, une meilleure efficacité de conception que les topologies hiérarchiques à zones multiples. Comme le montre la Rec. UIT-T E.360.4, les méthodes d'ingénierie du trafic fondées sur un routage EDR permettent d'atteindre des zones administratives plus vastes que les méthodes d'ingénierie du trafic fondées sur un routage SDR.
- Les méthodes de choix de chemin fondées sur le routage en fonction des événements (EDR) sont recommandées. Elles présentent une performance comparable voire supérieure à celle obtenue au moyen de méthodes de routage en fonction de l'état (SDR).
 - a) Les méthodes de routage EDR représentent une catégorie importante d'algorithmes d'ingénierie du trafic. Elles se distinguent des méthodes de routage TDR et SDR par le mode de choix des chemins (par exemple, les chemins commutés par étiquette (LSP) MPLS). Dans le cas du routage SDR, la largeur de bande de liaison disponible (fondée sur la technique d'inondation du réseau par des annonces LSA indiquant la largeur de bande disponible) sert généralement à calculer le chemin. En ce qui concerne le routage EDR, les informations de largeur de bande disponible ne sont pas nécessaires pour calculer le chemin, ce qui évite de recourir à la technique d'inondation (et ainsi réduit les informations de gestion).
 - b) Les algorithmes EDR sont adaptatifs et répartis. Ils font généralement appel à des modèles avec apprentissage pour trouver les chemins efficaces pour l'ingénierie du trafic dans un réseau donné. Par exemple, dans une méthode de routage EDR avec réussite assurée (STT, *success-to-the-top*), si la largeur de bande entre LSR-A et LSR-B doit être modifiée, par exemple si elle doit être augmentée de delta-BW, on essaie d'abord le chemin primaire LSP-p. Si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-p, on essaie alors le chemin LSP-s donnant satisfaction. Si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-s, on recherche alors un nouveau chemin LSP en essayant d'autres chemins possibles jusqu'à ce que l'on trouve un nouveau chemin LSP-n donnant satisfaction ou jusqu'à ce que l'on ait essayé tous les chemins possibles. Le chemin LSP-n est ensuite marqué comme étant le chemin donnant satisfaction pour la fois suivante où la largeur de bande devra être modifiée. L'efficacité des méthodes de routage EDR réparti s'avère être égale voire supérieure à celle des méthodes de routage SDR centralisé ou réparti.
 - c) Alors que les modèles de routage SDR font généralement appel à la technique d'inondation du réseau par des informations de largeur de bande de liaison disponible (ALB, *available-link-bandwidth*) en ce qui concerne le choix de chemin, les méthodes

de routage EDR utilisent des modèles avec apprentissage pour trouver de la capacité, comme dans la méthode STT susmentionnée. La technique d'inondation ALB peut nécessiter l'utilisation d'un grand nombre de ressources, vu qu'il faut une certaine largeur de bande de liaison pour acheminer les annonces LSA, une certaine capacité de processeur pour les traiter, et les informations de gestion peuvent limiter la taille de la zone/du système autonome (AS). Les résultats de la modélisation montrent que l'emploi de méthodes EDR permet de réduire de façon significative les informations de gestion liées à la technique d'inondation ALB, sans dégradation de la performance du réseau [voir la Rec. UIT-T E.360.4].

- d) Les informations d'état utilisées notamment par les options de routage SDR (par exemple, dans le cadre de la technique d'inondation du réseau par des informations d'état de liaison) offrent une qualité de fonctionnement pratiquement équivalente à celle obtenue avec les options EDR, qui font généralement appel au routage réparti, avec retour en arrière et sans inondation.
- e) Différentes méthodes de choix de chemin peuvent interfonctionner dans le même réseau. Cet interfonctionnement est par exemple nécessaire dans un réseau exploité par plusieurs fournisseurs.
- Il est recommandé d'utiliser des méthodes de routage interdomaine, qui permettent d'étendre les concepts de routage d'appel et de connexion intradomaine, tels que le choix de chemin souple ou le choix de largeur de bande par classe de service, au routage entre domaines de réseau.

11.2 Conclusions/recommandations sur les méthodes de gestion des ressources en fonction de la qualité de service (Rec. UIT-T E.360.3)

- 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 performance 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.

11.3 Conclusions/recommandations sur les méthodes de gestion des tables de routage et sur les exigences associées (Rec. UIT-T E.360.4)

- Il est recommandé d'utiliser l'attribution de largeur de bande par réseau virtuel VNET plutôt que l'attribution par flux car elle nécessite une quantité beaucoup moins grande d'informations liées à la gestion des tables de routage. L'attribution de largeur de bande par réseau VNET est pratiquement équivalente à l'attribution de largeur de bande par flux en ce qui concerne la performance et l'efficacité du réseau, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.3.
- Il est recommandé d'utiliser des méthodes EDR TE, qui permettent de réduire de façon significative les informations de gestion liées à la technique d'inondation ALB, sans dégradation de la performance du réseau. Si les méthodes SDR TE utilisent généralement la technique d'inondation ALB pour le choix de chemin, les méthodes EDR TE utilisent généralement des modèles avec apprentissage pour trouver de la capacité, comme c'est le cas dans la méthode STT. La technique d'inondation ALB peut nécessiter beaucoup de ressources étant donné qu'il faut une certaine largeur de bande de liaison pour acheminer les annonces LSA, une certaine capacité de processeur pour les traiter et les informations de gestion peuvent limiter la taille de la zone ou du système autonome (AS).
- Il est recommandé d'utiliser des méthodes EDR TE, qui peuvent permettre d'aboutir à des zones administratives plus grandes que les méthodes SDR TE étant donné qu'elles nécessitent une quantité moins grande d'informations liées à la gestion des tables de routage. Cela facilite alors la mise en place de topologies non hiérarchiques à zone unique qui, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.3, permettent d'obtenir une meilleure performance du réseau et, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.6, une efficacité de conception plus grande que les topologies hiérarchiques à plusieurs zones.

11.4 Conclusions/recommandations sur les méthodes de routage de transport (Rec. UIT-T E.360.5)

- Il est recommandé d'utiliser le routage de transport dynamique, qui assure une meilleure efficacité d'utilisation du réseau et, par conséquent, des recettes accrues, et qui, parallèlement, devrait permettre de réduire les investissements, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.6.
 - a) Le routage de transport dynamique permet d'améliorer la performance du réseau en cas de défaillance, grâce à l'établissement automatique d'une diversité de liaison logique entre routeurs dorsaux et de liaison logique d'accès, associé au routage de trafic dynamique et au rétablissement de transport des liaisons logiques.
 - b) Il est recommandé d'utiliser le routage de transport dynamique, qui assure une meilleure performance du réseau que le routage de transport fixe, pour toutes les conditions de réseau simulées, notamment en cas de charges de trafic anormales ou imprévisibles.
- Il est recommandé d'utiliser un niveau de rétablissement de trafic et de transport, qui permet de garantir un niveau minimal de performance en cas de défaillance grâce à la diversité de liaison.
- Il est recommandé d'utiliser des techniques de routage robustes, telles que le routage de trafic dynamique, le routage à entrées/sorties multiples ou le routage fondé sur une diversité de liaison logique; ces méthodes améliorent la réponse du réseau en cas de défaillance de nœud ou de transport.

11.5 Conclusions/recommandations sur les méthodes de gestion de la capacité (Rec. UIT-T E.360.6)

- Les modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*) sont recommandés. En effet, ils permettent de tenir compte d'un comportement de routage très complexe grâce à l'équivalent d'un modèle de simulation fourni sous forme logicielle dans le module de conception du routage. On a pu concevoir des réseaux à routage très complexe au moyen du modèle, incluant toutes les méthodes de routage examinées dans la Rec. UIT-T E.360.2 (méthodes FR, TDR, SDR et EDR) et les modèles d'allocation des ressources en fonction de la qualité de service pour les réseaux multiservice examinés dans la Rec. UIT-T E.360.3.
- Les solutions fondées sur une topologie à maillage peu dense sont recommandées (solutions de type STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR à multiliasion, par exemple). Elles permettent de réduire les investissements mais aussi et surtout de simplifier l'exploitation et de réduire les coûts. Les économies réalisées en termes d'investissements dépendent des hypothèses prises concernant les coûts de commutation et de transport. Pour plus de détails sur les questions d'exploitation, on se reportera à la Rec. UIT-T E.360.7.
- L'intégration voix et données est recommandée et:
 - a) permet de réduire les investissements;
 - b) permet surtout de simplifier l'exploitation et de réduire les coûts;
 - c) si la téléphonie IP se répand et si une grande partie des appels vocaux utilisent une technique de compression vocale, les réseaux pourront gagner en efficacité.
- Les méthodes de routage multiliasion sont recommandées. Elles permettent d'obtenir une efficacité de conception meilleure que les méthodes de routage à deux liaisons. Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.3, en cas de surcharge, les topologies avec routage multiliasion permettent d'obtenir une meilleure performance de réseau que les topologies avec routage à deux liaisons; en revanche, c'est le contraire en cas de panne.
- Les topologies non hiérarchiques à une seule zone sont recommandées. Avec ces topologies, les coûts sont plus élevés mais la conception de la capacité des nœuds et de la capacité de transport est plus efficace et, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.3, la performance de réseau est meilleure qu'avec les topologies hiérarchiques à plusieurs zones. Comme illustré dans la Rec. UIT-T E.360.4, les méthodes d'ingénierie du trafic fondées sur un routage EDR permettent d'obtenir des zones administratives plus grandes que les méthodes d'ingénierie du trafic fondées sur un routage SDR.
- Les méthodes EDR sont recommandées. L'efficacité de conception est comparable, qu'on utilise des méthodes EDR ou SDR. Ainsi, il n'est pas vraiment avantageux d'employer des informations d'état de liaison, compte tenu notamment du volume important d'informations de gestion lié à l'inondation du réseau par des informations d'état de liaison dans les méthodes SDR.
- Le routage de transport dynamique est recommandé. Il permet de réduire les investissements grâce à une concentration de la capacité sur un plus petit nombre de liaisons physiques à fibres optiques de forte capacité et, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.5, permet d'améliorer l'efficacité du réseau et d'augmenter les recettes grâce à la possibilité d'allouer avec souplesse une certaine largeur de bande sur les liaisons logiques pour le trafic au niveau de l'accès et le trafic entre nœuds.

11.6 Conclusions/recommandations sur les exigences opérationnelles liées à l'ingénierie du trafic (Rec. UIT-T E.360.7)

- Le contrôle des données de trafic et de performance est recommandé et est requis pour la gestion du trafic, la prévision de capacité, le contrôle de la performance sur un jour et sur une semaine et l'ajustement à court terme du réseau.
- La gestion du trafic est recommandée et est requise pour assurer le contrôle de la performance du réseau par la collecte et l'affichage de données en temps réel de trafic et de performance, et pour permettre l'insertion de commandes de gestion du trafic, telles que des commandes de blocage de code, d'espacement des demandes de connexion ou de reroutage, lorsque les conditions le justifient.
- La gestion de capacité est recommandée et est requise pour la prévision de capacité, le contrôle de la performance sur un jour et sur une semaine et l'ajustement à court terme du réseau.
- La prévision est recommandée et est requise pour l'extension de la capacité de réseau sur une période de plusieurs années, sur la base de prévisions relatives au réseau.
- Le contrôle de la performance sur un jour et sur une semaine est recommandé et est requis pour la détection de tout problème de service dans le réseau. Si de tels problèmes sont détectés, on peut procéder, dans le cadre de l'ajustement à court terme du réseau, à la mise à jour des tables de routage et, si nécessaire, à l'ajout de capacité à court terme. Les tables de routage mises à jour sont envoyées aux systèmes de commutation soit directement, soit par le biais d'un système automatique de mise à jour du routage.
- Les ajouts de capacité à court terme sont recommandés et requis selon les besoins, mais seulement à titre exceptionnel, la plupart des modifications de capacité étant généralement prévues, planifiées, programmées et gérées sur une période allant de plusieurs mois à plusieurs années.
- La conception de réseau, qui comprend la conception du routage et la conception de la capacité, est recommandée et est requise dans le cadre de la fonction de gestion de capacité.
- La planification de réseau est recommandée et est requise pour la planification à long terme des nœuds et du réseau de transport. Une durée allant de plusieurs mois à plusieurs années est nécessaire pour implémenter une nouvelle capacité en termes de nœud et de transport.

12 Méthodes recommandées en termes d'ingénierie du trafic et de qualité de service pour les réseaux multiservice

En résumé, les méthodes d'ingénierie du trafic recommandées dans le présent paragraphe sont à prendre en considération dans le cadre de l'évolution des réseaux. Ces recommandations sont fondées sur:

- les résultats de modèles d'analyse présentés dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.6, illustrant les compromis entre diverses approches d'ingénierie du trafic;
- les résultats d'études de comparaison présentés dans les Recs. UIT-T E.360.2 à E.360.6;
- les pratiques établies et l'expérience acquise.

12.1 Recommandation de capacités pour la création de service dans des réseaux IP au niveau de la couche Application

Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.4, les capacités suivantes sont recommandées pour la création de service au niveau de la couche Application:

- interface de programmation d'application (API, *application programming interface*) Parlay;

- langage de traitement d'appel (CPL, *call processing language*) et interface de passerelle commune (CGI, *common gateway interface*);
- interfonctionnement SIP/RI (réseau intelligent).

12.2 Recommandation de capacités pour le contrôle de flux IP/d'appels

Comme indiqué dans les Recs. UIT-T E.360.2 et E.360.4, les capacités suivantes sont recommandées pour la conversion de nom, la signalisation d'appel et la commande de passerelle subdivisée:

- conversion de nom ENUM/DNS en adresse IP;
- signalisation d'appel répartie (DCS, *distributed call signaling*) fondée sur le protocole SIP;
- MGCP/MEGACO pour la commande de passerelle subdivisée.

12.3 Recommandation de capacités pour le contrôle de connexion/de support

Dans le présent paragraphe, nous résumons les conclusions formulées dans les Recs. UIT-T E.360.2, E.360.3 et E.360.4 qui conduisent à la recommandation d'une méthode de contrôle d'admission générique en termes d'ingénierie du trafic et de qualité de service (GTAC, *generic TE/QoS admission control*) pour l'admission de connexion ou de flux, cette méthode incorporant un contrôle de connexion/de support de type DOTE (*distributed, on-line, TE*, réparti, en ligne, lié à l'ingénierie du trafic).

L'analyse dont il est question dans les Recs. UIT-T E.360.2, E.360.3 et E.360.4 compare l'allocation de largeur de bande dans le cas d'un regroupement ("par faisceau de trafic" ou par VNET (réseau virtuel)) et l'allocation de largeur de bande par flux. Les recommandations suivantes sont faites concernant la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, la topologie et le contrôle de connexion:

- allocation de trafic par réseau virtuel dans le cas d'un réseau multiservice;
- méthode de gestion des ressources en fonction de la qualité de service par réseau virtuel fondée sur la commutation MPLS et méthode de réservation dynamique de largeur de bande;
- mise en file d'attente selon la priorité fondée sur DiffServ;
- allocation de largeur de bande par réseau virtuel (par faisceau de trafic) afin de limiter les informations propres à la gestion des tables de routage;
- routage fondé sur de multiples liaisons et sur une topologie à maillage peu dense afin d'obtenir de bonnes performances et une bonne efficacité de conception;
- topologie non hiérarchique à une seule zone (autant qu'il est possible, tout en conservant l'architecture périphérie-centre) afin d'obtenir de bonnes performances et une bonne efficacité de conception;
- fonctionnalité MPLS et DiffServ afin de satisfaire aux exigences en termes d'ingénierie du trafic et de qualité de service;
- méthodes de choix de chemin fondées sur un routage en fonction des événements (EDR, *event-dependent-routing*) avec STT ("success-to-the-top") afin d'obtenir de bonnes performances et de limiter les informations de gestion.

Les méthodes GTAC/DOTE garantiront une exécution stable et efficace des méthodes d'ingénierie du trafic, faciliteront la gestion des ressources pour les services clés, normaux et offerts au mieux et aideront à faire la distinction entre ces services. Elles sont brièvement résumées ici. La Figure 4 illustre les méthodes recommandées de gestion des ressources en fonction de la qualité de service. Comme illustré sur la Figure 4, dans le réseau multiservice à gestion des ressources en fonction de la qualité de service, la largeur de bande est allouée aux différents VNET (VNET associés à des

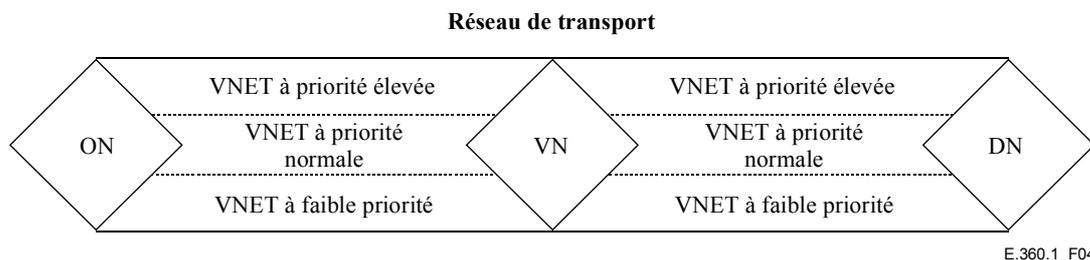
services clés à priorité élevée, VNET associés à des services à priorité normale et VNET associés à des services à faible priorité offerts au mieux). La Figure illustre en outre l'emploi de l'allocation de trafic par réseau virtuel pour les réseaux multiservice et les moyens permettant de faire la distinction entre les services clés, normaux et offerts au mieux. Dans le cas d'un trafic à priorité élevée ou normale, les connexions et flux sont assujettis à un contrôle d'admission fondé sur des techniques d'allocation de largeur de bande équivalente. En revanche, aucune largeur de bande n'est allouée aux services offerts au mieux et l'ensemble du trafic associé à ces services est susceptible d'être éliminé dans le cadre des règles de mise en file d'attente en cas d'encombrement.

Lorsque c'est nécessaire, cette largeur de bande allouée est protégée par des méthodes de réservation de largeur de bande; dans le cas contraire, elle est utilisée en partage. Pour chaque VNET, le nœud d'origine surveille l'utilisation de la largeur de bande sur chaque chemin CRLSP et détermine le moment où il faut augmenter ou diminuer cette largeur de bande. Les modifications de la largeur de bande allouée aux VNET sont déterminées par les nœuds d'origine, compte tenu de la demande globale en largeur de bande pour les VNET (et non de la demande pour chaque connexion). Sur la base de cette demande globale, les nœuds d'origine procèdent régulièrement à des modifications discrètes de la largeur de bande allouée aux VNET, c'est-à-dire à une augmentation ou à une diminution de la largeur de bande sur les chemins CRLSP. Par exemple, si, pour des demandes de connexion, la largeur de bande sur des chemins CRLSP pour les VNET dépasse l'allocation courante de largeur de bande sur les chemins CRLSP, le nœud d'origine lance une demande de modification de la largeur de bande sur le ou les chemins CRLSP appropriés. La largeur de bande alors allouée sur les chemins CRLSP peut par exemple être augmentée d'une quantité égale à un incrément de largeur de bande désigné ici par Δ -BW. Cet incrément doit avoir une valeur suffisamment élevée pour que les demandes de modification soient relativement peu fréquentes. Par ailleurs, le nœud d'origine surveille régulièrement l'utilisation de la largeur de bande sur les chemins CRLSP, par exemple une fois par minute, et si la largeur de bande utilisée tombe au-dessous de la largeur de bande alors allouée sur les chemins CRLSP, le nœud d'origine lance une demande de modification de la largeur de bande afin de diminuer la largeur de bande allouée sur les chemins CRLSP d'une quantité égale à Δ -BW.

Par conséquent, il est recommandé que l'allocation de largeur de bande se fasse "par VNET" ou par faisceau de trafic, et *non* appel par appel ou "par flux" (voir les paragraphes 7 et 8/E.360.3). Ce type d'allocation de largeur de bande par VNET s'applique aussi dans le cas de plusieurs zones (voir le paragraphe 11/E.360.2 et le paragraphe 11/E.360.3). Certains concepts employés en téléphonie – l'établissement appel par appel par exemple – ne sont donc pas nécessaires dans le domaine de l'ingénierie du trafic pour la voix sur IP. Autrement dit, il est souvent justifié de se détacher du RTPC. Certains principes continuent toutefois à s'appliquer dans le domaine susmentionné, mais ils ne sont pas encore employés et devraient l'être.

En ce qui concerne la réservation de largeur de bande, deux points principaux sont à considérer: le contrôle d'admission et la gestion des files d'attente. Autrement dit, si un flux doit être admis sur un chemin plus long, c'est-à-dire sur un chemin autre que le chemin primaire (qui est préféré et essayé en premier, mais on suppose que la largeur de bande disponible sur une ou plusieurs liaisons ou dans une ou plusieurs files d'attente n'était pas suffisante), il faut qu'une largeur de bande minimale, appelée largeur de bande réservée (RESBW, *reserved bandwidth*), soit disponible sur chaque liaison et dans chaque file d'attente en *plus de* la largeur de bande demandée (REQBW, *requested bandwidth*). En d'autres termes, il faut que RESBW + BEWBW soit disponible sur chaque liaison et dans chaque file d'attente avant de pouvoir admettre le flux sur le chemin plus long. Sur le chemin primaire, RESBW *n'est pas* nécessaire. Les résultats de simulation donnés dans la Rec. UIT-T E.360.3 concernent un réseau MPLS, les simulations étant faites soit avec soit sans utilisation de la réservation de largeur de bande (voir les Tableaux 4/E.360.3 et 5/E.360.3). L'allocation de largeur de bande et la gestion associée dépendent de la priorité du trafic (à savoir priorité élevée, normale ou faible), comme décrit dans la Rec. UIT-T E.360.3; pour cela, les méthodes de réservation de largeur de bande sont utilisées au-delà de leur utilisation pour le choix de chemin, comme dans

l'exemple ci-dessus. L'allocation de largeur de bande dans les files d'attente se fait en fonction de la priorité du trafic (voir le paragraphe 9/E.360.3). Ces principes énoncés dans les Recommandations s'appliquent quelle que soit la technologie sous-jacente (IP/MPLS, ATM/PNNI, TDM/E.351, etc.), comme le démontrent les modèles.



- Méthode répartie appliquée pour chaque réseau virtuel.
- Le nœud d'origine alloue une largeur de bande à chaque réseau virtuel (VNET) en fonction de la demande.
- En ce qui concerne l'augmentation de largeur de bande pour un VNET:
 - ❖ Le nœud d'origine détermine le seuil (P_i) de modification de largeur de bande de liaison compte tenu:
 - de la largeur de bande utilisée (BWIP);
 - de la priorité de routage (élevée, normale, faible);
 - de l'allocation de largeur de bande BWavg;
 - du chemin (chemin préféré ou chemin de remplacement).
 - ❖ Le nœud d'origine lance 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), très chargé (HL), réservé (R) ou occupé (B), compte tenu de la largeur de bande de liaison libre (ILBW).
- Les nœuds intermédiaires comparent l'état de 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 le seuil P_i n'est pas respecté.

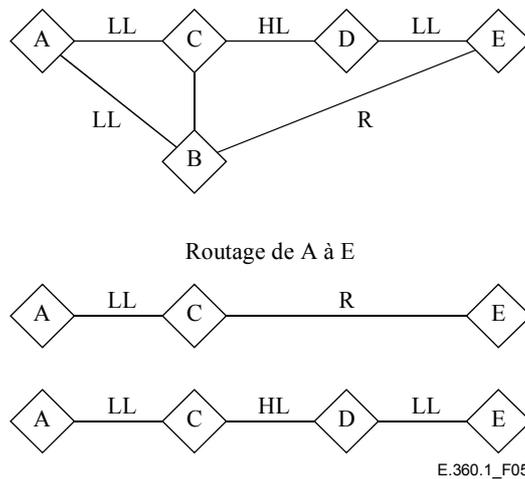
ON Nœud d'origine
 DN Nœud de destination
 VN Nœud intermédiaire
 ◇ Nœud

Figure 4/E.360.1 – Utilisation de la gestion de ressources en fonction de la qualité de service de type MPLS/DiffServ/réseau virtuel avec des méthodes de réservation dynamique de largeur de bande et mise en file d'attente selon la priorité

Dans les modèles, la méthode par VNET, largement comparable à la méthode par flux, est tout à fait applicable dans le cadre de la spécification de protocole MPLS actuelle et elle est donc recommandée avec la méthode GTAC/DOTE.

En outre, nous estimons qu'une méthode répartie de gestion de chemins LSP de type (EDR)/STT fonctionne tout aussi bien voire mieux que la méthode SDR avec inondation. Donnons une illustration de la méthode EDR/STT:

la Figure 5 illustre la méthode recommandée de choix de chemin fondée sur EDR STT et l'utilisation d'une topologie à maillage peu dense et à une seule zone.



Exemple de méthode EDR (EDR STT):

- 1) s'il faut modifier la largeur de bande entre les routeurs LSR-A et LSR-E (par exemple s'il faut l'augmenter de delta-BW), on essaie d'abord le chemin primaire LSP-p (par exemple le chemin LSP A-B-E);
- 2) on vérifie localement la largeur de bande disponible sur chaque liaison du chemin LSP-p; si la largeur de bande disponible n'est pas suffisante (l'élément priorité pour l'établissement contient l'état très chargé (HL) et la liaison BE est dans l'état réservé (R)), retour en arrière au routeur LSR-A;
- 3) si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-p, on essaie alors le chemin donnant satisfaction LSP-s (par exemple le chemin LSP A-C-D-E);
- 4) si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-s, on recherche un nouveau chemin LSP en essayant les autres chemins possibles jusqu'à ce qu'un nouveau chemin donnant satisfaction LSP-n soit trouvé ou jusqu'à ce que tous les chemins possibles aient été épuisés;
- 5) le chemin LSP-n est alors marqué comme étant le chemin donnant satisfaction pour la fois suivante où il faudra modifier la largeur de bande.

Figure 5/E.360.1 – Utilisation de la méthode de choix de chemin fondée sur EDR (routage en fonction des événements) STT dans une topologie à maillage peu dense et à une seule zone

La méthode EDR/STT est entièrement répartie, réduit l'inondation, et permet ainsi d'utiliser une zone centrale plus large, voire une zone unique. Une hiérarchie routeur périphérique (ER, *edge-router*) – routeur central (BR, *backbone-router*) est par ailleurs modélisée. Une gestion des ressources ER-BR de type MPLS/DiffServ a été modélisée, même si certains font valoir que la seule utilisation de DiffServ suffirait sur les liaisons ER-BR. Le problème est de savoir ce qui se passe, lorsque la largeur de bande est épuisée, pour les services de type téléphonie IP, RNIS, voix, etc. en mode connexion, et pour les services offerts au mieux. Il faut un mécanisme de contrôle d'admission GTAC pour pouvoir rejeter des demandes de connexion lorsque c'est nécessaire. La hiérarchie ER/BR modélisée comprend un maillage de chemins LSP dans le centre, mais des chemins LSP distincts ("gros tuyaux") pour chaque routeur périphérique vers les routeurs centraux, c'est-à-dire pour chaque zone ER-BR (autrement dit, il n'y a pas de maillage de chemins LSP ER-ER dans ce cas).

12.4 Recommandation de capacités pour le routage de transport

Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.5, les recommandations suivantes sont faites concernant le routage de transport:

- routage de transport dynamique afin d'obtenir de bonnes performances et une bonne efficacité de conception;
- définition de niveaux de restauration de transport et de trafic, permettant de garantir un niveau minimal de qualité de fonctionnement en cas de panne grâce à la diversité de liaison.

Nom du réseau virtuel	Exemples d'identité de service	Priorité de trafic du réseau virtuel et caractéristiques du trafic
1) Téléphonie professionnelle	VPN, connexion directe 800, service 800, service 900	Priorité normale; CBR 64 kbit/s
2) Téléphonie privée	Service longue distance (LDS, <i>long distance service</i>)	Priorité normale; CBR 64 kbit/s
3) Téléphonie internationale sortante	Service LDS international sortant, 800 international sortant, VPN global sortant, transit international sortant	Priorité normale; CBR 64 kbit/s
4) Téléphonie internationale entrante	Service LDS international entrant, 800 international entrant, VPN global entrant, transit international entrant	Priorité élevée; CBR 64 kbit/s
5) 800-gold	Connexion directe 800-gold, 800-gold, service VPN clé	Priorité élevée; CBR 64 kbit/s
6) RNIS à 64 kbit/s	SDS et SDI (service international numérique commuté, <i>switched digital international</i>) à 64 kbit/s	Priorité normale; CBR 64 kbit/s
7) RNIS à 64 kbit/s	SDS et SDI à 64 kbit/s (services clés)	Priorité élevée; CBR 64 kbit/s
8) RNIS à 384 kbit/s	SDS et SDI à 384 kbit/s	Priorité normale; CBR 384 kbit/s
9) Téléphonie IP	Téléphonie IP, signaux vocaux compressés	Priorité normale; débit variable, interactivité et sensibilité au temps de transmission; VBR-RT: 10% de la charge de trafic VN1+VN2+VN3+VN4+VN5; débit de données d'appel variant entre 6,4 kbit/s et 51,2 kbit/s (25,6 kbit/s en moyenne)
10) Multimédia IP	Multimédia IP, web, vérification de carte de crédit	Priorité normale; débit variable, ni interactivité ni sensibilité au temps de transmission; VBR-NRT: 30% de la charge de trafic VN2; débit de données d'appel variant entre 38,4 kbit/s et 64 kbit/s (51,2 kbit/s en moyenne)
11) UBR à faible priorité	Messagerie vocale, messagerie électronique, transfert de fichiers	Faible priorité; débit variable, ni interactivité ni sensibilité au temps de transmission; UBR: 30% de la charge de trafic VN1; débit de données d'appel variant entre 6,4 kbit/s et 3072 kbit/s (1536 kbit/s en moyenne)

Figure 6/E.360.1 – Attribution du trafic par réseau virtuel pour les réseaux multiservice – Différenciation des services clés, des services normaux et des services assurés au mieux

12.5 Recommandation de capacités pour l'exploitation des réseaux

Comme indiqué dans les Recs. UIT-T E.360.5 et E.360.6, les recommandations suivantes sont faites concernant l'exploitation et la conception des réseaux:

- surveillance des données de trafic et de performance pour la gestion du trafic et la gestion de la capacité.

La Figure 1 illustre la surveillance des données de trafic et de performance des réseaux afin d'assurer les fonctions de gestion du trafic et de gestion de la capacité.

- Méthodes de gestion du trafic afin de surveiller la performance des réseaux et d'implémenter des commandes de gestion du trafic (commandes de blocage de code, d'espacement des demandes de connexion, de reroutage, etc.).

La Figure 7 illustre les fonctions de gestion du trafic recommandées.

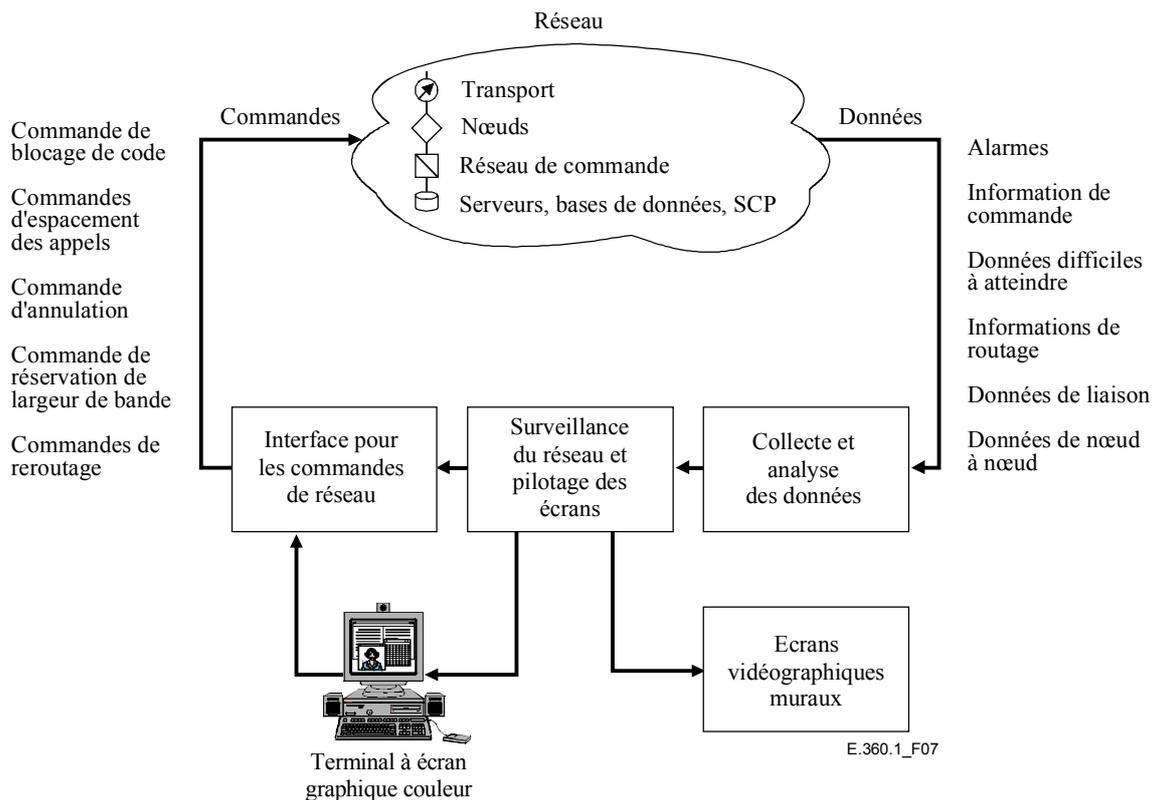


Figure 7/E.360.1 – Utilisation de méthodes de gestion du trafic afin de surveiller la performance des réseaux et d'implémenter des commandes de gestion du trafic (commandes de blocage de code, d'espacement des demandes de connexion, de reroutage, etc.)

- Méthodes de gestion de la capacité afin d'assurer une prévision de la capacité, une surveillance de la performance quotidienne et hebdomadaire et un ajustement de réseau à court terme.

La Figure 8 illustre les fonctions de gestion de la capacité recommandées.

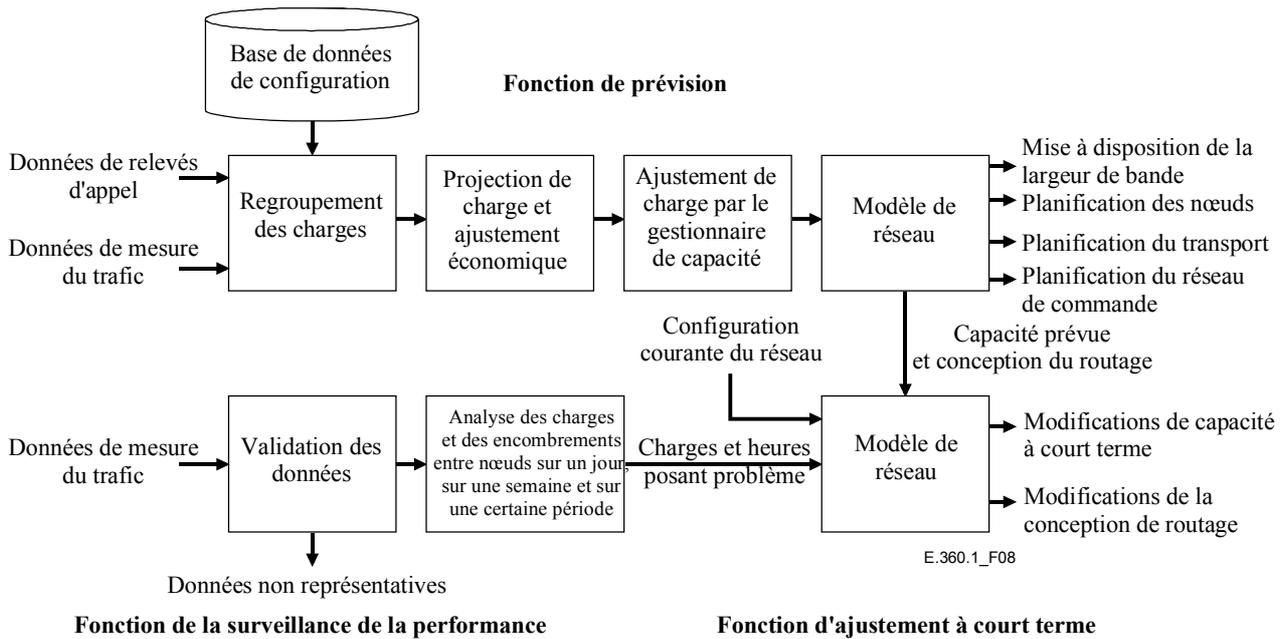


Figure 8/E.360.1 – Utilisation de méthodes de gestion de la capacité afin d'assurer une prévision de la capacité, une surveillance de la performance quotidienne et hebdomadaire et un ajustement de réseau à court terme

- Modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*) afin de tenir compte du comportement de routage complexe et de concevoir des réseaux multiservice.

La Figure 9 illustre les modèles DEFO recommandés. Les modèles DEFO présentent comme avantage primordial de pouvoir tenir compte d'un comportement de routage très complexe grâce à l'équivalent d'un modèle de simulation fourni sous forme logicielle dans le module de conception du routage. Des réseaux à routage très complexe, conçus par des modèles DEFO, incluent toutes les méthodes de routage examinées dans la Rec. UIT-T E.360.2 (méthodes TDR, SDR et EDR) ainsi que les modèles d'allocation de ressources en fonction de la qualité de service pour les réseaux multiservice examinés dans la Rec. UIT-T E.360.3. Des processus de trafic complexes, notamment le trafic autosimilaire, peuvent aussi être modélisés au moyen de méthodes DEFO.

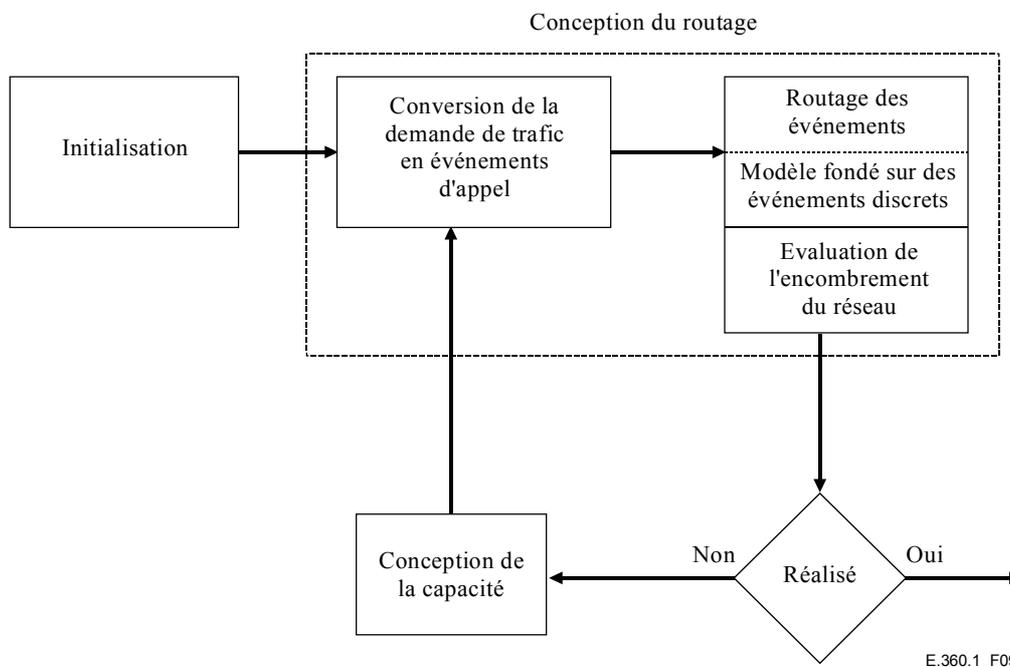


Figure 9/E.360.1 – Utilisation de modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO) afin de tenir compte du comportement de routage complexe et de concevoir des réseaux multiservice

12.6 Avantages des méthodes recommandées en termes d'ingénierie du trafic et de qualité de service pour les réseaux intégrés multiservice

Les avantages des méthodes recommandées en termes d'ingénierie du trafic et de qualité de service pour les réseaux intégrés multiservice fondés sur IP sont les suivants:

- création de service fondée sur les réseaux IP (API Parlay, CPL/CGI, SIP-RI);
- investissements et dépenses d'exploitation plus faibles;
- performances améliorées;
- gestion de réseau simplifiée.

Les capacités de création de service fondée sur les réseaux IP sont examinées dans la Rec. UIT-T E.360.4, les incidences sur les investissements et les dépenses d'exploitation dans les Recs. UIT-T E.360.2 et E.360.6 et les incidences en termes d'amélioration des performances dans les Recs. UIT-T E.360.2 et E.360.3.

La gestion de réseau se trouve simplifiée en raison des incidences suivantes des méthodes GTAC/DOTE recommandées:

- contrôle réparti (voir la Rec. UIT-T E.360.2);
- élimination de l'inondation de réseau par les informations de largeur de bande de liaison disponible (voir la Rec. UIT-T E.360.4);

- zones plus grandes et moins nombreuses (voir la Rec. UIT-T E.360.4);
- mise à jour automatique de la base de données de topologie (voir la Rec. UIT-T E.360.3);
- configuration d'un moins grand nombre de liaisons ou d'un réseau à maillage peu dense (voir la Rec. UIT-T E.360.2).

Bibliographie

- [A98] ASH, (G. R.), *Dynamic Routing in Telecommunications Networks*, McGraw-Hill, 1998.
- [A99a] ASH, (G. R.), *Routing Guidelines for Efficient Routing Methods*, IETF Draft draft-ash-itu-sg2-routing-guidelines-00.txt, 1999.
- [A99b] AWDUCHE, (D. O.), *MPLS and Traffic Engineering in IP Networks*, IEEE Communications Magazine, 1999.
- [A99c] AWDUCHE, (D. O.), *MPLS and Traffic Engineering in IP Networks*, IEEE Communications Magazine, 1999.
- [A99d] APOSTOLOPOULOS, (G.), *On the Cost and Performance Trade-offs of Quality of Service Routing*, Ph.D. thesis, University of Maryland, 1999.
- [A00] ARMITAGE, (G.), *Quality of Service in IP Networks: Foundations for a Multi-Service Internet*, Macmillan, 2000.
- [AAFJLLS00] ASH, (G. R.), ASHWOOD-SMITH, (P.), FEDYK, (D.), JAMOSSI, (B.), LEE, (Y.), LI, (L.), SKALECKI, (D.), *LSP Modification Using CRLDP*, draft-ietf-mpls-crlsp-modify-01.txt, 2000.
- [ABGLSS00] AWDUCHE, (D.), BERGER, (L.), GAN, (D.), LI, (T.), SWALLOW, (G.), SRINIVASAN, (V.), *RSVP-TE: Extension to RSVP for LSP Tunnels*, IETF Draft draft-ietf-mpls-rsvp-lsp-tunnel-05.txt, 2000.
- [ACEWX00] AWDUCHE, (D. O.), CHIU, (A.), ELWALID, (A.), WIDJAJA, (I.), XIAO, (X.), *A Framework for Internet Traffic Engineering*, draft-ietf-te-framework-02.txt, 2000.
- [ACFM99] ASH, (G. R.), CHEN, (J.), FISHMAN, (S. D.), MAUNDER, (A.), *Routing Evolution in Multiservice Integrated Voice/Data Networks*, International Teletraffic Congress ITC-16, Edinburgh, Scotland, 1999.
- [ADFFT98] ANDERSON, (L.), DOOLAN, (P.), FELDMAN, (N.), FREDETTE, (A.), THOMAS, (B.), *LDP Specification*, IETF Draft, draft-ietf-mpls-ldp-01.txt, 1998.
- [AGK99] APOSTOLOPOULOS, (G.), GUERIN, (R.), KAMAT, (S.), *Implementation and Performance Measurements of QoS Routing Extensions to OSPF*, Proceedings of INFOCOM '99, 1999.
- [AGKOT99] APOSTOLOPOULOS, (G.), GUERIN, (R.), KAMAT, (S.), ORDA, (A.), TRIPATHI, (S. K.), *Intra-Domain QoS Routing in IP Networks: A Feasibility and Cost/Benefit Analysis*, IEEE Network Magazine 1999.
- [AJF00] ASHWOOD-SMITH, (P.), JAMOSSI, (B.), FEDYK, (D.), *Improving Topology Data Base Accuracy with LSP Feedback via CR-LDP*, IETF Draft draft-ietf-mpls-te-feed-00.txt, 2000.
- [Aki83] AKINPELU, (J. M.), *The Overload Performance of Engineered Networks with Nonhierarchical and Hierarchical Routing*, Proceedings of the Tenth International Teletraffic Congress, Montréal, Canada, 1983.
- [Aki84] AKINPELU, (J. M.), *The Overload Performance of Engineered Networks with Nonhierarchical and Hierarchical Routing*, Bell System Technical Journal, Vol. 63, 1984.

- [AL99] ASH, (G. R.), LEE, (Y.), *Routing of Multimedia Connections Across TDM-, ATM-, and IP-Based Networks*, IETF Draft, draft-ash-itu-sg2-qos-routing-02.txt, 1999.
- [AM98] ASH, (G. R.), MAUNDER, (A.), *Routing of Multimedia Connections when Interworking with PSTN, ATM, and IP Networks*, AF-98-0927, Nashville TN, 1998.
- [AAJL99] ASH, (G. R.), ABOUL-MAGD, (O. S.), JAMOUCSI, (B.), LEE, (Y.), *QoS Resource Management in MPLS-Based Networks*, IETF Draft, draft-ash-qos-routing-00.txt, Minneapolis MN, 1999.
- [AM99] ASH, (G. R.), MAUNDER, (A.), *QoS Resource Management in ATM Networks*, AF-99-, Rome Italie, 1999.
- [ARDC99] AWDUCHE, (D. O.), REKHTER, (Y.), DRAKE, (J.), COLTUN, (R.), *Multiprotocol Lambda Switching: Combined MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects*, IETF Draft, draft-awduche-mpls-te-optical-00txt, 1999.
- [ATM950013] ATM Forum Technical Committee, *B-ISDN Inter Carrier Interface (B-ICI) Specification Version 2.0 (Integrated)*, af-bici-0013.003, 1995.
- [ATM960055] ATM Forum Technical Committee, *Private Network-Network Interface Specification Version 1.0 (PNNI 1.0)*, af-pnni-0055.000, 1996.
- [ATM960056] ATM Forum Technical Committee, *Traffic Management Specification Version 4.0*, af-tm0056.000, 1996.
- [ATM960061] ATM Forum Technical Committee, *ATM User-Network Interface (UNI) Signalling Specification Version 4.0*, af-sig-0061.000, 1996.
- [ATM980103] ATM Forum Technical Committee, *Specification of the ATM Inter-Network Interface (AINI) (Draft)*, ATM Forum/BTD-CS-AINI-01.03, 1998.
- [ATM990097] *ATM Signalling Requirements for IP Differentiated Services and IEEE 802.1D*, ATM Forum, Atlanta, GA, 1999.
- [ATM000102] *ATM Forum Technical Committee, Priority Services Support in ATM Networks, V1.0*, ltd-cs-priority-01.02, 2000.
- [ATM000146] *ATM Forum Technical Committee, Operation of BICC with SIG 4.0/PNNI 1.0/AINI*, fb-cs-vmoa-0146.000, 2000.
- [ATM000148] *Modification of the ATM Traffic Descriptor of an Active Connection, V1.0*, fb-cs-0148.000, 2000.
- [ATM000213] NOORCHASHM, (M.), ASH, (G. R.), COMELY, (T.), DIANDA, (R. B.), HARTANI, (R.), *Proposed Revised Text for the Introduction and Scope Sections of ltd-cs-priority-01.02*, 2000.
- [B00] BROWN, (A.), *ENUM Requirements*, IETF Draft draft-ietf-enum-rqmts-01.txt, 2000.
- [B00a] BERNET, (Y.), *The Complementary Rles of RSVP and Differentiated Services in the Full-Service QoS Network*, IEEE Communications Magazine, 2000.
- [B91] BRUNET, (G.), *Optimisation de L'acheminement Sequentiel Non-hierarchique par Automattes Intelligents*, M. Sc. Thesis, INRS-Telecommunications, 1991.
- [BCHLL99] BOLOTIN, (V.), COOMBS-REYES, HEYMAN, (D.), LEVY, (Y.), LIU, (D.), *IP Traffic Characterization for Planning and Control, Teletraffic Engineering in a Competitive World*, P. Key and D. Smith (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 1999.
- [Bur61] BURKE, (P. J.), *Blocking Probabilities Associated with Directional Reservation*, memorandum non publié, 1961.

- [C97] CROVELLA, (M. E.), *Self-Similarity in WWW Traffic: Evidence and Possible Causes*, IEEE Transactions on Networking, 1997.
- [CED91] CHAO, (C-W.), ESLAMBOLCHI, (H.), DOLLARD, (P.), NGUYEN, (L.), WEYTHMAN, (J.), FASTAR – A Robust System for Fast DS3 Restoration, *Proceedings of GLOBECOM 1991*, Phoenix, Arizona, pages 1396-1400, 1991.
- [CDFFSV99] CALLON, (R.), DOOLAN, (P.), FELDMAN, (N.), FREDETTE, (A.), SWALLOW, (G.), VISWANATHAN, (A.), IETF Network Working Group Draft, *A Framework for Multiprotocol Label Switching*, draft-ietf-mpls-framework-05.txt, 1999.
- [CHY00] CHAUDHURI, (S.), HJALMTYSSON, (G.), YATES, (J.), *Control of Lightpaths in an Optical Network*, IETF Draft draft-chaudhuri-ip-olxc-control-00.txt, 2000.
- [CW00] CHERUKURI, (R.), WALSH, (T.), *Proposal for Work Item to Support Voice over MPLS (VoMPLS)*, MPLS Forum Technical Committee Contribution, Dublin, Ireland, 2000.
- [D99] DVORAK, (C.), *IP-Related Impacts on End-to-End Transmission Performance*, Note de liaison à la Commission d'études 2 de l'UIT-T, Document temporaire TD GEN-22, Genève Suisse, 1999.
- [Dij59] DIJKSTRA, (E. W.), A Note on Two Problems in Connection with Graphs, *Numerical Mathematics*, Vol. 1, pages 269 à 271, 1959.
- [DN99] DIANDA, (R. B.), NOORCHASHM, (M.), *Bandwidth Modification for UNI, PNNI, AINI, and BICI*, ATM Forum Technical Working Group, 1999.
- [DPW99] DOVERSPIKE, (R. D.), PHILLIPS, (S.), WESTBROOK, (J. R.), *Future Transport Network Architectures*, IEEE Communications Magazine, 1999.
- [DR00] DAVIE, (B. S.), REKHTER, (Y.), *MPLS: Technology and Applications*, Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- [DY00] DOVERSPIKE, (R.), YATES, (J.), *Challenges for MPLS Protocols in the Optical Network Control Plane*, soumis pour publication.
- [E.106] Recommandation UIT-T E.106 (2000), *Description d'un plan international de priorité en période de crise*.
- [E.164] Recommandation UIT-T E.164 (1997), *Plan de numérotage des télécommunications publiques internationales*.
- [E.170] Recommandation UIT-T E.170 (1992), *Acheminement du trafic*.
- [E.177] Recommandation UIT-T E.177 (1996), *Acheminement dans le RNIS à large bande*.
- [E.191] Recommandation UIT-T E.191 (2000), *Adressage dans le RNIS à large bande*.
- [E.350] Recommandation UIT-T E.350 (2000), *Interfonctionnement d'acheminement dynamique*.
- [E.351] Recommandation UIT-T E.351 (2000), *Acheminement des connexions multimédias à travers des réseaux TDM, ATM ou IP*.
- [E.352] Recommandation UIT-T E.352 (2000), *Directives pour des méthodes d'acheminement efficaces*.
- [E.353] Recommandation UIT-T E.353 (2001), *Routage des appels en cas d'utilisation d'adresses d'acheminement de réseau international*.
- [E.412] Recommandation UIT-T E.412 (1998), *Commandes de gestion de réseau*.
- [E.417] Recommandation UIT-T E.417 (2001), *Cadre général de la gestion du trafic des réseaux en mode IP*.

- [E.490] Recommandation UIT-T E.490 (1992), *Mesures et évaluation du trafic – Description générale.*
- [E.491] Recommandation UIT-T E.491 (1997), *Mesure du trafic par destination.*
- [E.492] Recommandation UIT-T E.492 (1996), *Période de référence du trafic.*
- [E.493] Recommandation UIT-T E.493 (1996), *Contrôle de la qualité d'écoulement du trafic.*
- [E.500] Recommandation UIT-T E.500 (1998), *Principes de mesure de l'intensité du trafic.*
- [E.501] Recommandation UIT-T E.501 (1997), *Estimation du trafic offert sur le réseau.*
- [E.502] Recommandation UIT-T E.502 (2001), *Spécifications des mesures de trafic relatives aux commutateurs de télécommunications numériques.*
- [E.503] Recommandation UIT-T E.503 (1992), *Analyse des données des mesures de trafic.*
- [E.504] Recommandation UIT-T E.504 (1988), *Gestion des mesures de trafic.*
- [E.505] Recommandation UIT-T E.505 (1992), *Mesures de la qualité de fonctionnement du réseau de signalisation par canal sémaphore.*
- [E.506] Recommandation UIT-T E.506 (1992), *Prévision du trafic téléphonique international.*
- [E.507] Recommandation UIT-T E.507 (1988), *Modèles de prévision du trafic international.*
- [E.508] Recommandation UIT-T E.508 (1992), *Prévisions relatives aux nouveaux services de télécommunication.*
- [E.520] Recommandation UIT-T E.520 (1988), *Détermination du nombre de circuits nécessaires (sans possibilité de débordement automatique) en exploitation automatique et semi-automatique.*
- [E.521] Recommandation UIT-T E.521 (1988), *Calcul du nombre de circuits dans un faisceau écoulant du trafic de débordement.*
- [E.522] Recommandation UIT-T E.522 (1988), *Nombre de circuits dans un faisceau débordant.*
- [E.523] Recommandation UIT-T E.523 (1988), *Schémas types de distribution du trafic dans le cas de courants de trafic internationaux.*
- [E.524] Recommandation UIT-T E.524 (1999), *Approximations du trafic de débordement pour des flux de trafic non aléatoires.*
- [E.525] Recommandation UIT-T E.525 (1992), *Conception des réseaux pour le contrôle de la qualité d'écoulement du trafic.*
- [E.526] Recommandation UIT-T E.526 (1993), *Dimensionnement d'un faisceau de circuits avec services supports à intervalles de temps multiples et sans trafic de débordement.*
- [E.527] Recommandation UIT-T E.527 (2000), *Dimensionnement d'un faisceau de circuits avec services supports à intervalles de temps multiples et trafic de débordement.*
- [E.528] Recommandation UIT-T E.528 (1996), *Dimensionnement des systèmes à équipements de multiplication de circuit numérique.*
- [E.529] Recommandation UIT-T E.529 (1997), *Dimensionnement de réseau au moyen des objectifs de qualité d'écoulement du trafic de bout en bout.*
- [E.600] Recommandation UIT-T E.600 (1993), *Termes et définitions relatifs à l'ingénierie du trafic.*
- [E.651] Recommandation UIT-T E.651 (2000), *Connexions de référence pour l'ingénierie du trafic sur les réseaux d'accès IP.*

- [E.716] Recommandation UIT-T E.716 (1996), *Modélisation de la demande usager dans le RNIS à large bande.*
- [E.731] Recommandation UIT-T E.731 (1992), *Méthodes de dimensionnement des ressources exploitées en mode commutation de circuits.*
- [E.733] Recommandation UIT-T E.733 (1998), *Méthodes de dimensionnement des ressources dans les réseaux utilisant le système de signalisation n° 7.*
- [E.734] Recommandation UIT-T E.734 (1996), *Méthodes d'allocation et de dimensionnement des ressources des réseaux intelligents.*
- [E.735] Recommandation UIT-T E.735 (1997), *Cadre général de gestion de trafic et du dimensionnement dans le RNIS à large bande.*
- [E.736] Recommandation UIT-T E.736 (2000), *Méthodes de gestion du trafic au niveau des cellules dans le RNIS-LB.*
- [E.737] Recommandation UIT-T E.737 (2001), *Méthodes de dimensionnement pour le RNIS à large bande.*
- [E.743] Recommandation UIT-T E.743 (1995), *Mesures du trafic à des fins de dimensionnement et de planification dans le système de signalisation n° 7.*
- [E.800] Recommandation UIT-T E.800 (1994), *Termes et définitions relatifs à la qualité de service et à la qualité de fonctionnement du réseau, y compris la sûreté de fonctionnement.*
- [ETSIa] ETSI Secretariat, *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization over Networks (TIPHON); Naming and Addressing; Scenario 2*, DTS/TIPHON-04002 v1.1.64, 1998.
- [ETSIb] ETSI STF, *Request for Information (RFI): Requirements for Very Large Scale E.164 -> IP Database*, TD35, ETSI EP TIPHON 9, Portland, 1998.
- [ETSIc] TD290, ETSI Working Party Numbering and Routing, *Proposal to Study IP Numbering, Addressing, and Routing Issues*, Sophia, 1998.
- [F00] FALTSTROM, (P.), *E.164 Number and DNS*, IETF Draft draft-ietf-enum-e164-dns-00, 2000.
- [FASOAKCGRBASEWDH00] FAN, (Y.), ASHWOOD-SMITH, (P.), SHARMA, (V.), ASH, (G. R.), KRISHNASWAMY, (M.), CAO, (Y.), GIRISH, (M. K.), RUCK, (H. M.), BERNSTEIN, (S.), AHLUWALIA, (S.), SJOSTRAND, (H.), ERIKSSON, (K.), WANG, (L.), DORIA, (A.), HUMMEL, (H.), *Extensions to CR-LDP and RSVP-TE for Optical Path Set-up*, IETF Draft draft-fan-mpls-lambda-signalling-00.txt, 2000.
- [FGHW99] FELDMAN, (A.), GILBERT, (A.), HUANG, (P.), WILLINGER, (W.), *Dynamic of IP Traffic: A Study of the Role of Variability and the Impact of Control*, Proceedings of the ACM SIGCOMM, 1999.
- [FGLRRT00] FELDMAN, (A.), GREENBERG, (A.), LUND, (C.), REINGOLD, (N.), REXFORD, (J.), TRUE, (F.), *Deriving Traffic Demands for Operational IP Networks: Methodology and Experience*, travaux en cours.
- [FGLRR99] FELDMAN, (A.), GREENBERG, (A.), LUND, (C.), REINGOLD, (N.), REXFORD, (J.), TRUE, (F.), *Netscope: Traffic Engineering for IP Networks*, IEEE Network Magazine, 2000.
- [FH98] FERGUSON, (P.), HUSTON, (G.), *Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*, John Wiley & Sons, 1998.

- [FHH79] FRANKS, (R. L.), HEFFES, (H.), HOLTZMAN, (J. M.), HORING, (S.), MESSERLI, (E. J.), A Model Relating Measurements and Forecast Errors to the Provisioning of Direct Final Trunk Groups, *Bell System Technical Journal*, Vol. 58, No. 2, 1979.
- [FI00] FUJITA, (N.), IWATA, (A.), *Traffic Engineering Extensions to OSPF Summary LSA*, draft-fujita-ospf-te-summary-00.txt, 2000.
- [FIA99] FUJITA, (N.), IWATA, (A.), ASH, (G. R.), *Crankback Routing Extensions for CR-LDP*, IETF Draft draft-fujita-mppls-crldp-crankback-00.txt, 2000.
- [FJ93] FLOYD, (S.), JACOBSON, (V.), *Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance*, IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993.
- [FO00] FOLTS, (H.), OHNO, (H.), *Functional Requirements for Priority Services to Support Critical Communications*, draft-folts-ohno-ieps-considerations-00.txt, 2000.
- [FRC98] FELDMAN, (A.), REXFORD, (J.), CACERES, (R.), *Efficient Policies for Carrying Web Traffic Over Flow-Switched Networks*, IEEE/ACM Transactions on Networking, 1998.
- [FT00] FORTZ, (B.), THORUP, (M.), *Internet Traffic Engineering by Optimizing OSPF Weights*, Proceedings of IEEE INFOCOM, 2000.
- [G.723.1] Recommandation UIT-T G.723.1 (1996), *Codeurs vocaux: codeur vocal à double débit pour communications multimédias acheminées à 5,3 et 6,3 kbit/s*.
- [G99a] GLOSSBRENNER, (K.), *Elements Relevant to Routing of ATM Connections*, Note de liaison à la Commission d'études 2 de l'UIT-T, Document temporaire 1/2-8, Genève, Suisse, 1999.
- [G99b] GLOSSBRENNER, (K.), *IP Performance Studies*, Note de liaison à la Commission d'études 2 de l'UIT-T, Document temporaire GEN-27, Genève, Suisse, 1999.
- [GDW00] GHANI, (N.), DUXIT, (S.), WANG, (T.), *On IP-Over-WDM Integration*, IEEE Communications Magazine, 2000.
- [GJFALF99] GHANWANI, (A.), JAMOSSI, (B.), FEDYK, (D.), ASHWOOD-SMITH, (P.), LI, (L.), FELDMAN, (N.), *Traffic Engineering Standards in IP Networks using MPLS*, IEEE Communications Magazine, 1999.
- [GWA97] GRAY, (E.), WANG, (Z.), ARMITAGE, (G.), *Generic Label Distribution Protocol Specification*, IETF Draft, draft-gray-mppls-generic-ldp-spec-00.txt, 1997.
- [GR99] GREENE, (N.), RAMALHO, (M.), *Media Gateway Control Protocol Architecture and Requirements*, IETF Draft, draft-ietf-megaco-reqs-00.txt, 1999.
- [H95] HUITEMA, (C.), *Routing in the Internet*, Prentice Hall, 1995.
- [H97] HALABI, (B.), *Internet Routing Architectures*, Cisco Press, 1997.
- [H99] HEYMAN, (D. P.), *Estimation of MMPP Models of IP Traffic*, travaux non publiés.
- [H.225.0] Recommandation UIT-T H.225.0 (1996), *Mise en paquets et synchronisation d'un train multimédia sur réseau local de qualité de service non garantie*.
- [H.245] Recommandation UIT-T H.245 (2001), *Protocole de commande pour communications multimédias*.
- [H.246] Recommandation UIT-T H.246 (1998), *Interfonctionnement des terminaux multimédias de la série H avec d'autres terminaux multimédias de la série H et des terminaux vocaux ou en bande vocale sur le RTGC et le RNIS*.
- [H.323] Recommandation UIT-T H.323 (2000), *Systèmes de communication multimédia en mode paquet*.

- [HCC00] HUSTON, (G.), CERF, (V. G.), CHAPIN, (L.), *Internet Performance Survival Guide: QoS Strategies for Multi-Service Networks*, John Wiley & Sons, 2000.
- [HiN76] HILL, (D. W.), NEAL, (S. R.), The Traffic Capacity of a Probability Engineered Trunk Group, *Bell System Technical Journal*, Vol. 55, No. 7, 1976.
- [HL96] HEYMAN, (D. P.), LAKSHMAN, (T. V.), *What are the Implications of Long-Range Dependence for VBR-Video Traffic Engineering?*, IEEE Transactions on Networking, 1996.
- [HSMOA00] HUANG, (C.), SHARMA, (V.), MAKAM, (S.), OWENS, (K.), *A Path Protection/Restoration Mechanism for MPLS Networks*, draft-chang-mpls-path-protection-00.txt, 2000.
- [HM00] HEYMAN, (D. P.), MANG, (X.), *Why Modelling Broadband Traffic is Difficult, and Potential Ways of Doing It*, Fifth INFORMS Telecommunications Conference, Boca Raton, FL, 2000.
- [HSMO00] HUANG, (C.), SHARMA, (V.), MAKAM, (S.), OWENS, (K.), *A Path Protection/Restoration Mechanism for MPLS Networks*, draft-chang-mpls-path-protection-00.txt, 2000.
- [HSMOA00] HUANG, (C.), SHARMA, (V.), MAKAM, (S.), OWENS, (K.), AKYOL, (B.), *Extensions to RSVP-TE for MPLS Path Protection*, draft-chang-mpls-rsvp-te-path-protection-ext-00.txt, 2000.
- [HY00] HJALMTYSSON, (G.), YATES, (J.), *Smart Routers – Simple Optics, An Architecture for the Optical Internet*, soumis pour publication.
- [I.211] Recommandation UIT-T I.211 (1993), *Aspects service du RNIS à large bande*.
- [I.324] Recommandation UIT-T I.324 (1991), *Architecture du RNIS, 1991*.
- [I.327] Recommandation UIT-T I.327 (1993), *Architecture fonctionnelle du RNIS à large bande*.
- [I.356] Recommandation UIT-T I.356 (2000), *Caractéristiques du transfert de cellules de la couche ATM du RNIS-LB*.
- [IYBKQ00] ISOYAMA, (K.), YOSHIDA, (M.), BRUNNER, (M.), KIND, (A.), QUITTEK, (J.), *Policy Framework QoS Information Model for MPLS*, draft-isoyama-policy-mpls-info-model-00.txt, 2000.
- [J00] JAMOUSSE, (B.), Editor, *Constraint-Based LSP Setup using LDP*, IETF draft-ietf-mpls-cr-ldp-03.txt, 2000.
- [K99] KILKKI, (K.), *Differentiated Services for the Internet*, Macmillan, 1999.
- [KAHRSYB00] KANKKUNEN, (A.), ASH, (G.), HOPKINS, (J.), ROSEN, (B.), STACEY, (D.), YELUNDUR, (A.), BERGER, (L.), *Voice over MPLS Framework*, IETF Draft draft-kankkunen-vompls-fw-00.txt, 2000.
- [Kne73] KNEPLEY, (J. E.), *Minimum Cost Design for Circuit Switched Networks*, Technical Note Numbers 36-73, Defense Communications Engineering Centre, System Engineering Facility, Reston, Virginie, 1973.
- [KR00] KUROSE, (J. F.), ROSS, (K. W.), *Computer Networking, A Top-Down Approach Featuring the Internet*, Addison-Wesley, 2000.
- [KR00a] KOMPPELLA, (K.), REKHTER, (Y.), *LSP Hierarchy with MPLS TE*, Internet Draft draft-kompella-lsp-hierarchy-00.txt, 2000.
- [Kru37] KRUIITHOF, (J.), *Telefoonverkeersrekening*, *De Ingenieur*, Vol. 52, No. 8, 1937.
- [Kru79] KRUPP, (R. S.), *Properties of Kruithof's Projection Method*, *Bell System Technical Journal*, Vol. 58, No. 2, 1979.

- [Kru82] KRUPP, (R. S.), *Stabilization of Alternate Routing Networks*, IEEE International Communications Conference, Philadelphia, Pennsylvania, 1982.
- [L00] LAI, (W.), *Capacity Engineering of IP-Based Networks with MPLS*, IETF Draft draft-wlai-tewg-cap-eng-00.txt, 2000.
- [L99] LI, (T.), *MPLS and the Evolving Internet Architecture*, IEEE Communications Magazine, 1999.
- [LNCTS00] LE FAUCHEUR, (F.), NADEAU, (T. D.), CHIU, (A.), TOWNSEND, (W.), SKALECKI, (D.), *Extensions to IS-IS, OSPF, RSVP and CR-LDP for support of Diff-Serv-aware MPLS Traffic Engineering*, draft-lefaucheur-diff-te-ext-00.txt, 2000.
- [LRACJ00] LUCIANI, (J.), RAJAGOPALAN, (B.), AWDUCHE, (D.), CAIN, (B.), JAMOSSI, (B.), *IP over Optical Networks – A Framework*, IETF Draft draft-ip-optical-framework-00.txt, 2000.
- [LS00] LAZER, (M.), STRAND, (J.), *Some Routing Constraints*, Optical Interworking Forum contribution OIF2000.109, 2000.
- [LTWW94] LELAND, (W.), TAQQU, (M.), WILLINGER, (W.), WILSON, (D.), *On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic*, IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994.
- [LDVKCH00] LE FAUCHEUR, (F.), DAVARI, (S.), VAANANEN, (P.), KRISHNAN, (R.), CHEVAL, (P.), HEINANEN, (J.), *MPLS Support of Differentiated Services*, IETF Draft draft-ietf-mpls-diff-ext-05.txt, 2000.
- [M85] MASON, (L. G.), *Equilibrium Flows, Routing Patterns and Algorithms for Store-and-Forward Networks*, North-Holland, Large Scale Systems, Vol. 8, 1985.
- [M98] METZ, (C.), *IP Switching: Protocols and Architecture*, McGraw-Hill, 1998.
- [M98a] MA, (Q.), *Quality-of-Service Routing in Integrated Services Networks*, Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1998.
- [M99] MOY, (J.), *OSPF: Anatomy of an Internet Routing Protocol*, Addison Wesley, 1999.
- [M99a] MCDYSAN, (D.), *QoS and Traffic Management in IP and ATM Networks*, McGraw-Hill, 1999.
- [MRMRBMSOAPLFEK00] MARSHALL, (W.), RAMAKRISHNAN, (K.), MILLER, (E.), RUSSELL, (G.), BESER, (B.), MANNETTE, (M.), STEINBRENNER, (K.), ORAN, (D.), ANDREASEN, (F.), PICKENS, (J.), LALWANNEY, (P.), FELLOWS, (J.), EVANS, (D.), KELLY, (K.), *Architectural Considerations for Providing Carrier Class Telephony Services Utilizing SIP-based Distributed Call Control Mechanisms*, IETF Draft draft-dcsgroup-sip-arch-02.txt, 2000.
- [MRMRBMSOAPLFEK00a] MARSHALL, (W.), RAMAKRISHNAN, (K.), MILLER, (E.), RUSSELL, (G.), BESER, (B.), MANNETTE, (M.), STEINBRENNER, (K.), ORAN, (D.), ANDREASEN, (F.), PICKENS, (J.), LALWANNEY, (P.), FELLOWS, (J.), EVANS, (D.), KELLY, (K.), *SIP Extensions for supporting Distributed Call State*, IETF Draft draft-dcsgroup-sip-state-02.txt, 2000.
- [MRMRBMSOAPLFEK00b] MARSHALL, (W.), RAMAKRISHNAN, (K.), MILLER, (E.), RUSSELL, (G.), BESER, (B.), MANNETTE, (M.), STEINBRENNER, (K.), ORAN, (D.), ANDREASEN, (F.), PICKENS, (J.), LALWANNEY, (P.), FELLOWS, (J.), EVANS, (D.), KELLY, (K.), *Integration of Resource Management and SIP*, IETF Draft draft-dcsgroup-sip-resource-01.txt, 2000.
- [MS97] MA, (Q.), STEENKISTE, (P.), *On Path Selection for Traffic with Bandwidth Guarantees*, Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols, 1997.

- [MS97a] MA, (Q.), STEENKISTE, (P.), *Quality-of-Service Routing for Traffic with Performance Guarantees*, Proceedings of IFIP Fifth International Workshop on Quality of Service, 1997.
- [MS98] MA, (Q.), STEENKISTE, (P.), *Routing Traffic with Quality-of-Service Guarantees*, Proceedings of Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video, 1998.
- [MS99] MA, (Q.), STEENKISTE, (P.), *Supporting Dynamic Inter-Class Resource Sharing: A Multi-Class QoS Routing Algorithm*, Proceedings of IEEE INFOCOM '99, 1999.
- [Mum76] MUMMERT, (V. S.), *Network Management and Its Implementation on the No. 4ESS*, International Switching Symposium, Japon, 1976.
- [NaM73] NAKAGOME, (Y.), MORI, (H.), *Flexible Routing in the Global Communication Network*, Proceedings of the Seventh International Teletraffic Congress, Stockholm, Suède, 1973.
- [NWM77] NARENDRA, (K. S.), WRIGHT, (E. A.), MASON, (L. G.), *Application of Learning Automata to Telephone Traffic Routing and Control*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-7, No. 11, 1977.
- [NWRH99] NEILSON, (R.), WHEELER, (J.), REICHMEYER, (F.), HARES, (S.), *A Discussion of Bandwidth Broker Requirements for Internet2 Qbone Deployment*, 1999.
- [PARLAY] *Parlay API Specification 1.2*, 10 1999.
- [PaW82] PACK, (C. D.), WHITAKER, (B. A.), *Kalman Filter Models for Network Forecasting*, *Bell System Technical Journal*, Vol. 61, No. 1, 1982.
- [PL99] FALTSTROM, (P.), LARSON, (B.), *E.164 Number and DNS*, IETF draft-faltstrom-e164-03.txt, 1999.
- [PW00] PARK, (K.), WILLINGER, (W.), *Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation*, John Wiley & Sons, 2000.
- [Q.71] Recommandation UIT-T Q.71 (1993), *Services supports commutés en mode circuit sur le RNIS*.
- [Q.765.5] Recommandation UIT-T Q.765.5 (2000), *Système de signalisation n° 7 – Mécanisme de transport d'application: commande d'appel indépendante du support*.
- [Q.1901] Recommandation UIT-T Q.1901 (2000), *Protocole de commande d'appel indépendant du support*.
- [Q.2761] Recommandation UIT-T Q.2761 (1999), *Description fonctionnelle du sous-système utilisateur du RNIS-LB du système de signalisation n° 7*.
- [Q.2931] Recommandation UIT-T Q.2931 (1995), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Spécification de la couche 3 de l'interface utilisateur-réseau pour la commande de connexion/appel de base*.
- [R99] ROBERTS, (J. W.), *Engineering for Quality of Service*, chapitre figurant dans [PW00].
- [RFC1633] BRADEN, (R.), CLARK, (D.), SHENKER, (S.), *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*, 1994.
- [RFC1889] SCHULZRINNE, (H.), CASNER, (S.), FREDERICK, (R.), JACOBSON, (V.), *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, 1996.
- [RFC1940] ESTRIN, (D.), LI, (T.), REKHTER, (Y.), VARADHAN, (K.), ZAPPALA, (D.), *Source Demand Routing: Packet Format and Forwarding Specification (Version 1)*, 1996.
- [RFC1992] CASTINEYRA, (I.), CHIAPPA, (N.), STEENSTRUP, (M.), *The Nimrod Routing Architecture*, 1996.

- [RFC2205] BRADEM, (R.), ZHANG, (L.), BERSON, (S.), HERZOG, (S.), JAMIN, (S.), *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification*, 1997.
- [RFC2328] MOY, (J.), *OSPF Version 2*, 1998.
- [RFC2332] LUCIANI, (J.), KATZ, (D.), PISCITELLO, (D.), COLE, (B.), DORASWAMY, (N.), *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*, 1998.
- [RFC2370] COLTUN, (R.), *The OSPF Opaque LSA Option*, 1998.
- [RFC2386] CRAWLEY, (E.), NAIR, (R.), RAJAGOPALAN, (B.), SANDICK, (H.), *A Framework for QoS-based Routing in the Internet*, 1998.
- [RFC2475] BLAKE, (S.), BLACK, (D.), CARLSON, (M.), DAVIES, (E.), WANG, (Z.), WEISS, (W.), *An Architecture for Differentiated Services*, 1998.
- [RFC2543] HANDLEY, (M.), SCHULZRINNE, (H.), SCHOOLER, (E.), ROSENBERG, (J.), *SIP: Session Initiation Protocol*, 1999.
- [RFC2702] AWDUCHE, D., MALCOLM, (J.), AGOGBUA, (J.), O'DELL, (M.), MCMANUS, (J.), *Requirements for Traffic Engineering over MPLS*, 1999.
- [RFC2722] BROWNLEE, (N.), RUTH, (G.), *Traffic Flow Measurement: Architecture*, 1999.
- [RFC2805] GREENE, (N.), RAMALHO, (M.), ROSEN, (B.), *Media Gateway Control Protocol Architecture and Requirements*, 2000.
- [RL00] REKHTER, (Y.), LI, (T.), *A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)*, IETF Draft draft-ietf-idr-bgp4-10.txt, 2000.
- [RO00] ROBERTS, (J. W.), OUESLATI-BOULAHIA, (S.), *Quality of Service by Flow Aware Networking*, travaux en cours.
- [RVC99] ROSEN, (E.), VISWANATHAN, (A.), CALLON, (R.), *Multiprotocol Label Switching Architecture*, IETF draft-ietf-mpls-arch-06.txt, 1999.
- [S94] STEVENS, (W. R.), *TCP/IP Illustrated, Volume 1, The Protocols*, Addison-Wesley, 1994.
- [S95] STEENSTRUP, (M.), Editor, *Routing in Communications Networks*, Prentice-Hall, 1995.
- [S99] SWALLOW, (G.), *MPLS Advantages for Traffic Engineering*, IEEE Communications Magazine, 1999.
- [SAHG00] SLUTSMAN, (L.), ASH, (G.), HAERENS, (F.), GURBANI, (V. K.), *Framework and Requirements for the Internet Intelligent Network (IIN)*, IETF Draft draft-lslutsmansip-iin-framework-00.txt, 2000.
- [SC00] STRAND, (J.), CHIU, (A. L.), *What's Different About the Optical Layer Control Plane?*, soumis pour publication.
- [SL99] SCHWEFEL, (H-P.), LIPSKY, (L.), *Performance Results for Analytic Models of Traffic in Telecommunication Systems, Based on Multiple ON-OFF Sources with Self-Similar Behavior*, 16th International Teletraffic Congress, Edinburgh, 1999.
- [ST98] SIKORA, (J.), TEITELBAUM, (B.), *Differentiated Services for Internet2*, Internet2: Joint Applications/Engineering QoS Workshop, Santa Clara, CA, 1998.
- [ST99] SAHINOGLU, (Z.), TEKINAY, (S.), *On Multimedia Networks: Self-Similar Traffic and Network Performance*, IEEE Communication Magazine, 1999.
- [STB99] SURYAPUTRA, (S.), TOUCH, (J. D.), BANNISTER, (J.), *Simple Wavelength Assignment Protocol*, USC Information Sciences Institute ISC/ISI RR-99-473, 1999.
- [TRQ3000] Supplément à la Recommandation UIT-T Q.1901, *Operation of the bearer independent call control (BICC) protocol with digital subscriber signalling system No. 2 (DSS2)*, 1999.

- [TRQ3010] Supplément à la Recommandation UIT-T Q.1901 (1999), *Operation of the bearer independent call control (BICC) protocol with AAL Type 2 signalling protocol (CS-1)*.
- [TRQ3020] Supplément à la Recommandation UIT-T Q.1901 (1999), *Operation of the bearer independent call control (BICC) protocol with broadband integrated digital services network user part (B-ISUP) protocol for AAL Type 1 adaptation*.
- [Tru54] TRUITT, (C. J.), Traffic Engineering Techniques for Determining Trunk Requirements in Alternate Routed Networks, *Bell System Technical Journal*, Vol. 31, No. 2, 1954.
- [V99] VILLAMIZAR, (C.), *MPLS Optimized Multipath*, draft-villamizar-mpls-omp-01, 1999.
- [Wal00] WALSH, (T.), *Multiprotocol Label Switching (MPLS) in BICC*, Contribution à la réunion de la Commission d'études 11 de l'UIT-T, Melbourne, Australie, 2000.
- [WBP00] WRIGHT, (G.), BALLARTE, (S.), PEARSON, (T.), *CR-LDP Extensions for Interworking with RSVP-TE*, Internet Draft draft-wright-mpls-crldp-rsvpte-iw-00.txt, 2000.
- [Wei63] WEINTRAUB, (S.), *Tables of Cumulative Binomial Probability Distribution for Small Values of p*, London: Collier-Macmillan Limited, 1963.
- [WE99] WIDJAJA, (I.), ELWALID, (A.), *MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering*, draft-widjaja-mpls-mate-01.txt, 1999.
- [WHJ00] WRIGHT, (S.), HERZOG, (S.), JAEGER, (R.), *Requirements for Policy Enabled MPLS*, draft-wright-policy-mpls-00.txt, 2000.
- [Wil56] WILKINSON, (R. I.), Theories of Toll Traffic Engineering in the U.S.A., *Bell System Technical Journal*, Vol. 35, No. 6, 1956.
- [Wil58] WILKINSON, (R. I.), *A Study of Load and Service Variations in Toll Alternate Route Systems*, Proceedings of the Second International Teletraffic Congress, The Hague, Netherlands, Document No. 29, 1958.
- [Wil71] WILKINSON, (R. I.), Some Comparisons of Load and Loss Data with Current Teletraffic Theory, *Bell System Technical Journal*, Vol. 50, pages 2807 à 2834, 1971.
- [XHBN00] XIAO, (X.), HANNAN, (A.), BAILEY, (B.), NI, (L. M.), *Traffic Engineering with MPLS in the Internet*, IEEE Network Magazine, 2000.
- [XN99] XIAO, (X.), NI, (L. M.), *Internet QoS: A Big Picture*, IEEE Network Magazine, 1999.
- [Yag71] YAGED, (B., Jr.), *Long Range Planning for Communications Networks*, Polytechnic Institute of Brooklyn, Ph.D. Thesis, 1971.
- [Yag73] YAGED, (B.), *Minimum Cost Design for Circuit Switched Networks*, Networks, Vol. 3, pages 193 à 224, 1973.
- [YR99] YATES, (J. M.), RUMSEWICZ, (M. P.) LACEY, (J. P. R.), *Wavelength Converters in Dynamically-Reconfigurable WDM Networks*, IEEE Communications Society Survey Paper, 1999.
- [ZSSC97] ZHANG, SANCHEZ, SALKEWICZ, CRAWLEY, *Quality of Service Extensions to OSPF or Quality of Service Route First Routing (QOSPF)*, IETF Draft, draft-shang-qos-ospf-01.txt, 1997.

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