



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.352

(03/2000)

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

Exploitation, numérotage, acheminement et service
mobile – Dispositions du RNIS concernant les usagers –
Plan d'acheminement international

**Directives pour des méthodes d'acheminement
efficaces**

Recommandation UIT-T E.352

(Antérieurement Recommandations du CCITT)

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

EXPLOITATION, NUMÉROTAGE, ACHEMINEMENT ET SERVICE MOBILE

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
--	--------------------

QUALITÉ DE SERVICE, GESTION DE RÉSEAU ET INGÉNIERIE DU TRAFIC

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.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.

DIRECTIVES POUR DES MÉTHODES D'ACHEMINEMENT EFFICACES

Résumé

Les stratégies d'acheminement généralement utilisées dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP ne prennent pas totalement en considération les instabilités éventuelles et les pertes importantes de trafic pouvant survenir dans des situations d'encombrement. L'utilisation de la réservation de largeur de bande et la prévention des itinéraires longs sont recommandées dans de telles situations d'encombrement. L'utilisation des méthodes d'acheminement en fonction de l'état (SDR, *state-dependent-routing*) est également courante dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP. Toutefois, la propagation par "inondation" utilisée en général par ces méthodes d'acheminement SDR pour diffuser les informations de statut du réseau peut conduire à une utilisation inefficace des ressources réseau. Il est recommandé de prendre en considération, comme autre possibilité, l'utilisation de méthodes d'acheminement en fonction des événements (EDR, *event-dependent-routing*) et un processus plus efficace de diffusion des informations de statut du réseau. Il est enfin recommandé d'utiliser des règles de qualité de service pour l'acheminement afin d'assurer la performance du service, permettant, par exemple, d'éviter un temps de transfert excessif en imposant une limite pour le nombre de bonds par satellite dans une connexion de bout en bout.

Source

La Recommandation UIT-T E.352, élaborée par la Commission d'études 2 (1997-2000) de l'UIT-T, a été approuvée le 13 mars 2000 selon la procédure définie dans la Résolution n° 1 de la CMNT.

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.

La Conférence mondiale de normalisation des télécommunications (CMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'études 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 n° 1 de la CMNT.

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 2000

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1 Domaine d'application	2
2 Références normatives	2
3 Définitions	2
4 Abréviations.....	3
5 Méthodes d'acheminement recommandées.....	4
5.1 Méthodes de réservation de largeur de bande.....	5
5.2 Choix du chemin.....	7
5.3 Acheminement en fonction de la QS	9
6 Exemples de méthodes d'acheminement recommandées.....	9
6.1 Exemple de méthodes de réservation de largeur de bande	9
6.2 Exemple de méthodes de choix de chemin.....	10
Annexe A – Méthodes d'acheminement entre réseaux basés sur le mode TDM	11
A.1 Acheminement fixe (FR)	12
A.2 Acheminement en fonction du temps (TDR).....	12
A.3 Acheminement en fonction de l'état (SDR)	13
A.4 Acheminement en fonction des événements (EDR)	14
Appendice I – Bibliographie	15

Introduction

De nombreux opérateurs réseau ont implémenté des réseaux multiples qui utilisent divers protocoles d'acheminement tels que les réseaux téléphoniques généraux commutés (RTPC) utilisant la technologie de multiplexage temporel (TDM), la technologie de mode de transfert asynchrone (ATM) et/ou la technologie de protocole Internet (IP). Divers protocoles d'acheminement sont utilisés dans les réseaux basés sur le mode TDM, le mode ATM et le protocole IP. La Recommandation E.350 décrit, par exemple, des méthodes d'acheminement fixe et dynamique utilisables dans le cas de réseaux basés sur le mode TDM. La norme d'interface réseau-réseau privée (PNNI) adoptée par le forum ATM [ATM960055] décrit, dans le cas de réseaux basés sur le mode ATM, les échanges d'informations de statut de nœud et de liaison, la mise à jour automatique et la synchronisation des bases de données de topologie ainsi que le choix dynamique d'itinéraire en fonction des informations de topologie et de statut. La norme "premier itinéraire ouvert le plus court" (OSPF) et d'autres normes adoptées par le groupe de travail d'ingénierie Internet [M98] et [S95] fournissent de nombreuses fonctionnalités comparables à celles de la norme PNNI, mais pour un réseau par paquets sans connexion basé sur le protocole IP. La norme OSPF permet également l'échange d'informations de statut de nœud et de liaison, la mise à jour et la synchronisation automatique des bases de données de topologie ainsi que le choix dynamique d'itinéraire en fonction des informations de topologie et de statut.

La présente Recommandation contient des directives concernant des méthodes efficaces d'acheminement qui ont fait l'objet d'études, d'enseignements et d'implémentations pendant de nombreuses années pour les réseaux basés sur le mode TDM. Ces directives et méthodes d'acheminement peuvent également s'appliquer à des réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP et leur utilisation est recommandée dans ces cas. La présente Recommandation constate que les stratégies d'acheminement généralement utilisées dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP ne prennent pas totalement en considération les instabilités éventuelles et les pertes importantes de trafic pouvant survenir dans des situations d'encombrement. Il est recommandé dans de telles situations d'encombrement d'utiliser la réservation de bande de transmission et d'éviter les longs trajets, ce qui est susceptible d'améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources du réseau. L'utilisation des méthodes d'acheminement en fonction de l'état (SDR) est également encouragée dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP. Toutefois, la propagation par "inondation" utilisée en général par ces méthodes d'acheminement SDR pour diffuser les informations de statut du réseau peut conduire à une utilisation inefficace des ressources réseau. Il est recommandé de prendre en considération, comme autre possibilité, l'utilisation de méthodes d'acheminement en fonction des événements (EDR) et un processus plus efficace de diffusion des informations de statut du réseau. Il est enfin recommandé d'utiliser des règles de qualité de service pour l'acheminement afin d'assurer la performance du service, permettant, par exemple, d'éviter un temps de transfert excessif en imposant une limite pour le nombre de bonds par satellite dans une connexion de bout en bout.

DIRECTIVES POUR DES MÉTHODES D'ACHEMINEMENT EFFICACES

(Genève, 2000)

Introduction

De nombreux opérateurs réseau ont implémenté des réseaux multiples qui utilisent divers protocoles d'acheminement tels que les réseaux téléphoniques publics commutés (RTPC) utilisant la technologie de multiplexage temporel (TDM, *time division multiplexing*), la technologie de mode de transfert asynchrone (ATM, *asynchronous transfer mode*) et/ou la technologie de protocole Internet (IP, *Internet protocol*). Divers protocoles d'acheminement sont utilisés dans les réseaux basés sur le mode TDM, le mode ATM et le protocole IP. La Recommandation E.350 décrit, par exemple, des méthodes d'acheminement fixe et dynamique utilisables dans le cas de réseaux basés sur le mode TDM. La norme d'interface réseau-réseau privée (PNNI, *private network-network interface*) adoptée par le forum ATM [ATM960055] décrit, dans le cas de réseaux basés sur le mode ATM, les échanges d'informations de statut de nœud et de liaison, la mise à jour automatique et la synchronisation des bases de données de topologie ainsi que le choix dynamique d'itinéraire en fonction des informations de topologie et de statut. La norme "premier itinéraire ouvert le plus court" (OSPF, *open shortest path first*) et d'autres normes adoptées par le groupe de travail d'ingénierie Internet [M98] et [S95] fournissent de nombreuses fonctionnalités comparables à celles de la norme PNNI, mais pour un réseau par paquets sans connexion basé sur le protocole IP. La norme OSPF permet également l'échange d'informations de statut de nœud et de liaison, la mise à jour et la synchronisation automatique des bases de données de topologie ainsi que le choix dynamique d'itinéraire en fonction des informations de topologie et de statut.

La présente Recommandation contient des directives concernant des méthodes efficaces d'acheminement qui ont fait l'objet d'études, d'enseignements et d'implémentations pendant de nombreuses années pour les réseaux basés sur le mode TDM. Ces directives et méthodes d'acheminement peuvent également s'appliquer à des réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP et leur utilisation est recommandée dans ces cas. La présente Recommandation constate que les stratégies d'acheminement généralement utilisées dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP ne prennent pas totalement en considération les instabilités éventuelles et les pertes importantes de trafic pouvant survenir dans des situations d'encombrement. Il est recommandé dans de telles situations d'encombrement d'utiliser la réservation de bande de transmission et d'éviter les longs trajets, ce qui est susceptible d'améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources du réseau. L'utilisation des méthodes d'acheminement en fonction de l'état (SDR) est également encouragée dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP. Toutefois, la propagation par "inondation" utilisée en général par ces méthodes d'acheminement SDR pour diffuser les informations de statut du réseau peut conduire à une utilisation inefficace des ressources réseau. Il est recommandé de prendre en considération, comme autre possibilité, l'utilisation de méthodes d'acheminement en fonction des événements (EDR) et un processus plus efficace de diffusion des informations de statut du réseau. Il est enfin recommandé d'utiliser des règles de qualité de service pour l'acheminement afin d'assurer la performance du service, permettant, par exemple, d'éviter un temps de transfert excessif en imposant une limite pour le nombre de bonds par satellite dans une connexion de bout en bout.

1 Domaine d'application

La présente Recommandation fournit des directives pour la conception de méthodes d'acheminement applicables au sein de réseaux basés sur le mode TDM, le mode ATM et le protocole IP; elle contient en particulier des recommandations concernant la réservation de largeur de bande, le choix de chemin et l'acheminement en fonction de la QS. La recommandation de ces directives est faite sur la base d'une pratique confirmée, appliqués en particulier au sein de réseaux RTPC basés sur le mode TDM. Le cas de l'évolution de réseaux RTPC, en vue d'incorporer des technologies basées sur le protocole IP ou le mode ATM, est également examiné. Le paragraphe 5 contient des directives au sujet des méthodes d'acheminement et le paragraphe 6 donne des exemples d'utilisation de ces méthodes d'acheminement.

2 Références normatives

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

- [E.164] UIT-T E.164 (1997), *Plan de numérotage des télécommunications publiques internationales*.
- [E.170] UIT-T E.170 (1992), *Acheminement du trafic*.
- [E.177] UIT-T E.177 (1996), *Acheminement dans le RNIS à large bande*.
- [E.350] UIT-T E.350 (2000), *Interfonctionnement d'acheminement dynamique*.
- [E.351] UIT-T E.351 (2000), *Acheminement de connexions multimédias à travers des réseaux TDM, ATM ou IP*.
- [E.412] UIT-T E.412 (1998), *Commandes de gestion de réseau*.
- [E.525] UIT-T E.525 (1992), *Conception des réseaux pour le contrôle de la qualité d'écoulement du trafic*.
- [E.529] UIT-T E.529 (1997), *Dimensionnement de réseau au moyen des objectifs de qualité d'écoulement du trafic de bout en bout*.

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

- 3.1 liaison:** support de transmission de bande spectrale entre nœuds, considéré comme une seule entité du point de vue de l'ingénierie.
- 3.2 nœud de destination:** nœud de terminaison au sein d'un réseau donné.
- 3.3 nœud:** élément réseau (commutateur, routeur/commutateur ou centre de commutation) assurant des fonctions de commutation et d'acheminement, ou une combinaison de tels éléments réseau constituant un réseau.
- 3.4 couple O-D:** couple de nœuds d'origine et de destination utilisé pour une demande particulière de connexion/d'allocation de bande passante.
- 3.5 nœud d'origine:** nœud d'origine au sein d'un réseau particulier.
- 3.6 chemin:** concaténation de liaisons fournissant une connexion/une allocation de largeur de bande pour un couple O-D.

- 3.7 ensemble de chemins:** ensemble de chemins connectant un même couple O-D.
- 3.8 table d'acheminement:** description des choix de chemin et des règles de sélection d'un chemin au sein de l'ensemble de chemins en vue de satisfaire à une demande de connexion/d'allocation de largeur de bande.
- 3.9 flux de trafic:** classe de demandes de connexion présentant les mêmes caractéristiques de trafic.
- 3.10 nœud intermédiaire:** nœud intermédiaire situé sur un chemin au sein d'un réseau particulier.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

AAR	acheminement avec débordement automatique (<i>automatic alternate routing</i>)
ABR	débit disponible (<i>available bit rate</i>)
AESA	adresse de système de terminaison ATM (<i>ATM end system address</i>)
ARR	réacheminement automatique (<i>automatic rerouting</i>)
AS	système autonome (<i>autonomous system</i>)
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BGP	protocole de passerelle frontière (<i>border gateway protocol</i>)
BW	largeur de bande (<i>bandwidth</i>)
CAC	contrôle d'admission d'appel (<i>call admission control</i>)
CBR	débit constant (<i>constant bit rate</i>)
CCS	signalisation par canal sémaphore (<i>common channel signalling</i>)
DADR	acheminement dynamique adaptatif réparti (<i>distributed adaptive dynamic routing</i>)
DAR	acheminement dynamique avec débordement (<i>dynamic alternate routing</i>)
DCR	acheminement avec commande dynamique (<i>dynamically controlled routing</i>)
DIFFSERV	services différenciés (<i>differentiated services</i>)
DN	nœud de destination (<i>destination node</i>)
DNHR	acheminement dynamique non hiérarchique (<i>dynamic non-hierarchical routing</i>)
DTL	liste de transit désignée (<i>designated transit list</i>)
EDR	acheminement en fonction des événements (<i>event-dependent routing</i>)
FR	acheminement fixe (<i>fixed routing</i>)
GCAC	contrôle d'admission d'appel générique (<i>generic call admission control</i>)
GOS	degré de service (<i>grade of service</i>)
IETF	groupe de travail d'ingénierie Internet (<i>Internet engineering task force</i>)
IP	protocole Internet (<i>Internet protocol</i>)
LLR	acheminement à moindre charge (<i>least loaded routing</i>)
LSA	annonce d'état de liaison (<i>link state advertisement</i>)
LSP	itinéraire commuté avec étiquette (<i>label switched path</i>)

MPLS	commutation multiprotocole avec étiquette (<i>multiprotocol label switching</i>)
ODR	acheminement dynamique optimisé (<i>optimized dynamic routing</i>)
ON	nœud d'origine (<i>originating node</i>)
OSPF	premier itinéraire ouvert le plus court (<i>open shortest path first</i>)
PNNI	interface réseau-réseau privée (<i>private network-network interface</i>)
PTSE	éléments d'état de topologie PNNI (<i>PNNI topology state elements</i>)
QS	qualité de service
RNIS-BE	réseau numérique à intégration de services à bande étroite
RNIS-LB	réseau numérique à intégration de services à large bande
RP	processeur d'acheminement (<i>routing processor</i>)
RSVP	protocole de réservation de ressources (<i>resource reservation protocol</i>)
RTNR	acheminement réseau en temps réel (<i>real-time network routing</i>)
RTPC	réseau téléphonique public commuté
SCP	point de commande du service (<i>service control point</i>)
SDR	acheminement en fonction de l'état (<i>state-dependent routing</i>)
STR	acheminement en fonction de l'état et du temps (<i>state-and time-dependent routing</i>)
TDR	acheminement en fonction du temps (<i>time-dependent routing</i>)
UBR	débit non assigné (<i>unassigned bit rate</i>)
VBR	débit variable (<i>variable bit rate</i>)
VC	circuit virtuel (<i>virtual circuit</i>)
VN	nœud intermédiaire (<i>via node</i>)
WIN	réseau intelligent global (acheminement) [<i>worldwide intelligent network (routing)</i>]

5 Méthodes d'acheminement recommandées

Les stratégies d'acheminement généralement utilisées dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP ne prennent pas totalement en considération les instabilités éventuelles et les pertes importantes de trafic pouvant survenir dans des situations d'encombrement. Le présent paragraphe recommande, dans de telles situations d'encombrement, l'utilisation de la réservation de largeur de bande et la prévention des itinéraires longs afin d'utiliser de manière plus efficace les ressources réseau.

L'utilisation des méthodes d'acheminement en fonction de l'état (SDR) est également courante dans les réseaux basés sur le mode ATM et le protocole IP. Toutefois, la propagation par "inondation" utilisée en général par ces méthodes d'acheminement SDR pour diffuser les informations de statut du réseau peut conduire à une utilisation inefficace des ressources réseau. Il est recommandé de prendre en considération, comme autre possibilité, l'utilisation de méthodes d'acheminement en fonction des événements (EDR) et/ou un processus plus efficace de diffusion des informations de statut du réseau.

Il est enfin recommandé d'utiliser des règles de qualité de service pour l'acheminement afin d'assurer la performance du service, permettant, par exemple, d'éviter un temps de transfert excessif en imposant une limite pour le nombre de bonds par satellite dans une connexion de bout en bout.

5.1 Méthodes de réservation de largeur de bande

La réservation de largeur de bande (la terminologie utilisée dans les réseaux TDM est "réservation de jonction") favorise un trafic privilégié en lui permettant d'occuper toute largeur de bande libre sur une liaison, alors que le trafic normal ne peut occuper de la largeur de bande que s'il reste un minimum de largeur de bande libre; ce seuil minimal de largeur de bande libre est appelé "niveau de réservation". Le comportement du modèle de réservation de largeur de bande a été analysé en premier par P. J. Burke [Bur61] en partant de la solution des équations de naissance et de mort du modèle de réservation de largeur de bande. Le modèle de Burke fournit le niveau relatif de perte de trafic pour le trafic privilégié, qui n'est pas soumis aux contraintes de réservation de largeur de bande par rapport au trafic normal qui est soumis à de telles contraintes. La Figure 1 présente le pourcentage de perte pour le trafic privilégié et le trafic normal sur une liaison typique avec une surcharge de trafic de 10%. Il apparaît que la perte de trafic est voisine de zéro pour le trafic privilégié et qu'elle est notablement plus élevée pour le trafic normal; cette situation reste valable pour de grandes variations du volume relatif au trafic privilégié. Il s'ensuit que la protection par réservation de largeur de bande est robuste vis-à-vis des variations de trafic et fournit une protection dynamique significative pour des flux de trafic particuliers.

La réservation de largeur de bande est une technique clé utilisée dans des réseaux non hiérarchiques pour éviter l'instabilité qui peut réduire considérablement la capacité d'écoulement de trafic du réseau pendant des périodes d'encombrement, dans un rapport pouvant éventuellement dépasser les 50 % de cette capacité [E.525]. Le phénomène d'instabilité a reçu une solution intéressante par l'utilisation d'équations de flux de réseau, documentée dans plusieurs études [NaM73], [Kru82] et [Aki84]. Ces études ont montré que les réseaux non hiérarchiques présentent deux états stables, appelés aussi phénomènes de bistabilité, dans des situations d'encombrement et que les réseaux peuvent passer de l'un de ces états stables à l'autre dans des situations d'encombrement de réseau qui ont fait l'objet d'investigation au moyen d'études de simulation. Une explication simple de ce phénomène de bistabilité est que, dans une situation d'encombrement, un réseau n'est souvent pas en mesure de traiter une demande de connexion en utilisant l'itinéraire direct ou le plus court, constitué par exemple d'une liaison unique. Si l'acheminement de débordement utilisant un chemin plus long avec liaisons multiples est autorisé, la demande de connexion peut alors être traitée sur un chemin à deux liaisons choisi parmi un grand nombre de tels chemins disposant d'une capacité libre suffisante pour l'acheminement de la connexion sur les deux liaisons. Comme cet itinéraire à deux liaisons consomme des ressources qui pourraient éventuellement être utilisées de manière différente pour réaliser deux connexions à une liaison, ce processus utilise les ressources réseau de manière moins efficace dans une situation d'encombrement. Si une grande partie de toutes les connexions ne peut pas être réalisée sur la liaison directe mais occupe des chemins à deux liaisons, la capacité totale d'écoulement du trafic est réduite de moitié du fait que la plupart des connexions utilisent le double des ressources nécessaires. Cette situation constitue l'un des états stables dans lequel la plupart des connexions, ou toutes, utilisent deux liaisons. Dans l'autre état stable, la plupart des connexions ou toutes utilisent une seule liaison, ce qui correspond à la situation souhaitable.

La réservation de largeur de bande est employée pour éviter ce comportement instable en permettant au trafic privilégié sur une liaison d'utiliser le chemin primaire le plus court, alors que le trafic normal est soumis aux contraintes de réservation de largeur de bande décrites précédemment. Le trafic de débordement se voit ainsi interdire le choix de chemins de débordement plus longs lorsqu'il n'existe pas de capacité de jonction libre sur l'ensemble des liaisons d'une connexion avec acheminement de débordement, ce qui est la situation la plus probable en cas d'encombrement du réseau et des liaisons. Les études mathématiques du comportement bistable d'un réseau ont établi que la réservation de largeur de bande utilisée de cette manière pour favoriser les connexions directes les plus courtes élimine le problème de bistabilité dans les réseaux non hiérarchiques et permet à de tels réseaux de préserver une utilisation efficace dans des situations d'encombrement en favorisant les connexions sur le chemin le plus court. La réservation dynamique de jonction est utilisée de manière

universelle pour cette raison dans les réseaux non hiérarchiques [E.529] et également souvent dans des réseaux hiérarchiques [Mum76].

Il existe toutefois des différences concernant la manière et le moment où s'applique la réservation de largeur de bande; la réservation de largeur de bande peut, par exemple être toujours active pour les connexions avec acheminement direct, ou elle peut être déclenchée de manière dynamique et utilisée uniquement dans des situations d'encombrement de réseau ou de liaison. Il s'agit de problèmes complexes de compromis dans le réseau, parce que la réservation de largeur de bande peut entraîner une certaine perte de capacité d'écoulement de trafic dans des situations normales de faible charge. Cette perte de capacité se manifeste parce que, si de la largeur de bande est réservée pour des connexions sur le chemin le plus court sans que des appels correspondants se manifestent, cette capacité est réservée de manière inutile, alors qu'elle pourrait être utilisée pour acheminer du trafic de débordement qui reste bloqué sinon. L'utilisation de la réservation de largeur de bande est néanmoins critique pour éviter une instabilité du réseau dans une situation d'encombrement du réseau, comme expliqué précédemment [E.525].

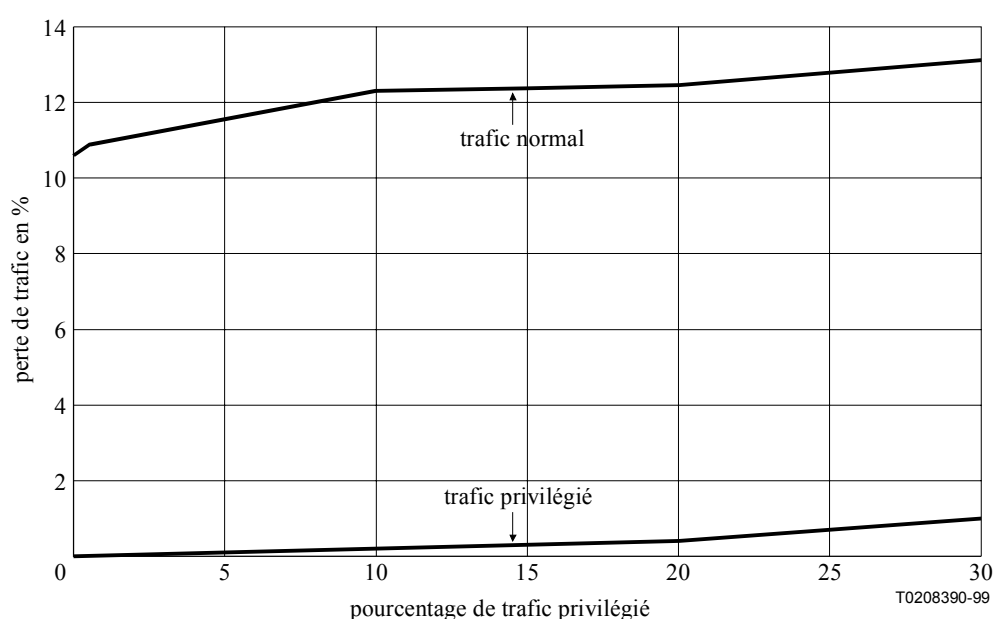


Figure 1/E.352 – Performances de la réservation dynamique de largeur de bande avec 10% de surcharge

Il est recommandé d'inclure les techniques de réservation de largeur de bande dans les méthodes d'acheminement basées sur le mode ATM et le protocole IP afin de garantir une utilisation efficace des ressources réseau, en particulier dans des situations d'encombrement. Les méthodes recommandées actuellement pour le choix de chemin, telles que l'ingénierie de trafic dans des réseaux avec commutation MPLS basés sur le protocole IP [AMAOM98] ou le choix de chemin dans des réseaux PNNI basés sur le mode ATM [ATM960055] ne fournissent aucun conseil concernant la nécessité de l'utilisation des techniques de réservation de largeur de bande. De tels conseils sont toutefois essentiels pour assurer des performances de réseau acceptables.

La référence [A98] fournit des exemples de techniques de réservation de largeur de bande avec un déclenchement dynamique effectué uniquement dans des situations d'encombrement du réseau. Il a été montré que de telles méthodes sont efficaces pour trouver un compromis entre la protection des ressources réseau dans des situations d'encombrement et la disponibilité de ressources partagées lorsque la situation le permet. La référence [A98] donne une illustration du phénomène d'instabilité du réseau obtenue au moyen d'études de simulation et démontre l'efficacité de la réservation de

largeur de bande pour l'élimination de l'instabilité. Il a été montré que la réservation de largeur de bande est également une technique efficace de partage de capacité de largeur de bande entre des services intégrés sur une liaison directe, lorsque la réservation est invoquée dans ce cas pour donner à un service particulier la préférence pour une capacité sur une liaison directe par rapport à un autre service, en cas d'encombrement de réseau et de liaison. Ces deux caractéristiques de la réservation de largeur de bande, à savoir la suppression de l'instabilité et le partage de capacité de largeur de bande entre services sont développées dans le paragraphe 6.

Une fonctionnalité de mise en file d'attente avec priorité de service est souvent utilisée pendant la durée de l'établissement de la connexion en plus des procédures de réservation de largeur de bande. Il est possible d'imposer une discipline de mise en file d'attente pour chaque liaison d'une connexion établie de manière à ce que les paquets ou les cellules soient servis en priorité dans un ordre tel que le suivant:

- 1) services à débit constant;
- 2) services à débit variable sensibles aux délais;
- 3) services à débit variable non sensibles aux délais;
- 4) services à débit variable avec meilleur effort.

Le protocole de services différenciés de l'IETF (DIFFSERV, *differentiated service*) [B99] possède, par exemple, des priorités de mise en file d'attente appelées "transmission express" (EF, *expedited forwarding*) pour lesquelles la largeur de bande peut être réservée pour un débit garanti et diverses catégories avec "transmission assurée" (AF, *assured forwarding*) pour lesquelles la largeur de bande n'est pas réservée ou garantie. L'utilisation de la réservation de largeur de bande lors de l'établissement de la connexion doit de ce fait être également liée à la réservation de largeur de bande utilisée par la discipline de mise en file d'attente.

5.2 Choix du chemin

Une méthode d'acheminement spécifique du trafic est caractérisée par la table d'acheminement qu'elle utilise. Cette table d'acheminement se constitue d'un ensemble de chemins et de règles de choix d'un chemin au sein de l'ensemble pour une demande de connexion ou d'allocation de largeur de bande particulière. Lorsqu'une demande de connexion/de largeur de bande est initiée par un nœud d'origine (ON, *originating node*) qui implémente la méthode d'acheminement, ce nœud applique les règles de choix de chemin associées à la table d'acheminement pour l'allocation de connexion/de largeur de bande afin de trouver un chemin acceptable dans l'ensemble de chemins qui satisfait à la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande. Pour une méthode d'acheminement particulière, l'ensemble de chemins pouvant être attribués à la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande peut être déterminé conformément aux règles associées à la table d'acheminement. Dans un réseau avec commande de connexion/d'allocation de largeur de bande par l'origine, le nœud d'origine conserve de la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande. Si la procédure de "retour en arrière/largeur de bande non disponible" est utilisée, par exemple au niveau d'un nœud intermédiaire, le nœud précédent conserve la commande de la connexion, même si toutes les connexions sont bloquées sur toutes les liaisons de départ du nœud intermédiaire.

Les tables d'acheminement contiennent des chemins qui peuvent être établis pour des demandes de connexion individuelles, par exemple comme sur des circuits virtuels commutés (SVC, *switched virtual circuits*). Les chemins peuvent également être établis pour des demandes d'allocation de largeur de bande concernant des "tuyaux de largeur de bande" ou des "jonctions virtuelles", par exemple comme sur des conduits virtuels commutés (SVP, *switched virtual paths*) dans des réseaux basés sur le mode ATM ou des itinéraires commutés avec étiquette d'acheminement basés sur des contraintes (CRLSP, *constraint-based routing label switched paths*) dans les réseaux basés sur le protocole IP. Les chemins sont déterminés par des algorithmes (en général propres au fournisseur) qui utilisent les informations de topologie du réseau et d'adresse accessibles. Ces chemins peuvent traverser un certain nombre de groupes homologues dans des réseaux basés sur le mode ATM ou un

certain nombre de systèmes autonomes dans des réseaux basés sur le protocole IP, comme indiqué dans la référence [E.351]. Un nœud d'origine peut choisir un chemin dans la table d'acheminement en fonction des règles d'acheminement et des critères de gestion des ressources de QS qui doivent être satisfaites sur chacune des liaisons du chemin. Un paramètre "libération avec retour en arrière/largeur de bande non disponible" est utilisé pour signaler au nœud d'origine qu'une liaison n'est pas autorisée en raison des critères de QS et lui renvoyer la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande; le nœud d'origine peut alors choisir un chemin de débordement.

Il est recommandé que les règles de choix de chemin utilisées dans les tables d'acheminement permettent un choix de chemin utilisant l'acheminement fixe (FR, *fixed routing*), l'acheminement en fonction du temps (TDR, *time-dependent routing*), l'acheminement en fonction de l'état (SDR) et l'acheminement en fonction des événements (EDR), comme indiqué dans l'Annexe A, ainsi que l'utilisation des chemins les plus courts avec liaisons multiples dans une topologie de réseau avec ressources rares. Les techniques d'acheminement actuelles basées sur le protocole IP, telles que la norme OSPF, et les techniques d'acheminement basées sur le mode ATM, telles que la norme PNNI, mettent l'accent sur le choix de chemin avec acheminement SDR et propagation de l'état de liaison par inondation pour véhiculer les informations dynamiques de statut de liaison. Le débit de cellules disponible (AvCR) est utilisé en général pour déterminer le chemin le moins chargé dans la méthode d'acheminement SDR. Le chemin le moins chargé est celui qui possède la capacité libre maximale sur toutes les liaisons qui le constituent. Toutefois, la propagation par inondation sur chaque liaison des informations de débit AvCR, qui sont des informations dynamiques variant rapidement, conduit à une consommation très importante de ressources [ACFM99]. De ce fait, une capacité de liaison significative est utilisée pour véhiculer par inondation les informations AvCR et une capacité de traitement significative est utilisée pour traiter les messages de statut diffusés par inondation. Il existe toutefois des solutions autres que le choix de chemin SDR, par exemple les méthodes de choix de chemin EDR, ou des procédés plus efficaces que la propagation du statut de liaison par inondation pour la mise à jour du statut, telles que celles décrites dans la référence [E.350].

Par exemple, dans l'une des méthodes EDR de choix de chemin, la commande d'admission de connexion/d'allocation de largeur de bande se fait, pour chaque liaison de chemin, au moyen d'un apprentissage basé sur son statut local et non au moyen de la propagation par inondation des informations de statut de liaison. Le nœud d'origine choisit normalement en premier lieu le chemin le plus court et fait une tentative d'établissement d'une connexion sur ce chemin en identifiant, dans la procédure d'établissement, chaque nœud intermédiaire (VN, *via node*) du chemin. Chaque nœud intermédiaire du chemin vérifie la capacité disponible sur la liaison vers le nœud intermédiaire suivant. Si une capacité suffisante n'est pas disponible sur l'une quelconque des liaisons du chemin, le nœud intermédiaire renvoie alors la commande de la connexion vers le nœud d'origine en utilisant une procédure "retour en arrière/largeur de bande non disponible". Le nœud d'origine choisit ensuite le dernier chemin de débordement utilisé avec succès, appelé chemin "au sommet de la réussite" (STT, *success-to-the-top*). Une vérification de capacité disponible est faite pour le chemin STT de la même manière que pour le chemin le plus court. Si le chemin STT de débordement actuel n'est pas disponible, le nœud d'origine peut alors choisir un autre chemin de débordement et effectuer de même une vérification de capacité disponible. Ceci signifie que, si une liaison n'est pas autorisée sur le chemin sélectionné, en fonction d'une décision de chaque nœud intermédiaire du chemin tenant compte des informations locales de statut de liaison, une procédure de libération avec "retour en arrière/largeur de bande non disponible" est utilisée pour renvoyer la commande au nœud d'origine et choisir un autre chemin. Le nœud d'origine peut alors, soit refaire une telle tentative sur d'autres chemins candidats jusqu'à ce qu'il trouve un nouveau chemin STT qui réussit, soit bloquer la demande de connexion. Cette méthode EDR de choix de chemin trouve les chemins par un processus d'apprentissage en utilisant des informations de statut local; elle ne nécessite pas de propagation par inondation de paramètres d'état de liaison qui changent fréquemment, tels que le débit AvCR. Cette démarche d'acheminement EDR conduit à une réduction importante de la fréquence de diffusion par inondation de l'état de liaison et permet des tailles de groupes homologues plus importantes du fait de la réduction de la consommation de ressources de liaison et de traitement.

5.3 Acheminement en fonction de la QS

Il est recommandé de prendre également en considération l'acheminement en fonction des contraintes de QS parmi les méthodes de choix de chemin. Ces contraintes englobent le délai de transfert de bout en bout, la variation de délai [G99a], ainsi que des considérations de qualité de transmission telles que l'affaiblissement, les échos et le bruit [D99], [G99a] et [G99b]. Une sélection de capacité de liaison [E.351] est recommandée en outre, ce qui permet d'acheminer des demandes de connexion au moyen de médias de transmission spécifiques qui fournissent les caractéristiques particulières exigées par ces demandes de connexion. Si, par exemple, une transmission par fibre optique est exigée, seuls les chemins dont toutes les liaisons possèdent la caractéristique "fibre optique = Oui" sont alors utilisés. Si l'utilisation d'une transmission par fibre optique est préférée, les chemins dont toutes les liaisons possèdent la caractéristique "fibre optique = Oui" sont utilisés en premier et les chemins dont certaines liaisons possèdent la caractéristique "fibre optique = Non" sont utilisés ensuite.

Le délai de transmission de bout en bout introduit par la transmission par satellite constitue une particularité de la recommandation de l'acheminement en fonction de la QS. Chaque liaison avec transmission par satellite introduit en général un délai d'environ 500 millisecondes qui est supérieur au seuil perceptible. Il s'ensuit qu'il est recommandé d'imposer une contrainte d'un bond unique par satellite dans une connexion de bout en bout lorsque l'acheminement de cette dernière est sensible au délai, par exemple dans le cas de connexions vocales interactives. Ceci se fait en général en effectuant le comptage du nombre de liaisons par satellites traversées lors de la procédure d'établissement de l'appel et en interdisant un nouvel acheminement sur une liaison par satellite lorsqu'une telle liaison a déjà été utilisée.

6 Exemples de méthodes d'acheminement recommandées

Le présent paragraphe illustre les recommandations données dans le paragraphe 5 en fournissant des exemples de méthodes de réservation de largeur de bande et de choix de chemin pouvant être implémentées dans un réseau basé sur le mode ATM ou sur le protocole IP.

6.1 Exemple de méthodes de réservation de largeur de bande

Il est possible, comme indiqué dans le paragraphe 5, d'utiliser la réservation de largeur de bande pour favoriser une certaine catégorie de trafic parmi d'autres. Un exemple simple d'utilisation de cette méthode est la réservation de largeur de bande en vue d'accorder la préférence au trafic écoulé sur les chemins primaires plus courts, par rapport au trafic qui utilise des chemins de débordement plus longs. Ceci se fait de la manière la plus efficace en utilisant une méthode qui réserve la largeur de bande uniquement lorsqu'il existe une situation d'encombrement sur les liaisons du réseau. L'exemple qui suit illustre cette méthode et compare les performances d'un réseau dans des situations d'encombrement avec ou sans réservation de largeur de bande.

Dans cet exemple, le trafic est acheminé en premier lieu sur le chemin le plus court puis sur un chemin de débordement plus long lorsque le chemin primaire n'est pas disponible. Dans le cas d'utilisation de la réservation de largeur de bande, 5% de la largeur de bande de liaison est réservée sur le chemin primaire en cas d'encombrement sur la liaison.

Le Tableau 1 présente les performances des méthodes de réservation de largeur de bande pour une situation du réseau dans une journée chargée. Les valeurs moyennes des charges d'un jour travaillé moyen pour un modèle de réseau national avec 65 commutateurs ont été augmentées de manière uniforme d'une valeur de 30% [A98]. Le tableau indique la perte de trafic moyenne par heure résultant du blocage des admissions de connexion dans les périodes d'ensemble de charge 2, 3 et 5, correspondant aux deux heures chargées en début de matinée et à l'heure chargée de l'après-midi.

Tableau 1/E.352 – Performances des méthodes de réservation de largeur de bande (pourcentage de perte de trafic avec 30% de surcharge; modèle de réseau avec 65 nœuds)

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

Les résultats du Tableau 1 indiquent une amélioration des performances lorsque la réservation de largeur de bande est utilisée. Le motif pour les mauvaises performances sans réservation de largeur de bande est l'absence de capacité de réserve permettant de privilégier le trafic acheminé sur les chemins primaires les plus directs dans des situations d'encombrement du réseau. Lorsque la réservation de largeur de bande n'est pas utilisée, les réseaux non hiérarchiques peuvent se comporter d'une manière instable, dans laquelle la quasi-totalité des connexions est établie sur des chemins de débordement plus longs que les chemins primaires, ce qui a pour effet de réduire considérablement la capacité d'écoulement de trafic du réseau et d'accroître l'encombrement dans le réseau [Aki84], [Kru82] et [NaM73]. Les performances du réseau sont grandement améliorées si l'on ajoute les mécanismes de réservation de largeur de bande.

6.2 Exemple de méthodes de choix de chemin

Nous présentons maintenant une comparaison de l'acheminement en fonction de l'état (SDR) avec l'acheminement en fonction des événements (EDR). Comme indiqué dans le paragraphe 5, l'utilisation de la propagation par inondation de l'état de liaison pour implémenter l'acheminement SDR, comme c'est souvent le cas pour des implémentations de l'acheminement PNNI dans les réseaux ATM ou pour l'acheminement OSPF dans des réseaux basés sur le protocole IP, peut conduire à une très forte utilisation des ressources. L'acheminement EDR est une solution de remplacement de l'acheminement SDR qui peut être prise en considération lorsqu'on estime que la surcharge introduite par la propagation par inondation est trop élevée. Comme l'indique le paragraphe 5, l'acheminement EDR peut être implémenté sans utilisation d'informations dynamiques d'état de liaison, et nous montrerons ici que les méthodes EDR sont en mesure de fournir de bonnes performances en comparaison avec les méthodes d'acheminement SDR.

Nous utilisons ici une comparaison simple entre les méthodes de choix d'itinéraire SDR et EDR. Dans le modèle de choix de chemin EDR, le nœud d'origine achemine en premier lieu une demande de connexion sur le chemin le plus court. La connexion réussit si chaque liaison dispose d'une largeur de bande disponible suffisante du point de vue des critères de gestion de ressource de QS. Dans le cas contraire, le nœud d'origine offre le trafic de débordement du chemin primaire le plus court au dernier chemin de débordement utilisé avec succès (le chemin "au sommet de la réussite", ou chemin intermédiaire STT). Si la connexion est bloquée sur le chemin de débordement choisi à cet instant, le nœud d'origine choisit alors un autre chemin de débordement dans l'ensemble de chemins de débordement candidats. Un nœud intermédiaire utilise, si nécessaire, le retour en arrière pour renvoyer la commande au nœud d'origine s'il détecte qu'une liaison choisie ne possède pas de largeur de bande suffisante. Le nœud d'origine peut faire une recherche parmi tous les chemins candidats avant de bloquer une demande de connexion. Dans le modèle de choix de chemin SDR, le nœud d'origine achemine également une demande de connexion sur le chemin le plus court, mais choisit les chemins de débordement en fonction des informations de statut de liaison. Ce statut de liaison est obtenu par inondation dynamique du statut entre tous les commutateurs du réseau comme dans le cas des acheminements utilisant les normes PNNI et OSPF.

Le Tableau 2 donne les résultats de performance avec une surcharge générale de 10 pour cent pour un modèle de réseau avec 135 commutateurs et diverses catégories de service [ACFM99]. La réservation de largeur de bande est utilisée non seulement pour protéger le trafic sur le chemin primaire le plus court, mais également pour attribuer la largeur de bande aux diverses catégories de service. Les services "clés" reçoivent une priorité supérieure à celle des autres services dans des situations d'encombrement grâce à l'utilisation des mécanismes de réservation de largeur de bande [A98].

Tableau 2/E.352 – Comparaison des performances des méthodes de choix de chemin EDR et SDR (pourcentage de trafic perdu avec une surcharge de 10%, dans un modèle de réseau à 135 nœuds)

Catégorie de service	EDR	SDR
Téléphone professionnel	1,64	1,46
Téléphone résidentiel	1,62	1,49
Départ international	3,93	5,53
Arrivée internationale (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie (service clé)	0,00	0,00
Services numériques commutés à 64 kbit/s	1,51	1,74
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Voix avec débit variable sensible aux délais	1,09	0,41
Flux multimédia avec débit variable non sensible aux délais	1,01	0,38
Flux multimédia avec débit variable et meilleur effort	24,9	30,4

Les résultats indiquent les performances des méthodes de choix de chemin exprimées sous la forme du trafic perdu à la suite d'un blocage d'admission de la connexion, auquel vient s'ajouter le trafic qui a subi un retard à la suite d'une mise en file d'attente (les files d'attente avec priorité ont également été modélisées). On peut constater que les méthodes de choix de chemin EDR et SDR sont tout à fait comparables dans ce scénario, comme c'est le cas dans d'autres scénarios de modélisation de surcharge/de défaillance du réseau; ces résultats suggèrent que l'acheminement EDR est une alternative qui peut être prise en considération lorsque la charge supplémentaire induite par la propagation dynamique par inondation de l'état de liaison conduit à une utilisation trop importante des ressources.

ANNEXE A

Méthodes d'acheminement entre réseaux basés sur le mode TDM

Les méthodes d'acheminement basées sur le mode TDM décrites dans la présente annexe englobent diverses techniques de choix de chemin. Une méthode d'acheminement de trafic spécifique est caractérisée par la table d'acheminement qu'elle utilise. Cette table d'acheminement se constitue d'un ensemble de chemins et de règles de choix d'un chemin au sein de l'ensemble pour une demande de connexion donnée. Lorsqu'une demande de connexion arrive au niveau du nœud d'origine, ce dernier sélectionne un chemin pour une demande de connexion donnée en appliquant les règles de choix correspondant à la méthode d'acheminement qu'il implémente. L'ensemble de chemins pouvant être assignés à la demande de connexion pour une méthode d'acheminement donnée peut être modifié conformément à une certaine règle d'altération d'acheminement.

Les Recommandations E.170, E.177 et E.350 classent les méthodes d'acheminement du trafic selon les quatre types suivants, en fonction du type d'acheminement utilisé: l'acheminement fixe (FR), l'acheminement en fonction du temps (TDR), l'acheminement en fonction de l'état (SDR) et l'acheminement en fonction des événements (EDR). Les paragraphes qui suivent décrivent chacune de ces méthodes.

A.1 Acheminement fixe (FR)

La stratégie d'acheminement d'une demande de connexion est immuable dans une méthode d'acheminement fixe (FR). Un exemple classique d'acheminement fixe est l'acheminement hiérarchique usuel avec débordement, dans lequel les chemins et la séquence de choix des chemins sont déterminés d'une manière planifiée à l'avance et utilisés sur une longue durée. L'acheminement fixe s'applique de manière plus efficace lorsque le réseau est non hiérarchique ou plat, par comparaison à la structure hiérarchique [A98].

A.2 Acheminement en fonction du temps (TDR)

Les méthodes d'acheminement en fonction du temps (TDR) sont une variété d'acheminement dynamique dans laquelle les tables d'acheminement sont modifiées à un instant fixe de la journée ou de la semaine. Les tables d'acheminement TDR sont planifiées à l'avance et implémentées de manière systématique sur une période de temps. Les tables d'acheminement TDR utilisées dans le réseau sont en général déterminées en tenant compte de la variation de charge de trafic dans le réseau et coordonnées pour profiter du décalage des heures chargées des divers types de charge de trafic. L'acheminement dynamique non hiérarchique (DHNR, *dynamic non-hierarchical routing*) défini dans la Recommandation E.350 est un exemple d'acheminement TDR.

Les tables d'acheminement TDR sont planifiées à l'avance et conçues en temps différé en utilisant un système centralisé mettant en œuvre le modèle de conception de réseau TDR. Le calcul en temps différé détermine les chemins optimaux parmi un très grand nombre de possibilités avec un objectif d'optimisation des coûts du réseau. Les tables d'acheminement ainsi conçues sont chargées et mémorisées dans les nœuds du réseau TDR; elles sont recalculées et mises à jour par le système en temps différé (par exemple, toutes les semaines). De ce fait, un nœud d'origine n'a besoin d'aucune autre information concernant le réseau pour construire les tables d'acheminement TDR une fois qu'elles ont été chargées. Ceci diffère du processus de conception de tables d'acheminement en temps réel utilisé par les méthodes d'acheminement en fonction de l'état ou en fonction des événements décrits plus loin. Les chemins des tables d'acheminement TDR peuvent contenir des choix d'acheminement variables en fonction de l'heure et utiliser un sous-ensemble des chemins disponibles. Les chemins utilisés pendant diverses périodes de temps ne sont pas nécessairement les mêmes. Plusieurs périodes d'acheminement TDR sont utilisées pour fractionner les heures d'un jour travaillé moyen et de week-end en intervalles d'acheminement contigus, parfois appelés "périodes d'ensemble de charge".

Les règles de choix de chemin utilisées par les tables d'acheminement TDR peuvent mettre en œuvre, par exemple, un acheminement séquentiel simple. Dans la méthode séquentielle, tout le trafic d'une période de temps donnée est offert à un chemin unique avec débordement du premier chemin vers un deuxième, qui déborde à son tour vers un troisième, et ainsi de suite. Il s'ensuit que le trafic est acheminé de manière séquentielle d'un chemin vers un autre et que le chemin peut être modifié d'heure en heure compte tenu de la nature dynamique, planifiée à l'avance ou dépendante du temps, de la méthode TDR. D'autres règles de choix de chemin TDR peuvent utiliser des méthodes stochastiques pour le choix de chaque chemin et influencer ainsi les flux réalisés [A98]. Les chemins de la table d'acheminement TDR peuvent se constituer de la liaison directe, d'un chemin avec deux liaisons passant par un seul nœud intermédiaire ou d'un chemin avec liaisons multiples passant par plusieurs nœuds intermédiaires.

L'exemple qui suit illustre l'établissement d'une connexion TDR. La première étape pour le nœud d'origine consiste à identifier le nœud de destination et les informations de table d'acheminement vers ce nœud. Le nœud d'origine recherche ensuite une capacité libre sur le premier ou le plus court des chemins; ce faisant il indique à tous les nœuds du chemin les nœuds intermédiaires et le nœud de destination ainsi que le paramètre de seuil de réservation de largeur de bande. Chacun des nœuds intermédiaires vérifie la capacité de largeur de bande disponible sur chacune des liaisons du chemin en tenant compte du seuil de réservation de largeur de bande. Un nœud intermédiaire fait progresser l'établissement de la connexion vers le nœud suivant s'il existe une capacité suffisante et le nœud suivant poursuit de même. Dans le cas contraire, le nœud intermédiaire renvoie au nœud d'origine un message de libération contenant le paramètre "retour en arrière/largeur de bande non disponible"; le nœud d'origine fait alors une tentative sur le chemin suivant dans l'ensemble de chemins en fonction des règles de la table d'acheminement. Comme décrit précédemment, les acheminements TDR sont planifiés à l'avance, chargés et stockés dans chaque nœud d'origine.

A.3 Acheminement en fonction de l'état (SDR)

Les tables d'acheminement sont modifiées automatiquement en fonction de l'état du réseau dans la méthode d'acheminement en fonction de l'état (SDR). Les règles de la table d'acheminement pour une méthode SDR donnée sont implémentées de manière à déterminer les choix d'acheminement en fonction des changements de statut du réseau et sont utilisées pendant une période de temps relativement courte. Les informations de statut du réseau peuvent être collectées par un processeur central ou réparties entre les nœuds du réseau. L'échange d'informations peut s'effectuer de manière périodique ou à la demande. Les méthodes SDR utilisent le principe d'acheminement des connexions sur le meilleur chemin disponible, compte tenu des informations d'état du réseau. La méthode du chemin le moins chargé (LLR, *least loaded routing*), par exemple, calcule la capacité résiduelle des chemins candidats et choisit pour la connexion celui qui possède la capacité résiduelle la plus élevée. Les méthodes SDR calculent en général un coût de chemin pour chaque connexion en fonction de divers facteurs tels que l'état de charge ou l'état d'encombrement des liaisons dans le réseau. L'acheminement avec commande dynamique (DCR, *dynamically controlled routing*), l'acheminement dans le réseau intelligent global (WIN, *worldwide intelligent network*) et l'acheminement réseau en temps réel (RTNR, *real-time network routing*) sont des exemples d'acheminement SDR décrits dans la Recommandation E.350.

Les tables d'acheminement de la méthode SDR sont établies en ligne par le nœud d'origine ou par un processeur d'acheminement (RP, *routing processor*) central en utilisant les informations de statut et de topologie du réseau obtenues par un échange d'informations avec d'autres nœuds et/ou un processeur d'acheminement central. Il existe diverses variantes pour l'implémentation de l'acheminement SDR qui utilisent:

- un calcul de tables d'acheminement distribué entre les nœuds du réseau ou effectué par un processeur d'acheminement central;
- un calcul de tables d'acheminement de manière périodique ou connexion par connexion.

Ceci conduit à trois implémentations différentes pour l'acheminement SDR:

- a) acheminement SDR centralisé périodique – le processeur d'acheminement centralisé reçoit de manière périodique (par exemple, toutes les 10 secondes) les informations de statut de liaison et de trafic des divers nœuds et effectue de manière périodique le calcul de la table d'acheminement optimale. Le processeur d'acheminement applique pour ce faire une procédure particulière d'optimisation de la table d'acheminement optimale telle que l'acheminement LLR et transmet de manière périodique (par exemple, toutes les 10 secondes) les tables d'acheminement vers les nœuds du réseau. L'acheminement DCR décrit dans la Recommandation E.350 est un exemple d'acheminement SDR centralisé périodique;

- b) acheminement SDR réparti périodique – chaque nœud du réseau SDR obtient de manière périodique (par exemple, toutes les 5 minutes) les informations de statut de liaison et de trafic et effectue de manière périodique (par exemple, toutes les 5 minutes) un calcul de la table d'acheminement optimale. Le nœud d'origine applique pour ce faire une procédure particulière d'optimisation de la table d'acheminement optimale telle que l'acheminement LLR. L'acheminement WIN décrit dans la Recommandation E.350 est un exemple d'acheminement SDR réparti périodique;
- c) acheminement SDR réparti appel par appel – un nœud d'origine du réseau SDR obtient, connexion par connexion, les informations de statut et de trafic depuis le nœud de destination et éventuellement de nœuds intermédiaires sélectionnés; il effectue un calcul de la table d'acheminement optimale pour chaque connexion. Le nœud d'origine applique pour ce faire une procédure particulière d'optimisation de la table d'acheminement optimale telle que l'acheminement LLR. L'acheminement RTNR décrit dans la Recommandation E.350 est un exemple d'acheminement SDR réparti connexion par connexion.

Les chemins de la table d'acheminement SDR peuvent se constituer de la liaison directe, d'un chemin avec deux liaisons passant par un seul nœud intermédiaire ou d'un chemin avec liaisons multiples passant par plusieurs nœuds intermédiaires. Les chemins de la table d'acheminement sont soumis aux contraintes de profondeur de recherche (DoS, *depth of search*) sur chacune des liaisons et les mécanismes d'établissement de la connexion sont comparables à ceux décrits dans l'exemple du A.2.

A.4 Acheminement en fonction des événements (EDR)

Les tables d'acheminement sont mises à jour de manière locale en fonction de la réussite ou de l'échec d'une demande de connexion pour un choix d'acheminement donné dans la méthode d'acheminement en fonction des événements (EDR). La méthode EDR achemine une connexion sur le chemin le plus court si ce dernier dispose d'une largeur de bande suffisante. Dans le cas contraire, une offre est faite pour remplacer le chemin le plus court par le chemin de débordement sélectionné à l'instant donné. Si une connexion est bloquée lorsqu'elle utilise le choix actuel de chemin de débordement, un autre chemin est choisi, conformément aux règles de la table d'acheminement EDR donnée, dans un ensemble de chemins de débordement disponibles. Le choix du chemin de débordement actuel peut, par exemple, être mis à jour de manière aléatoire, de manière cyclique ou par un autre procédé; il est conservé tant que l'établissement des connexions réussit sur ce chemin. Il convient de noter que, pour l'acheminement SDR ou l'acheminement EDR, comme pour l'acheminement TDR, le chemin de débordement pour une connexion peut être modifié en fonction de la variation dans le temps de la charge de trafic. La Recommandation E.350 décrit les exemples d'acheminement dynamique avec débordement (DAR, *dynamic alternate routing*), d'acheminement dynamique adaptatif réparti (DADR, *distributed adaptive dynamic routing*), d'acheminement dynamique optimisé (ODR, *optimized dynamic routing*) et d'acheminement en fonction de l'état et du temps (STR, *state and time-dependent routing*).

Les tables d'acheminement EDR sont établies par le nœud d'origine en utilisant les informations réseau obtenues par la fonction d'établissement de la connexion. Le nœud d'origine choisit en général le chemin le plus court, puis effectue une tentative sur le chemin de débordement actuel s'il ne trouve pas de largeur de bande suffisante. Si le chemin de débordement actuel ne dispose pas d'une largeur de bande suffisante, cette situation est alors indiquée par l'occupation d'une liaison entre le nœud d'origine et le nœud intermédiaire; elle est détectée par le nœud d'origine ou par l'occupation d'une liaison entre deux nœuds intermédiaires ou entre un nœud intermédiaire et le nœud de destination; l'occupation d'une liaison est indiquée par un message de libération émis par le nœud intermédiaire vers le nœud d'origine. Le nœud d'origine choisit alors un nouveau chemin de débordement en utilisant les règles de conception de la table d'acheminement EDR donnée. Il s'ensuit que la table d'acheminement est construite en utilisant les informations reçues pendant l'établissement de la connexion et que le nœud d'origine n'a besoin d'aucune autre information.

Les chemins de la table d'acheminement EDR peuvent se constituer de la liaison directe, d'un chemin avec deux liaisons passant par un seul nœud intermédiaire ou d'un chemin avec liaisons multiples passant par plusieurs nœuds intermédiaires. Les chemins de la table d'acheminement sont soumis aux contraintes de profondeur de recherche (DoS) sur chacune des liaisons et les mécanismes d'établissement de la connexion sont comparables à l'exemple donné dans le A.2.

APPENDICE I

Bibliographie

- [A98] ASH (G.R.): Dynamic Routing in Telecommunications Networks, McGraw-Hill, [Acheminement dynamique dans les réseaux de télécommunication], 1998.
- [AAFJLLS99] ASH (G.R.), ASHWOOD-SMITH (P.), FEDYK (D.), JAMOUCSI (B.), LEE (Y.), LI (L.), SKALECKI (D.): LSP Modification Using CRLDP, *draft-ash-crlsp-modify-00.txt*, [Modification du protocole LSP utilisant le protocole CRLDP], juillet 1999.
- [Aki84] AKINPELU (J.M.): The Overload Performance of Engineered Networks with Non-hierarchical and Hierarchical Routing, *Bell System Technical Journal*, Volume 63, [Performances en situations de surcharge pour des réseaux avec une ingénierie d'acheminement hiérarchique et non hiérarchique], 1984.
- [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, [Evolution de l'acheminement dans les réseaux multi-services intégrant la voix et les données], juin 1999.
- [ADFFT98] ANDERSON (L.), DOOLAN (P.), FELDMAN (N.), FREDETTE (A.), THOMAS (B.): LDP Specification, *IETF Draft, draft-ietf-mpls-ldp-01.txt*, [Spécification du protocole LDP], août 1998.
- [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-01.txt*, [Acheminement de connexions multimédias à travers des réseaux basés sur le mode TDM, le mode ATM et le protocole IP], juillet 1999.
- [AM98] ASH (G.R.), MAUNDER (A.): Routing of Multimedia Connections when Interworking with PSTN, ATM, and IP Networks, *AF-98-0927*, Nashville TN, [Acheminement de connexions multimédias en cas d'interfonctionnement avec des réseaux IP, ATM et RTPC], décembre 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, [Gestion de ressources de QS dans des réseaux basés sur la commutation MPLS], mars 1999.
- [AM99] ASH (G.R.), MAUNDER (A.): QoS Resource Management in ATM Networks, *AF-99-*, Rome, [Gestion de ressources de QS dans des réseaux ATM], avril 1999.
- [AMAOM98] AWDUCHE (D.O.), MALCOLM (J.), AGOGBUA (J.), O'DELL (M.), McMANUS, (J.): Requirements for Traffic Engineering Over MPLS, *IETF Draft, draft-ietf-mpls-traffic-eng-00.txt*, [Prescription d'ingénierie du trafic avec commutation MPLS], octobre 1998.
- [ATM95] *B-ISDN Inter Carrier Interface (B-ICI) Specification Version 2.0 (Integrated)*, ATM Forum Technical Committee, af-bici-0013.003, [Spécification de l'interface entre opérateurs pour le RNIS-LB, Version 2.0 (intégrée)], décembre 1995.

- [ATM960055] *Private Network-Network Interface Specification Version 1.0 (PNNI 1.0)*, ATM Forum Technical Committee, af-pnni-0055.000, [Spécification de l'interface réseau-réseau privée (PNNI 1.0) – Version 1.0], mars 1996.
- [ATM960056] *Traffic Management Specification Version 4.0*, ATM Forum Technical Committee, af-tm0056.000, [Spécification de la gestion du trafic – Version 4.0], avril 1996.
- [ATM960061] *ATM User-Network Interface (UNI) Signalling Specification Version 4.0*, ATM Forum Technical Committee, af-sig-0061.000, [Spécification de la signalisation ATM au niveau de l'interface utilisateur-réseau (UNI) – Version 4.0], juillet 1996.
- [ATM98] *Specification of the ATM Inter-Network Interface (AINI) (Draft)*, ATM Forum Technical Committee, ATM Forum/BTD-CS-AINI-01.03, [Spécification de l'interface entre réseaux ATM (projet)], juillet 1998.
- [ATM990097] *ATM Signalling Requirements for IP Differentiated Services and IEEE 802.1D*, ATM Forum, Atlanta, GA, [Prescriptions de signalisation ATM pour des services IP différenciés et la Norme IEEE 802.1D], février 1999.
- [B99] BERNET (Y.), et al.: A Framework for Differentiated Services, *IETF draft-ietf-diffserv-framework-02.txt*, [Cadre général pour des services différenciés], février 1999.
- [BZBHJ97] BRADEM (R.), ZHANG (L.), BERSON (S.), HERZOG (S.), JAMIN (S.): Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification, *IETF Network Working Group RFC 2205*, [Protocole de réservation de ressources (RSVP) – Spécification fonctionnelle, Version 1], septembre 1997.
- [Bur61] BURKE (P.J.): Blocking Probabilities Associated with Directional Reservation, *unpublished memorandum*, [Probabilités de blocage liées à la réservation directionnelle], 1961.
- [CDFSFSV97] CALLON (R.), DOOLAN (P.), FELDMAN (N.), FREDETTE (A.), SWALLOW (G.), VISWANATHAN (A.): A Framework for Multiprotocol Label Switching, *IETF Network Working Group Draft, draft-ietf-mpls-framework-02.txt*, [Cadre général pour la commutation multiprotocole avec étiquette], novembre 1997.
- [CNRS98] CRAWLEY (E.), NAIR (R.), RAJAGOPALAN (B.), SANDICK (H.): A Framework for QoS-based Routing in the Internet, *IETF RFC 2386*, [Cadre général pour l'acheminement basé sur la QS dans le réseau Internet], août 1998.
- [D99] DVORAK, (C.): IP-Related Impacts on End-to-End Transmission Performance, *ITU-T Liaison to Study Group 2, Temporary Document TD GEN-22*, Geneva, [Impacts liés au protocole IP sur les performances de transmission de bout en bout], mai 1999.
- [DN99] DIANDA (R.B.), NOORCHASHM (M.): Bandwidth Modification for UNI, PNNI, AINI, and BICI, *ATM Forum Technical Working Group*, [Modification de largeur de bande pour les interfaces UNI, PNNI, AINI et BICI], avril 1999.
- [G99a] GLOSSBRENNER (K.): Elements Relevant to Routing of ATM Connections, *ITU-T Liaison to Study Group 2, Temporary Document 1/2-8*, Geneva, [Eléments pertinents pour l'acheminement de connexions ATM], mai 1999.
- [G99b] GLOSSBRENNER (K.): IP Performance Studies, *ITU-T Liaison to Study Group 2, Temporary Document GEN-27*, Geneva, [Etudes des performances du protocole IP], mai 1999.
- [GWA97] GRAY (E.), WANG (Z.), ARMITAGE (G.): Generic Label Distribution Protocol Specification, *IETF Draft, draft-gray-mpls-generic-ldp-spec-00.txt*, [Spécification du protocole générique de distribution avec étiquette], novembre 1997.

- [J99] JAMOUESSI (B.), Editor: Constraint-Based LSP Setup using LDP, *IETF draft-ietf-mpls-cr-ldp-01.txt*, [Etablissement d'itinéraire LSP basé sur des contraintes et utilisant le protocole LDP], février 1999.
- [Kru82] KRUPP (R.S.): Stabilization of Alternate Routing Networks, *IEEE International Communications Conference*, Philadelphia, [Stabilisation des réseaux avec acheminement de débordement], 1982.
- [LKPCD98] LUCIANI (J.), KATZ (D.), PISCITELLO (D.), COLE (B.), DORASWAMY (N.): NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP), *IETF RFC 2332*, [Protocole de résolution de bond NBMA suivant (NHRP)], avril 1998.
- [LR98] LI (T.), REKHETER (Y.): A Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering (PASTE), *IETF RFC 2430*, [Architecture de fournisseur pour les services différenciés et l'ingénierie de trafic (PASTE)], octobre 1998.
- [M98] MOY (J.): OSPF Version 2, *IETF RFC 2328*, [Norme OSPF – Version 2], avril 1998.
- [Mum76] MUMMERT (V.S.): Network Management and Its Implementation on the No. 4ESS, *International Switching Symposium*, Japan, [Gestion de réseau et son implémentation dans le système ESS n°4], 1976.
- [NaM73] NAKAGOME (Y.), MORI (H.): Flexible Routing in the Global Communication Network, *Seventh International Teletraffic Congress*, Stockholm, [Acheminement souple dans le réseau de communication mondial], 1973.
- [RVC99] ROSEN (E.), VISWANATHAN (A.), CALLON (R.): Multiprotocol Label Switching Architecture, *IETF draft-ietf-mpls-arch-04.txt*, [Architecture de commutation multiprotocole avec étiquette], février 1999.
- [S94] STEVENS (W.R.): TCP/IP Illustrated, Volume 1, The Protocols, Addison-Wesley, [TCP/IP illustré, Volume 1, Les protocoles], 1994.
- [S95] STEENSTRUP (M.), Editor: *Routing in Communications Networks*, Prentice-Hall, [Acheminement dans les réseaux de communication], 1995.
- [SCFJ96] SCHULZRINNE (H.), CASNER (S.), FREDERICK (R.), JACOBSON (V.): RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, *IETF RFC 1889*, [RTP, un protocole de transport pour des applications en temps réel], janvier 1996.
- [ST98] SIKORA (J.), TEITELBAUM (B.): Differentiated Services for Internet2, *Internet2: Joint Applications/Engineering QoS Workshop*, Santa Clara, CA, [Services différenciés pour Internet 2], mai 1998.
- [T1S198] *ATM Trunking for the PSTN/ISDN*, Committee T1S1.3 (B-ISUP), T1S1.3/98, NJ, [Jonction ATM pour le RTGC/RNIS], décembre 1998.
- [ZSSC97] ZHANG, SANCHEZ, SALKEWICZ, CRAWLEY: Quality of Service Extensions to OSPF or Quality of Service Route First Routing (QOSPF), *IETF Draft, draft-zhang-qos-ospf-01.txt*, [Extensions de la qualité de service à la norme OSPF ou premier acheminement en fonction de la qualité de service de l'itinéraire (QOSPF)], septembre 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	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, de télégraphie, de télécopie, circuits téléphoniques 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 pour données et communication entre systèmes ouverts
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information
Série Z	Langages et aspects informatiques généraux des systèmes de télécommunication

18126