



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.360.4

(05/2002)

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

Plan d'acheminement international

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

Recommandation UIT-T E.360.4

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.360.4

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

Résumé

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

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

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

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

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

Source

La Recommandation E.360.4 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 2 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 16 mai 2002 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

NOTE

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

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

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

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2003

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application 1
2	Références..... 2
3	Définitions 2
4	Abréviations..... 2
5	Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux IP 2
6	Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux ATM..... 7
7	Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux TDM..... 10
8	Exigences en matière de signalisation et d'échange d'informations 11
8.1	Paramètres d'échange d'informations pour le routage d'appel (conversion du numéro en adresse de routage) 14
8.2	Paramètres d'échange d'informations pour le routage de connexion..... 14
8.3	Paramètres d'échange d'informations pour la gestion des ressources de QS.. 15
8.4	Paramètres d'échange d'informations pour la gestion de table de routage 16
8.5	Harmonisation des normes relatives à l'échange d'informations..... 17
8.6	Interface de programmation d'application (API) ouverte pour le routage..... 18
9	Exemples de routage interréseau 18
9.1	L'interréseau E utilise une méthode mixte de choix de chemin 19
9.2	L'interréseau E utilise une méthode unique de choix de chemin..... 21
10	Conclusions et recommandations 22
	Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic 22

Introduction

Par gestion des tables de routage, on entend communément la création automatique de ces tables compte tenu de la topologie du réseau et d'autres informations telles que l'état des liaisons. Les informations de gestion d'une table de routage, telles que la mise à jour de la topologie, les informations d'état et les recommandations de routage, sont utilisées dans le cadre de l'application des règles de la table de routage afin de déterminer les chemins possibles de cette table. Ces informations sont échangées entre deux nœuds, par exemple le nœud d'origine (ON, *originating node*) et le nœud de destination (DN, *destination node*), ou entre un nœud et un élément de réseau tel qu'un processeur de courtier pour la largeur de bande (BBP, *bandwidth-broker processor*). Elles servent à générer la table de routage, qui est ensuite utilisée pour déterminer les chemins possibles, qui, à leur tour, sont utilisés pour le choix d'un chemin.

Cette création automatique de la table est rendue possible par l'échange automatique, entre les nœuds de réseau, d'informations sur les liaisons, les nœuds et les adresses accessibles. Pour la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques, indispensables à la gestion des tables de routage, les réseaux IP et ATM ont dès à présent la capacité d'interpréter les mécanismes du protocole HELLO pour identifier les liaisons dans le réseau. Pour la synchronisation des bases de données topologiques, on utilise, dans les réseaux IP, l'annonce d'état de liaison (LSA, *link state advertisement*) et, dans les réseaux ATM, l'élément d'état de topologie PNNI (PSTE, *PNNI topology-state-element*), pour mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques. L'emploi d'un seul groupe homologue/système autonome pour mettre à jour la topologie permet de rendre le routage plus efficace et la gestion plus simple; les meilleurs résultats s'obtiennent en réduisant au minimum la quantité d'informations d'état topologique (LSA et PTSE) dynamiques diffusées. D'après le § 8.4, il est nécessaire d'élaborer un élément d'état de topologie (TSE, *topology state element*) au sein des réseaux TDM. Lorsque ce sera fait, les paramètres HELLO et LSA/TSE/PTSE permettront d'avoir une méthode normalisée de mise à jour de la topologie pour l'interfonctionnement des réseaux IP, ATM et TDM.

La gestion des tables de routage à l'intérieur d'un réseau donné ou entre réseaux de différents types nécessite des méthodes de mise à jour d'état. Dans les réseaux TDM, on utilise la mise à jour de l'état des liaisons et/ou des nœuds [E.350], [E.351]. Dans les réseaux IP et ATM, la mise à jour d'état est obtenue par un mécanisme d'inondation. D'après le § 8.4, il est nécessaire de mettre au point, dans les réseaux TDM, un élément d'état de routage (RSE, *routing status element*) qui soit compatible avec l'élément d'état de topologie PNNI (PTSE) des réseaux ATM et avec l'élément d'annonce d'état de liaison (LSA) des réseaux IP. Lorsque ce sera fait, les paramètres RSE/PTSE/LSA permettront d'avoir une méthode normalisée de mise à jour d'état pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

La gestion des tables de routage au sein d'un réseau donné ou entre réseaux de différents types nécessite aussi des méthodes d'interrogation sur l'état. Par rapport aux mécanismes d'inondation, de telles méthodes permettent de déterminer efficacement les informations d'état; elles sont utilisées dans les réseaux TDM [E.350], [E.351]. D'après le § 8.4, il est nécessaire de mettre au point un élément d'interrogation de routage (RQE, *routing query element*) dans les réseaux ATM et IP. Lorsque ce sera fait, les paramètres RQE permettront d'avoir une méthode normalisée d'interrogation sur l'état pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

Il est proposé d'utiliser des méthodes de recommandation de routage dans le cadre de la gestion des tables de routage à l'intérieur d'un réseau donné ou entre réseaux de différents types. De telles méthodes permettent à une base de données telle que celle d'un processeur BBP, par exemple, d'annoncer les chemins recommandés aux nœuds de réseau compte tenu des informations d'état disponibles dans ladite base de données; elles sont utilisées dans les réseaux TDM [E.350], [E.351]. D'après le § 8.4, il est nécessaire d'introduire un élément de recommandation de routage (RRE, *routing recommendation element*) dans les réseaux ATM et IP. Lorsque ce sera fait, les paramètres RRE permettront d'avoir une méthode normalisée de recommandation de routage pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

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

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

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

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

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

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

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

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

2 Références

Voir le paragraphe 2/E.360.1.

3 Définitions

Voir le paragraphe 3/E.360.1.

4 Abréviations

Voir le paragraphe 4/E.360.1.

5 Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux IP

Généralement, les réseaux IP utilisent le protocole OSPF pour le routage intradomaine [RFC2328], [S95] et le protocole BGP pour le routage interdomaine [RL00], [S95]. Ces deux protocoles sont conçus pour le routage de paquets acheminant du trafic Internet multimédia. Dans le premier, chaque nœud IP utilise un mécanisme d'échange d'informations de topologie reposant sur la mise à jour de l'état des liaisons pour construire ses propres tables de routage contenant les chemins les plus courts. Grâce à ces tables, les nœuds IP déterminent pour chaque paquet IP le chemin le plus court jusqu'à la destination, et ce, par une mise en correspondance de l'adresse IP de destination. Tel que le protocole OSPF est actuellement implémenté, le chemin le plus court est fixe tant qu'on n'ajoute ou qu'on n'enlève pas de liaison (par exemple en cas de panne) ou de nœud IP dans le réseau. Toutefois, il est possible, dans le cadre de ce protocole, de mettre en œuvre des mécanismes de routage dynamique plus élaborés. On développe actuellement la commutation MPLS en tant que moyen par lequel les réseaux IP peuvent fournir des services de routage en fonction de la qualité de service en mode connexion, comme c'est le cas de la technologie de commutation ATM de couche 2 [RVC99]; par ailleurs, des services différenciés (DiffServ) [RFC2475], [ST98] pour la gestion des files d'attente avec priorité dans les réseaux IP sont en cours de mise au point. La commutation MPLS et les services DiffServ offrent tous deux des capacités des plus importantes pour la gestion des ressources en fonction de la qualité de service (QS) (voir la Rec. UIT-T E.360.3).

Ces protocoles mis en œuvre dans les réseaux IP sont utilisés pour:

- a) l'échange d'informations sur l'état des nœuds et des liaisons;
- b) la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques;
- c) le choix fixe ou dynamique des routes en fonction des informations de topologie et d'état.

Pour la synchronisation des bases de données topologiques, chaque nœud d'un réseau IP utilisant les protocoles OSPF et BGP échange des paquets HELLO avec ses voisins immédiats et obtient ainsi des informations d'état locales. Ces informations d'état incluent notamment l'identité des voisins immédiats du nœud, le groupe auquel ils appartiennent, ainsi que l'état des liaisons entre les voisins et le nœud. Chaque nœud réunit ensuite ces informations d'état dans des annonces LSA, qui sont diffusées de manière sûre dans l'ensemble du système autonome (AS, *autonomous system*) (groupe de nœuds échangeant des informations de routage et utilisant un protocole de routage commun); le système autonome est l'équivalent du groupe homologue PNNI utilisé dans les réseaux ATM. Les annonces LSA sont utilisées pour diffuser des informations relatives aux nœuds, des informations sur l'état des liaisons et des informations sur l'accessibilité. Comme dans le cas PNNI, certaines informations d'état de topologie sont statiques, les autres étant dynamiques. Pour permettre d'obtenir des groupes de systèmes autonomes de plus grande taille, un réseau peut utiliser le protocole OSPF de manière à réduire au minimum la quantité d'informations d'état de topologie dynamiques qui circulent (la largeur de bande de liaison disponible, par exemple) en imposant des seuils afin de diminuer la fréquence des mises à jour.

Le routage des demandes de connexion/d'attribution de largeur de bande et la prise en charge du routage en fonction de la qualité de service dans les réseaux IP sont en cours de normalisation, essentiellement dans le contexte des activités relatives à la commutation MPLS et aux services DiffServ [RFC2475], [ST98] menées par l'IETF. Les protocoles de passerelle interne (IGP) tels que l'OSPF sont toujours applicables pour déterminer le routage dans une architecture à commutation MPLS, mais ils ne constituent que l'une des nombreuses possibilités proposées pour mettre en œuvre l'ingénierie du trafic (TE) avec la commutation MPLS. La Rec. UIT-T E.360.1 [ACEWX00] préconise de nombreux mécanismes d'ingénierie du trafic: répartis ou centralisés, hors ligne ou en ligne, fonction du temps, fonction de l'état ou fonction des événements, dont certains – mais pas tous – feraient intervenir des protocoles IGP comme l'OSPF.

D'après la Rec. UIT-T E.360.1, les protocoles IGP classiques utilisant des états de liaison, tels que l'OSPF et l'IS-IS, nécessitent un certain nombre d'améliorations pour pouvoir distribuer les informations d'état additionnelles nécessaires pour le routage fondé sur des contraintes. Il s'agit en gros de pouvoir propager des informations additionnelles dans les annonces d'état de liaison. Plus spécifiquement, un protocole IGP amélioré doit pouvoir propager, en plus des informations d'état de liaison normales, les informations d'état de topologie qui sont nécessaires pour le routage fondé sur des contraintes. Certaines informations d'état de topologie additionnelles comportent des attributs de liaison tels que la largeur de bande réservable et la classe de ressource de liaison (une propriété, spécifiée administrativement, de la liaison). La mise en place de la commutation MPLS pour les applications de l'ingénierie du trafic a commencé dans certains réseaux de fournisseurs de services. Un des scénarios opérationnels consiste à mettre en place, en même temps que la commutation MPLS, un protocole IGP (IS-IS-TE ou OSPF-TE) qui prend en charge les extensions de l'ingénierie du trafic, le routage fondé sur des contraintes pour les calculs de route explicites ainsi qu'un protocole de signalisation (tel que RSVP-TE ou CRLDP) pour l'instanciation de chemin LSP.

Dans le contexte actuel de l'ingénierie du trafic reposant sur la commutation MPLS, les administrateurs de réseau spécifient et configurent les attributs de liaison et les contraintes relatives aux ressources (attributs de largeur de bande réservable maximale et de classe de ressource, par exemple) pour les liaisons (interfaces) contenues dans le domaine MPLS. Un protocole utilisant des états de liaison qui prend en charge des extensions de l'ingénierie du trafic (IS-IS-TE ou OSPF-TE) est employé pour propager les informations sur la topologie de réseau et les attributs de liaison à tous les routeurs situés dans la zone de routage. Les administrateurs de réseau spécifient également tous les chemins LSP qui doivent partir de chaque routeur. Pour chaque chemin LSP, l'administrateur de réseau spécifie le nœud de destination et les attributs du chemin, qui représentent autant d'exigences à respecter pendant le processus de choix du chemin. Chaque routeur utilise ensuite un processus local de routage fondé sur des contraintes pour calculer des chemins explicites pour tous les chemins LSP qui partent de ce routeur. On utilise ensuite un protocole de signalisation pour instancier les chemins LSP. Les encombrements causés par une distribution de trafic irrégulière peuvent généralement être évités ou atténués par l'attribution de valeurs de largeur de bande appropriées aux liaisons et aux chemins LSP. Pour que le routage fondé sur des contraintes puisse se faire en fonction de la classe pour les chemins LSP, les protocoles IGP classiques (tels que IS-IS et OSPF) doivent inclure des extensions permettant de propager les informations sur les ressources en fonction de la classe.

D'autres propositions ont été faites, visant à utiliser des modèles à politique plus centralisée pour la mise en œuvre de l'ingénierie du trafic [WHJ00], [IYBKQ00]. Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.1, les opérations d'ingénierie du trafic "hors ligne" et "en ligne" n'ont d'intérêt que si, grâce à une gestion efficace du réseau, les résultats des décisions d'ingénierie du trafic peuvent être mis en œuvre et les objectifs fixés de performance de réseau peuvent être atteints. L'augmentation de la capacité est une solution grossière aux problèmes d'ingénierie du trafic. Elle est toutefois simple et peut présenter un certain intérêt si la largeur de bande est abondante et peu onéreuse ou si elle est requise par la charge de trafic effective ou à venir du réseau. La largeur de bande n'est cependant pas toujours abondante et peu onéreuse et la charge de trafic ne nécessite pas

toujours une capacité additionnelle. L'ajustement des poids administratifs et d'autres paramètres associés aux protocoles de routage constitue une solution moins grossière mais qui est difficile à utiliser et imprécise en raison des interactions de routage qui se produisent dans le réseau. Dans certains contextes de réseau, il est parfois utile et avantageux d'utiliser des méthodes de gestion plus souples et moins grossières permettant de procéder avec plus de précision à l'attribution de trafic aux routes ainsi qu'au choix et au placement des routes. Les mécanismes de gestion peuvent être manuels (configuration administrative, par exemple), partiellement automatisés (scripts, par exemple) ou entièrement automatisés (systèmes de gestion fondés sur une politique, par exemple). Les mécanismes automatisés sont surtout nécessaires dans les très grands réseaux. L'interopérabilité des équipements provenant de différents fournisseurs peut être facilitée par l'élaboration et la mise en place de systèmes de gestion normalisés (base MIB normalisée, par exemple) et de politiques normalisées (PIB) permettant de prendre en charge les fonctions de commande nécessaires pour atteindre les objectifs d'ingénierie du trafic, notamment en termes de répartition de la charge et de protection/rétablissement.

La commutation MPLS repose sur des mécanismes de couche 3 concernant la détermination des chemins LSP et la manière dont ils sont utilisés. Autrement dit, elle n'a pas de routage intégré (elle se situe "entre les couches 3 et 2"). Contrairement aux protocoles de couche 3, la commutation MPLS n'a pas de composante d'adressage et de routage et doit donc faire appel aux protocoles IP, OSPF/BGP, etc. La commutation MPLS n'est pas non plus un protocole de couche 2, étant donné qu'elle n'a pas de format unique pour la transmission de données, ce qui est nécessaire pour un protocole de couche 2. Il appartient alors aux fournisseurs de définir, dans leurs implémentations, la manière exacte dont les extensions OSPF/IS-IS seront utilisées, la manière dont les capacités fondées sur la politique seront utilisées, etc., pour déterminer le routage fondé sur la commutation MPLS. On voit ainsi apparaître beaucoup de possibilités différentes d'implémentation d'une ingénierie du trafic fondée sur la commutation MPLS; les fournisseurs de services pourront alors spécifier une "méthode d'ingénierie du trafic générique" normalisée, quelque peu analogue au contrôle CAC générique dans le contexte ATM (voir plus loin). Cette méthode normalisée serait dès lors utilisée pour orienter les implémentations des fournisseurs dans le sens des besoins des opérateurs de réseau et de l'interopérabilité des équipements des différents fournisseurs.

Les hypothèses suivantes ont été faites en ce qui concerne la normalisation du routage dans les réseaux IP:

- a) le routage d'appel, utilisé pour l'établissement de connexion, fonctionne connexion par connexion pour déterminer l'adresse de routage par une conversion de nom/numéro et utilise un protocole tel que H.323 [H.323] ou le protocole de lancement de session (SIP, *session initiation protocol*) [RFC2543]. On part de l'hypothèse de l'interfonctionnement du protocole de routage d'appel et des protocoles de sous-système utilisateur du RNIS à large bande (B-ISUP, *broadband ISDN user part*) [Q.2761] et de commande d'appel indépendante du support (BICC, *bearer-independent call control*) [Q.1901] pour assurer l'établissement et la libération des demandes de connexion;
- b) le routage de connexion/d'attribution de largeur de bande, utilisé pour le choix de chemin support, emploie des méthodes de routage OSPF/BGP en combinaison avec la commutation MPLS. Celle-ci utilise un protocole de distribution d'étiquettes pour un routage fondé sur des contraintes (CRLDP, *constraint-based routing label distribution protocol*) [J00], [CDFFSV99] ou un protocole de réservation de ressources (RSVP, *resource reservation protocol*) [RFC2205] pour établir des chemins commutés par étiquette pour un routage fondé sur des contraintes (CRLSP, *constraint-base routing label switched path*). L'attribution de largeur de bande aux chemins CRLSP est gérée dans le cadre de la gestion des ressources de QS (voir la Rec. UIT-T E.360.3);
- c) le message de demande d'étiquette MPLS (équivalent du message d'établissement) achemine le paramètre de route explicite spécifiant les nœuds intermédiaires (VN, *via node*) et le nœud de destination (DN) sur le chemin CRLSP choisi ainsi que le paramètre de

profondeur de recherche (DoS, *depth-of-search*) spécifiant le seuil de largeur de bande permise pour une liaison;

- d) le message de notification MPLS (équivalent du message de libération) achemine le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible spécifiant que le contrôle de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est retourné au nœud d'origine (ON) afin d'établir des chemins CRLSP additionnels, en vue d'un éventuel déroulage;
- e) le routage de la commande d'appel est coordonné avec la connexion/l'attribution de largeur de bande pour l'établissement du chemin support;
- f) les informations d'accessibilité sont échangées entre tous les nœuds Pour configurer une nouvelle adresse IP, le nœud desservant cette adresse IP doit être configuré. Les informations d'accessibilité sont diffusées à tous les nœuds du réseau au moyen du mécanisme d'inondation LSA OSPF;
- g) le nœud d'origine effectue la conversion du nom/numéro de destination, le traitement du service et toutes les opérations nécessaires à l'établissement de la table de routage pour la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande dans l'ensemble du réseau IP. Il accepte une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande si une certaine largeur de bande est disponible et place la demande en question sur le chemin CRLSP choisi.

Les réseaux IP utilisent une méthode d'adressage IP pour identifier les nœuds [S94]. Il faut un mécanisme pour convertir efficacement les adresses AESA E.164 en adresses IP. Des travaux sont en cours [F00], [B91] sur l'interfonctionnement de l'adressage IP et du numérotage/adressage E.164, qui nécessite une base de données fondée sur la technologie des systèmes de dénomination de domaine (DNS, *domain name system*) pour la conversion des adresses E.164 en adresses IP. Les nœuds IP pourraient alors convertir directement les adresses AESA E.164, ce qui permettrait d'assurer l'interfonctionnement avec les réseaux TDM et ATM qui utilisent le numérotage et l'adressage E.164. L'adressage AESA E.164 pourrait alors devenir une méthode d'adressage normalisée pour l'interfonctionnement des réseaux IP, ATM et TDM.

Comme indiqué ci-dessus, pour le choix de chemin dans un réseau IP, on emploie les protocoles OSPF/BGP en combinaison avec le protocole MPLS, qui fonctionne efficacement en combinaison avec l'établissement de connexions individuelles fondé sur la commande d'appel. Dans le routage de couche 3 utilisant le protocole OSPF, présenté dans la Figure 1, un nœud d'origine N1 détermine la liste des chemins les plus courts en utilisant, par exemple, l'algorithme de Dijkstra.

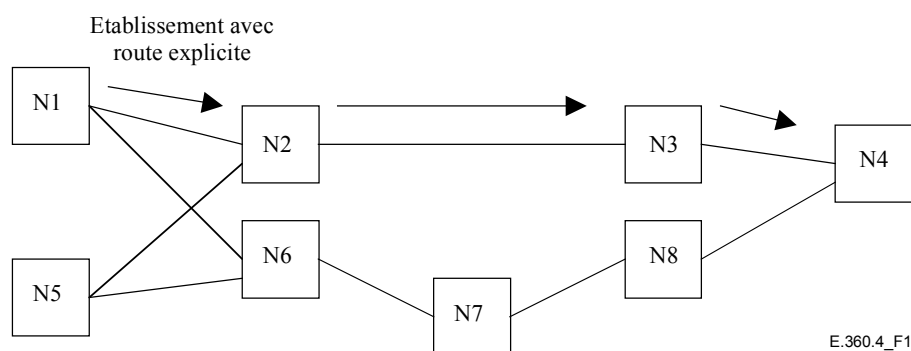


Figure 1/E.360.4 – Exemple de routage IP/MPLS

Cette liste de chemins pourrait être établie compte tenu des poids administratifs des différentes liaisons, qui sont communiqués à tous les nœuds du système autonome considéré. Ces poids administratifs peuvent être mis, par exemple, à $1 + \epsilon \times \text{distance}$, où ϵ est un facteur conférant à la distance un poids relativement faible par rapport au nombre de bonds. Le nœud d'origine choisit un chemin sur la liste en se fondant, par exemple, sur le choix de chemin FR, TDR, SDR ou EDR (voir la Rec. UIT-T E.360.2). Pour établir, par exemple, un chemin CRLSP sur le

premier chemin, le nœud d'origine N1 envoie un message de demande d'étiquette MPLS au nœud intermédiaire N2 qui, à son tour, transmet le message de demande d'étiquette MPLS au nœud intermédiaire N3 et, enfin, au nœud de destination N4. Les nœuds intermédiaires N2 et N3 et le nœud de destination N4 sont spécifiés dans le paramètre de route explicite contenu dans le message de demande d'étiquette MPLS. Chaque nœud du chemin lit les informations de route explicite (ER, *explicit route*) et transmet le message de demande d'étiquette MPLS au nœud suivant énuméré dans le paramètre ER. Si l'une quelconque des liaisons du chemin de premier choix est bloquée, un message de notification MPLS avec paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible est renvoyé au nœud d'origine qui peut dès lors faire une tentative avec le chemin suivant. Si le routage fixe (FR) est utilisé, ce chemin est le suivant de la liste des chemins les plus courts, par exemple N1-N6-N7-N8-N4. Si le routage TDR est utilisé, c'est le chemin suivant de la table de routage pour la période en cours qui sera utilisé. Si le routage SDR est utilisé, une méthode répartie de diffusion d'informations d'état des liaisons est mise en œuvre dans le cadre du protocole OSPF, le déclenchement ayant lieu périodiquement ou en cas de franchissement d'un seuil d'état de charge. Comme indiqué au début du présent paragraphe, cette méthode de distribution d'informations sur l'état des liaisons peut nécessiter beaucoup de ressources tout en n'étant pas nécessairement plus efficace que les méthodes de routage plus simples telles que le routage EDR. Si ce dernier est utilisé, le chemin suivant est le dernier chemin ayant donné satisfaction et, si celui-ci ne convient pas, un autre chemin est recherché au moyen de la méthode EDR.

Les informations de commande d'attribution de largeur de bande sont utilisées pour saisir et modifier l'attribution de largeur de bande sur les chemins LSP, pour libérer une certaine largeur de bande sur les chemins LSP ou pour passer au chemin LSP suivant de la table de routage. Les messages existants de demande d'étiquette (établissement) et de notification (libération) pour les chemins CRLSP, décrits dans le document [J00], peuvent être utilisés avec des paramètres additionnels pour contrôler la modification de la largeur de bande sur les chemins CRLSP: le paramètre de profondeur de recherche DoS sur une liaison ou le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible sur un chemin CRLSP, paramètre qui est transmis au nœud d'origine afin de rechercher une plus grande largeur de bande sur d'autres chemins CRLSP en vue d'un déroutage. Le choix proprement dit d'un chemin CRLSP est déterminé à partir de la table de routage, et les informations de contrôle relatives aux chemins CRLSP sont utilisées pour établir le chemin choisi. Pour l'établissement de chemin CRLSP et la modification de la largeur de bande, des informations sont échangées vers l'avant, par exemple dans les paramètres suivants du message de demande d'étiquette (label request):

- 1) LABEL REQUEST-ER: le paramètre de route explicite (ER) utilisé dans le protocole MPLS spécifie chaque nœud intermédiaire et le nœud de destination sur le chemin CRLSP; il est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour déterminer le nœud suivant sur le chemin.
- 2) LABEL REQUEST-DoS: le paramètre de profondeur de recherche (DoS) est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour comparer l'état de charge sur chaque liaison du chemin CRLSP au seuil de profondeur de recherche DoS permis et ce, afin de déterminer si la demande d'établissement ou de modification MPLS est acceptée ou bloquée sur cette liaison.
- 3) LABEL REQUEST-MODIFY: le paramètre de modification (MODIFY) est utilisé par chaque nœud intermédiaire et par le nœud de destination pour mettre à jour les paramètres de trafic (par exemple le débit de données garanti) sur un chemin CRLSP existant et ce, afin de déterminer si la demande de modification MPLS est acceptée ou bloquée sur chaque liaison du chemin CRLSP.

Le paramètre de priorité d'établissement est utilisé comme paramètre DoS dans le message de demande d'étiquette MPLS pour gérer l'attribution de largeur de bande, les priorités au niveau des files d'attente et la modification de la largeur de bande sur un chemin CRLSP existant [AAFJLLS00].

Pour libérer une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande sur une liaison (entre le nœud de destination et un nœud intermédiaire ou entre un nœud intermédiaire et le nœud d'origine), des informations sont échangées vers l'arrière, par exemple dans le paramètre suivant du message de notification (notify):

- 4) NOTIFY-BNA: le paramètre de largeur de bande indisponible (BNA) du message de notification (libération), envoyé d'un nœud intermédiaire au nœud d'origine ou du nœud de destination au nœud d'origine, permet au nœud d'origine de rechercher d'autres chemins CRLSP offrant une plus grande largeur de bande en vue d'un éventuel déroutage.

Un paramètre de largeur de bande indisponible est dès à présent prévu dans le message de notification MPLS afin que le nœud d'origine puisse rechercher une plus grande largeur de bande sur d'autres chemins CRLSP.

Pour la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques, indispensables à la gestion des tables de routage, les réseaux IP interprètent dès à présent les mécanismes du protocole HELLO pour identifier les liaisons du réseau. Pour la synchronisation des bases de données topologiques, l'échange d'informations LSA OSPF permet de mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques. Cet échange d'informations se fait entre deux nœuds; dans le cas du protocole OSPF, on utilise le mécanisme d'inondation.

- 5) HELLO: permet d'identifier les liaisons entre les nœuds du réseau.
- 6) LSA: permet de mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques.

En résumé, les réseaux IP ont déjà un système de signalisation normalisée pour les fonctions de gestion de tables de routage, qui inclut les capacités ER, HELLO et LSA. Afin de pouvoir assurer la gestion des ressources de QoS, ils doivent en outre prendre en charge: le paramètre DoS et le paramètre MODIFY dans le message de demande d'étiquette MPLS, le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible dans le message de notification MPLS, tel que proposé dans les documents [FIA99], [AALJ99], ainsi que l'échange d'informations de gestion de table de routage QUERY, STATUS et RECOM (voir le § 8.4). La commande d'appel fondée sur le protocole H.323 [H.323] et le protocole de lancement de session [RFC2543] doit être coordonnée avec la commande de connexion/d'attribution de largeur de bande CRLSP MPLS.

6 Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux ATM

La technique PNNI est une stratégie normalisée de signalisation et de routage dynamique pour les réseaux ATM, adoptée par l'ATM Forum [ATM960055]. Elle assure l'interopérabilité des équipements provenant de différents fournisseurs et l'évolutivité vers de très grands réseaux. L'évolutivité est assurée par une structure hiérarchique de groupes homologues qui permet de cacher et de révéler aisément les détails de la topologie d'un groupe homologue à divers niveaux de la structure hiérarchique. Le leader d'un groupe homologue représente le nœud de ce groupe qui assure les échanges avec le niveau immédiatement supérieur en termes de protocole de routage. Les nœuds frontaliers traitent les interactions entre niveaux au moment de l'établissement de l'appel. Le routage PNNI fait intervenir deux composantes:

- a) un protocole de distribution relatif à la topologie;
- b) les procédures de choix de chemin de retour en arrière.

Le protocole de distribution relatif à la topologie permet de diffuser les informations au sein d'un groupe homologue. Le leader d'un groupe homologue résume les informations provenant du groupe homologue et diffuse les informations de topologie résumées au niveau immédiatement supérieur de la hiérarchie, y compris l'ensemble des informations sur les adresses accessibles. Lorsque le leader d'un groupe homologue prend connaissance d'informations au niveau immédiatement supérieur, il

les diffuse au niveau inférieur de la hiérarchie, selon les besoins. Ainsi, tous les nœuds prennent connaissance des informations sur l'accessibilité et sur la topologie dans l'ensemble du réseau.

Le routage PNNI est fondé sur la source; autrement dit, c'est le nœud d'origine qui détermine le chemin à travers le réseau. Le nœud d'origine effectue la conversion du numéro, le filtrage, le traitement du service et toutes les opérations nécessaires à l'établissement de la table de routage pour la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande dans l'ensemble du réseau ATM. Le nœud place le chemin choisi dans la liste de transit désignée (DTL, *designated transit list*) et transmet celle-ci au nœud suivant dans le message SETUP. Le nœud suivant n'a pas à convertir le numéro de l'appelé, il doit uniquement suivre le chemin spécifié dans la liste DTL. Lorsqu'une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est bloquée en raison d'un encombrement du réseau, un paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible PNNI est envoyé au premier nœud ATM du groupe homologue. Celui-ci peut alors utiliser le déroutage PNNI pour choisir un autre chemin pour la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande. Si le réseau est non hiérarchique, autrement dit si tous les nœuds sont situés sur le même niveau au sein du groupe homologue, le nœud d'origine contrôle le chemin de bout en bout. Si le réseau comporte plusieurs niveaux hiérarchiques, à mesure que l'appel progresse d'un groupe homologue à un autre, le nœud frontalier du nouveau groupe homologue choisit un chemin à travers ce groupe homologue jusqu'au groupe homologue suivant situé en aval, tel que déterminé par le nœud d'origine. On procède ainsi de manière récurrente pour les différents niveaux de la hiérarchie. Si l'appel est bloqué, par exemple lorsque la largeur de bande sur le chemin choisi n'est pas disponible, l'appel est renvoyé en arrière jusqu'au nœud frontalier ou jusqu'au nœud d'origine pour le niveau considéré de la hiérarchie, et un autre chemin est choisi. L'algorithme de choix de chemin n'est pas stipulé dans la spécification PNNI; les décisions prises en matière de choix de chemin dépendent donc de la mise en œuvre du nœud d'origine. Le choix du chemin s'effectuant à un nœud d'origine, chaque nœud d'origine utilise, pour cela, sa base de données topologiques locale et un algorithme spécifique. Cela signifie que les divers algorithmes de choix de chemin, émanant de différents fournisseurs, peuvent interfonctionner.

Dans l'exemple de routage illustré à la Figure 1, utilisé dans le présent contexte pour illustrer le routage PNNI, un nœud d'origine N1 détermine la liste des chemins les plus courts en utilisant, par exemple, l'algorithme de Dijkstra. Cette liste de chemins pourrait être établie sur la base des poids administratifs des différentes liaisons, qui sont communiqués à tous les nœuds du groupe homologue considéré au moyen du mécanisme d'inondation PTSE. Ces poids administratifs peuvent être mis, par exemple, à $1 + \text{epsilon} \times \text{distance}$, où epsilon est un facteur conférant un poids relativement faible à la distance compte tenu du nombre de bonds. Le nœud d'origine choisit ensuite un chemin sur la liste en se fondant sur une des méthodes de la Rec. UIT-T E.360.2, soit FR, TDR, SDR ou EDR. Pour utiliser, par exemple, le chemin de premier choix, le nœud d'origine N1 envoie un message d'établissement PNNI au nœud intermédiaire N2, qui transmet ce message d'établissement PNNI au nœud intermédiaire N3 et enfin au nœud de destination N4. Les nœuds intermédiaires N2 et N3 et le nœud de destination N4 sont spécifiés dans le paramètre DTL contenu dans le message d'établissement PNNI. Chaque nœud du chemin lit les informations de la liste DTL et transmet le message d'établissement PNNI au nœud suivant énuméré sur cette liste.

En cas de blocage de l'une quelconque des liaisons du premier chemin ou de débordement, ou encore de retard excessif au niveau de l'une quelconque des files d'attente sur le chemin, un message de retour en arrière/largeur de bande indisponible est renvoyé au nœud d'origine, qui peut alors faire une tentative avec le chemin suivant. Si l'on utilise le routage fixe, ce chemin est le suivant de la liste des chemins les plus courts, par exemple N1-N6-N7-N8-N4. Si l'on utilise le routage en fonction du temps, le chemin suivant est celui qui vient ensuite dans la table de routage pour la période en cours. Si l'on utilise le routage en fonction de l'état, une méthode répartie de diffusion d'informations d'état de liaison est implémentée dans le cadre du protocole PNNI, le déclenchement ayant lieu périodiquement, ou en cas de franchissement d'un seuil d'état de charge. Comme indiqué au début du présent paragraphe, cette méthode de diffusion d'informations d'état des liaisons peut

nécessiter beaucoup de ressources tout en n'étant pas nécessairement plus efficace que les méthodes plus simples telles que le routage en fonction des événements. Si celui-ci est utilisé, le chemin suivant est le dernier chemin ayant donné satisfaction et, s'il ne convient pas, un autre chemin est recherché par la méthode de routage en fonction des événements.

Les informations de commande de connexion/d'attribution de largeur de bande sont utilisées lors de l'établissement de connexion/d'attribution de largeur de bande pour saisir une certaine largeur de bande sur les liaisons, pour libérer une certaine largeur de bande ou pour passer au chemin suivant de la table de routage. Les messages existants d'établissement et de libération de connexion/d'attribution de largeur de bande [ATM960055] peuvent être utilisés avec des paramètres additionnels pour contrôler les modifications de largeur de bande de conduit SVP: le paramètre de profondeur DoS sur une liaison ou le paramètre de largeur de bande de conduit SVP non disponible, paramètre qui est transmis au nœud d'origine en vue d'un déroutage. Le choix proprement dit d'un chemin est déterminé à partir de la table de routage, et les informations de contrôle de connexion/d'attribution de largeur de bande sont utilisées pour établir le chemin choisi. Pour l'établissement de la connexion/attribution de largeur de bande, des informations sont échangées vers l'avant, par exemple dans les paramètres suivants du message d'établissement (setup) ou du message de demande de modification (modify request):

- 1) SETUP-DTL/ER: le paramètre "liste de transit désignée/route explicite (DTL/ER)" utilisé dans le protocole PNNI spécifie chaque nœud intermédiaire et le nœud de destination sur le chemin; il est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour déterminer le nœud suivant sur le chemin.
- 2) SETUP-DoS: le paramètre de profondeur de recherche (DoS) est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour comparer l'état de charge de la liaison au seuil DoS permis et ce, afin de déterminer si la demande de connexion d'attribution de largeur de bande de circuit SVC est acceptée ou bloquée sur cette liaison.
- 3) MODIFY REQUEST-DoS: le paramètre DoS est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour comparer l'état de charge de la liaison au seuil DoS permis et ce, afin de déterminer si la demande de modification de conduit SVP est acceptée ou bloquée sur cette liaison.

Le paramètre DoS doit être acheminé dans les messages SVP MODIFY REQUEST et SVC SETUP, pour gérer l'attribution de la largeur de bande et les priorités au niveau des files d'attente.

Pour libérer une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande sur une liaison (par exemple entre le nœud de destination et un nœud intermédiaire ou entre un nœud intermédiaire et le nœud d'origine), des informations sont échangées vers l'arrière, par exemple dans les paramètres suivants du message de libération (release) ou du message de refus de modification (modify reject):

- 4) RELEASE-CB: le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible du message de libération, envoyé d'un nœud intermédiaire au nœud d'origine ou du nœud de destination au nœud d'origine, permet au nœud d'origine de procéder à un éventuel déroutage.
- 5) MODIFY REJECT-BNA: le paramètre de largeur de bande indisponible du message de refus de modification, envoyé d'un nœud intermédiaire au nœud d'origine ou du nœud de destination au nœud d'origine, permet au nœud d'origine de rechercher davantage de largeur de bande sur d'autres conduits SVP en vue d'un éventuel déroutage.

Un paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible sur un circuit SVC est déjà défini pour la signalisation PNNI. Nous proposons un paramètre de largeur de bande indisponible dans le message SVP MODIFY REJECT afin de permettre au nœud d'origine de rechercher davantage de largeur de bande sur d'autres conduits SVP.

Pour la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques, indispensables à la gestion des tables de routage, les réseaux ATM interprètent dès à présent les mécanismes du protocole HELLO pour identifier les liaisons du réseau. Pour la synchronisation des bases de données topologiques, l'échange d'éléments PTSE permet de mettre à jour

automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques. Cet échange d'informations se fait entre deux nœuds; dans le cas du protocole PNNI, on utilise le mécanisme d'inondation.

- 6) HELLO: permet d'identifier les liaisons entre les nœuds du réseau;
- 7) PTSE: permet de mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques.

En résumé, les réseaux ATM ont déjà un système de signalisation et de messagerie normalisé directement applicable à l'implémentation du routage, qui inclut les capacités DTL, retour en arrière/largeur de bande indisponible, HELLO et PTSE. Afin de pouvoir assurer la gestion des ressources de QS, ils doivent en outre prendre en charge [ATM000102], [AM99]: le paramètre DoS dans les messages SVC SETUP et SVP MODIFY REQUEST, le paramètre de largeur de bande indisponible dans le message SVP MODIFY REJECT ainsi que l'échange d'informations de gestion de table de routage QUERY, STATUS et RECOM (voir le § 8.4).

7 Gestion des tables de routage dans le cas des réseaux TDM

Dans les réseaux voix/RNIS TDM, plusieurs méthodes de routage dynamique ont été mises en place et sont très répandues: ce sont des mises en œuvre des routages TDR, SDR et EDR [A98]. Parmi les implémentations du routage TDR, on trouve le routage non hiérarchique dynamique (DNHR, *dynamic non-hierarchical routing*), utilisé dans le réseau FTS-2000 du Gouvernement des Etats-Unis. Parmi les implémentations du routage SDR, on trouve le routage contrôlé dynamiquement (DCR, *dynamically controlled routing*), appliqué dans les réseaux de Stentor Canada, Bell Canada, MCI et Sprint, ainsi que le routage en temps réel dans le réseau (RTNR, *real-time network routing*), utilisé dans le réseau d'AT&T. Parmi les implémentations du routage EDR, on trouve l'acheminement dynamique avec débordement (DAR, *dynamic alternate routing*), utilisé dans le réseau de British Telecom et le routage avec réussite assurée (STT), appliqué dans le réseau d'AT&T.

Les protocoles de routage d'appel dans les réseaux TDM sont décrits par exemple dans la Rec. [Q.1901] pour la commande BICC et dans la Rec. [Q.2761] pour le protocole de signalisation B-ISUP. Nous résumons ici les échanges d'informations nécessaires entre éléments de réseau pour mettre en œuvre les méthodes de choix de chemin dans les réseaux TDM: l'échange des informations de commande de connexion nécessaires à l'établissement de connexion, l'échange des informations de gestion de table de routage nécessaires à la création de table de routage ainsi que l'échange des informations de mise à jour de topologie nécessaires pour la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques.

Les informations de gestion d'une table de routage sont utilisées dans le cadre de l'application des règles de cette table en vue d'en déterminer les chemins possibles. Ces informations sont échangées entre deux nœuds, par exemple le nœud d'origine et le nœud de destination, ou entre un nœud et un élément de réseau tel qu'un processeur BBP. Elles sont utilisées pour produire la table de routage, qui est ensuite utilisée pour déterminer les chemins possibles, qui, à leur tour, sont utilisés pour le choix d'un chemin. Les messages suivants peuvent être pris en considération pour cette fonction:

- 1) QUERY: contient une demande d'état de la liaison entre un nœud d'origine et un nœud de destination ou entre un nœud d'origine et un processeur BBP et/ou une demande d'état de nœud.
- 2) STATUS: contient des informations d'état de la liaison entre un nœud d'origine/nœud intermédiaire/nœud de destination et un processeur BBP ou une liaison entre un nœud de destination et un nœud d'origine et/ou des informations d'état de nœud.
- 3) RECOM: contient une recommandation de routage entre un processeur BBP et un nœud d'origine/un nœud intermédiaire/un nœud de destination.

Ces messages d'échange d'informations sont dès à présent utilisés dans les implémentations TDM non normalisées et leur utilisation doit être étendue aux environnements TDM normalisés.

Pour la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques, indispensables à la gestion des tables de routage, les réseaux TDM doivent interpréter, au niveau des nœuds passerelle, les mécanismes du protocole HELLO des réseaux ATM et IP pour identifier les liaisons du réseau, comme indiqué ci-dessus dans le cas des réseaux ATM. La synchronisation des bases de données topologiques nécessite également un mécanisme analogue à l'échange d'éléments PTSE, examiné ci-dessus, pour mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques.

Les informations de commande de choix de chemin et de gestion des ressources QS sont utilisées lors de l'établissement de connexion/d'attribution de largeur de bande pour saisir une certaine largeur de bande sur les liaisons, pour libérer une certaine largeur de bande ou pour passer au chemin suivant de la table de routage. Les messages existants d'établissement et de libération de connexion/d'attribution de largeur de bande, décrits dans les Recommandations UIT-T Q.71 et Q.2761, peuvent être utilisés avec des paramètres additionnels pour commander le choix de chemin: le paramètre de la profondeur DoS sur une liaison ou le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible, paramètre qui est transmis au nœud d'origine en vue d'un déroutage. Le choix proprement dit d'un chemin est déterminé à partir de la table de routage; les informations de commande de connexion/d'attribution de largeur de bande sont utilisées pour établir le chemin choisi.

Pour l'établissement de connexion/d'attribution de largeur de bande, des informations sont échangées vers l'avant, par exemple dans les paramètres suivants du message d'établissement (set up):

- 4) SETUP-DTL/ER: le paramètre "liste de transit désignée/route explicite (DTL/ER)" spécifie chaque nœud intermédiaire et le nœud de destination sur le chemin; il est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour déterminer le nœud suivant sur le chemin.
- 5) SETUP-DoS: le paramètre de profondeur de recherche (DoS) est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour comparer l'état de charge sur la liaison au seul DoS permis et ce, afin de déterminer si la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est acceptée ou bloquée sur cette liaison.

Dans le sous-système B-ISUP, ces paramètres pourraient être acheminés dans le message initial d'adresse (IAM, *initial address message*).

Pour libérer une connexion/attribution de largeur de bande sur une liaison (par exemple, entre le nœud de destination et un nœud intermédiaire ou entre un nœud intermédiaire et le nœud d'origine), des informations sont échangées vers l'arrière, par exemple dans le paramètre suivant du message de libération (release):

- 6) RELEASE-CB: le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible du message de libération, envoyé d'un nœud intermédiaire au nœud d'origine ou du nœud de destination au nœud d'origine, permet au nœud d'origine de procéder à un éventuel déroutage.

En signalisation B-ISUP, ce paramètre pourrait être acheminé dans le message RELEASE.

8 Exigences en matière de signalisation et d'échange d'informations

Le Tableau 1 récapitule les méthodes de signalisation et d'échange d'informations propres à chaque technique de routage qui doivent être prises en charge par les différents types de réseau. Le Tableau 1 identifie:

- a) les paramètres d'échange d'informations nécessaires, en caractères non gras, pour pouvoir prendre en charge les méthodes de routage;

- b) les normes requises, en caractères gras, pour pouvoir prendre en charge les paramètres d'échange d'informations.

Tableau 1/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'échange d'informations requis pour la prise en charge des méthodes de routage (normes requises en caractères gras)

Méthode de routage		Network technology (standards source)				
		RTPC/TDM (Recommandations UIT-T)	ATM (normes ATMF)	IP (normes IETF)	RTPC/ATM (normes harmonisées)	RTPC/IP (normes harmonisées)
Routage d'appel (conversion du numéro/nom en adresse de routage)		E.164-ADR, INRA E.164, E.191 E.351, E.353 § 8.1	E.164-AESA, CIC UNI, PNNI, AINI	E.164- AESA, INRA, IP-ADR, CIC § 8.1	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC § 8.1	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC § 8.1
Routage de connexion	Routage fixe	DTL/ER, CBK/BNA E.170, E.350, E.351 § 8.2	DTL, CBK UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	ER, BNA OSPF, BGP, MPLS	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2
	Routage en fonction du temps	DTL/ER, CBK/BNA E.170, E.350, E.351 § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2
	Routage en fonction de l'état	DTL/ER, CBK/BNA E.170, E.350, E.351 § 8.2	DTL, CBK UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	ER, BNA OSPF, BGP, MPLS	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2
	Routage en fonction des événements	DTL/ER, CBK/BNA E.170, E.350, E.351 § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2	DTL/ER, CBK/BNA § 8.2
Gestion des ressources de QS	Attribution et protection de largeur de bande	QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD E.351 § 8.3	QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	QoS-PAR, TRAF- PAR, DoS, MOD OSPF, BGP, MPLS	QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD § 8.3	QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD § 8.3
	Routage avec priorité	DoS E.351 § 8.3	DoS UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	DoS OSPF, BGP, MPLS	DoS § 8.3	DoS § 8.3
	Mise en file d'attente avec priorité	N/A	DIFFSERV UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	DIFFSERV DIFFSER V, OSPF, BGP, MPLS	DIFFSERV § 8.3	DIFFSERV § 8.3

Tableau 1/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'échange d'informations requis pour la prise en charge des méthodes de routage (normes requises en caractères gras)

Méthode de routage		Network technology (standards source)				
		RTPC/TDM (Recommandations UIT-T)	ATM (normes ATMF)	IP (normes IETF)	RTPC/ATM (normes harmonisées)	RTPC/IP (normes harmonisées)
Gestion de table de routage	Mise à jour de topologie	HELLO, TSE E.351 § 8.4	HELLO, PTSE UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	HELLO, LSA OSPF, BGP, MPLS	HELLO, TSE § 8.4	HELLO, TSE § 8.4
	Mise à jour d'état	RSE E.170, E.350, E.351 § 8.4	PTSE UNI, PNNI, AINI, BW-MODIFY	LSA OSPF, BGP, MPLS	RSE § 8.4	RSE § 8.4
	Demande d'état	RQE E.170, E.350, E.351 § 8.4	RQE § 8.4	RQE § 8.4	RQE § 8.4	RQE § 8.4
	Recomman- dation de routage	RRE E.170, E.350, E.351 § 8.4	RRE § 8.4	RRE § 8.4	RRE § 8.4	RRE § 8.4

Ces paramètres et méthodes d'échange d'informations doivent être utilisés dans chaque type de réseau et pour l'interfonctionnement de ces types de réseau. Il faut donc que tous les paramètres d'échange d'informations identifiés dans le Tableau 1 soient pris en charge dans les normes identifiées dans le tableau, pour chacune des cinq technologies de réseau. Autrement dit, il est nécessaire d'élaborer des normes pour tous les paramètres d'échange d'informations qui ne sont pas actuellement pris en charge et qui sont repérés dans le Tableau 1 par des références à des paragraphes de la présente Recommandation. Cela garantira la compatibilité des échanges d'informations lors de l'interfonctionnement de réseaux TDM, ATM et IP (voir les trois colonnes de gauche relatives à la technologie de réseau). Pour l'interfonctionnement des différents types de réseaux, il faut en outre garantir la compatibilité des échanges d'informations aux interfaces entre tous ces types de réseau. La normalisation des méthodes de routage d'informations et des paramètres d'échange d'informations nécessaires permet également de couvrir les cas représentés dans les deux colonnes de droite du Tableau 1, correspondant à l'intégration de la technologie ATM et à l'intégration de la technologie IP dans les RTPC.

Nous examinerons d'abord les méthodes de routage identifiées dans chacune des lignes du Tableau 1 puis l'harmonisation des échanges d'informations pour les réseaux RTPC/ATM et RTPC/IP, correspondant aux colonnes 4 et 5 du Tableau 1. Dans les § 8.1 à 8.4, nous décrivons les paramètres d'échange d'informations requis (indiqués dans le Tableau 1) pour, respectivement, le routage d'appel (conversion du numéro en adresse de routage), le routage de connexion, la gestion des ressources de QS et la gestion de table de routage. Dans le § 8.5, nous examinerons l'harmonisation des normes relatives aux méthodes de routage pour les deux cas représentés dans les deux colonnes de droite du Tableau 1, correspondant à l'intégration de la technologie ATM et à l'intégration de la technologie IP dans les RTPC.

8.1 Paramètres d'échange d'informations pour le routage d'appel (conversion du numéro en adresse de routage)

Comme indiqué précédemment, il est supposé dans la présente Recommandation, que la signalisation de la commande d'appel pour l'établissement d'appel est séparée de la signalisation de commande de connexion/d'attribution de largeur de bande pour l'établissement de canal support. Les protocoles de signalisation de commande d'appel sont décrits par exemple dans les Documents [Q.2761] pour le protocole de signalisation B-ISUP, [Q.1901] pour la commande BICC, [H.323] pour le protocole H.323, [RFC2805], [GR99] pour le protocole de commande de passerelle média (MEGACO) et [RFC2543] pour le protocole SIP. Les protocoles de commande de connexion sont décrits par exemple dans les Documents [Q.2761] pour la signalisation B-ISUP, [ATM960055] pour la signalisation PNNI, [ATM960061] pour la signalisation UNI, [ATM000148] et [DN99] pour la signalisation SVP et [J00], [ABGLSS00] pour la signalisation MPLS.

Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.2, la conversion du numéro/nom devrait aboutir à une adresse AESA E.164, INRA et/ou IP. Il est nécessaire de prévoir l'acheminement des adresses E.164-AESA, INRA et IP dans l'élément d'information d'établissement de connexion. De plus, il faut qu'un code d'identification de l'appel (CIC, *call identification code*) soit acheminé dans les éléments d'information d'établissement de connexion pour la commande d'appel et pour la commande support pour pouvoir corréler l'établissement de la commande d'appel avec l'établissement de la commande de support [ATM000146]. L'acheminement de ces paramètres additionnels dans les éléments d'information d'établissement de connexion par le sous-système utilisateur du RNIS (ISUP, *ISDN user part*) du système de signalisation n° 7 (SS7, *signalling system No. 7*) est spécifié dans le protocole BICC [Q.1901].

Le Tableau 1 montre qu'il est nécessaire de prévoir l'acheminement des adresses E.164-AESA, INRA et IP dans l'élément d'information d'établissement de connexion. Il faut notamment que des éléments de ces adresses soient mis au point pour les réseaux IP et RTPC/IP. Il faut aussi que des méthodes de conversion de numéro/routage utilisant ces paramètres soient mises au point pour les réseaux IP et RTPC/IP. Lorsque ce sera le cas, les adresses E.164-AESA, INRA et IP permettront d'avoir une méthode d'adressage normalisée pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

8.2 Paramètres d'échange d'informations pour le routage de connexion

On utilise des informations de commande de connexion/d'attribution de largeur de bande pour saisir une certaine largeur de bande sur des liaisons d'un chemin, pour libérer cette largeur de bande ou passer au chemin suivant de la table de routage. Les éléments d'information existants d'établissement de connexion/d'attribution de largeur de bande et de libération de connexion, décrits dans les Documents [Q.2761], [ATM960055], [ATM960061], [ATM000148] et [J00] peuvent être utilisés avec des paramètres additionnels pour gérer le routage SVC/SVP/CRLSP: le paramètre de seuil de profondeur DoS pour l'attribution de largeur de bande et le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible pour permettre un déroutage. Le choix proprement dit d'un chemin est déterminé à partir de la table de routage, les informations de commande de connexion/d'attribution de largeur de bande sont utilisées pour établir le chemin choisi.

Un routage fondé sur la source peut être implémenté grâce à des méthodes de signalisation de commande de connexion/d'attribution de largeur de bande employant le paramètre DTL ou ER dans l'élément d'information d'établissement de connexion (IAM, SETUP, MODIFY REQUEST et LABEL REQUEST) et le paramètre de retour en arrière (CBK, *crankback*)/largeur de bande indisponible (BNA, *bandwidth-not-available*) dans l'élément d'information de libération de la connexion (RELEASE, MODIFY REJECT et NOTIFY). Le paramètre DTL ou ER spécifie tous les nœuds intermédiaires et le nœud de destination sur le chemin, tels que déterminés par le nœud d'origine, et le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible permet à un nœud

intermédiaire de renvoyer le contrôle de la demande de connexion au nœud d'origine en vue d'un déroutage.

Pour l'établissement de connexion/d'attribution de largeur de bande, des informations sont échangées vers l'avant, par exemple dans les paramètres suivants:

- 1) le paramètre de liste de transit désignée/route explicite (DTL/ER) dans le message d'établissement: le paramètre DTL pour le routage PNNI ou le paramètre ER pour la commutation MPLS spécifie chaque nœud intermédiaire et le nœud de destination sur le chemin; il est utilisé par chaque nœud intermédiaire pour déterminer le nœud suivant sur le chemin.

Pour libérer une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande sur une liaison (par exemple entre le nœud de destination et un nœud intermédiaire ou entre un nœud intermédiaire et le nœud d'origine), des informations sont échangées vers l'arrière, et le paramètre suivant est nécessaire:

- 2) le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible (CBK/BNA) dans le message de libération: ce paramètre contenu dans l'élément d'information de libération de connexion est envoyé d'un nœud intermédiaire au nœud d'origine ou du nœud de destination au nœud d'origine; il permet au nœud d'origine de procéder à un éventuel déroutage.

Il faut que le paramètre CBK/BNA soit inclus (selon les besoins) dans l'élément d'information RELEASE pour les réseaux TDM, dans les éléments d'information SVC RELEASE et SVP MODIFY REJECT pour les réseaux ATM et dans l'élément d'information MPLS NOTIFY pour les réseaux IP. Ce paramètre permet au nœud d'origine de rechercher une largeur de bande plus grande sur d'autres SVC, SVP et CRLSP.

Le Tableau 1 montre qu'il est nécessaire de mettre au point, pour les réseaux TDM, des éléments DTL/ER et CBK/BNA qui soient compatibles avec l'élément DTL des réseaux ATM et l'élément ER des réseaux IP. Il faut aussi [E.350], [E.351) que des méthodes de choix de chemin utilisant ces paramètres soient mises au point pour les réseaux TDM. Enfin, il faut que des méthodes de choix de chemin TDR et EDR utilisant ces paramètres soient mises au point pour les réseaux ATM, IP, RTPC/ATM et RTPC/IP. Lorsque ce sera le cas, les paramètres DTL/ER et CBK/BNA permettront d'avoir une méthode de choix de chemin normalisée pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

8.3 Paramètres d'échange d'informations pour la gestion des ressources de QS

Les informations de gestion des ressources de QS sont utilisées pour établir des priorités en fonction des services différenciés concernant la saisie d'une certaine largeur de bande sur les liaisons d'un chemin et la mise en file d'attente. Les paramètres suivants sont requis:

- 3) paramètres de QS (QoS-PAR, *QoS parameter*) dans le message d'établissement: paramètres de QS tels que le temps de transfert, la variation du temps de transfert et la perte de paquets. Ils sont utilisés par chaque nœud intermédiaire pour comparer le niveau de QS atteint sur la liaison au seuil de QS requis et déterminer ainsi si la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est acceptée ou bloquée sur cette liaison;
- 4) paramètres de trafic (TRAF-PAR, *traffic parameter*) dans le message d'établissement: paramètres de trafic tels que le débit moyen, le débit maximal et le débit minimal. Ils sont utilisés par chaque nœud intermédiaire pour comparer les caractéristiques du trafic sur la liaison aux seuils TRAF-PAR requis et déterminer ainsi si la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est acceptée ou bloquée sur cette liaison;

- 5) paramètre de profondeur de recherche (DoS) dans le message d'établissement: utilisé par chaque nœud intermédiaire pour comparer l'état de charge de la liaison à la profondeur DoS autorisée et déterminer ainsi si la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est acceptée ou bloquée sur cette liaison;
- 6) paramètre de modification (MOD) dans le message d'établissement: utilisé par chaque nœud intermédiaire pour comparer les paramètres de trafic qui sont à modifier sur un chemin CRLSP/conduit SVP existant et déterminer ainsi si la demande de modification est acceptée ou bloquée sur cette liaison;
- 7) paramètre de services différenciés (DIFFSERV, *differentiated service*): utilisé dans les réseaux ATM et IP pour prendre en charge la mise en file d'attente avec priorité. Il est utilisé au niveau des files d'attente associées à chaque liaison pour déterminer la priorité relative et la politique de gestion s'appliquant à chaque file d'attente.

Il faut inclure les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DTL/ER, DoS, MOD et DIFFSERV (selon les besoins) dans le message initial d'adresse (IAM) pour les réseaux TDM, dans les éléments d'information SVC/SVP SETUP et SVP MODIFY REQUEST pour les réseaux ATM et dans l'élément d'information MPLS LABEL REQUEST pour les réseaux IP. Ces paramètres servent à gérer le routage, l'attribution de largeur de bande et les priorités en matière de routage/mise en file d'attente.

Le Tableau 1 montre que, dans les réseaux TDM, il faut introduire, pour la prise en charge de l'attribution et de la protection de largeur de bande, les éléments QoS-PAR et TRAF-PAR qui soient compatibles avec les éléments QoS-PAR et TRAF-PAR des réseaux ATM et IP. Il faut aussi introduire, dans les réseaux TDM, un élément DoS qui soit compatible avec l'élément DoS des réseaux ATM et IP. Il faut en outre introduire un élément DIFFSERV dans les réseaux ATM et IP pour la prise en charge de la mise en file d'attente avec priorité. Enfin, il faut que des méthodes de gestion des ressources de QS utilisant ces paramètres soient mises au point pour les réseaux TDM. Lorsque ce sera le cas, les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV permettront d'avoir une méthode normalisée de gestion des ressources de QS pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

8.4 Paramètres d'échange d'informations pour la gestion de table de routage

Les informations de gestion d'une table de routage sont utilisées dans le cadre de l'application des règles de cette table afin d'en déterminer les chemins possibles. Ces informations sont échangées entre deux nœuds, par exemple le nœud d'origine et le nœud de destination, ou entre un nœud et un élément de réseau tel qu'un processeur BBP; elles servent à produire la table de routage, qui est ensuite utilisée pour déterminer les chemins possibles, qui, à leur tour, sont utilisés pour le choix d'un chemin.

Pour la mise à jour et la synchronisation automatiques des bases de données topologiques, indispensables à la gestion des tables de routage, les réseaux ATM et IP interprètent dès à présent les mécanismes du protocole HELLO pour identifier les liaisons du réseau. Concernant la synchronisation des bases de données topologiques, on utilise le paramètre PTSE dans les réseaux ATM et le paramètre LSA dans des réseaux IP pour mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques. Les paramètres nécessaires à cette fonction sont donc:

- 8) paramètre HELLO: permet d'identifier les liaisons entre les nœuds du réseau;
- 9) paramètre d'élément d'état de topologie (TSE): permet de mettre à jour automatiquement les informations sur les nœuds, les liaisons et les adresses accessibles dans les bases de données topologiques.

Ces paramètres d'échange d'informations sont déjà utilisés dans les réseaux ATM et IP et leur utilisation doit être étendue aux réseaux TDM.

Les paramètres suivants sont nécessaires pour la fonction de demande d'état et de recommandation de routage:

- 10) paramètre RQE (élément de demande de routage): contient une demande d'état de la liaison entre un nœud d'origine et un nœud de destination ou entre un nœud d'origine et un processeur BBP et/ou une demande d'état de nœud;
- 11) paramètre RSE (élément d'état de routage): contient des informations d'état de la liaison entre un nœud et un processeur BBP ou entre un nœud de destination et un nœud d'origine et/ou des informations d'état de nœud;
- 12) paramètre RRE (élément de recommandation de routage): contient une recommandation de routage entre un processeur BBP et un nœud.

Ces paramètres d'échange d'informations sont en cours de normalisation dans le cadre des Recommandations UIT-T E.350 et E.351 [E.350], [E.351] et leur utilisation doit être étendue aux réseaux ATM et IP.

Le Tableau 1 montre que, dans les réseaux RTPC/TDM, il faudra introduire un paramètre TSE et mettre au point des méthodes de mise à jour de topologie utilisant ce paramètre. Lorsque ce sera le cas, les paramètres HELLO et TSE/PTSE/LSA permettront d'avoir une méthode normalisée de mise à jour de topologie pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

Le Tableau 1 montre qu'il faudra introduire dans les réseaux TDM un paramètre RSE qui soit compatible avec le paramètre PTSE des réseaux ATM et le paramètre LSA des réseaux IP. Il faudra en outre mettre au point pour les réseaux TDM [E.350], [E.351] des méthodes de mise à jour d'état utilisant ce paramètre. Lorsque ce sera le cas, les paramètres RSE/PTSE/LSA permettront d'avoir une méthode normalisée de mise à jour d'état pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

Le Tableau 1 montre que, dans les réseaux ATM, IP, RTPC/ATM et RTPC/IP, il faudra introduire un paramètre RQE et mettre au point des méthodes de demande d'état utilisant ce paramètre. Lorsque ce sera le cas, le paramètre RQE permettra d'avoir une méthode normalisée de demande d'état pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

Le Tableau 1 montre que, dans les réseaux ATM, IP, RTPC/ATM et RTPC/IP, il faudra introduire un paramètre RRE et mettre au point des méthodes de recommandation de routage utilisant ce paramètre. Lorsque ce sera le cas, le paramètre RRE permettra d'avoir une méthode normalisée de recommandation de routage pour l'interfonctionnement des réseaux TDM, ATM et IP.

8.5 Harmonisation des normes relatives à l'échange d'informations

L'harmonisation des normes relatives à l'échange d'informations est nécessaire pour les deux cas représentés dans les deux colonnes de droite du Tableau 1, à savoir le cas des RTPC intégrant la technologie ATM et celui des RTPC intégrant la technologie IP. Les normes harmonisées s'appliquent, par exemple, au cas où des RTPC tels que le réseau B et le réseau C de la Figure 3/E.360.1 intègrent la technologie IP ou ATM. Si l'on suppose que le réseau B est un RTPC intégrant la technologie IP, il faut appliquer des méthodes de routage établies et des méthodes d'échange d'informations compatibles. Ceci aura des effets sur les recommandations tant de l'UIT-T que de l'IETF s'appliquant aux fonctions concernées de routage et d'échange d'informations.

Il est nécessaire de soumettre à l'IETF et au Forum ATM des contributions traitant:

- a) de la fonctionnalité requise de conversion de numéro/routage, notamment de la prise en charge des paramètres d'adresse de routage de réseau international et d'adresse IP;
- b) de la fonctionnalité requise d'échange d'informations pour la gestion des tables de routage, notamment des méthodes de demande d'état et de recommandation de routage;
- c) de la fonctionnalité requise d'échange d'informations pour le choix de chemin, notamment du routage en fonction du temps et du routage en fonction des événements.

8.6 Interface de programmation d'application (API) ouverte pour le routage

Des interfaces de programmation d'application (API, *application programming interface*) permettant de contrôler les éléments de réseau par le biais d'interfaces ouvertes mises à la disposition de chaque application sont en cours de développement. Les interfaces API permettent aux applications d'avoir accès et de contrôler les fonctions de réseau (y compris la politique de routage, selon les besoins), compte tenu des fonctions d'application spécifiques. Les paramètres API contrôlés par les applications, ceux spécifiés par exemple dans le Document [PARLAY], sont indépendants des protocoles pris en charge dans le réseau et peuvent donc offrir un langage et un cadre communs dans divers types de réseau tels que TDM, ATM et IP.

Les paramètres de signalisation/échange d'informations associés à la gestion de connectivité qui sont spécifiés dans le présent paragraphe et qui nécessitent un contrôle par le biais d'une interface d'application sont les suivants: QoS-PAR, TRAF-PAR, DTL/ER, DoS, MOD, DIFFSERV, E.164-AESA, INRA, CIC et peut-être d'autres. Les paramètres de signalisation/échange d'informations associés à la politique de routage qui sont spécifiés dans le présent paragraphe et qui nécessitent un contrôle par le biais d'une interface d'application sont les suivants: TSE, RQE, RRE et peut-être d'autres. Ces paramètres doivent être spécifiés dans le cadre de l'interface API ouverte pour la fonctionnalité de routage; ainsi, les applications pourront avoir accès et contrôler la fonctionnalité de routage au sein du réseau, indépendamment du ou des protocoles de routage utilisés dans le réseau.

9 Exemples de routage interréseau

Dans le présent paragraphe, on considère un réseau constitué de divers sous-réseaux utilisant des protocoles de routage différents. Considérons, comme à la Figure 2, un réseau comportant quatre sous-réseaux désignés respectivement par A, B, C et D, utilisant chacun un protocole de routage différent. Dans cet exemple, le réseau A est un réseau ATM utilisant le choix de chemin PNNI EDR, le réseau B est un réseau TDM utilisant le choix de chemin SDR périodique centralisé, le réseau C est un réseau IP utilisant le choix de chemin MPLS EDR et le réseau D est un réseau TDM utilisant le choix de chemin TDR. L'interréseau E, défini par les nœuds ombrés de la Figure 2, forme un réseau virtuel dans lequel se produit l'interfonctionnement effectif des réseaux A, B, C et D.

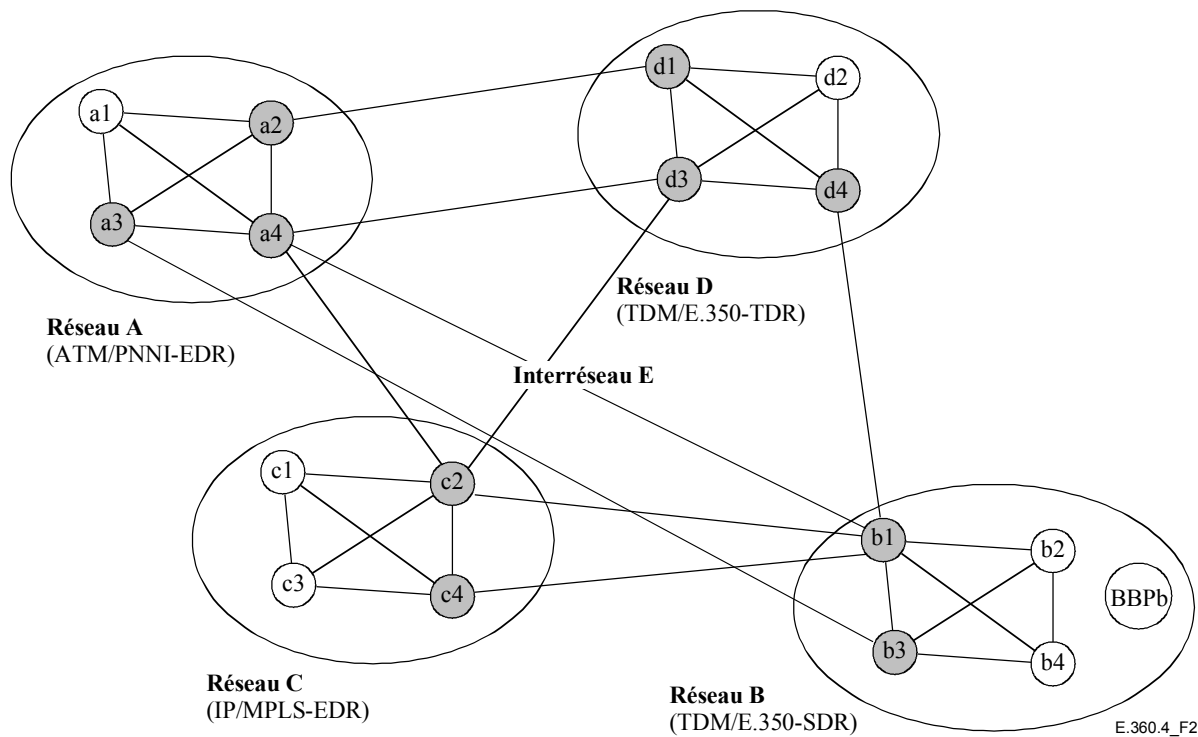


Figure 2/E.360.4 – Exemple de scénario de routage avec interréseau

BBPb représente un processeur de courtier pour la largeur de bande utilisé dans le réseau B dans le cadre d'une méthode de routage SDR périodique centralisée. Les nœuds ombrés constituent l'interréseau E permettant de router les demandes de connexion/d'attribution de largeur de bande entre les réseaux A, B, C et D

9.1 L'interréseau E utilise une méthode mixte de choix de chemin

L'interréseau E peut utiliser diverses méthodes de choix de chemin concernant la distribution des demandes de connexion/d'attribution de largeur de bande aux sous-réseaux A, B, C et D. Il peut, par exemple, utiliser une méthode mixte de choix de chemin dans laquelle chaque nœud de l'interréseau E utilise la méthode de choix de chemin propre au sous-réseau auquel il appartient. Considérons une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande provenant du nœud a1 du réseau A et destiné au nœud b4 du réseau B. Le nœud a1 route tout d'abord la demande vers le nœud a3 ou a4 du réseau A en utilisant le choix de chemin EDR. A cet effet, le nœud a1 tente d'abord de router la demande sur la liaison directe a1-a4 et, si l'on suppose que la largeur de bande de cette liaison n'est pas disponible, choisit ensuite le chemin donnant alors satisfaction, soit a1-a3-a4, et achemine la demande au nœud a4 en passant par le nœud a3. Pour cela, les nœuds a1 et a3 mettent le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine a1, le nœud intermédiaire a3 et le nœud de destination a4) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande.

Le nœud a4 route alors la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande vers le nœud b1 du sous-réseau B en utilisant le choix de chemin EDR. A cet effet, le nœud a4 essaie d'abord de router la demande en question sur la liaison directe a4-b1 et, si l'on suppose que la largeur de bande de cette liaison n'est pas disponible, choisit ensuite le chemin donnant alors satisfaction, soit a4-c2-b1, et achemine la demande au nœud b1 en passant par le nœud c2. Pour cela, le nœud a4 et le nœud c2 mettent le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine a4, le nœud intermédiaire c2 et le nœud de destination b1) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande.

Si le nœud c2 constate que la largeur de bande disponible sur la liaison c2-b1 n'est pas suffisante, il renvoie le contrôle de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud a4 et, pour cela, utilise le paramètre CBK/BNA de l'élément d'information de libération de connexion. Si le nœud a4 constate, quant à lui, que la liaison d4-b1 dispose d'une largeur de bande libre suffisante signalée dans le paramètre RSE de l'élément d'information de réponse d'état provenant du nœud b1, il peut faire une tentative sur le chemin a4-d3-d4-b1 allant au nœud b1. Dans ce cas, le nœud a4 achemine la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud d3 sur la liaison a4-d3, et le nœud d3 reçoit le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine a4, les nœuds intermédiaires d3 et d4 ainsi que le nœud de destination b1) ainsi que le paramètre DoS dans l'élément d'information d'établissement de connexion. Le nœud d3 tente alors de saisir la largeur de bande libre sur la liaison d3-d4 et, en supposant que celle-ci soit suffisante, achemine la demande au nœud d4 avec le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine a4, les nœuds intermédiaires d3 et d4 ainsi que le nœud de destination b1) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion. Le nœud d4 achemine ensuite la demande au nœud b1 sur la liaison d4-b1 qui, comme cela a été déterminé précédemment, dispose d'une largeur de bande libre suffisante. Toutefois, si celle-ci est insuffisante, le nœud d3 renvoie le contrôle de l'appel au nœud a4 et, pour cela, utilise le paramètre CRK/BNA de l'élément d'information de libération de connexion. A ce stade, le nœud a4 peut faire une tentative sur un autre chemin multiliasion tel que a4-a3-b3-b1, en utilisant ensuite la même procédure que pour le chemin a4-d3-d4-b1.

Le nœud b1 route alors la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud b4 du réseau B en utilisant le choix de chemin SDR périodique centralisé. A cet effet, le nœud b1 tente tout d'abord de router la demande en question sur la liaison directe b1-b4 et, si l'on suppose que la largeur de bande de cette liaison n'est pas disponible, choisit ensuite le chemin à deux liaisons b1-b2-b4, qui est le chemin de remplacement alors recommandé dans le paramètre RRE provenant du processeur BBPb pour le réseau B. Pour établir ses recommandations de déroutage, le processeur BBPb se fonde sur les informations d'état de liaison et de trafic figurant dans les paramètres RSE qu'il reçoit périodiquement (par exemple toutes les dix secondes) en provenance de chaque nœud du réseau B. Compte tenu des informations d'état, le processeur BBPb choisit le chemin à deux liaisons b1-b2-b4 et envoie périodiquement (par exemple, toutes les dix secondes) cette recommandation de chemin de remplacement dans le paramètre RRE au nœud b1. Celui-ci achemine alors la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud b4 via le nœud b2. Pour cela, le nœud b1 et le nœud b2 mettent le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine b1, le nœud intermédiaire b2 et le nœud de destination b4) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande.

Une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande du nœud b4 du réseau B au nœud a1 du réseau A serait traitée de manière très analogue à la demande de a1 à b4, à cela près que toutes les étapes ci-dessus s'effectueraient dans l'ordre inverse. La différence se situerait au niveau du routage de la demande du nœud b1 du réseau B au nœud a4 du réseau A. En effet, comme le réseau virtuel E utilise une méthode mixte de choix de chemin, le routage de la demande de b1 à a4 serait fondé sur le choix de chemin SDR périodique centralisé, étant donné que le nœud b1 se trouve dans le réseau B et que c'est cette méthode qui est utilisée dans le réseau B. Le nœud b1 tente tout d'abord de router la demande sur la liaison directe b1-a4 et, si l'on suppose que la largeur de bande de cette liaison n'est pas disponible, choisit ensuite le chemin à deux liaisons b1-c2-a4, qui est le chemin de remplacement alors recommandé dans le paramètre RRE provenant du processeur BBPb pour le réseau virtuel E. Pour établir ses recommandations de déroutage, le processeur BBPb se fonde sur les informations d'état de liaison et de trafic figurant dans les paramètres RSE qu'il reçoit périodiquement (par exemple, toutes les dix secondes) en provenance de chaque nœud du sous-réseau virtuel E. Compte tenu des informations d'état, le processeur BBPb choisit le chemin à deux liaisons b1-c2-a4 et envoie périodiquement (par exemple, toutes les dix secondes) cette

recommandation de chemin de remplacement dans le paramètre RRE au nœud b1. Celui-ci achemine alors la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud a4 via le nœud intermédiaire c2. Pour cela, les nœuds b1 et c2 mettent le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine b1, le nœud intermédiaire c2 et le nœud de destination a4) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande.

Si le nœud c2 constate que la largeur de bande disponible sur la liaison c2-a4 n'est pas suffisante, il renvoie le contrôle de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud b1 et, pour cela, utilise le paramètre CRK/BNA de l'élément d'information de libération de connexion. Si le nœud b1 constate, quant à lui, que le chemin b1-d4-d3-a4 a une largeur de bande libre suffisante, signalée dans le paramètre RSE des éléments d'information d'état envoyés au BBPb, il peut tenter d'utiliser le chemin b1-d4-d3-a4 allant au nœud a4. Dans ce cas, le nœud b1 achemine la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande au nœud d4 sur la liaison b1-d4, et le nœud d4 reçoit le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine b1, les nœuds intermédiaires d4 et d3 ainsi que le nœud de destination a4) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion. Le nœud d4 tente alors de saisir la largeur de bande libre sur la liaison d4-d3 et, en supposant que celle-ci soit suffisante, achemine la demande au nœud d3 avec le paramètre DTL/ER (identifiant le nœud d'origine b1, les nœuds intermédiaires d4 et d3 ainsi que le nœud de destination a4) ainsi que les paramètres QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS et DIFFSERV dans l'élément d'information d'établissement de connexion. Le nœud d3 achemine ensuite la demande au nœud a4 sur la liaison d3-a4 qui devrait, étant donné les informations d'état figurant dans les paramètres RSE, avoir une largeur de bande libre suffisante. Toutefois, si celle-ci est insuffisante, le nœud d3 renvoie le contrôle de l'appel au nœud b1 et, pour cela, utilise le paramètre CRK/BNA de l'élément d'information de libération de connexion. A ce stade, le nœud b1 peut faire une tentative sur un autre chemin multiliasion, tel que b1-b3-a3-a4, en utilisant la même procédure que pour le chemin b1-d4-d3-a4.

L'attribution des paramètres de performance de bout en bout sur l'ensemble des réseaux est traitée au § 9/I.356. Un exemple en est l'attribution du temps de transfert maximal à chacun des composants de réseau d'une connexion de bout en bout (portions nationales, portions internationales, etc.).

9.2 L'interréseau E utilise une méthode unique de choix de chemin

L'interréseau E peut aussi utiliser une méthode unique de choix de chemin concernant la distribution des demandes de connexion/d'attribution de largeur de bande aux réseaux A, B, C et D. Il peut, par exemple, implémenter une méthode de choix de chemin dans laquelle chaque nœud de l'interréseau E utilise le routage EDR. Dans ce cas, l'exemple de la demande de connexion/d'attribution de largeur de bande du nœud a1 du réseau A au nœud b4 du réseau B serait le même que celui décrit ci-dessus. Une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande du nœud b4 du réseau B au nœud a1 du réseau A serait traitée de la même façon que la demande de a1 à b4, sauf que toutes les étapes s'effectueraient dans l'ordre inverse. Dans ce cas, pour le routage de la demande du nœud b1 du réseau B au nœud a4 du réseau A, on utiliserait également la méthode EDR, utilisée dans le cas de la demande de a1 à b4 décrit ci-dessus.

10 Conclusions et recommandations

Les conclusions et les recommandations auxquelles aboutit la présente Recommandation sont les suivantes:

- 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.

Annexe A

Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Dans la présente annexe, est utilisé à nouveau le modèle de réseau national en grandeur réelle présenté dans la Rec. UIT-T E.360.2 pour étudier divers scénarios d'ingénierie du trafic et divers compromis. Le modèle de réseau national à 135 nœuds est illustré dans la Figure A.1/E.360.2, le modèle de trafic multiservice est résumé dans le Tableau A.1/E.360.2 et le modèle de coûts est résumé dans le Tableau A.2/E.360.2.

Comme on a pu le voir, la gestion de table de routage comporte bon nombre de possibilités et de compromis, notamment:

- la commande centralisée ou répartie de table de routage;
- la commande préplanifiée ou en ligne de table de routage;
- la gestion de trafic par flux ou par réseau virtuel;
- la topologie logique à maillage peu dense ou à maillage dense;
- le choix du chemin par routage fixe, routage TDR, routage SDR ou routage EDR;
- le choix de chemin multiliason ou à deux liaisons;
- le choix de chemin en fonction d'informations d'état locales ou d'informations d'état globales;

- différentes possibilités de diffusion des informations d'état globales: inondation du réseau par des informations d'état, demande répartie d'informations d'état ou informations d'état centralisées dans un processeur de courtier pour la largeur de bande.

Nous étudions ici les compromis en termes de nombre d'éléments d'information et de paramètres échangés, par type, dans divers scénarios d'ingénierie du trafic. Cette méthode donne quelques indications sur les exigences en termes de processeur et de volume d'informations échangées pour la prise en charge de la gestion des tables de routage dans diverses situations. Nous examinons en particulier les cas suivants:

- le routage DC-SDR à deux liaisons;
- le routage STT-EDR à deux liaisons;
- le routage CP-SDR multiliasion;
- le routage DP-SDR multiliasion;
- le routage DC-SDR multiliasion;
- le routage STT-EDR multiliasion.

Les Tableaux A.1 et A.2 récapitulent, respectivement pour les divers cas de choix de chemin SDR et pour les divers cas de choix de chemin STT, les résultats comparatifs d'une simulation dans laquelle on a utilisé le modèle de réseau multiservice à 135 nœuds et on s'est placé dans le cas d'une surcharge générale du réseau de 30% pendant l'heure de pointe.

Tableau A.1/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec attribution de largeur de bande par flux et routage SDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une surcharge générale de 30% pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	DC-SDR à deux liaisons	CP-SDR multiliasion	DP-SDR multiliasion	DC-SDR multiliasion
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	21 511 629	21 511 629	21 511 629	21 511 629
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	24 009 586	21 511 629	21 511 629	21 511 629
	CBK/BNA	287 288	0	0	0
Gestion de table de routage	TSE		48 600	14 405 040	
	RSE	1 651 497			0
	RQE	1 651 497			0
	RRE		48 600		

Tableau A.2/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec routage STT-EDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une surcharge générale de 30% pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	STT-EDR à deux liaisons (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par réseau virtuel)
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	21 511 629	21 511 629	21 511 629
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	32 093 788	21 511 629	3 159 027
	CBK/BNA	2 197 414	0	0
Gestion de table de routage	TSE			
	RSE			
	RQE			
	RRE			

Les Tableaux A.3 et A.4 récapitulent respectivement pour les divers cas de choix de chemin SDR et pour les divers cas de choix de chemin STT, les résultats comparatifs d'une simulation dans laquelle on a utilisé le modèle de réseau multiservice à 135 nœuds et on s'est placé dans le cas d'une surcharge ponctuelle égale à 6 fois la charge normale sur le nœud OKBK pendant l'heure de pointe du réseau.

Tableau A.3/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec attribution de largeur de bande par flux et routage SDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une surcharge ponctuelle égale à 6 fois la charge normale sur le nœud OKBK pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	DC-SDR à deux liaisons	CP-SDR multiliasion	DP-SDR multiliasion	DC-SDR multiliasion
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	18 758 992	18 758 992	18 758 992	18 758 992
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	19 390 137	18 469 477	18 469 477	18 829 782
	CBK/BNA	103 885	30 459	30 459	10 899
Gestion de table de routage	TSE		48 600	14 405 040	
	RSE	1 072 869			1 507 684
	RQE	1 072 869			1 507 684
	RRE		48 600		

Tableau A.4/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec routage STT-EDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une surcharge ponctuelle égale à 6 fois la charge normale sur le nœud OKBK pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	STT-EDR à deux liaisons (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par réseau virtuel)
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	18 758 992	18 758 992	18 758 992
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	164 677 262	18 839 216	2 889 488
	CBK/BNA	134 077 188	12 850	14 867
Gestion de table de routage	TSE			
	RSE			
	RQE			
	RRE			

Les Tableaux A.5 et A.6 récapitulent respectivement pour les divers cas de choix de chemin SDR et pour les divers cas de choix de chemin STT, les résultats comparatifs d'une simulation dans laquelle on a utilisé le modèle de réseau multiservice à 135 nœuds et on s'est placé dans le cas d'une panne sur la liaison CHCG-NYCM pendant l'heure de pointe du réseau.

Tableau A.5/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec attribution de largeur de bande par flux et routage SDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une panne sur la liaison CHCG-NYCM pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	DC-SDR à deux liaisons	CP-SDR multiliasion	DP-SDR multiliasion	Fonction d'ingénierie du trafic
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	16 547 302	16 547 302	16 547 302	16 547 302
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	16 735 827	16 561 929	16 561 929	16 561 929
	CBK/BNA	7894	64 519	64 519	64 519
Gestion de table de routage	TSE		48 600	14 405 040	
	RSE	277 796			1 653 869
	RQE	277 796			1 653 869
	RRE		48 600		

Tableau A.6/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec routage STT-EDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une panne sur la liaison CHCG-NYCM pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	STT-EDR à deux liaisons (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par réseau virtuel)
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	16 547 302	16 547 302	16 547 302
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	16 770 061	16 652 418	2 790 003
	CBK/BNA	22 685	64 519	13 957
Gestion de table de routage	TSE			
	RSE			
	RQE			
	RRE			

Les Tableaux A.7 à A.9 récapitulent les résultats comparatifs dans le cas du choix de chemin STT pour le modèle de réseau hiérarchique montré à la Figure A.5/E.360.2, respectivement pour une surcharge générale de 30%, une surcharge ponctuelle égale à 6 fois la charge normale et une panne sur une liaison. Ils contiennent à la fois le cas de l'attribution de largeur de bande par flux et celui de l'attribution par réseau virtuel.

Tableau A.7/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec routage STT-EDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés pour une surcharge générale de 30% pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice hiérarchique à 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR (attribution de largeur de bande par réseau virtuel)
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	21 511 629	21 511 629
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	21 511 629	3 161 371
	CBK/BNA	0	0
Gestion de table de routage	TSE		
	RSE		
	RQE		
	RRE		

Tableau A.8/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec routage STT-EDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une surcharge ponctuelle égale à 6 fois la charge normale sur le nœud OKBK pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice hiérarchique à 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par réseau virtuel)
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	18 758 992	18 758 992
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	18 758 992	3 037 552
	CBK/BNA	140 098	138 896
Gestion de table de routage	TSE		
	RSE		
	RQE		
	RRE		

Tableau A.9/E.360.4 – Paramètres de signalisation et d'élément d'information échangés pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic avec routage STT-EDR – Nombre de paramètres d'élément d'information échangés dans le cas d'une panne sur la liaison CHCG-NYCM pendant l'heure de pointe du réseau (modèle de réseau multiservice hiérarchique à 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux)

Fonction d'ingénierie du trafic	Paramètres d'élément d'information (IE)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par flux)	STT-EDR multiliasion (attribution de largeur de bande par réseau virtuel)
Routage d'appel et de connexion	E.164-AESA, INRA, IP-ADR, CIC	16 547 302	16 547 302
Gestion des ressources en fonction de la QS	DTL/ER, QoS-PAR, TRAF-PAR, DoS, MOD	16 712 295	2 809 705
	CBK/BNA	165 603	41 539
Gestion de table de routage	TSE		
	RSE		
	RQE		
	RRE		

Les Tableaux A.1 à A.9 présentent les avantages potentiels des méthodes de routage EDR concernant la réduction de la quantité d'informations liées à la gestion de table de routage. Dans la Rec. UIT-T E.360.3, nous nous sommes intéressés à l'application des méthodes de routage EDR à la gestion des ressources de QoS, dans laquelle la commande d'admission de connexion/d'attribution de largeur de bande pour chaque liaison du chemin est effectuée sur la base de l'état local de la liaison. Autrement dit, le nœud d'origine choisit n'importe quel chemin pour lequel la première liaison est permise en vertu de critères de gestion des ressources de QS. Chaque nœud intermédiaire vérifie ensuite l'état local des liaisons spécifiées dans le paramètre ER par rapport au paramètre DoS. Si la liaison subséquente n'est pas permise, on utilise un message de libération avec le paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible pour revenir au nœud d'origine, qui peut alors choisir un autre chemin. Ainsi, l'utilisation de cette méthode de routage EDR, faisant appel au message de libération avec paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible pour rechercher un chemin disponible, est une alternative à l'utilisation de méthodes de routage SDR, qui peuvent nécessiter la diffusion des paramètres d'état de liaison changeant fréquemment, par exemple le débit cellulaire disponible.

Une stratégie de "routage à moindre charge" fondée sur le débit disponible sur chaque liaison d'un chemin est utilisée dans les méthodes de routage dynamique SDR présentées dans les tableaux ci-dessus; il s'agit d'une implémentation bien connue et efficace du routage dynamique. De telles méthodes SDR ont été utilisées dans plusieurs grands réseaux dans lesquels des méthodes efficaces sont utilisées pour diffuser les informations d'état de largeur de bande de liaison disponible, par exemple la méthode de demande d'état utilisant les paramètres RQE et RRE. Néanmoins, lorsqu'on utilise des techniques d'inondation comme celles qui font appel au paramètre TSE pour la diffusion de l'état des liaisons, l'obtention des informations sur la largeur de bande de liaison disponible nécessite une grande quantité d'informations de gestion. Cela apparaît clairement dans les Tableaux A.1 à A.9. On peut alors se tourner vers les méthodes de routage EDR présentées ci-dessus, qui ne requièrent pas la diffusion dynamique des informations de débit disponible. L'utilisation du routage EDR avec retour en arrière à la place du routage SDR avec diffusion de l'état des liaisons permet d'avoir des groupes homologues de plus grande taille. En effet, la diffusion de l'état de liaison peut nécessiter beaucoup de ressources au niveau des processeurs (traitement des messages) et des liaisons (largeur de bande utilisée). L'utilisation du paramètre de retour en arrière/largeur de bande indisponible constitue donc une alternative à l'utilisation de l'algorithme de diffusion d'état des liaisons pour faire en sorte que le nœud d'origine puisse déterminer les liaisons subséquentes du chemin qui seront autorisées.

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