



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.360.2

(05/2002)

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

Plan d'acheminement international

**Routage en fonction de la qualité de service et
méthodes associées d'ingénierie du trafic –
Méthodes de routage d'appel et de routage de
connexion**

Recommandation UIT-T E.360.2

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.360.2

Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de routage d'appel et de routage de connexion

Résumé

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

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

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

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

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

Source

La Recommandation E.360.2 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	Méthodes de routage d'appel 2
6	Méthodes de routage de connexion (de chemin support) 3
7	Choix de chemin fondé sur le routage fixe (FR) hiérarchique 7
8	Choix de chemin fondé sur le routage en fonction du temps (TDR)..... 9
9	Choix de chemin fondé sur le routage en fonction de l'état (SDR) 11
10	Choix de chemin fondé sur le routage en fonction des événements (EDR) 13
11	Routage interdomaine 14
12	Conclusions/recommandations 17
Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic 19	
A.1	Comparaisons de conceptions réseau 27
A.2	Comparaisons en termes de performance de réseau 29
A.3	Topologie de réseau non hiérarchique à zone unique et topologie de réseau hiérarchique à deux niveaux et à zones multiples 33
A.4	Conclusions sur la modélisation de réseau 35

Introduction

Dans la présente Recommandation, on distingue le "routage d'appel" et la signalisation pour l'établissement d'appel du "routage de connexion (ou de chemin support)" et de la signalisation pour l'établissement de canal support. Les protocoles de routage d'appel permettent principalement de convertir un numéro ou un nom, transmis au réseau, dans le cadre d'un établissement d'appel, en une adresse de routage nécessaire à l'établissement de connexion (de chemin support). Les protocoles de routage d'appel sont décrits par exemple dans le document [Q.2761] relatif à la signalisation d'appel par sous-système utilisateur RNIS à large bande (B-ISUP, *broadband ISDN user part*), dans le document [ATM990048] relatif à la commande d'appel indépendante du support (BICC, *bearer-independent call control*), au partage virtuel et à la signalisation d'appel, dans le document [H.323] relatif à la signalisation d'appel H.323, dans le document [GR99] relatif à la commande de passerelle média, dans le document [RFC2805] relatif à la signalisation d'appel ou dans le document [HSSR99] relatif à la signalisation d'appel du protocole de lancement de session (SIP, *session initiation protocol*). Pour ce qui est des protocoles de routage de connexion, on se reportera par exemple au document [Q.2761] relatif à la signalisation B-ISUP, au document [ATM960055] relatif à la signalisation à l'interface réseau-réseau privée (PNNI, *private network-network interface*), au document [ATM960061] relatif à la signalisation à l'interface utilisateur-réseau (UNI, *user-network interface*), au document [DN99] relatif à la signalisation pour les conduits virtuels commutés (SVP, *switched virtual path*) et au document [J00] relatif à la signalisation du protocole de distribution d'étiquettes pour un routage fondé sur des contraintes (CRLDP, *constraint-based routing label distribution protocol*).

Une méthode spécifique de routage de connexion ou de chemin support est caractérisée par la table de routage utilisée. Celle-ci se compose d'un ensemble de chemins (route) et de règles visant à choisir l'un des chemins pour une demande de connexion donnée. Lorsqu'une demande de connexion aboutit à un nœud d'origine (ON, *originating node*), appliquant la méthode de routage, ledit nœud suit les règles de choix de chemin associées à la table de routage pour la connexion, afin de déterminer un chemin choisi parmi les chemins possibles de la route. Pour chacune des méthodes de routage, le chemin choisi pour la demande de connexion est régi par les règles de routage de connexion ou de choix de chemin. Plusieurs méthodes de choix de chemin sont examinées, en fonction du type de routage utilisé: routage fixe (FR, *fixed routed*), routage en fonction du temps (TDR, *time-dependent routing*), routage en fonction de l'état (SDR, *state-dependent routing*) et routage en fonction des événements (EDR, *event-dependent routing*).

Recommandation UIT-T E.360.2

Routage en fonction de la qualité de service et méthodes associées d'ingénierie du trafic – Méthodes de routage d'appel et de routage de connexion

1 Domaine d'application

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

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

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

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

Le routage d'appel nécessite la conversion d'un numéro (ou d'un nom) en une adresse de routage, utilisée par la suite pour l'établissement d'une connexion. Les adresses de routage peuvent comprendre par exemple:

- des adresses de système de terminaison ATM (AESA) E.164 [E.191];
- des adresses de routage de réseau (NRA, *network routing address*) [E.353];
- des adresses IP [S94].

Comme il est indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.4, il est nécessaire de transporter les adresses AESA E.164, les adresses NRA et les adresses IP dans l'élément d'information (IE) "établissement de connexion". Dans ce cas, les adresses AESA E.164, NRA et IP représentent la méthode d'adressage normalisée pour l'interfonctionnement entre les réseaux IP, ATM et TDM. Une autre exigence d'ingénierie du trafic réside dans le transport d'un code d'identification d'appel (CIC, *call identification code*) dans les éléments d'information d'établissement de connexion pour la commande d'appel et pour la commande de support, afin de mettre en corrélation l'établissement de commande d'appel avec l'établissement de commande de support [Q.1901], [ATM990048]. Le transport de ces paramètres supplémentaires dans les éléments d'information d'établissement de connexion par le sous-système utilisateur RNIS (ISUP) du système de signalisation n° 7 (SS7) est assuré par le protocole de commande d'appel indépendante du support (BICC).

Le numéro (ou le nom) devrait donc être converti en une adresse AESA E.164, en une adresse NRA et/ou en une adresse IP. Les formats d'adresse NRA sont traités dans le document [E.353] et les formats d'adresse IP dans le document [S94]. La structure de l'adresse AESA, composée de 20 octets, est illustrée sur la Figure 1a ci-dessous [E.191].

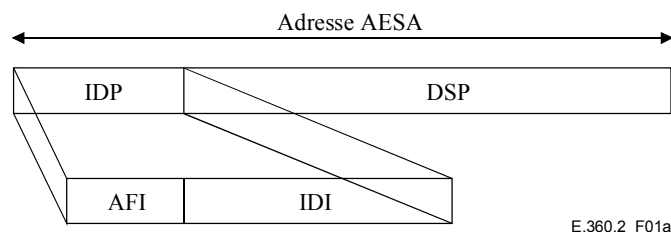


Figure 1a/E.360.2 – Structure de l'adresse AESA

Le champ IDP désigne la partie du domaine initial et le champ DSP la partie propre au domaine. La partie IDP est subdivisée en un identificateur d'autorité et de format (AFI) et un identificateur de domaine initial (IDI). L'IDI peut contenir les 15 chiffres de l'adresse E.164 si l'identificateur AFI est fixé à 45. Celui-ci détermine la méthode d'adressage utilisée. La longueur des champs IDI et DSP

peut varier en fonction de la valeur de l'octet de l'identificateur AFI. L'adresse AESA E.164 sert à déterminer le chemin vers le point d'extrémité de destination. L'adressage AESA E.164 est pris en charge pour des services du RNIS-LB dans des réseaux ATM utilisant l'interface PNNI, au moyen du format de l'adresse AESA ci-dessus. Dans ce cas, la partie E.164 de l'adresse AESA occupe les 8 octets de l'identificateur IDI, les 11 octets du champ DSP pouvant être utilisés à la discrétion de l'exploitant du réseau (éventuellement pour des sous-adresses). La structure d'adresse AESA ci-dessus prend aussi en charge les formats d'adressage d'indicatif de pays pour transmission de données (DCC, *data country code*) et de désignateur de code international (ICD, *international code designator*) de l'adresse AESA.

A l'intérieur du réseau IP, le routage est réalisé au moyen d'adresses IP. Des bases de données de conversion, telles que celles qui sont fondées sur la technique du système de nom de domaine (DNS, *domain name system*) [F00], servent à convertir les numéros/noms E.164 d'appels en adresses IP à des fins de routage sur le réseau IP. La structure de l'adresse IP, composée de 4 octets est illustrée sur la Figure 1b.

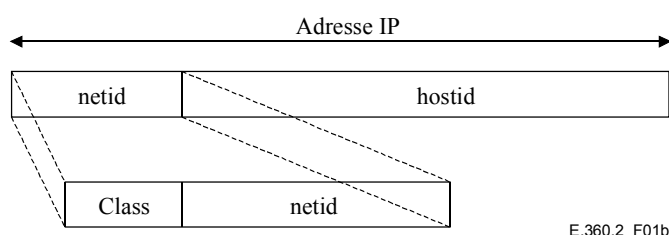


Figure 1b/E.360.2 – Structure d'adresse IP

Il existe cinq classes d'adresses IP. A chaque classe correspond une longueur différente de champ d'identification du réseau. Le routage interdomaine sans classification (CIDR, *classless inter-domain routing*) permet d'affecter des blocs d'adresses à des fournisseurs de services, de manière à obtenir un regroupement efficace d'adresses. Des capacités de protocole BGP4.0 destinées à produire des annonces d'adresses efficaces sont également fournies [RL00], [S94].

6 Méthodes de routage de connexion (de chemin support)

Le routage de connexion est caractérisé par la table de routage utilisée et par les règles de choix d'un chemin de la route pour une demande donnée de connexion ou d'allocation de largeur de bande. Lorsqu'une demande de connexion/d'attribution de largeur de bande est lancée par un nœud d'origine qui met en œuvre la méthode de routage, ledit nœud applique les règles de choix de chemin associées à la table de routage pour la connexion/l'allocation de largeur de bande, afin de trouver un chemin admissible parmi les chemins possibles de la route qui satisfasse à la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande. Pour chacune des méthodes de routage, le chemin choisi est déterminé en fonction des règles associées à la table de routage. Dans un réseau où la connexion/l'allocation de largeur de bande est commandée par l'origine, le nœud d'origine conserve la commande de la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande. Si une procédure "retour en arrière/largeur de bande non disponible" est utilisée, par exemple, par un nœud intermédiaire (VN, *via node*), le nœud précédent conserve la commande de la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande, même si cette demande est bloquée sur toutes les liaisons de départ du nœud intermédiaire.

Il est ici question du routage de connexion de couche Réseau (désigné parfois sous le nom de routage de "couche 3"), par opposition au routage de liaison logique de couche Liaison ("couche 2") et au routage de couche Physique ("couche 1"). Dans la présente Recommandation, on entend

généralement par "liaison" la "liaison logique". La Rec. UIT-T E.360.5 traite du routage de liaison logique.

Les méthodes de routage de connexion de couche Réseau (couche 3) examinées sont notamment traitées dans le cadre:

- du chemin ouvert le plus court en premier (OSPF, *open shortest path first*), du protocole de passerelle frontière (BGP, *border gateway protocol*) et de la commutation par étiquette multiprotocole (MPLS, *multiprotocol label switching*) pour les méthodes de routage fondées sur le protocole IP;
- de l'interface utilisateur-réseau (UNI, *user-to-network interface*), de l'interface réseau-réseau privée (PNNI, *private network-to-network interface*), de l'interface interréseaux ATM (AINI, *inter-network interface*) et de la modification de largeur de bande pour les méthodes de routage fondées sur le mode ATM;
- des Recs UIT-T E.170, E.350 et E.351 pour les méthodes de routage fondées sur la technique TDM.

Dans les réseaux IP, on peut définir des liaisons logiques appelées faisceaux de trafic, qui sont composés de chemins commutés par étiquette (LSP, *label switched path*) multiprotocole entre les nœuds IP. Ces faisceaux de trafic servent à allouer la largeur de bande des liaisons logiques à différentes paires de nœuds. Dans les réseaux ATM, on peut définir des liaisons logiques appelées conduits virtuels (VP, *virtual path*) (l'équivalent des faisceaux de trafic) entre les nœuds ATM, qui peuvent aussi servir à allouer la largeur de bande des liaisons logiques à diverses paires de nœuds. Dans les réseaux TDM, les liaisons logiques sont composées de groupes de faisceaux entre les nœuds TDM.

Comme l'illustre la Figure 2, les réseaux de liaisons logiques à maillage peu dense sont généralement utilisés dans le cas des techniques ATM et IP. Les routages FR, TDR, SDR et EDR peuvent être employés conjointement avec le choix de chemin le plus court à liaisons multiples.

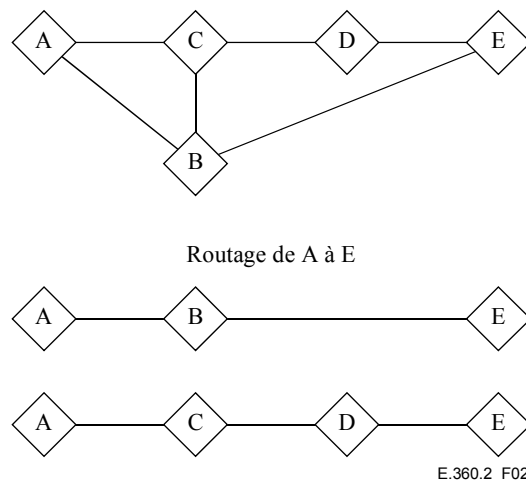


Figure 2/E.360.2 – Topologie de réseau de liaisons logiques à maillage peu dense avec routage de connexion sur des chemins à liaisons multiples

Quant aux réseaux de liaisons logiques à maillage dense, ils sont généralement utilisés dans le cas de la technique TDM, mais aussi, parfois, dans le cas de la technique IP ou ATM. Comme l'illustre la Figure 3, les chemins choisis sont généralement limités à une ou à deux liaisons logiques ou groupes de faisceaux.

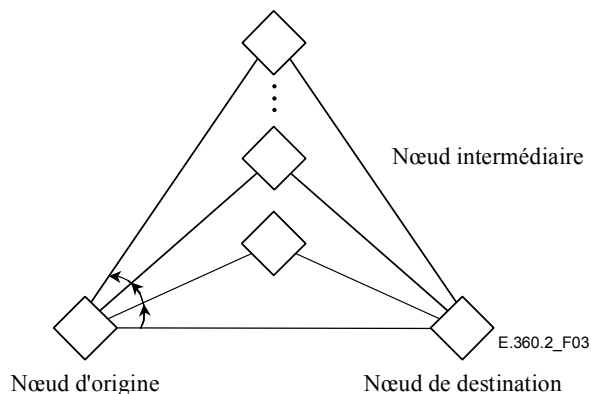


Figure 3/E.360.2 – Topologie de réseau de liaisons logiques à maillage dense avec routage de connexion sur des chemins à 1 ou 2 liaisons

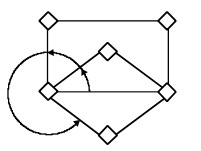
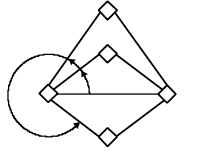
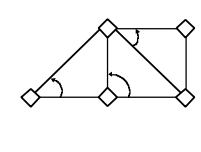
Des chemins peuvent être établis sur des connexions individuelles (ou "par flux") pour chaque demande d'appel, par exemple, comme sur des circuits virtuels commutés (SVC, *switched virtual circuits*), mais aussi pour des demandes d'allocation de largeur de bande associées à des "tuyaux de largeur de bande" ou à des "faisceaux de trafic", par exemple comme sur des conduits virtuels commutés (SVP, *switched virtual path*) dans des réseaux ATM ou sur des chemins commutés par étiquette pour un routage fondé sur des contraintes (CRLSP, *constraint-based routing label switched path*) dans des réseaux IP. Les chemins sont déterminés par des algorithmes (en général propres au fournisseur) qui utilisent les informations de topologie du réseau et d'adresses accessibles. Ces chemins peuvent traverser plusieurs groupes homologues dans des réseaux ATM ou plusieurs systèmes autonomes dans des réseaux IP. Un nœud d'origine peut choisir un chemin dans la table de routage en fonction des règles de routage et des critères de gestion des ressources de QS, décrits dans la Rec. UIT-T E.360.3, qui doivent être respectés sur chaque liaison logique du chemin. Un message de libération avec le paramètre "retour en arrière/largeur de bande non disponible" est utilisé pour signaler au nœud d'origine qu'une liaison n'est pas autorisée en raison des critères de QS et lui renvoyer la demande de connexion/d'allocation de largeur de bande; le nœud d'origine peut alors choisir un autre chemin. Les procédures de gestion de ressources de QS permettent, en plus du contrôle d'allocation de largeur de bande, de vérifier le temps de transfert de bout en bout, la variation de temps de transfert et des critères de qualité de transmission tels que l'affaiblissement, l'écho ou le bruit.

Lorsque le routage source est utilisé, pour établir une demande de connexion/d'allocation de largeur de bande, le nœud d'origine doit indiquer la totalité du chemin choisi, incluant tous les nœuds intermédiaires et le nœud de destination, dans le paramètre "liste de transit désignée" (DTL, *designated-transit-list*) ou "route explicite" (ER, *explicit-route*) de l'élément d'information "établissement de connexion". Si l'un quelconque des nœuds intermédiaires de la connexion n'est pas en mesure de respecter les paramètres de QS ou de trafic pour la demande d'établissement de connexion, ce nœud émet alors un paramètre "retour en arrière (CBK, *crankback*)/largeur de bande non disponible (BNA, *bandwidth-not-available*)" dans l'élément d'information "libération de connexion", ce qui lui permet de renvoyer la commande de la demande de connexion au nœud d'origine en vue d'un nouveau déroulement. Dans la Rec. UIT-T E.360.4, les éléments DTL/ER et CBK/BNA sont indiqués comme nécessaires pour l'interfonctionnement à travers des réseaux IP, ATM et TDM.

Comme mentionné plus haut, les méthodes de routage de connexion ou de choix de chemin peuvent être classées selon les quatre types suivants, en fonction du type de routage utilisé: routage fixe (FR), routage en fonction du temps (TDR, *time-dependent routing*), routage en fonction de l'état

(SDR) et routage en fonction des événements (EDR). Chacune de ces méthodes de choix de chemin est décrite dans les paragraphes qui suivent et représentée dans les Figures 4a et 4b.

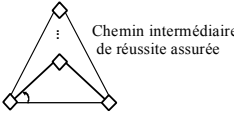
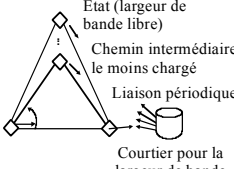
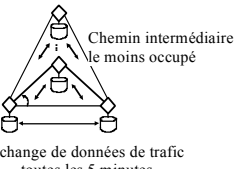
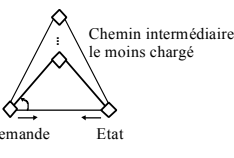
Le routage dynamique permet de modifier dynamiquement les tables de routage, soit hors ligne, à l'avance et en fonction du temps, comme dans le routage TDR, soit en ligne et en temps réel, comme dans le routage SDR ou EDR. Avec les méthodes de choix de chemin TDR hors ligne et à l'avance, les schémas de routage contenus dans les tables de routage peuvent changer toutes les heures ou au moins plusieurs fois par jour, afin de tenir compte des variations de charges de trafic enregistrées d'une heure sur l'autre. En général, les tables de routage TDR changent avec une constante de temps supérieure à la durée de maintien d'un appel/d'un flux du trafic. Une méthode de routage TDR permet généralement de changer de table de routage toutes les heures, ce qui est plus long que la durée de maintien d'un appel vocal/d'un flux de trafic qui n'est en général que de quelques minutes. Trois implémentations de choix de chemin dynamique TDR sont représentés dans la Figure 4a, à savoir, le routage de chemin à liaisons multiples, le routage de chemin à deux liaisons et le routage progressif.

Routage dynamique de chemin à liaisons multiples		<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de chemins à 1 ou 2 liaisons ou à liaisons multiples • Recherche des chemins suivant diverses règles: cycliques, par blocs cycliques (CGH), à saut de chemin, séquentielles • Changement de l'ordre des chemins en fonction de l'heure; le courtier pour la largeur de bande détermine les routes en fonction du trafic • Retour en arrière du nœud intermédiaire au nœud d'origine en cas de blocage
Routage dynamique de chemin à deux liaisons		<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de chemins à 1 ou 2 liaisons • Recherche des chemins suivant diverses règles: cycliques, par blocs cycliques (CGH), à saut de chemin, séquentielles • Changement de l'ordre des chemins en fonction de l'heure; le courtier pour la largeur de bande détermine les routes en fonction du trafic • Retour en arrière du nœud intermédiaire au nœud d'origine en cas de blocage
Routage dynamique progressif		<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de chemins à 1 ou 2 liaisons ou à liaisons multiples • Recherche d'une séquence de liaisons en fonction de la destination au niveau de chaque nœud • Changement de l'ordre de recherche des liaisons en fonction de l'heure au niveau du nœud d'origine; le courtier pour la largeur de bande détermine les routes en fonction du trafic • Retour progressif jusqu'à la destination; pas de retour en arrière ou de retour au nœud précédent

E.360.2_F04a

Figure 4a/E.360.2 – Méthodes de choix de chemin dynamique fondé sur le routage TDR

Les tables de routage TDR sont établies et configurées à l'avance et recalculées éventuellement chaque semaine dans le cadre de la fonction de conception réseau de gestion de la capacité. Le choix dynamique de chemin en temps réel ne dépend pas des tables de routage calculées à l'avance. En fait, le nœud ou le courtier centralisé pour la largeur de bande évalue la charge de trafic immédiate et, si nécessaire, recherche de nouveaux chemins dans le réseau, éventuellement pour chaque flux de trafic. Avec les méthodes de choix de chemin en temps réel, les tables de routage changent avec une constante de temps inférieure ou égale à la durée de maintien d'un appel/flux de trafic. Comme l'illustre la Figure 4b, il existe deux méthodes de choix de chemin en ligne et en temps réel: le routage EDR ou le routage SDR.

<p>Routage en fonction des événements</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Choix du chemin primaire puis du chemin intermédiaire donnant satisfaction • Choix aléatoire d'un nouveau chemin intermédiaire en cas de blocage de l'appel • Méthode STT: permet jusqu'à N retour en arrière pour trouver un chemin intermédiaire donnant satisfaction
<p>Routage en fonction de l'état (centralisé, périodique)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Choix du chemin primaire puis du chemin intermédiaire le moins chargé recommandé par le courtier pour la largeur de bande • Chaque nœud envoie un état de liaison périodique au courtier pour la largeur de bande • Chaque nœud reçoit une mise à jour de routage périodique du courtier pour la largeur de bande
<p>Routage en fonction de l'état (réparti, périodique)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Echange périodique de données de trafic (par exemple, toutes les 5 minutes) • Choix du chemin primaire puis du chemin intermédiaire le moins occupé
<p>Routage en fonction de l'état (réparti, appel par appel)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Choix du chemin primaire puis du chemin intermédiaire le moins chargé sur la base de l'état en temps réel • Le nœud d'origine demande au nœud de destination l'état de liaison • Le routage évolue appel par appel

E.360.2_F04b

Figure 4b/E.360.2 – Méthodes de choix de chemin dynamique fondées sur le routage EDR ou SDR

7 Choix de chemin fondé sur le routage fixe (FR) hiérarchique

Le routage fixe hiérarchique (FR) correspond à une topologie de routage importante qui est employée dans tous les types de réseau, y compris dans les réseaux IP, ATM et TDM. Dans les réseaux IP, il existe souvent une relation hiérarchique entre différentes "zones" ou différents sous-réseaux. Les topologies hiérarchiques à domaines, zones ou systèmes autonomes multiples sont en général utilisées dans le cas de protocoles de routage fondés sur la technique IP (OSPF, BGP) ou ATM (PNNI) et avec presque toutes les topologies de routage fondées sur la technique TDM.

Par exemple, dans la Figure 4c, les nœuds BB1 et BB2 pourraient être des nœuds centraux situés dans une "zone centrale", alors que les nœuds AN1 et AN2 pourraient être des nœuds d'accès situés dans des "zones d'accès" différentes, distinctes de la zone centrale. Le routage entre les différentes zones est régi par un modèle hiérarchique, alors que le routage à l'intérieur d'une même zone est régi par un protocole de passerelle intérieure (IGP, *interior gateway protocol*), tel que OSPF plus MPLS. Dans les réseaux ATM, le même concept existe, mais dans ce cas, les "zones" sont appelées "groupes homologues", le protocole IGP utilisé à l'intérieur de ces groupes pouvant être l'interface PNNI. Dans les réseaux TDM, le routage entre sous-réseaux, tels que des réseaux métropolitains ou des réseaux longue distance, est généralement hiérarchique, comme dans les réseaux IP et ATM. Le protocole IGP des réseaux TDM peut correspondre à un routage hiérarchique ou dynamique. Les paragraphes qui suivent décrivent des attributs et méthodes plus spécifiques au choix de chemin fondé sur le routage FR hiérarchique.

Dans une méthode de routage fixe (FR), le modèle de routage d'une demande de connexion est fixe. Un exemple classique de routage fixe est le déroutage hiérarchique, fondé sur la technique TDM, dans lequel la route et la séquence de choix des chemins sont déterminées à l'avance et conservées pendant une longue durée. Le routage fixe hiérarchique est illustré dans la Figure 4c. Le routage fixe est toutefois utilisé plus efficacement lorsque le réseau est non hiérarchique [A98].

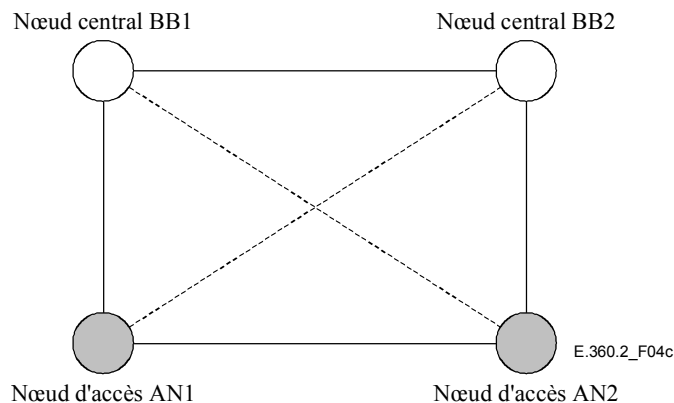


Figure 4c/E.360.2 – Méthodes de choix de chemin fondées sur le routage fixe hiérarchique (réseau hiérarchique à deux niveaux)

L'objectif du routage fixe hiérarchique est d'acheminer le trafic d'une façon aussi rentable que possible sur des liaisons directes entre des paires de nœuds situées en bas de la hiérarchie. Pour cela, on applique des procédures de routage permettant de déterminer où il existe une charge suffisante pour prendre en charge des liaisons logiques à fort trafic, puis on applique les principes de déroutage permettant de regrouper de façon efficace les capacités des liaisons à fort trafic avec celles des liaisons finales, afin que l'ensemble du trafic soit acheminé efficacement.

Le routage de demandes de connexion dans un réseau hiérarchique fait intervenir une échelle au niveau de l'origine, une échelle au niveau de la destination et des liaisons interconnectant les deux échelles. Par exemple, dans un réseau à deux niveaux, l'échelle d'origine correspond à la liaison finale entre le nœud de niveau 1 inférieur et le nœud de niveau 2 supérieur, alors que l'échelle de destination correspond à la liaison finale entre le nœud de niveau 2 supérieur et le nœud de niveau 1 inférieur. Les liaisons AN1-BB2, AN2-BB1 et BB1-BB2 dans la Figure 4c sont des exemples de liaisons interéchelles.

Pour déterminer la liaison interéchelles correcte pour le routage d'une demande de connexion donnée, on identifie le point "de sortie" de l'échelle origine et le point "d'entrée" de l'échelle destination. Une fois que ces points sont identifiés et que les liaisons interéchelles sont connues, un chemin préféré entre l'origine et la destination peut être déterminé.

Différents niveaux de concentration de trafic sont utilisés, afin d'obtenir un équilibre entre transport et commutation. La séquence de routage généralement privilégiée pour les connexions entre AN1 et AN2 est la suivante:

- 1) demande de connexion ne faisant appel à aucun nœud intermédiaire: chemin AN1-AN2 (si la liaison existe);
- 2) demande de connexion faisant appel à un nœud intermédiaire: chemin AN1-BB2-AN2, AN1-BB1-AN2, dans cet ordre;
- 3) demande de connexion faisant appel à deux nœuds intermédiaires: chemin AN1-BB1-BB2-AN2.

Cette procédure permet d'obtenir seulement la liaison interéchelles préférée entre les nœuds AN1 et AN2. Pour les demandes de connexion entre les nœuds AN2 et AN1. Le routage est souvent différent. Pour déterminer la route AN2-AN1, il faut inverser le diagramme. Ainsi, la liaison AN2-BB2 devient l'échelle origine et la liaison AN1-BB1 l'échelle destination. Dans la Figure 4c, le chemin préféré entre AN2 et AN1 est, dans l'ordre, AN2-AN1, AN2-BB1-AN1, AN2-BB2-AN1 et AN2-BB2-BB1-AN1. Le chemin destiné à remplacer toute liaison à fort trafic est le chemin que la charge de trafic entre les nœuds emprunterait si la liaison à fort trafic n'existait pas. Dans la Figure 4c, il s'agit du chemin AN2-BB1-AN1.

8 Choix de chemin fondé sur le routage en fonction du temps (TDR)

Les méthodes de routage en fonction du temps (TDR) sont une variété de routage dynamique dans lequel les tables de routage sont modifiées à un instant fixe de la journée ou de la semaine. Les tables de routage TDR sont déterminées à l'avance et hors ligne, et mises en œuvre de manière systématique sur une période de temps donnée. Elles sont déterminées en tenant compte de la variation de charge de trafic dans le réseau, par exemple, sur la base de mesures de charge horaire. Plusieurs périodes de temps TDR sont utilisées pour diviser les heures d'un jour de travail moyen et du week-end en intervalles de routage contigus, parfois appelés "périodes d'ensemble de charge". Les tables de routage TDR utilisées dans le réseau sont en général coordonnées pour profiter du fait que les heures de pointe associées aux charges de trafic ne coïncident pas.

Les tables de routage TDR sont planifiées à l'avance et conçues hors ligne au moyen d'un courtier pour la largeur de bande centralisé, qui utilise un modèle de conception de réseau TDR. Ce type de modèle est traité dans la Rec. UIT-T E.360.6. Le calcul hors ligne permet de déterminer les meilleures routes parmi un très grand nombre de possibilités, afin de maximiser la capacité utile du réseau et/ou de minimiser les coûts du réseau. Les tables de routage ainsi conçues sont chargées et stockées dans les différents nœuds du réseau TDR, et sont recalculées et mises à jour périodiquement (par exemple, toutes les semaines) par le courtier pour la largeur de bande. Ainsi, un nœud d'origine n'a besoin d'aucune autre information concernant le réseau pour établir les tables de routage TDR, une fois qu'elles ont été chargées. Ceci diffère du processus de conception des tables de routage en ligne et en temps réel, utilisé par les méthodes de routage SDR et EDR décrites plus loin. Les tables de routage TDR peuvent contenir des choix de routage variables en fonction du temps et utiliser un sous-ensemble des chemins disponibles. Les chemins utilisés pendant diverses périodes de temps ne sont pas nécessairement les mêmes.

Les chemins de la table de routage TDR peuvent être les suivants: la liaison directe, un chemin à deux liaisons passant par un seul nœud intermédiaire ou un chemin à liaisons multiples passant par plusieurs nœuds intermédiaires. Le routage de chemin nécessite le choix d'un chemin entier entre le nœud d'origine et le nœud de destination, avant de faire une tentative de connexion sur ce chemin. Si une connexion sur une liaison d'un chemin est bloquée (par exemple, en raison d'une largeur de bande insuffisante), la demande de connexion essaie alors un autre chemin entier. On peut appliquer cette méthode de routage au moyen d'une commande à partir du nœud d'origine et d'une capacité de retour en arrière sur plusieurs liaisons permettant l'utilisation de chemins à plusieurs liaisons. Le retour en arrière est une capacité qui est fondée sur des messages d'échange d'informations et qui permet à une demande de connexion bloquée sur une liaison d'un chemin de revenir au nœud d'origine et d'être routée sur un autre chemin. Le routage chemin à chemin est non hiérarchique; il permet de choisir les chemins les plus rentables, sans se limiter à des chemins hiérarchiques.

Les règles de choix de chemin utilisées par les tables de routage TDR peuvent mettre en œuvre, par exemple, un routage séquentiel simple. Dans la méthode séquentielle, tout le trafic d'une période de temps donnée est offert à une route unique, avec débordement du premier chemin de la route sur un deuxième, qui déborde à son tour sur un troisième, et ainsi de suite. Ainsi, le trafic est routé de

manière séquentielle de chemin à chemin, la route pouvant être modifiée d'heure en heure afin de tenir compte de la nature dynamique, planifiée à l'avance ou en fonction du temps de la méthode TDR.

D'autres règles de choix de chemin peuvent faire appel à des techniques probabilistes pour le choix de chaque chemin de la route et ainsi influencer les flux réels. Une méthode de choix de chemin à liaisons multiples TDR peut, par exemple, consister à allouer des fractions de trafic à des routes et à permettre à ces fractions de varier en fonction du temps. Le choix de chemin cyclique, illustré à la Figure 4a, est une façon de procéder. La première route décrite est (1, 2, ..., M) où la notation (i, j, k) signifie que tout le trafic est offert en premier au chemin i, qui déborde sur le chemin j, qui déborde à son tour sur le chemin k. La deuxième route est obtenue par permutation cyclique de la première route: (2, 3, ..., M, 1). La troisième route est obtenue de la même façon (3, 4, ..., M, 1, 2) et ainsi de suite. Cette méthode présente des avantages sur le plan du calcul. En effet, du fait de sa structure cyclique, le nombre de calculs à effectuer dans le modèle de conception est très faible, comparé à ce qu'il est dans le cas d'un ensemble général de chemins. Le niveau d'encombrement des routes cycliques est identique; ce qui varie d'une route à une autre est la fraction de flux sur les différentes liaisons.

Le choix de chemin TDR à deux liaisons est illustré à la Figure 4a. Un exemple d'implémentation est le choix de chemin TDR séquentiel à deux liaisons (2S-TDR). Au moyen du signal de retour en arrière, le routage 2S-TDR limite les connexions de chemin à deux liaisons au plus. Dans les topologies de réseau à maillage dense, ce choix de chemin séquentiel permet presque autant d'améliorer la performance et l'utilisation du réseau que le choix de chemin TDR à liaisons multiples. Ceci vient du fait que, pour la conception du routage de chemin à liaisons multiples dans les réseaux à maillage dense, 98% du trafic est routé sur des chemins à une ou deux liaisons, même si des chemins plus longs sont autorisés. En raison des coûts de commutation, les chemins à une ou deux liaisons sont généralement moins coûteux que les chemins comportant davantage de liaisons. En conséquence, comme l'illustre la Figure 4a, le routage de chemin à deux liaisons utilise la contrainte de simplification selon laquelle les chemins ne peuvent comporter qu'une ou deux liaisons. Ainsi, seul le retour en arrière sur une seule liaison est nécessaire, aucune liaison commune n'étant utilisée, comme c'est le cas avec le routage de chemin à liaisons multiples. Le routage cyclique – décrit plus haut – et le routage séquentiel sont d'autres méthodes de choix de chemin à deux liaisons.

Dans le routage séquentiel, tout le trafic pendant une heure donnée est offert à une seule route. Le premier chemin est autorisé à déborder sur le deuxième chemin, lequel déborde sur le troisième chemin, et ainsi de suite. Ainsi, le trafic est routé de manière séquentielle de chemin à chemin, sans que des méthodes probabilistes soient employées pour influencer les flux réels. Le routage séquentiel fonctionne bien car la permutation de l'ordre des chemins offre une souplesse suffisante pour obtenir les flux souhaités, sans qu'il soit nécessaire de recourir au routage probabiliste. Dans le routage 2S-TDR, la route séquentielle peut changer d'heure en heure. La nature TDR de la méthode de choix dynamique de chemin est obtenue par l'utilisation de plusieurs routes possibles composées de différentes séquences de chemins, chacun ayant une ou au maximum deux liaisons en cascade.

Les chemins de la table de routage sont soumis aux contraintes de profondeur de recherche (DoS), décrites dans la Rec. UIT-T E.360.3. La profondeur de recherche exige que la largeur de bande disponible sur chaque liaison du chemin soit suffisante pour atteindre un seuil de largeur de bande DoS, qui est indiqué dans le message d'établissement pour chacun des nœuds du chemin. Les contraintes de profondeur DoS permettent d'éviter que des connexions passant par le chemin préféré ou primaire (qui est souvent le plus court) entre le nœud d'origine et le nœud de destination, par exemple, soient submergées par des connexions acheminées par des chemins de remplacement à liaisons multiples.

Un exemple d'établissement de connexion TDR est décrit dans le présent paragraphe. La première étape pour le nœud d'origine consiste à identifier le nœud de destination et les informations de table de routage. Le nœud d'origine vérifie ensuite la capacité libre sur le premier ou le plus court des chemins; ce faisant, il indique à tous les nœuds du chemin les nœuds intermédiaires et le nœud de destination ainsi que le paramètre DoS. Chaque nœud intermédiaire vérifie la largeur de bande disponible sur chaque liaison du chemin en tenant compte du seuil de profondeur DoS. Si la capacité est suffisante, le nœud intermédiaire fait progresser l'établissement de la connexion vers le nœud suivant qui poursuit de même. Dans le cas contraire, le nœud intermédiaire renvoie au nœud d'origine un message de libération contenant le paramètre "retour en arrière/largeur de bande non disponible". Le nœud d'origine fait alors une tentative sur le chemin suivant de la route déterminé par les règles de la table de routage. Comme décrit précédemment, les routes TDR sont planifiées à l'avance, hors ligne puis sont chargées et stockées dans chaque nœud d'origine.

L'allocation du trafic au chemin optimal pendant chaque période de temps se traduit par des avantages sur le plan de la conception, en raison de la non-coïncidence des charges. Etant donné que dans la plupart des applications du réseau, la demande de trafic varie en fonction du temps d'une manière assez prévisible, le routage varie aussi en fonction du temps, afin de maximiser l'utilisation des liaisons et de minimiser les coûts du réseau. Plusieurs périodes de routage TDR sont utilisées pour fractionner les heures d'un jour de travail moyen et de week-end en intervalles de routage contigus. La conception du réseau est réalisée par calcul centralisé et hors ligne dans le courtier pour la largeur de bande. Celui-ci détermine les tables de routage optimales parmi les différentes tables possibles, afin de minimiser les coûts du réseau. En ce qui concerne le choix de chemin TDR, au lieu de déterminer les tables de routage optimales sur la base d'informations en temps réel, un système centralisé de courtier pour la largeur de bande utilise un modèle de conception, tel que celui décrit dans la Rec. UIT-T E.360.6. L'efficacité de la conception dépend de la précision avec laquelle la charge du trafic peut être évaluée. Les erreurs de prévision sont corrigées au cours du processus de gestion à court terme des capacités, ce qui permet de mettre à jour la table de routage en augmentant, chaque fois que cela est possible, la capacité de liaison, comme il est décrit dans la Rec. UIT-T E.360.7.

9 Choix de chemin fondé sur le routage en fonction de l'état (SDR)

Dans la méthode de routage en fonction de l'état (SDR), les tables de routage sont modifiées automatiquement en fonction de l'état du réseau. On implémente les règles de la table de routage pour une méthode SDR donnée, afin de déterminer les chemins possibles en fonction des changements d'état du réseau. Ces règles sont utilisées pendant une période de temps relativement courte. Les informations sur l'état du réseau peuvent être collectées par un processeur centralisé de courtier pour la largeur de bande ou réparties entre les nœuds du réseau. L'échange des informations peut se faire de manière périodique ou à la demande. Les méthodes SDR utilisent le principe de routage des connexions sur le meilleur chemin disponible, sur la base des informations d'état du réseau. Par exemple, la méthode de routage à moindre charge (LLR, *least loaded routing*) consiste à calculer la capacité résiduelle des chemins possibles et à choisir, pour la connexion, le chemin qui dispose de la plus grande capacité résiduelle. Plusieurs niveaux relatifs d'occupation des liaisons peuvent être utilisés pour définir des états de charge de liaison, tels que l'état "peu chargé", l'état "très chargé" ou l'état "largeur de bande non disponible". Les méthodes visant à définir ces états de charge de liaison sont décrites dans la Rec. UIT-T E.360.3. Les méthodes SDR permettent en général de calculer le coût d'un chemin pour chaque demande de connexion en fonction de divers facteurs tels que l'état de charge ou l'état d'encombrement des liaisons dans le réseau.

Les tables de routage SDR sont établies en ligne par le nœud d'origine ou par un processeur centralisé de courtier pour la largeur de bande (BBP, *bandwidth broker processor*), sur la base des informations d'état et de topologie du réseau obtenues par le biais d'un échange d'informations avec

les autres nœuds et/ou par un processeur BBP centralisé. On distingue différents types d'implémentation du routage SDR, selon que:

- a) le calcul des tables de routage est réparti entre les nœuds du réseau ou effectué par un processeur BBP centralisé; ou que
- b) ce calcul est effectué périodiquement ou connexion par connexion.

Ceci conduit à trois mises en œuvre différentes de routage SDR:

- a) routage SDR centralisé périodique (CP-SDR, *centralized periodic SDR*) – le processeur BBP centralisé reçoit périodiquement (par exemple, toutes les 10 secondes) les informations d'état de liaison et de trafic des divers nœuds et calcule périodiquement la table de routage optimale. Pour déterminer la table de routage optimale, le processeur BBP applique une procédure particulière d'optimisation de la table de routage, telle que le routage LLR, et transmet périodiquement (par exemple, toutes les dix secondes) les tables de routage aux nœuds du réseau;
- b) routage SDR réparti périodique (DP-SDR, *distributed periodic SDR*) – chaque nœud du réseau SDR reçoit périodiquement (par exemple, toutes les 5 minutes) les informations d'état de liaison et de trafic de tous les autres nœuds et calcule périodiquement (par exemple, toutes les 5 minutes) la table de routage optimale. Pour déterminer la table de routage optimale, le nœud d'origine applique une procédure particulière d'optimisation de la table de routage, telle que le routage LLR;
- c) routage SDR réparti connexion par connexion (DC-SDR, *distributed connection-by-connection SDR*) – un nœud d'origine du réseau SDR reçoit, connexion par connexion, les informations d'état de liaison et de trafic provenant du nœud de destination et éventuellement de certains nœuds intermédiaires; il calcule la table de routage optimale pour chaque connexion. Pour déterminer la table de routage optimale, le nœud d'origine applique une procédure particulière d'optimisation de la table de routage, telle que le routage LLR.

Dans le choix de chemin DP-SDR, les nœuds peuvent s'échanger les informations d'état et de trafic, par exemple toutes les cinq minutes, entre processeurs de gestion du trafic qui, après avoir analysé ces informations, peuvent choisir de façon dynamique des chemins de remplacement, afin d'optimiser la performance du réseau. Cette méthode est illustrée à la Figure 4b. La technique de l'inondation est généralement utilisée pour la distribution des informations d'état et de trafic. D'autres techniques, pour lesquelles les informations de gestion sont moindres, sont également possibles, comme la méthode d'interrogation concernant l'état (*query-for-status*) décrite dans la Rec. UIT-T E.360.4.

La Figure 4b représente une méthode de choix de chemin CP-SDR, pour laquelle des mises à jour périodiques sont faites sur la base de l'état périodique du réseau. Le choix de chemin CP-SDR permet de prendre des décisions de routage quasiment en temps réel grâce à l'envoi à une base de données du réseau, toutes les cinq minutes, d'une mise à jour de la largeur de bande libre sur chaque liaison. Les tables de routage sont établies à partir de l'analyse des informations d'état, au moyen d'une méthode de choix de chemin visant à utiliser le chemin le plus court si la largeur de bande est disponible. Si le chemin le plus court est occupé (par exemple, si la largeur de bande n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons), on choisit comme deuxième chemin celui sur la liste des chemins possibles dont la largeur de bande libre est la plus grande à l'instant considéré; l'ancien deuxième chemin devient alors le troisième, et ainsi de suite. La mise à jour des chemins se fait, par exemple, toutes les cinq secondes. Le modèle CP-SDR utilise la réservation de largeur de bande activée de façon dynamique et d'autres commandes visant à modifier automatiquement les tables de routage en cas de surcharge ou de défaillance de réseau. Le routage CP-SDR nécessite l'utilisation

de messages d'échange d'informations relatives à l'état du réseau et aux recommandations en matière de routage.

On trouvera à la Figure 4b un exemple de méthode de choix de chemin DC-SDR. Dans cette méthode, les calculs de routage sont répartis entre tous les nœuds du réseau. Le routage DC-SDR repose sur l'échange en temps réel d'informations d'état du réseau, au moyen, par exemple, de messages d'interrogation et d'état, afin de déterminer un chemin optimal parmi un très grand nombre de chemins possibles. Le nœud d'origine essaie en premier le chemin primaire et, si celui-ci n'est pas disponible, cherche un chemin de remplacement optimal en interrogeant le nœud de destination et éventuellement plusieurs nœuds intermédiaires, au moyen de la signalisation réseau de demande d'état, concernant l'état de charge (libre ou occupé) de toutes les liaisons des chemins de remplacement en direction du nœud de destination. Le nœud d'origine cherche ensuite le chemin de remplacement le moins chargé pour router la demande de connexion. Le routage DC-SDR permet de calculer les allocations de largeur de bande requises par réseau virtuel à partir des flux de trafic mesurés par les nœuds, et de réserver la capacité correspondante en fonction des besoins pour chaque réseau virtuel. Le trafic dépassant le flux prévu est routé vers une capacité provisoirement libre empruntée à la capacité réservée à d'autres charges qui se trouvent être inférieures à leurs niveaux prévus. La capacité de liaison libre est communiquée aux autres nœuds au moyen de messages d'échange d'informations de type interrogation et état, comme l'illustre la Figure 4b, et le trafic excédentaire est alloué de façon dynamique à l'ensemble des chemins autorisés qui sont identifiés comme ayant une capacité provisoirement libre. Le routage DC-SDR permet de contrôler le partage de capacité disponible au moyen d'une réservation de largeur de bande dynamique (voir la Rec. UIT-T E.360.3) afin de protéger la capacité nécessaire pour les charges prévues, et de minimiser les pertes de trafic pour les classes de services dépassant leur charge et leur capacité allouée prévues.

Les chemins de la table de routage SDR peuvent être les suivants: liaison directe, un chemin à deux liaisons passant par un seul nœud intermédiaire ou un chemin à liaisons multiples passant par plusieurs nœuds intermédiaires. Ils sont soumis aux contraintes de profondeur de recherche (DoS) sur chaque liaison.

10 Choix de chemin fondé sur le routage en fonction des événements (EDR)

Dans la méthode de routage EDR, les tables de routage sont mises à jour localement compte tenu de l'aboutissement ou non des connexions sur un chemin possible donné. Dans les méthodes EDR avec apprentissage, le chemin essayé en dernier, qui donne satisfaction, est réessayé jusqu'à ce qu'il soit bloqué et qu'un autre chemin soit choisi au hasard et essayé pour la demande de connexion suivante. En outre, les chemins possibles EDR peuvent changer en fonction du temps, compte tenu de l'évolution du trafic. Le choix de chemin EDR de type réussite assurée (STT, *success-to-the top*), illustré à la Figure 4b, est une méthode de choix de chemin en ligne décentralisée, la mise à jour reposant sur un routage aléatoire. Le routage STT-EDR fait appel à une méthode avec apprentissage décentralisée et simplifiée permettant d'obtenir un routage adaptatif souple. S'il est disponible, on utilise d'abord le chemin primaire, le chemin p, puis un chemin de remplacement donnant satisfaction, le chemin s, jusqu'à ce qu'il soit bloqué. Au cas où le chemin s serait bloqué (par exemple, si la largeur de bande n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons), on choisit au hasard un nouveau chemin de remplacement, le chemin n, pour la demande de connexion suivante débordant du chemin primaire. Comme décrit dans la Rec. UIT-T E.360.3, en cas d'encombrement, on utilise une réservation de largeur de bande activée dynamiquement afin de protéger le trafic sur le chemin primaire. Le routage STT-EDR utilise le retour en arrière lorsqu'un chemin de remplacement est bloqué au niveau d'un nœud intermédiaire et la demande de connexion se dirige vers un nouveau chemin aléatoire. Dans le routage STT-EDR, un grand nombre de chemins

possibles peuvent être essayés pour une demande de connexion donnée avant que la demande soit bloquée.

Dans les méthodes EDR avec apprentissage, le chemin de remplacement choisi peut être mis à jour notamment de façon aléatoire ou cyclique, et peut être conservé tant qu'une connexion peut être établie sur le chemin. Ainsi, la table de routage est établie à partir des informations définies au cours de l'établissement de la connexion, aucune information supplémentaire n'étant exigée par le nœud d'origine. Les chemins de la table de routage EDR peuvent être les suivants: la liaison directe, un chemin à deux liaisons passant par un seul nœud intermédiaire ou un chemin à liaisons multiples passant par plusieurs nœuds intermédiaires. Ils sont soumis aux contraintes de profondeur de recherche (DoS) sur chaque liaison. Il convient de noter que dans le routage SDR, EDR ou TDR, le chemin de remplacement pour une demande de connexion peut varier en fonction du temps, compte tenu de l'évolution du trafic.

11 Routage interdomaine

Dans la pratique, les protocoles de routage interdomaine n'intègrent généralement pas le choix de chemin normalisé ou la gestion de ressources par classe de service. Par exemple, dans les réseaux IP, le protocole BGP [RL00] est utilisé pour le routage interdomaine mais n'intègre pas l'allocation de ressources par classe de service, comme décrit dans le présent paragraphe. En outre, les techniques MPLS n'ont pas encore été examinées pour les applications interdomaine. Les extensions aux méthodes de routage interdomaine examinées ici peuvent donc être envisagées pour étendre les concepts de routage d'appel et de connexion au routage entre domaines de réseau.

Un grand nombre de principes décrits pour le routage intradomaine peuvent être étendus au routage interdomaine. Comme l'illustre la Figure 5, dans le cadre du routage interdomaine, les chemins peuvent être de trois types:

- le plus court chemin primaire entre le domaine d'origine et le domaine de destination;
- des chemins de remplacement dont tous les nœuds se trouvent dans le domaine d'origine et dans le domaine de destination;
- des chemins de remplacement ou de transit passant à travers d'autres domaines de transit.

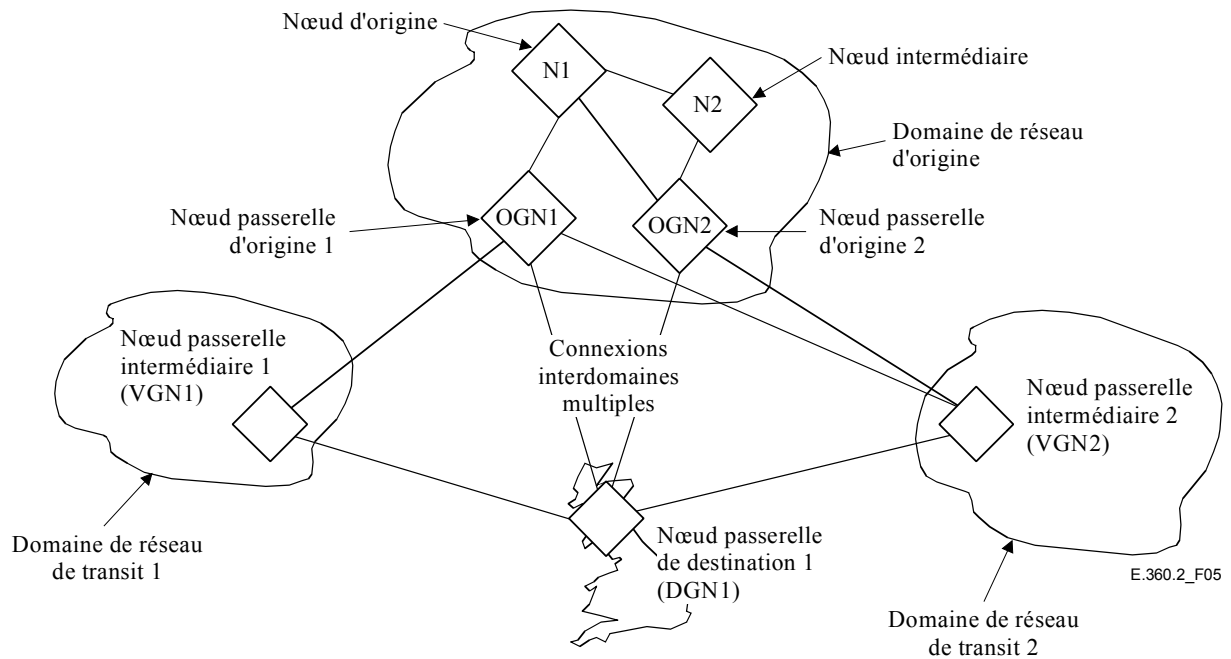


Figure 5/E.360.2 – Routage interdomaine à entrées/sorties multiples

Comme l'illustre la Figure 5, le routage interdomaine permet de prendre en charge de multiples entrées/sorties. Une demande de connexion est routée sur le chemin le plus court ou, s'il n'est pas disponible, par l'intermédiaire d'un chemin de remplacement passant par un des autres nœuds entre un nœud d'origine et un nœud passerelle.

A l'intérieur d'un réseau d'origine, plusieurs nœuds passerelle, tels que OGN1 ou OGN2 dans la Figure 5, qui représente un routage à entrées/sorties multiples, peuvent desservir un réseau de destination. Comme l'illustre la Figure 5, une demande de connexion émanant du nœud d'origine N1 et destinée au nœud passerelle de destination DGN1 essaie en premier d'accéder aux liaisons entre le nœud passerelle d'origine OGN2 et le nœud DGN1. Ainsi, la demande de connexion peut être routée du nœud N1 vers le nœud OGN2 directement ou via le nœud N2. Si aucune largeur de bande n'est disponible entre OGN2 et DGN1, la commande de la demande de connexion peut être renvoyée à N1 avec un indicateur "retour en arrière/largeur de bande non disponible". La demande de connexion est alors routée vers le nœud OGN1, afin d'accéder à la largeur de bande entre OGN1 et DGN1. Si elle ne peut pas aboutir sur la liaison reliant le nœud passerelle OGN1 au nœud DGN1, la demande de connexion peut être renvoyée au nœud d'origine N1 avec un indicateur "retour en arrière/largeur de bande non disponible", de manière à effectuer éventuellement un routage vers un autre nœud passerelle (non indiqué). Ainsi, toutes les connexions entrées/sorties avec un réseau de connexion sont utilisées, ce qui optimise l'aboutissement des demandes de connexion et la fiabilité.

Une fois que la demande de connexion a atteint un nœud passerelle d'origine (tel que OGN1 ou OGN2), celui-ci détermine le routage vers le nœud passerelle de destination DGN1 et route ladite demande en conséquence. Pour envoyer la demande de connexion vers le nœud DGN1, un nœud passerelle d'origine peut choisir de façon dynamique le plus court chemin direct, un chemin de remplacement passant par un autre nœud situé dans le réseau de destination ou, éventuellement, un chemin de remplacement passant par un nœud situé dans un autre domaine de réseau. Ainsi, dans le cadre du routage interdomaine, les demandes de connexion sont routées en premier vers le chemin primaire le plus court entre le domaine d'origine et le domaine de destination, puis vers une liste de chemins de remplacement passant par d'autres nœuds situés dans le domaine de réseau de destination, puis vers une liste de chemins de remplacement passant par d'autres nœuds situés dans

le domaine de réseau d'origine (par exemple, OGN1 ou OGN2 dans la Figure 5), et enfin vers une liste de chemins de remplacement passant par des nœuds situés dans d'autres domaines de réseau de transit.

Dans la Figure 5, les chemins de remplacement traversant un domaine de réseau de transit susceptibles d'être choisis sont les suivants: N1-OGN1-VGN1-DGN1, N1-OGN1-VGN2-DGN1 ou N1-N2-OGN2-VGN2-DGN1. Ces chemins peuvent être essayés en dernier dans le cadre de la configuration de réseau représentée dans cette figure. Par exemple, le routage interdomaine souple peut consister à essayer de trouver un chemin de remplacement disponible, sur la base des états de charge des liaisons, s'ils sont connus, et sur la base du niveau d'aboutissement de la demande de connexion, lorsque celui-ci peut être déduit. En d'autres termes, le nœud passerelle d'origine (par exemple, le nœud OGN1 dans la Figure 5) peut utiliser l'état de sa liaison avec un nœud intermédiaire situé dans un domaine de transit (par exemple, les liaisons OGN1-VGN1 et OGN1-VGN2) ainsi que le niveau d'aboutissement de la demande de connexion entre le nœud intermédiaire considéré et le nœud de destination situé dans le domaine du réseau de destination, afin de trouver le chemin le plus disponible sur lequel router la demande de connexion. Pour chaque chemin, un état de charge et un état d'aboutissement sont définis. L'état de charge indique si la largeur de bande de la liaison entre le nœud passerelle et le nœud intermédiaire est peu chargée, très chargée, réservée ou occupée. L'état d'aboutissement indique si le niveau d'aboutissement d'un chemin est au-dessus de la moyenne, moyen ou au-dessous de la moyenne. Le choix d'un chemin intermédiaire se fait ensuite à partir de l'état de charge et de l'état d'aboutissement. Les chemins de remplacement dans le même domaine du réseau de destination et dans un domaine de réseau de transit sont examinés séparément. Au cours de périodes d'encombrement, la largeur de bande de la liaison vers un nœud intermédiaire considéré peut être dans l'état réservé, auquel cas la largeur de bande restante de la liaison est réservée au routage de trafic directement vers ce nœud. Au cours de périodes exemptes d'encombrement, la capacité dont un réseau virtuel n'a pas besoin est mise à la disposition d'autres réseaux virtuels pour lesquels les charges sont supérieures à la capacité qui leur est allouée.

Comme le routage intradomaine, le routage interdomaine peut faire appel à des états de charge distincts pour les liaisons interdomaines ayant une extrémité dans le domaine d'origine (par exemple, les liaisons OGN1-VGN1, OGN1-DGN1, OGN2-DGN1). Comme il est décrit dans la Rec. UIT-T E.360.3, l'état de charge des liaisons peut être de quatre types: "peu chargé", "très chargé", "réservé" et "occupé/largeur de bande non disponible", la largeur de bande libre d'une liaison étant comparée aux seuils d'état de charge de la liaison, afin de déterminer sa condition de charge. On détermine le niveau d'aboutissement des différents chemins intermédiaires (tels que le chemin entre le nœud intermédiaire VGN1 ou VGN2 et le nœud de destination DGN1 dans la Figure 5), compte tenu des informations relatives à l'aboutissement ou non d'une demande de connexion passant par le nœud intermédiaire. On enregistre un non-aboutissement pour la demande de connexion si un message de libération de signalisation est reçu en provenance de l'extrémité distante, une fois que la demande de connexion a saisi une liaison de sortie, ce qui indique une cause de non-aboutissement dans le réseau. Si aucun message de libération de signalisation de ce type n'est reçu après que la demande de connexion a saisi de la capacité sur la liaison de sortie, ladite demande est enregistrée comme ayant abouti. Chaque nœud passerelle garde un historique des aboutissements et des non-aboutissements (par exemple, pour les 10 dernières demandes de connexion utilisant un chemin intermédiaire particulier), annule l'enregistrement le plus ancien et ajoute le résultat de la dernière demande de connexion sur ce chemin. Un état d'aboutissement est calculé sur la base du nombre de demandes de connexion ayant abouti par rapport au nombre total des demandes.

Sur la base des états d'aboutissement, les demandes de connexion sont généralement routées sur le premier chemin présentant un état d'aboutissement élevé et une liaison de sortie peu chargée. Si un

tel chemin n'existe pas, on choisit un chemin présentant un état d'aboutissement moyen et une liaison de sortie peu chargée, suivi par un chemin présentant un état d'aboutissement faible et une liaison de sortie peu chargée. Si aucun chemin présentant une liaison de sortie peu chargée n'est disponible, et si la profondeur de recherche permet l'utilisation d'une liaison de sortie très chargée, on recherche les chemins comportant des liaisons de sortie très chargées dans l'ordre d'aboutissement suivant: aboutissement élevé, aboutissement moyen et aboutissement faible. Si aucun de ces chemins n'est disponible, on recherche les chemins comportant des liaisons de sortie réservées dans le même ordre d'aboutissement, sur la base de l'état d'aboutissement des demandes de connexion, si la profondeur de recherche permet l'utilisation d'une liaison de sortie réservée.

Les règles de choix du chemin primaire le plus court et des chemins de remplacement pour une demande de connexion sont établies en fonction de la disponibilité de la largeur de bande du chemin le plus court et de l'encombrement entre les nœuds. L'ordre des chemins est le suivant: chemin primaire le plus court, chemins de remplacement peu chargés, chemins de remplacement très chargés et chemins de remplacement réservés. On choisit d'abord les chemins de remplacement comportant des nœuds seulement dans les domaines d'origine et de destination puis, si nécessaire, ceux comportant des nœuds dans des domaines de transit.

D'après l'exemple qui précède, on peut donc envisager l'utilisation de méthodes de routage interdomaine pour étendre les notions de routage d'appel et de connexion intradomaine, telles que le choix de chemin souple ou le choix de largeur de bande par classe de service, au routage entre domaines de réseau.

12 Conclusions/recommandations

Des méthodes de routage d'appel et de connexion employées dans des fonctions d'ingénierie du trafic (TE) ont été examinées. Plusieurs solutions de routage de connexion ont été envisagées, notamment les méthodes de routage FR, TDR, EDR et SDR. Des modèles ont été présentés pour illustrer les compromis en termes de conception et de performance du réseau entre les différentes méthodes d'ingénierie du trafic décrites dans la présente Recommandation. Des conclusions ont été tirées sur les avantages de diverses options de routage et de topologie pour le fonctionnement du réseau. Dans l'ensemble, les méthodes de routage à liaisons multiples, fondées sur une topologie de réseau à maillage peu dense et en mode paquet (par exemple, l'ingénierie du trafic MPLS) présentent un certain nombre d'avantages.

Les conclusions et recommandations suivantes ont été tirées:

- il est recommandé d'appliquer des méthodes d'ingénierie du trafic. La performance du réseau est toujours meilleure et en général bien meilleure que lorsque aucune de ces méthodes n'est appliquée;
- les réseaux avec routage à liaisons multiples et fondés sur une topologie à maillage peu dense, sont recommandés. Ils offrent une meilleure qualité générale de fonctionnement en cas de surcharge que les réseaux fondés sur une topologie à maillage dense, mais en cas de défaillance, les solutions fondées sur une topologie à maillage dense STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons sont privilégiées car elles offrent davantage de possibilités de déroutage;
- les topologies non hiérarchiques à zone unique sont recommandées. Elles offrent une meilleure performance de réseau et, comme il a été examiné et modélisé dans la Rec. UIT-T E.360.6, une meilleure efficacité de conception que les topologies hiérarchiques à zones multiples. Comme le montre la Rec. UIT-T E.360.4, les méthodes d'ingénierie du trafic fondées sur un routage EDR permettent d'atteindre des zones administratives plus vastes que les méthodes d'ingénierie du trafic fondées sur un routage SDR;

- les méthodes de choix de chemin fondées sur le routage en fonction des événements (EDR) sont recommandées. Elles présentent une performance comparable voire supérieure à celle obtenue au moyen de méthodes de routage en fonction de l'état (SDR).
 - a) Les méthodes de routage EDR représentent une catégorie importante d'algorithmes d'ingénierie du trafic. Elles se distinguent des méthodes de routage TDR et SDR par le mode de choix des chemins (par exemple, les chemins commutés par étiquette (LSP) MPLS). Dans le cas du routage SDR, la largeur de bande de liaison disponible (fondée sur la technique d'inondation du réseau par des annonces LSA indiquant la largeur de bande disponible) sert généralement à calculer le chemin. En ce qui concerne le routage EDR, les informations de largeur de bande disponible ne sont pas nécessaires pour calculer le chemin, ce qui évite de recourir à la technique d'inondation (et ainsi réduit les informations de gestion).
 - b) Les algorithmes EDR sont adaptatifs et répartis. Ils font généralement appel à des modèles avec apprentissage pour trouver les chemins efficaces pour l'ingénierie du trafic dans un réseau donné. Par exemple, dans une méthode de routage EDR avec réussite assurée (STT, *success-to-the-top*), si la largeur de bande entre LSR-A et LSR-B doit être modifiée, par exemple si elle doit être augmentée de delta-BW, on essaie d'abord le chemin primaire LSP-p. Si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-p, on essaie alors le chemin LSP-s donnant satisfaction. Si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-s, on recherche alors un nouveau chemin LSP en essayant d'autres chemins possibles jusqu'à ce que l'on trouve un nouveau chemin LSP-n donnant satisfaction ou jusqu'à ce que l'on ait essayé tous les chemins possibles. Le chemin LSP-n est ensuite marqué comme étant le chemin donnant satisfaction pour la fois suivante où la largeur de bande devra être modifiée. L'efficacité des méthodes de routage EDR réparti s'avère être égale voire supérieure à celle des méthodes de routage SDR centralisé ou réparti.
 - c) Alors que les modèles de routage SDR font généralement appel à la technique d'inondation du réseau par des informations de largeur de bande de liaison disponible (ALB, *available-link bandwidth*) en ce qui concerne le choix de chemin, les méthodes de routage EDR utilisent des modèles avec apprentissage pour trouver de la capacité, comme dans la méthode STT susmentionnée. La technique d'inondation ALB peut nécessiter l'utilisation d'un grand nombre de ressources, vu qu'il faut une certaine largeur de bande de liaison pour acheminer les annonces LSA, une certaine capacité de processeur pour les traiter, et les informations de gestion peuvent limiter la taille de la zone/du système autonome (AS). Les résultats de la modélisation montrent que l'emploi de méthodes EDR permet de réduire de façon significative les informations de gestion liées à la technique d'inondation ALB, sans dégradation de la performance du réseau (voir la Rec. UIT-T E.360.4).
 - d) Les informations d'état utilisées notamment par les options de routage SDR (par exemple, dans le cadre de la technique d'inondation du réseau par des informations d'état de liaison) offrent une performance pratiquement équivalente à celle obtenue avec les options EDR, qui font généralement appel au routage réparti, avec retour en arrière et sans inondation.
 - e) Différentes méthodes de choix de chemin peuvent interfonctionner dans le même réseau. Cet interfonctionnement est par exemple nécessaire dans un réseau exploité par plusieurs fournisseurs.

- Il est recommandé d'utiliser des méthodes de routage interdomaine, qui permettent d'étendre les concepts de routage d'appel et de connexion intradomaine, tels que le choix de chemin souple ou le choix de largeur de bande par classe de service, au routage entre domaines de réseau.

Annexe A

Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Dans la présente Recommandation, un modèle de réseau national complet ainsi qu'un modèle de trafic multiservice sont employés afin d'étudier divers scénarios et compromis d'ingénierie du trafic. Le modèle de réseau national à 135 nœuds est représenté à la Figure A.1.

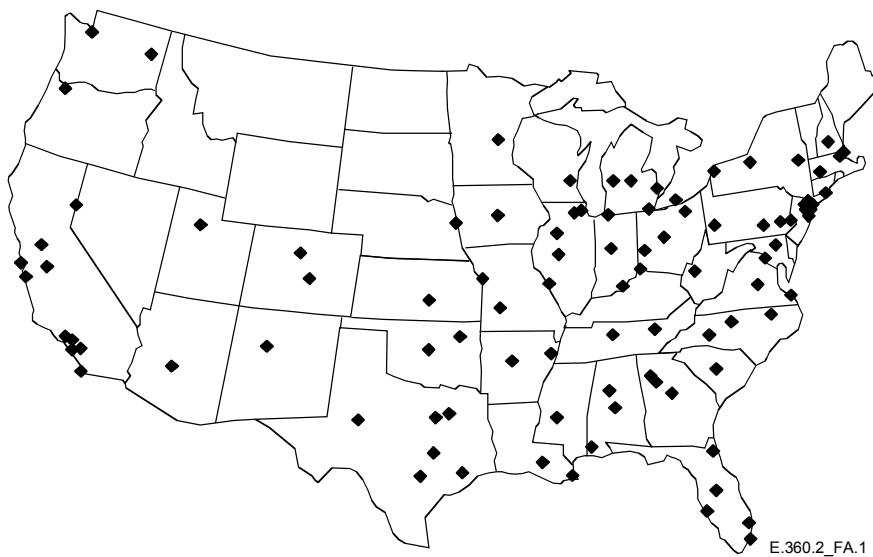


Figure A.1/E.360.2 – Modèle de réseau national à 135 nœuds

Des charges de trafic de téléphonie/RNIS courantes sont utilisées pour modéliser les différents scénarios possibles de réseau, qui sont établis sur la base d'une période de 72 heures de charge du réseau national complet. Les Tableaux A.1a, A.1b et A.1c donnent une description générale du modèle de trafic multiservice utilisé pour les études d'ingénierie du trafic. Trois niveaux de priorité du trafic (élevé, normal et faible) sont attribués aux différents types de classes de service et de réseaux virtuels (VNET, *virtual network*) énumérés dans les Tableaux A.1a à A.1c. Les questions liées à la classe de service, à la priorité du trafic et à la gestion des ressources de QS sont examinées plus en détail dans la Rec. UIT-T E.360.3.

Dans le modèle décrit ici, les charges de téléphonie/RNIS sont segmentées en huit réseaux VNET à débit constant (CBR, *constant-bit-rate*), comprenant la téléphonie professionnelle, la téléphonie privée, la téléphonie internationale entrante et sortante, la téléphonie à priorité élevée, les données RNIS à 64 kbit/s à priorité normale et à priorité élevée, et les données RNIS à 384 kbit/s. En ce qui concerne les services de téléphonie CBR, un débit moyen de 64 kbit/s est adopté pour tous les réseaux VNET, à l'exception du réseau VNET-8 de données RNIS, pour lequel le débit moyen est de 384 kbit/s.

Tableau A.1a/E.360 – Modèle de trafic de réseau virtuel (VNET) utilisé pour des études d'ingénierie du trafic

Code du réseau virtuel	Nom du réseau virtuel	Exemples d'identité de service	Priorité de trafic du réseau virtuel et caractéristiques du trafic
VNET-1 (CBR)	Téléphonie professionnelle	Réseau privé virtuel (VPN), connexion directe 800, service 800, service 900	Priorité normale; CBR à 64 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-2 (CBR)	Téléphonie privée	Service longue distance (LDS, <i>long distance service</i>)	Priorité normale; CBR à 64 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-3 (CBR)	Téléphonie internationale sortante	LDS international sortant, 800 international sortant, VPN global sortant, transit international sortant	Priorité normale; CBR à 64 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-4 (CBR)	Téléphonie internationale entrante (service clé)	LDS international entrant, 800 international entrant, VPN global entrant, transit international entrant	Priorité élevée; CBR à 64 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-5 (CBR)	800-Gold (service clé)	Connexion directe 800-gold, 800-gold, Service VPN clé	Priorité élevée; CBR à 64 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-6 (CBR)	RNIS à 64 kbit/s	Service numérique commuté (SDS, <i>switched digital service</i>), à 64 kbit/s, Service international numérique commuté (SDI, <i>switched digital international</i>) à 64 kbit/s	Priorité normale; CBR à 64 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)

Tableau A.1a/E.360 – Modèle de trafic de réseau virtuel (VNET) utilisé pour des études d'ingénierie du trafic

Code du réseau virtuel	Nom du réseau virtuel	Exemples d'identité de service	Priorité de trafic du réseau virtuel et caractéristiques du trafic
VNET-7 (CBR)	RNIS à 64 kbit/s (service clé)	SDS et SDI à 64 kbit/s (service clé)	Priorité élevée; CBR à 64 kbit/s; données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-8 (CBR)	RNIS à 384 kbit/s	SDS à 384 kbit/s, SDI à 384 kbit/s	Priorité normale; CBR à 384 kbit/s; Données de charge de trafic pendant 72 heures (samedi, dimanche, lundi, 1998)
VNET-9 (VBR-RT)	Débit variable de téléphonie IP, Allocation de largeur de bande équivalente, Interactivité et sensibilité au temps de transmission	Téléphonie IP, signaux vocaux compressés	Priorité normale; Débit variable, Allocation de largeur de bande équivalente, Interactivité et sensibilité au temps de transmission; VBR-RT: 10% de la charge de trafic de VNET1+VNET2+VNET3+VNET4+VNET5; le débit de données d'appel varie entre 6,4 kbit/s et 51,2 kbit/s (25,6 kbit/s en moyenne)
VNET-10 (VBR-NRT)	Débit variable de multimédia IP, Allocation de largeur de bande équivalente, Ni interactivité ni sensibilité au temps de transmission	Multimédia IP, web, vérification de carte de crédit	Priorité normale; Débit variable, Allocation de largeur de bande équivalente, Ni interactivité ni sensibilité au temps de transmission; VBR-NRT: 30% de la charge de trafic de VNET2; le débit de données d'appel varie entre 38,4 kbit/s et 64 kbit/s (51,2 kbit/s en moyenne)

Tableau A.1a/E.360 – Modèle de trafic de réseau virtuel (VNET) utilisé pour des études d'ingénierie du trafic

Code du réseau virtuel	Nom du réseau virtuel	Exemples d'identité de service	Priorité de trafic du réseau virtuel et caractéristiques du trafic
VNET-11 (UBR)	Débit variable UBR a priorité faible, Pas d'allocation de largeur de bande, Ni interactivité ni sensibilité au temps de transmission	Messagerie vocale, messagerie électronique, transfert de fichiers	Priorité faible; Débit variable, Pas d'allocation de largeur de bande, Ni interactivité ni sensibilité au temps de transmission; UBR: 30% de la charge de trafic de VNET1; le débit de données d'appel varie entre 6,4 kbit/s et 3072 kbit/s (1536 kbit/s en moyenne)

Tableau A.1b/E.360.2 – Modèle de trafic de réseau virtuel (VNET) utilisé pour des études d'ingénierie du trafic

Nombre moyen de flux par heure de pointe du réseau (CST)									
Code du réseau virtuel	Nom du réseau virtuel	Dimanche 8:00 PM	Lundi 10:00 AM	Lundi 11:00 AM	Lundi 2:00 PM	Lundi 3:00 PM	Lundi 4:00 PM	Lundi 8:00 PM	Lundi 9:00 PM
VNET-1 (CBR)	Téléphonie professionnelle	108 459,3	616 190,8	678 423,2	672 853,4	676 348,1	661 489,9	232 997,4	193 837,5
VNET-2 (CBR)	Téléphonie privée	457 580,8	247 198,4	269 968,7	258 178,2	263 387,9	280 522,8	465 911,6	484 810,9
VNET-3 (CBR)	Téléphonie internationale sortante	28 124,5	25 976,3	27 276,2	22 417,6	23 079,2	23 053,9	21 939,3	22 064,3
VNET-4 (CBR)	Téléphonie internationale entrante (service clé)	11 725,8	23 969,9	25 098,4	18 491,8	18 034,8	17 382,3	1 2112,0	12 239,6
VNET-5 (CBR)	800-gold (service clé)	1 506,5	6 672,7	7 489,9	7 457,3	7 611,5	7 408,6	3 211,4	2 741,6
VNET-6 (CBR)	RNIS à 64 kbit/s	908,1	3 306,7	3 587,7	3 922,3	3 515,7	3 161,6	1 677,5	1 390,6
VNET-7 (CBR)	RNIS à 64 kbit/s (service clé)	77,2	454,8	419,2	181,2	168,6	168,8	162,5	116,8
VNET-8 (CBR)	RNIS à 384 kbit/s	1,0	21,0	18,0	29,2	33,2	26,8	2,2	2,0
VNET-9(VBR-RT)	Téléphonie IP	60 739,8	92 000,8	100 825,9	97 940,1	9 8846,3	98 986,0	7 3616,9	71 567,2
VNET-10 (VBR-NRT)	Multimédia IP	137 274,5	74 159,5	80 990,6	77 453,5	7 9016,2	84 156,8	139 773,5	145 443,2
VNET-11(UBR)	UBR à priorité faible	27 154,7	166 574,9	184 626,4	183 204,2	183 602,5	179 601,3	60 477,9	49 866,7
TOTAL		833 532,0	1 256 501,1	1 378 697,2	1 342 099,4	1 353 611,5	1 355 925,9	1 011 880,0	984 066,5

Tableau A.1c/E.360.2 – Modèle de trafic de réseau virtuel (VNET) utilisé pour des études d'ingénierie du trafic

Volume moyen de données (Mbit/s) par heure de pointe du réseau (CST)									
Code du réseau virtuel	Nom du réseau virtuel	Dimanche 8:00 PM	Lundi 10:00 AM	Lundi 11:00 AM	Lundi 2:00 PM	Lundi 3:00 PM	Lundi 4:00 PM	Lundi 8:00 PM	Lundi 9:00 PM
VNET-1 (CBR)	Téléphonie professionnelle	6 941,3	39 436,3	43 419,0	43 062,7	43 286,3	42 335,4	14 911,7	12 405,5
VNET-2 (CBR)	Téléphonie privée	29 285,2	15 820,7	17 278,0	16 523,5	16 856,8	17 953,4	29 818,3	31 028,0
VNET-3 (CBR)	Téléphonie internationale sortante	1 800,0	1 662,5	1 745,7	1 434,7	1 477,1	1 475,4	1 404,1	1 412,1
VNET-4 (CBR)	Téléphonie internationale entrante (service clé)	750,4	1 534,1	1 606,3	1 434,7	1 477,1	11 112,5	775,2	783,3
VNET-5 (CBR)	800-gold (service clé)	96,4	427,1	479,4	477,3	487,1	474,2	205,5	175,5
VNET-6 (CBR)	RNIS à 64 kbit/s	58,1	211,6	229,6	251,0	225,0	202,3	107,4	89,0
VNET-7 (CBR)	RNIS à 64 kbit/s (service clé)	4,9	29,1	26,8	11,6	10,8	10,8	10,4	7,5
VNET-8 (CBR)	RNIS à 384 kbit/s	0,4	8,1	6,9	11,2	12,8	10,3	0,9	0,8
VNET-9 (VBR-RT)	Téléphonie IP	1 554,9	2 355,2	2 581,1	2 507,3	2 530,5	2 534,0	1 884,6	1 832,2
VNET-10 (VBR-NRT)	Multimédia IP	7 028,5	3 797,0	4 146,7	3 965,6	4 045,6	4 308,8	7 156,4	7 446,7
VNET-11 (UBR)	UBR à priorité faible	41 709,7	255 858,8	283 585,9	281 401,8	282 012,7	275 867,7	92 894,2	76 595,1
TOTAL		89 226,2	321 138,0	355 103,2	350 827,0	352 092,8	346 280,8	149 165,4	131 774,0

Le modèle de trafic des services de données comprend les configurations de charge de trafic courantes ainsi que trois configurations de charge de réseau VNET supplémentaires. Ces réseaux VNET de services de données englobent:

- Le réseau VNET-9 en temps réel, à débit binaire variable (VBR-RT), représentant des services tels que la téléphonie IP ou les signaux vocaux compressés;
- le réseau VNET-10 en temps non réel, à débit binaire variable (VBR-NRT), représentant des services tels que le web, le multimédia ou la vérification de carte de crédit;
- le réseau VNET-11 à débit non assigné (UBR, *unassigned bit rate*), représentant des services tels que le courrier électronique, la messagerie vocale ou des applications multimédias de transfert de fichiers.

Les connexions VBR-RT ont un débit de données variant entre 6,4 et 51,2 kbit/s avec une moyenne de 25,6 kbit/s. Elles sont censées être interactives et sensibles au temps de transmission. En ce qui concerne les connexions VBR-NRT, leur débit varie entre 38,4 et 64 kbit/s avec une moyenne de 51,2 kbit/s. Les flux VBR-NRT sont censés être insensibles au temps de transmission. Pour ce qui est des connexions UBR, leur débit varie entre 6,4 et 3072 kbit/s avec une moyenne de 1536 kbit/s. Les flux UBR sont censés avoir une priorité faible et être insensibles au temps de transmission. A des fins de modélisation, la largeur de bande de service et de liaison est segmentée en intervalles de 6,4 kbit/s, c'est-à-dire 10 intervalles par canal à 64 kbit/s.

Dans le présent modèle, les charges de trafic varient de façon dynamique; des modèles de lissage exponentiels décrits dans la Rec. UIT-T E.360.3 leur sont appliqués. Le Tableau A.1b donne le nombre moyen de flux pour chaque classe de service (VNET) à différentes heures de pointe du réseau; le Tableau A.1c donne le volume moyen de données en Mbit/s pour chaque classe de service (VNET) à différentes heures de pointe du réseau. On constate que, comparé aux différentes sources de trafic de "données" (c'est-à-dire les réseaux VNET 9 à 11 dans les Tableaux A.1a à A.1c), le trafic de téléphonie/RNIS (c'est-à-dire les réseaux VNET 1 à 8 dans les Tableaux A.1a à A.1c) constitue la plus grande part des flux, qui représentent environ 75% du total pendant les heures de pointe du lundi. En revanche, le trafic de téléphonie/RNIS constitue la plus petite part du volume total de données de trafic, qui représente entre 70 et 80% de la demande totale en Mbit/s, comparé aux diverses sources de trafic de "données". Le présent modèle a été établi sur la base de prévisions du trafic de "données" et des niveaux réels de trafic de téléphonie/RNIS, la prépondérance du trafic des "données" sur le trafic de téléphonie/RNIS étant un scénario réaliste dans un grand nombre de prévisions de trafic.

Le modèle de coût représente les coûts de commutation et de transport et illustre les économies d'échelle qu'il est prévu de réaliser sur le coût des éléments de réseau à forte capacité. Le Tableau A.2 donne le modèle utilisé pour les coûts moyens de commutation et de transport pour une largeur de bande correspondant à 64 kbit/s.

Tableau A.2/E.360.2 – Modèle de coûts (coût moyen pour une largeur de bande équivalente correspondant à 64 kbit/s)

Débit de données	Coût moyen de transport	Coût moyen de commutation/brassage
DS3	$0,19 \times \text{miles} + 8,81$	26,12
OC3	$0,17 \times \text{miles} + 9,76$	19,28
OC12	$0,15 \times \text{miles} + 7,03$	9,64
OC48	$0,05 \times \text{miles} + 2,77$	3,92

Un modèle de conception de réseau à événements discrets, décrit dans la Rec. UIT-T E.360.6, est utilisé pour l'élaboration et l'analyse de cinq méthodes de routage de connexion dans le cas où des méthodes d'ingénierie du trafic sont employées, à savoir le routage de chemin STT-EDR à deux liaisons dans un réseau logique à maillage dense, le routage DC-SDR à deux liaisons dans un réseau logique à maillage dense et le routage à liaisons multiples STT-EDR, DC-SDR et DP-SDR, pouvant par exemple être pris en charge dans le cadre de la commutation MPLS dans un réseau logique à maillage peu dense. Le cas où aucune méthode de routage d'appel et de connexion n'est employée est aussi modélisé.

Les modèles de réseau pour les routages STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons et STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR à liaisons multiples sont maintenant décrits. Pour les routages STT-EDR et DC-SDR à deux liaisons, le réseau est supposé être constitué de 135 nœuds à commutation par paquets (basés sur MPLS ou PNNI). La conversion synchrone-asynchrone (SAC, *synchronous to asynchronous*) est censée se produire au niveau des nœuds à commutation par paquets pour les connexions de liaisons ayant pour origine des nœuds à commutation de circuits. Les liaisons sont censées autoriser une allocation de largeur de bande de liaison logique plus précise (niveau T1 à 1,536 Mbit/s). Il en résulte une topologie de réseau à maillage dense; autrement dit, la plupart des nœuds sont reliés entre eux (90% ou plus). Pour les routages STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons, on utilise un routage à une ou deux liaisons avec retour en arrière dans tout le réseau. Le choix de chemin à deux liaisons est modélisé à partir du choix de chemin STT et du choix de chemin fondé sur le routage SDR réparti connexion par connexion (DC-SDR). Les nœuds à commutation par paquets utilisent un routage STT-EDR ou DC-SDR à deux liaisons vers tous les autres nœuds. Une mise en file d'attente selon la priorité de qualité de service est modélisée dans les analyses de performance, les services clé ayant la priorité la plus élevée, les services normaux la priorité moyenne et les services assurés au mieux la priorité la plus faible dans le modèle de mise en file d'attente. Ce modèle permet de quantifier les retards dans le trafic pour chaque réseau virtuel. Lors du routage d'une connexion au moyen du routage à deux liaisons, le nœud d'origine vérifie la largeur de bande équivalente ainsi que la profondeur de recherche autorisée d'abord sur le chemin direct, puis sur le chemin intermédiaire à deux liaisons donnant satisfaction, et enfin successivement sur tous les chemins possibles à deux liaisons. Lors du routage d'une connexion au moyen du routage DC-SDR à deux liaisons, le nœud d'origine vérifie la largeur de bande équivalente et la profondeur de recherche autorisée sur le chemin direct en premier, puis sur le chemin le moins chargé satisfaisant aux exigences de largeur de bande équivalente et de profondeur de recherche. Chaque nœud intermédiaire vérifie la largeur de bande équivalente et la profondeur de recherche autorisée qui sont indiquées dans le message d'établissement, et utilise un retour en arrière vers le nœud d'origine si la largeur de bande équivalente ou la profondeur de recherche ne sont pas satisfaites.

Pour le routage STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR à liaisons multiples, le réseau est supposé être constitué de 135 nœuds à commutation par paquets. Etant donné que les liaisons OC3/12/48 à haut débit autorisent des allocations de largeur de bande de liaison très regroupées, un réseau à maillage peu dense est réalisé entre les nœuds à commutation par paquets; en d'autres termes, un nombre assez faible (10 à 20%) de nœuds à commutation par paquets sont reliés par des liaisons OC3/12/48 à haut débit. En outre, le choix du chemin le plus court à liaisons multiples avec retour en arrière est utilisé dans l'ensemble du réseau. Par exemple, l'algorithme STT-EDR utilisé est adaptatif et réparti, et utilise des modèles avec apprentissage pour trouver les chemins qui conviennent dans un réseau. Avec le routage STT-EDR, si la largeur de bande entre les nœuds LSR-A et LSR-B doit être modifiée, par exemple si elle doit être augmentée de delta-BW, on essaie en premier le chemin primaire LSP-p. Si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-p, on essaie alors le chemin LSP-s donnant satisfaction. Si delta-BW n'est pas disponible sur une ou plusieurs liaisons du chemin LSP-s, on recherche alors un nouveau chemin LSP en essayant d'autres chemins possibles jusqu'à ce que l'on trouve un nouveau chemin LSP-n donnant satisfaction ou jusqu'à ce que l'on ait essayé tous les chemins possibles. Le chemin LSP-n est ensuite marqué

comme étant le chemin donnant satisfaction pour la fois suivante où la largeur de bande devra être modifiée.

Une mise en file d'attente selon la priorité de qualité de service est modélisée dans les analyses de performance, les services clé ayant la priorité la plus élevée, les services normaux la priorité moyenne et les services assurés au mieux la priorité la plus faible dans le modèle de mise en file d'attente. Celui-ci permet de quantifier les retards dans le trafic pour chaque réseau virtuel. Les options de choix de chemin à liaisons multiples sont modélisées à partir du choix de chemin STT, du choix de chemin DC-SDR et du choix de chemin périodique réparti (DP-SDR). Pour le routage DP-SDR, les mises à jour des états, pour lesquelles on utilise la technique de l'inondation, se font toutes les 10 secondes. Il convient de noter que la performance associée au routage DP-SDR à liaisons multiples devrait en outre être comparable à celle associée au routage SDR périodique centralisé à liaisons multiples (CP-SDR), les mises à jour des états et des choix de chemin se faisant toutes les 10 secondes respectivement vers et à partir d'un processeur de courtier pour la largeur de bande.

Lors du routage d'une connexion avec choix de chemin le plus court à liaisons multiples au moyen, par exemple, du routage STT-EDR à deux liaisons, le nœud d'origine vérifie la largeur de bande équivalente et la profondeur de recherche autorisée d'abord sur le chemin préféré, puis sur le chemin de remplacement donnant satisfaction, et enfin successivement sur tous les chemins de remplacement possibles. Là encore, chaque nœud intermédiaire vérifie la largeur de bande équivalente et la profondeur de recherche autorisée, qui sont indiquées dans le message d'établissement, et utilise le retour en arrière vers le nœud d'origine si la largeur de bande équivalente ou la profondeur de recherche ne sont pas satisfaites.

Dans les modèles considérés, la conception du réseau logique est optimisée pour chaque méthode de routage, alors que les liaisons de transport physiques et les positions des nœuds restent fixes. On examine les compromis en termes de performance et de conception du réseau entre:

- la topologie logique (maillage dense ou peu dense);
- la méthode de routage (à deux liaisons, à liaisons multiples, fixe, dynamique, SDR, EDR, hiérarchique, non hiérarchique, etc.).

En général, les topologies logiques à maillage dense sont optimisées par un routage à une ou à deux liaisons, alors que les topologies logiques à maillage peu dense sont optimisées par un routage fondé sur le chemin le plus court à liaisons multiples. Les résultats de modélisation portent sur:

- des conceptions avec routage dynamique à deux liaisons (SDR, EDR) ou routage à liaisons multiples (SDR, EDR);
- des conceptions avec trafic de téléphonie/RNIS seulement (réseaux VNET 1 à 8 dans le Tableau A.1) ou trafic de données seulement (réseaux VNET 9 à 11);
- des conceptions avec trafic intégrant téléphonie/RNIS et données (réseaux VNET 1 à 11);
- des conceptions avec routage hiérarchique fixe;
- des conceptions pour lesquelles l'ensemble du trafic de téléphonie est compressé (tous les réseaux VNET 1 à 5 et 9 utilisent les caractéristiques de trafic de téléphonie IP du réseau VNET 9);
- des analyses de la performance en cas de surcharge et de défaillance.

A.1 Comparaisons de conceptions réseau

Les Figures A.2, A.3 et A.4 représentent respectivement les coûts de conception réseau pour téléphonie/RNIS seulement (réseaux VNET 1 à 8 dans le Tableau A.1) pour les données seulement (réseaux VNET 9 à 11 dans le Tableau A.1) et pour l'intégration téléphonie/RNIS et données (réseaux VNET 1 à 11 dans le Tableau A.1). Ces coûts de conception sont examinés en détail dans la Rec. UIT-T E.360.6.

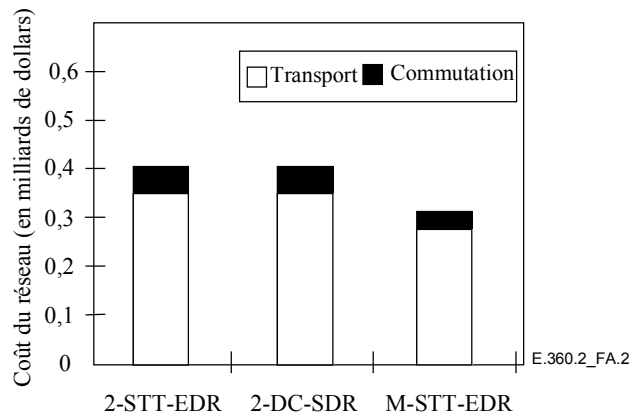


Figure A.2/E.360.2 – Coût de conception réseau pour téléphonie/RNIS (trafic des réseaux VNET-1 à VNET-8 dans le Tableau A.1)

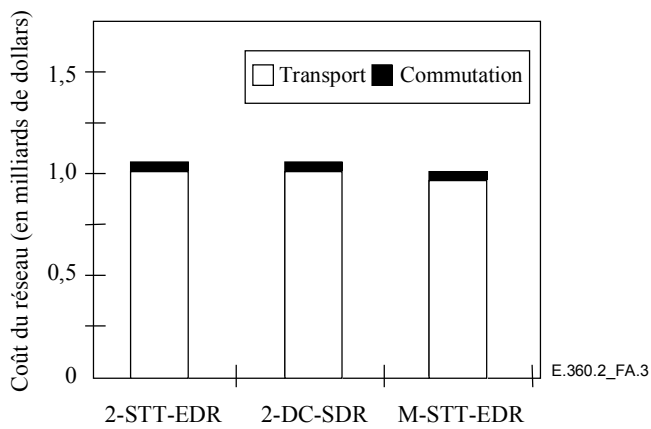


Figure A.3/E.360.2 – Coût moyen réseau pour les données (trafic des réseaux VNET-9 à VNET-11 dans le Tableau A.1)

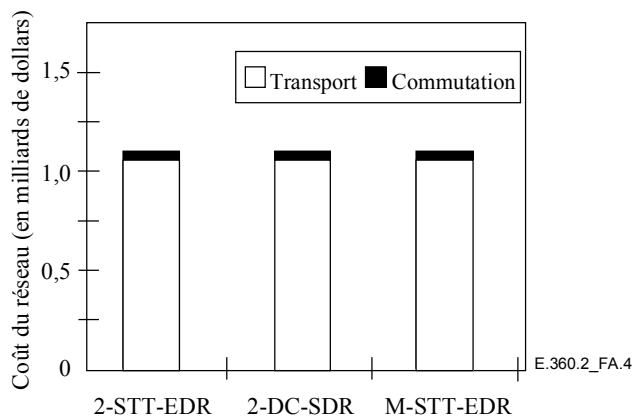


Figure A.4/E.360.2 – Coût de conception réseau pour l'intégration téléphonie RNIS et données (trafic des réseaux VNET-1 à VNET-11 dans le Tableau A.1)

Les résultats en termes de conception montrent que les réseaux logiques à maillage dense, fondés sur les types de routage STT-EDR et DC-SDR à deux liaisons sont très denses en connexions (plus de 90%), alors que les réseaux fondés sur les modes MPLS et PNNI à liaisons multiples sont peu denses en connexions (10 à 20%). Lorsque l'on compare entre eux les coûts de réseau, l'on constate que les réseaux MPLS et PNNI à maillage peu dense sont financièrement assez avantageux, étant donné qu'ils profitent de la rentabilité des liaisons logiques à grande largeur de bande (jusqu'à OC48), comme l'indique le Tableau A.2. Toutefois, ces différences de coût peuvent être insignifiantes et varier en fonction du coût de l'équipement et du coût relatif du matériel de commutation et de transport. Des variations de ces résultats en fonction d'estimations de coût différentes ont été étudiées. On a étudié dans quelle mesure le modèle de coûts influe sur les résultats. Par exemple, si le coût du transport augmente par rapport à celui de la commutation, les réseaux à maillage dense à deux liaisons peuvent se révéler plus efficaces que les réseaux à maillage peu dense et à liaisons multiples. Ces résultats concordent avec ceux d'autres études réalisées sur des réseaux logiques à maillage dense et peu dense, en fonction des coûts relatifs de commutation et de transport (voir par exemple le document [A98]).

La comparaison des résultats entre les conceptions séparées téléphonie/RNIS et données et les conceptions intégrées téléphonie/RNIS et données montre que la solution de l'intégration est plus avantageuse, en termes d'investissements, de 5 à 20% environ. La plus grande efficacité des conceptions intégrées est obtenue grâce aux économies d'échelle réalisées sur le coût des éléments de réseau à forte capacité, comme l'indique le modèle de coûts du Tableau A.2. Toutefois, les économies en termes d'exploitation réalisées grâce à la solution de l'intégration, qui permet l'exploitation d'un seul réseau, sont probablement plus significatives. En outre, la performance d'un réseau intégrant la téléphonie et les données présente des avantages sur le plan du partage de capacité, en particulier lorsque différentes classes de trafic ayant différentes priorités de routage – par exemple, élevée et faible – sont intégrées et se partagent la capacité sur le même réseau. Les résultats relatifs à la performance sont exposés ci-dessous. Une étude sur la compression des signaux de téléphonie pour l'ensemble du trafic de téléphonie, tel qu'il se produirait si la téléphonie IP était largement répandue, montre que les investissements pour le réseau pourraient être réduits jusqu'à 10% si cette voie était suivie. Une analyse comparative entre le routage hiérarchique fixe et le routage dynamique montre qu'une réduction de plus de 20% des investissements pour le réseau pourrait être obtenue avec le routage dynamique. Des économies en termes d'exploitation seraient en outre réalisées grâce à la simplicité de la configuration des solutions avec routage dynamique.

A.2 Comparaisons en termes de performance de réseau

Les analyses de performance en cas de surcharge et de défaillance reposent notamment sur le contrôle d'admission de demande de connexion avec gestion des ressources de QS. Comme l'indique la Rec. UIT-T E.360.3, pour la méthode de gestion des ressources de QS donnée en exemple, il existe trois différents types de service: les services clés, les services normaux et les services assurés au mieux. Des comparaisons en termes de performance sont présentées dans les Tableaux A.3, A.4 et A.5 pour diverses méthodes d'ingénierie du trafic – notamment les méthodes EDR et SDR à deux liaisons et à liaisons multiples – et un cas de référence où aucune méthode d'ingénierie du trafic n'est employée. Le Tableau A.3 donne les résultats en termes de performance pour une surcharge générale de 30%, le Tableau A.4 les résultats pour une surcharge égale à six fois la charge normale sur un nœud de réseau unique et le Tableau A.5 les résultats en cas de défaillance sur une seule liaison logique.

Tableau A.3/E.360.2 – Comparaison en termes de performance entre diverses méthodes de routage de connexion et le cas où aucune méthode d'ingénierie du trafic n'est appliquée

**Surcharge générale de 30% (% de trafic perdu/retardé)
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	STT-EDR à 2 liaisons	DC-SDR à 2 liaisons	STT-EDR à liaisons multiples	DC-SDR à liaisons multiples	DP-SDR à liaisons multiples	Aucune méthode d'ingénierie du trafic appliquée
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,18
Téléphonie privée	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	2,61
International sortant	5,40	4,82	0,00	0,00	0,00	3,62
International entrant (service clé)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,63
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,27
Données RNIS à 64 kbit/s	1,27	1,21	0,00	0,00	0,00	3,18
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,51
Téléphonie VBR-RT	0,28	0,20	0,00	0,00	0,00	3,07
Multimédia VBR-NRT	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	2,54
Multimédia UBR	21,8	23,2	4,16	4,16	4,15	3,37

Tableau A.4/E.360.2 – Comparaison en termes de performance entre diverses méthodes de routage de connexion et le cas où aucune méthode d'ingénierie du trafic n'est appliquée
Surcharge ponctuelle égale à six fois la charge normale sur le nœud OKBK
(% de trafic perdu/retardé)
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)

Réseau virtuel	STT-EDR à 2 liaisons	DC-SDR à 2 liaisons	STT-EDR à liaisons multiples	DC-SDR à liaisons multiples	DP-SDR à liaisons multiples	Aucune méthode d'ingénierie du trafic appliquée
Téléphonie professionnelle	5,27	2,28	0,00	0,06	0,08	9,42
Téléphonie privée	7,29	3,50	0,00	0,20	0,23	13,21
international sortant	3,43	3,36	0,00	0,00	0,04	6,03
International entrant (service clé)	2,19	4,21	0,00	0,00	0,00	6,55
Téléphonie à priorité élevée	0,81	1,77	0,00	0,00	0,00	8,47
Données RNIS à 64 kbit/s	0,84	0,33	0,00	0,00	0,00	2,33
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	5,42	2,59	0,00	0,39	0,49	9,87
Multimédia VBR-NRT	7,12	3,49	0,00	2,75	3,18	12,88
Multimédia UBR	14,07	14,68	12,46	12,39	12,32	9,75

Tableau A.5/E.360.2 – Comparaison en termes de performance entre diverses méthodes de routage de connexion et le cas où aucune méthode d'ingénierie n'est appliquée

**Défaillance sur la liaison CHCG-NYCM (% de trafic perdu/retardé)
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	STT-EDR à 2 liaisons	DC-SDR à 2 liaisons	STT-EDR à liaisons multiples	DC-SDR à liaisons multiples	DP-SDR à liaisons multiples	Aucune méthode d'ingénierie du trafic appliquée
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00	0,00	0,64	0,64	0,72
Téléphonie privée	0,00	0,00	0,00	0,44	0,43	0,52
International sortant	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00	0,00	0,18	0,19	0,23
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00	0,00	0,46	0,51	0,58
Données RNIS à 64 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,95	0,89	0,94
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00	0,00	0,55	0,55	0,62
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00	0,00	0,44	0,42	0,51
Multimédia UBR	2,06	1,65	0,17	0,64	0,64	0,72

Dans tous les cas où une méthode d'ingénierie du trafic est appliquée, la performance est toujours meilleure et en général bien meilleure que celle obtenue dans le cas où aucune méthode d'ingénierie du trafic n'est appliquée. Les résultats d'analyse de la performance montrent que les méthodes de routage STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR à liaisons multiples (dans des topologies à maillage peu dense) sont un peu plus performantes en cas de surcharge que les méthodes de routage STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons (dans des topologies à maillage dense), en raison d'un plus grand partage de la capacité du réseau. En cas de défaillance, les méthodes de routage STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons sont, pour un grand nombre de catégories de réseaux virtuels, plus performantes que les méthodes de routage STT-EDR/DC-SDR/CP-SDR à liaisons multiples car elles offrent davantage de possibilités de déroutage et un nombre plus élevé de connexions que les réseaux STT-EDR/DC-SDR/CP-SDR à liaisons multiples. La perte d'une liaison dans un réseau STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR à liaisons multiples peu dense en connexions peut entraîner des conséquences plus graves que dans des réseaux logiques présentant davantage de connexions. Les résultats en termes de performance montrent que le partage de capacité entre les classes de trafic CBR, VBR et UBR permet, lorsqu'il est associé à la gestion de ressources de QS et à la mise en file d'attente selon la priorité, d'utiliser plus efficacement la largeur de bande, sans retard ni perte de trafic importants, même en cas de surcharge ou de défaillance. Ces aspects de la gestion des ressources de QS sont examinés plus en détail dans la Rec. UIT-T E.360.3.

Les méthodes de choix de chemin STT et SDR sont assez comparables dans le cas de réseaux à maillage dense et à deux liaisons. Toutefois, la méthode de choix de chemin STT est un peu plus performante que les méthodes de routage SDR dans le cas de réseaux à maillage dense et à liaisons multiples. En outre, la méthode de choix de chemin DC-SDR est un peu plus performante que la méthode CP-DCR dans le cas de réseaux à liaisons multiples, où des informations d'état datant de 10 secondes peuvent parfois entraîner de mauvais choix de chemins. On peut ainsi en déduire que la mise à jour fréquente des informations d'état donnant la largeur de bande de liaison disponible (ALB) n'améliore pas nécessairement la performance dans tous les cas et que, si l'on emploie de telles informations, il est parfois préférable que leur mise à jour soit très fréquente.

A.3 Topologie de réseau non hiérarchique à zone unique et topologie de réseau hiérarchique à deux niveaux et à zones multiples

Le présent paragraphe traite de la performance pour des configurations de réseau hiérarchique, correspondant à la topologie prévue pour les réseaux à zones multiples (ou à systèmes autonomes multiples (AS multiples) ou à domaines multiples). La Figure A.5 représente le modèle envisagé, qui est composé de 135 nœuds périphériques et de 21 nœuds centraux. Chaque nœud périphérique est relié à l'un des nœuds centraux. En général, les nœuds périphériques peuvent être regroupés dans des zones séparées ou dans des systèmes autonomes et les nœuds centraux dans une autre zone ou dans un autre système autonome. Chaque zone présente une topologie de routage non hiérarchique, mais il existe une relation de routage hiérarchique entre les zones périphériques et la zone centrale. Cette hiérarchie de routage est modélisée dans la Rec. UIT-T E.360.3 pour des exemples d'allocation de largeur de bande par flux et par réseau virtuel. Les Tableaux A.6 à A.8 présentent les résultats relatifs à l'allocation par flux respectivement en cas de surcharge générale de 30%, en cas de surcharge ponctuelle égale à six fois la charge normale et en cas de défaillance de liaison. On constate que la performance est bien plus mauvaise pour le modèle de réseau hiérarchique que pour le modèle de réseau non hiérarchique, qui comprend une seule zone ou un seul système autonome contenant 135 nœuds.

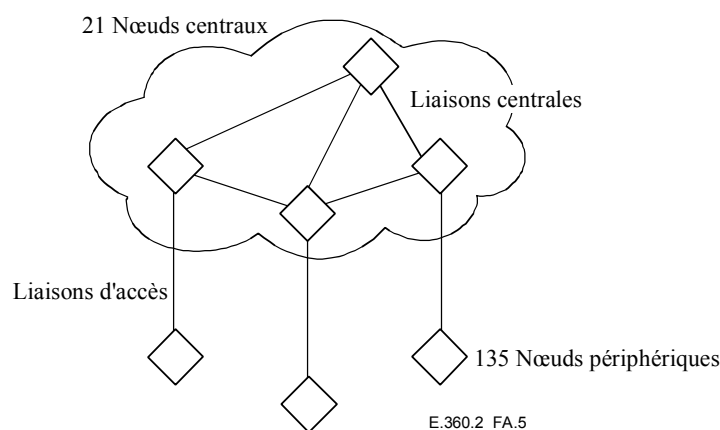


Figure A.5/E.360.2 – Modèle de réseau hiérarchique

Tableau A.6/E.360.2 – Performance pour la topologie non hiérarchique à zone unique et la topologie hiérarchique à deux niveaux et à zones multiples

**Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge générale de 30%
(routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Topologie non hiérarchique à zone unique	Topologie hiérarchique à 2 niveaux et à zones multiples
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00
Téléphonie privée	0,00	0,00
International sortant	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
SDS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00
Multimédia UBR	4,16	9,06

Tableau A.7/E.360.2 – Performance pour la topologie non hiérarchique à zone unique et la topologie hiérarchique à deux niveaux et à zones multiples

**Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de surcharge ponctuelle égale à six fois la charge normale sur le nœud OKBK
(routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)**

Réseau virtuel	Topologie non hiérarchique à zone unique	Topologie hiérarchique à 2 niveaux et à zones multiples
Téléphonie professionnelle	0,00	1,70
Téléphonie privée	0,00	2,22
International sortant	0,00	0,89
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie à priorité élevée	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	0,00	0,27
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,93
Multimédia VBR-NRT	0,00	1,80
Multimédia UBR	12,46	12,88

Tableau A.8/E.360.2 – Performance pour la topologie non hiérarchique à zone unique et la topologie hiérarchique à deux niveaux et à zones multiples

Pourcentage de trafic perdu/retardé en cas de défaillance de la liaison CHCG-NYCM (routage STT-EDR à liaisons multiples; modèle de réseau à 135 nœuds)

Réseau virtuel	Topologie non hiérarchique à zone unique	Topologie hiérarchique à 2 niveaux et à liaisons multiples
Téléphonie professionnelle	0,00	0,00
Téléphonie privée	0,00	0,00
International sortant	0,00	0,00
International entrant (service clé)	0,00	0,00
Téléphonie a priorité élevée	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s	0,00	0,00
Données RNIS à 64 kbit/s (service clé)	0,00	0,00
Données RNIS à 384 kbit/s	0,00	0,00
Téléphonie VBR-RT	0,00	0,00
Multimédia VBR-NRT	0,00	0,00
Multimédia UBR	0,17	1,38

A.4 Conclusions sur la modélisation de réseau

En ce qui concerne l'ingénierie du trafic, on peut tirer les conclusions suivantes:

- 1) les méthodes fondées sur une topologie à maillage peu dense, telles que les méthodes de routage STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR à liaisons multiples, présentent des avantages en matière d'investissements. Ces avantages peuvent toutefois être faibles comparés aux coûts d'exploitation et ils dépendent du modèle de coûts de commutation et de transport considéré. Les modèles de conception de capacité sont traités plus en détail dans la Rec. UIT-T E.360.6 et les questions d'exploitation dans la Rec. UIT-T E.360.7;
- 2) dans tous les cas où des méthodes d'ingénierie du trafic sont appliquées, la performance est toujours meilleure et généralement bien meilleure que dans le cas où aucune méthode d'ingénierie du trafic n'est appliquée;
- 3) la performance générale des réseaux avec routage à liaisons multiples et à maillage peu dense est supérieure en cas de surcharge mais inférieure en cas de défaillance à celle des réseaux avec routage STT-EDR/DC-SDR à deux liaisons, offrant davantage de possibilités de déroutage. L'un des inconvénients des réseaux avec routage à liaisons multiples et à maillage peu dense réside dans le temps d'attente après numérotation, lorsque cinq liaisons ou plus doivent être raccordées pour une demande de connexion particulière;
- 4) les topologies non hiérarchiques à zone unique offrent une meilleure performance de réseau et, comme indiqué et modélisé dans la Rec. UIT-T E.360.6, une meilleure efficacité de conception que les topologies hiérarchiques à zones multiples. Comparées aux méthodes de routage SDR, les méthodes de routage EDR permettent de traiter des zones administratives plus grandes (voir la Rec. UIT-T E.360.4);

- 5) les informations d'état utilisées dans les méthodes de routage SDR à deux liaisons et à liaisons multiples sont peu avantageuses en termes d'investissements pour le réseau, et offrent une performance pratiquement équivalente à celle obtenue au moyen des méthodes de routage STT-EDR à deux liaisons, comme le montrent les résultats relatifs à la performance des réseaux;
- 6) différentes méthodes de choix de chemin peuvent interfonctionner dans le même réseau, ce qui est nécessaire en cas de réseaux exploités par plusieurs fournisseurs;
- 7) la gestion de ressources de QS, décrite en détail dans la Rec. UIT-T E.360.3, se révèle efficace pour différencier les services clés des services normaux et des services assurés au mieux;
- 8) l'intégration de la téléphonie et des données présente certains avantages en termes d'investissements, mais aussi et surtout en termes de réduction des coûts et de simplicité d'exploitation;
- 9) si la téléphonie IP se répandait et si une part importante des appels vocaux utilisait la technique de compression vocale, les réseaux seraient plus efficaces.

Dans l'ensemble, les méthodes de routage fondées sur une topologie à maillage peu dense, sur des liaisons multiples et sur le mode paquet (par exemple, MPLS/TE) présentent certains avantages. La topologie logique à maillage peu dense utilisée avec des liaisons de transport et de commutation à haut débit peut être financièrement avantageuse en raison des configurations de réseau à faible coût obtenues grâce aux économies d'échelle réalisées sur le coût des éléments de réseau à haut débit. Les réseaux dont les liaisons logiques ont une grande largeur de bande et sont peu denses réagissent mieux en cas de surcharge que les réseaux logiques à maillage dense, en raison d'un plus grand partage de la capacité de réseau. Les protocoles de routage fondés sur le mode paquet permettent une configuration automatique des liaisons, nœuds et adresses atteignables, ce qui contribue au bon fonctionnement de ces réseaux. Puisque les réseaux dont les liaisons ont une grande largeur de bande et sont peu denses nécessitent la configuration d'un nombre beaucoup plus faible de liaisons que les réseaux à maillage dense (10 à 20% de connexions pour les réseaux à maillage peu dense contre 90% ou plus pour les réseaux à maillage dense), le travail de configuration est moindre. En outre, les réseaux dont les liaisons ont une grande largeur de bande et sont peu denses utilisent des incréments de capacité plus grands sur chaque liaison. Il serait donc possible d'augmenter la capacité moins fréquemment que dans des réseaux à maillage dense dont les incréments de capacité seraient beaucoup plus petits sur chaque liaison. Les méthodes de routage à liaisons multiples et fondées sur un maillage peu dense se développent en synergie avec l'évolution des services de réseau de données qui mettent en œuvre ces protocoles. Les réseaux de données utilisent depuis longtemps ces méthodes de routage. Les facteurs décrits dans la présente Recommandation aideront les fournisseurs de services à réaliser l'intégration téléphonie/RNIS et données.

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