



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.360.5

(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 de transport**

Recommandation UIT-T E.360.5

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	E.330–E.349
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.360.5

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

Résumé

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

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

Les méthodes examinées dans la série E.360.x se rapportent au routage d'appel et de connexion, à la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, à la gestion des tables de routage, au routage de transport dynamique, à la gestion de la capacité et aux exigences opérationnelles. Certaines de ces méthodes sont également examinées ou sont étroitement liées à celles proposées dans les 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.360.5 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	Principes du routage de transport dynamique.....	2
6	Exemples de routage de transport dynamique	7
7	Conception d'un réseau de transport fiable.....	13
7.1	Modèles de conception pour les liaisons de transport.....	14
7.2	Modèles de conception pour les nœuds.....	16
8	Conclusions/recommandations	17
	Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic	18
A.1	Détermination de la capacité pour un routage de transport dynamique	18
A.2	Performance du réseau en cas de défaillance	19
A.3	Performance des surcharges de trafic générales.....	22
A.4	Performance pour des surcharges de trafic imprévues	22
A.5	Performance pour les charges de trafic pendant les jours de pointe.....	23

Introduction

La présente Recommandation décrit et analyse diverses architectures de réseau de transport en fonction de l'évolution de la technologie des réseaux intégrés à large bande. Le routage de transport dynamique offre le double avantage d'être d'une conception simple et d'être robuste face aux variations de charge et aux pannes de réseau. La combinaison du routage de transport dynamique et du routage de trafic dynamique permet de transférer une certaine largeur de bande de transport d'une paire de nœuds à une autre ou d'un service à un autre grâce à l'utilisation d'une technologie de commutation de transport souple. Le routage de transport dynamique permet d'assurer une mise en service automatique des liaisons, un routage fondé sur une diversité de liaison et un rétablissement rapide de liaison en vue d'améliorer l'utilisation de la capacité de transport et la performance en présence de contraintes.

Nous présenterons des modèles de routage de transport fiable permettant de concevoir un réseau fiable, en mesure d'assurer le service en fonction d'objectifs de rétablissement prédéfinis en cas de défaillance au niveau d'une liaison de transport ou d'un nœud de réseau et de continuer à offrir des connexions aux abonnés de telle sorte que ceux-ci ne perçoivent quasiment pas d'interruption de service. Nous démontrerons que des techniques de routage robustes telles que le routage de trafic dynamique, le routage à entrées/sorties multiples et le routage fondé sur une diversité de liaison logique améliorent la performance du réseau en présence de défaillance au niveau d'un nœud ou du transport.

Des brasseurs, notamment des brasseurs optiques (OXC, *optical cross-connect*), peuvent servir de nœuds pour raccorder des canaux de transport, par exemple des canaux OC48, à différentes liaisons de transport de grande capacité (un canal WDM peut par exemple être raccordé à un câble à fibres optiques). Les brasseurs optiques permettent de reconfigurer très rapidement les conduits de transport, avec des temps de commutation ne dépassant pas en règle générale quelques dizaines de millisecondes. Ils permettent de reconfigurer la capacité de transport logique à la demande, par exemple pour tenir compte du trafic pendant les jours de pointe, ou dans le cadre de la modification hebdomadaire de la capacité des liaisons ou encore dans le cadre d'un rétablissement d'urgence de la capacité en cas de défaillance au niveau d'un nœud ou du transport. Pour reconfigurer la capacité des liaisons logiques, il faut réattribuer une certaine largeur de bande de transport et des nœuds aux différentes liaisons. Le brassage optique relève de la gestion centralisée du trafic.

Des travaux ont été entrepris récemment en vue d'étendre les capacités de commande MPLS à l'établissement des liaisons logiques de couche 2 par le biais de brasseurs optiques. Ils ont donné lieu à la définition de la commutation lambda multiprotocole, reposant sur la commutation de longueurs d'onde utilisée dans la technique de multiplexage par répartition en longueur d'onde à haute densité (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*) [ARDC99].

Recommandation UIT-T E.360.5

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

1 Domaine d'application

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

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

Les méthodes examinées dans la série E.360.x se rapportent au routage d'appel et de connexion, à la gestion des ressources en fonction de la qualité de service, à la gestion des tables de routage, au routage de transport dynamique, à la gestion de la capacité et aux exigences opérationnelles. Certaines de ces méthodes sont également examinées ou sont étroitement liées à celles proposées dans les 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 de la Rec. UIT-T E.360.1.

3 Définitions

Voir le paragraphe 3 de la Rec. UIT-T E.360.1.

4 Abréviations

Voir le paragraphe 4 de la Rec. UIT-T E.360.1.

5 Principes du routage de transport dynamique

La relation entre le réseau de transport et le réseau de trafic constitue un élément important de l'architecture de réseau. La Figure 1 représente un réseau de transport. La Figure 2 montre la projection des liaisons logiques de couche 2 du réseau de trafic sur le réseau de transport physique de couche 1 de la Figure 1. Certaines liaisons logiques reposent sur deux liaisons dorsales à fibres optiques ou plus. Ainsi, sur la Figure 1, la liaison logique AD repose sur les liaisons dorsales par fibre optique AB, BC et CD.

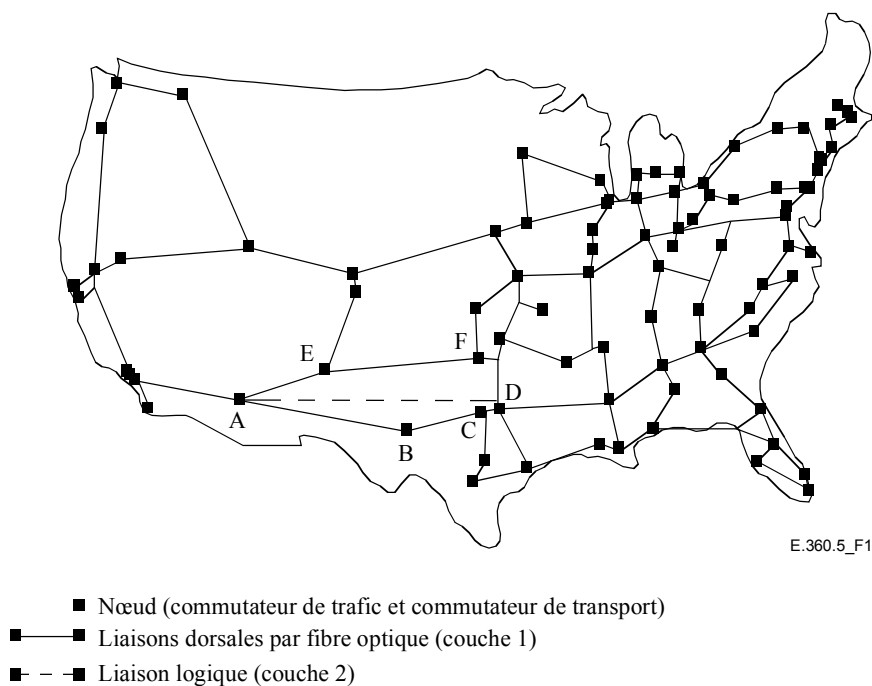
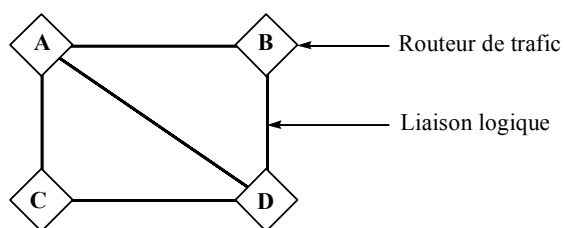


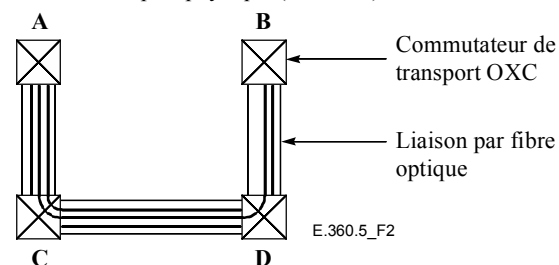
Figure 1/E.360.5 – Modèle de réseau de transport

La Figure 2 montre également la différence entre le réseau de transport physique (couche 1) et le réseau de transport logique (couche 2). Les liaisons logiques correspondent aux connexions logiques entre nœuds de réseau, qui constituent les connexions de liaisons logiques et qui sont routées sur le réseau de transport physique. Elles peuvent être configurées avec des débits donnés (T1, OC3, OC12, OC48, OC192, etc.), en fonction du niveau de la demande de trafic entre les nœuds.

Vue du réseau de transport logique (couche 2)



Vue du réseau de transport physique (couche 1)

**Figure 2/E.360.5 – Réseaux de transport logique (couche 2) et physique (couche 1)**

D'après la Figure 2, pour obtenir des liaisons logiques directes, il faut procéder à un brassage au niveau de commutateurs de transport. Ainsi, le réseau de trafic est un réseau logique superposé à un réseau physique à maillage peu dense. Un brasseur est traversé à chaque nœud de réseau situé sur une liaison logique donnée reposant sur des liaisons de transport physiques de couche 1, comme le montre la Figure 2. Il s'agit là d'une technique particulièrement prometteuse à condition que les brasseurs soient peu onéreux.

Il ressort clairement des Figures 1 et 2 que, dans un réseau de trafic ou réseau de transport logique comportant un grand nombre d'interconnexions, de nombreuses paires de nœuds peuvent avoir une connexion de liaison logique "directe" alors que dans le réseau de transport physique, il n'existe pas de liaison correspondante. En pareil cas, une liaison logique directe est obtenue par brassage via un commutateur de transport (un brasseur optique (OXC), par exemple). Ce brassage est distinct du routage du trafic, pour lequel une connexion support est en fait commutée à un niveau intermédiaire. Cette distinction entre brassage et commutation est un peu subtile, mais elle est à la base du routage de trafic pour les appels et du routage de transport pour les liaisons logiques. La Figure 2 met en évidence une des contradictions logiques rencontrées lorsque le réseau de trafic et le réseau de transport sont conçus comme étant distincts. Sur le chemin de trafic de remplacement du nœud B vers le nœud D via A, le chemin physique suivi va en fait de B à A, puis en sens inverse (phénomène connu en anglais sous le nom de "backhauling"), puis de B à D. L'utilisation en partage de la capacité par diverses charges de trafic permet d'augmenter l'efficacité du réseau car la capacité de B à A et en sens inverse n'est utilisée que lorsque aucun trafic direct de A vers B ou de A vers D ne l'utilise. Il est concevable que, dans certains cas, la capacité pourrait être utilisée de manière plus efficace, ce qui est examiné dans la présente Recommandation.

Par conséquent, une connexion de liaison logique est obtenue par brassage via des commutateurs de transport (des brasseurs optiques (OXC), par exemple); ce brassage est distinct du routage par flux, pour lequel un appel est commuté sur les liaisons logiques à chaque nœud du chemin suivi par cet appel. Ainsi, le réseau de transport logique est superposé à un réseau de transport physique à maillage moins dense. Dans la Rec. UIT-T E.360.3, nous avons examiné un grand nombre de méthodes de routage de trafic dynamique. Parmi les méthodes de routage de transport dynamique figure le choix de chemin dynamique qui vise à utiliser la capacité libre du réseau sur la base de décisions fréquentes de mise à jour de la table de routage de trafic et de transport, éventuellement appel par appel. Les architectures de routage de trafic et de transport tendent à évoluer vers une plus grande souplesse dans l'attribution des ressources de transport et des ressources de commutation. Une architecture peut incorporer un routage de trafic dynamique mais un routage de transport fixe pour la capacité des liaisons logiques. Dans une architecture à routage de transport dynamique, toutefois, les capacités des liaisons logiques peuvent être rapidement reconfigurées – c'est-à-dire qu'elles ne sont pas fixes.

Le routage de transport dynamique permet de transférer rapidement une certaine largeur de bande de transport logique au niveau de la couche 2 d'une paire de nœuds à une autre ou d'un service à un autre, au moyen de brasseurs. En pareil cas, la largeur de bande des liaisons physiques par fibre

optique de couche 1 est attribuée aux diverses liaisons logiques de couche 2. Par ailleurs, l'attribution des largeurs de bandes dans la couche 3 crée l'équivalent de liaisons directes appelées faisceaux de trafic, lesquels à leur tour englobent des réseaux virtuels (VNET, *virtual network*), décrits dans la Rec. UIT-T E.360.3. Pour l'implémentation de faisceaux de trafic, on peut par exemple utiliser des conduits commutés avec étiquette (LSP, *label switched path*) MPLS. La largeur de bande est attribuée aux faisceaux de trafic en fonction des demandes de trafic et, en règle générale, l'intégralité de la largeur de bande des liaisons logiques n'est pas attribuée; on dispose ainsi d'une réserve de largeur de bande non attribuée. En cas de surcharge de trafic au niveau d'une paire de nœuds donnée, le premier nœud commence par établir des appels sur le faisceau de trafic le reliant au deuxième nœud de la paire. En cas d'impossibilité, il utilise ensuite la réserve de largeur de bande disponible. Si la largeur de bande disponible est suffisante, elle est attribuée au faisceau de trafic et utilisée pour établir l'appel. Si la largeur de bande disponible est insuffisante, la largeur de bande des liaisons logiques de couche 2 peut être accrue dynamiquement par le courtier pour la largeur de bande, puis attribuée au faisceau de trafic et enfin à l'appel. De même, en cas de sous-utilisation de la largeur de bande attribuée à un faisceau de trafic, la largeur de bande excédentaire est remise dans la réserve de largeur de bande disponible et peut ainsi être attribuée à d'autres paires de nœuds. Si la largeur de bande des liaisons logiques est suffisamment sous-utilisée, elle peut être renvoyée dans la réserve de largeur de bande disponible pour les liaisons par fibre optique de couche 1. Le courtier pour la largeur de bande réattribue alors dynamiquement les ressources réseau, après analyse des données de trafic recueillies auprès des différents nœuds.

Le routage de transport dynamique permet de reconfigurer rapidement les liaisons logiques entre les divers nœuds en fonction de l'heure de la journée ou éventuellement en temps réel. Il permet en outre de reconfigurer la capacité des liaisons logiques à la demande. Il est particulièrement intéressant dans les cas où la capacité peut être reconfigurée relativement lentement, par exemple, pour le trafic aux heures de pointe, pour le trafic pendant les week-ends, pour le trafic pendant les jours de pointe, pour la modification hebdomadaire de la capacité des liaisons logiques ou pour le rétablissement d'urgence de la capacité en cas de défaillance au niveau d'un nœud ou du transport. La capacité en termes de nœuds et de transport exigée par les différents services et les différentes paires de nœuds utilisant les mêmes fibres optiques varie dans le temps. Dans le réseau considéré ici, si la capacité de liaison logique exigée par une paire de nœuds donnée diminue alors que celle exigée par une deuxième paire de nœuds augmente, une certaine capacité de liaison logique peut être réattribuée à la deuxième paire de nœuds. La possibilité de reconfigurer la capacité de liaison logique dynamiquement et automatiquement permet de réduire les coûts. Une grande largeur de bande peut être offerte sur les routes par fibre optique, et la capacité de transport peut ensuite être attribuée à volonté grâce au mécanisme de reconfiguration. Cette gestion simplifiée de la capacité est examinée de façon plus approfondie dans la Rec. UIT-T E.360.6.

La Figure 3 illustre le concept de routage dynamique de trafic (couche 3) et de transport (couche 2) du point de vue général d'un nœud de commutation.

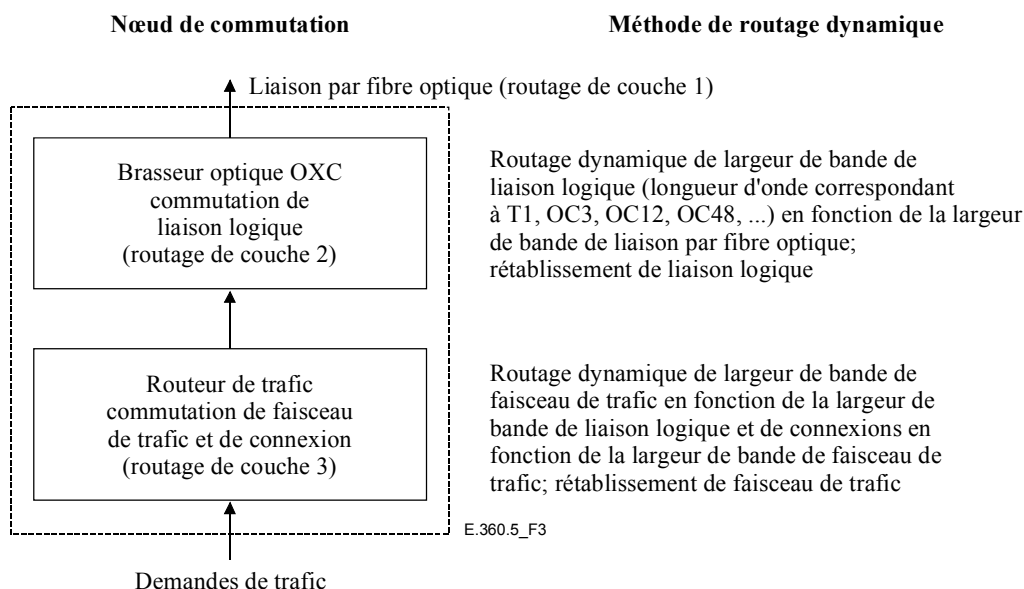


Figure 3/E.360.5 – Routage de transport dynamique (couche 2) et routage de connexion dynamique (couche 3)

La Figure 3 illustre la relation entre les méthodes de routage dynamique au niveau appel et au niveau transport utilisées dans le réseau à routage de transport dynamique. Le routage de connexion dynamique, tel qu'il est décrit dans la Rec. UIT-T E.360.2, est utilisé pour router les appels constituant la demande de trafic sous-jacente. A chaque réseau virtuel (VNET) est attribuée une certaine capacité de faisceau de trafic en fonction de la capacité de liaison de transport. Pour chaque appel, le nœud d'origine analyse le numéro appelé et détermine le nœud de destination, la classe de service et le réseau virtuel. Le nœud d'origine tente d'établir l'appel sur le faisceau de trafic le reliant au nœud de destination et, si ce faisceau de trafic est indisponible, on fait appel au routage dynamique pour reconfigurer la capacité de faisceau de trafic afin de l'adapter aux demandes de trafic et d'assurer la diversité entre nœuds, la diversité d'accès et le rétablissement de faisceau de trafic suite à des défaillances au niveau d'un nœud, d'un brasseur optique (OXC) ou d'une fibre optique. Les capacités de faisceau de trafic sont attribuées par le routeur de trafic en fonction de la largeur de bande de liaison logique, celle-ci étant attribuée par le courtier pour la largeur de bande en fonction de la largeur de bande de liaison par fibre optique, de sorte que la largeur de bande soit utilisée de manière efficace en fonction du niveau de la demande de trafic entre les nœuds.

Au niveau demande de trafic dans la hiérarchie de transmission, la commutation des demandes de flux sur le réseau de liaisons logiques est assurée par la logique de routage de nœud, qui fait appel au routage de trafic dynamique. Au niveau demande de liaison logique à débit OC3 ou supérieur dans la hiérarchie de transmission, la commutation des demandes de liaison logique est assurée par des brasseurs optiques (OXC), qui utilisent le routage de transport dynamique pour router les demandes de transport en fonction des niveaux de trafic. La reconfiguration de liaison logique en temps réel et la réponse en temps réel aux encombrements de réseau peuvent être implémentées grâce au routage de transport dynamique OXC afin d'améliorer la performance du réseau.

Comme illustré sur la Figure 4, un réseau à routage de transport dynamique comprend des routeurs dorsaux (BR, *backbone routers*), des routeurs d'accès (AR, *access routers*) et des brasseurs optiques (OXC). Les routeurs d'accès peuvent router du trafic provenant de centraux locaux, de circuits d'accès en cascade, d'équipement des locaux client ou de centres de commutation internationaux. Dans le cas considéré ici, une largeur de bande correspondant au niveau OC3, OC12, OC48 ou OCx peut par exemple être attribuée à une liaison logique donnée. Un brasseur optique (OXC) peut raccorder (ou "commuter") une liaison logique d'un système à fibres optiques utilisant le multiplexage par répartition en longueur d'onde à forte densité (DWDM, *dense wavelength division*

multiplexing) sur une liaison logique de même type d'un autre système DWDM à fibres optiques. Dans l'exemple représenté sur la figure, les routeurs d'accès sont raccordés aux brasseurs optiques (OXC) par des liaisons de transport (liaison AX1, par exemple) et les routeurs dorsaux (BR) sont raccordés à ces mêmes brasseurs optiques (OXC) également par des liaisons de transport (liaison BX1, par exemple). Plusieurs liaisons de transport dorsales DWDM par fibre optique (liaisons XX1 et XX2, par exemple) interconnectent les éléments de réseau OXC. Les liaisons logiques dorsales aboutissent à chaque extrémité à un brasseur optique (OXC) et sont routées sur des tronçons DWDM par fibre optique du réseau de transport physique par les chemins physiques les plus courts. Les liaisons logiques entre routeurs dorsaux (BR) sont formées par brassage de canaux au niveau des brasseurs optiques (OXC) situés entre les deux routeurs dorsaux (BR) considérés.

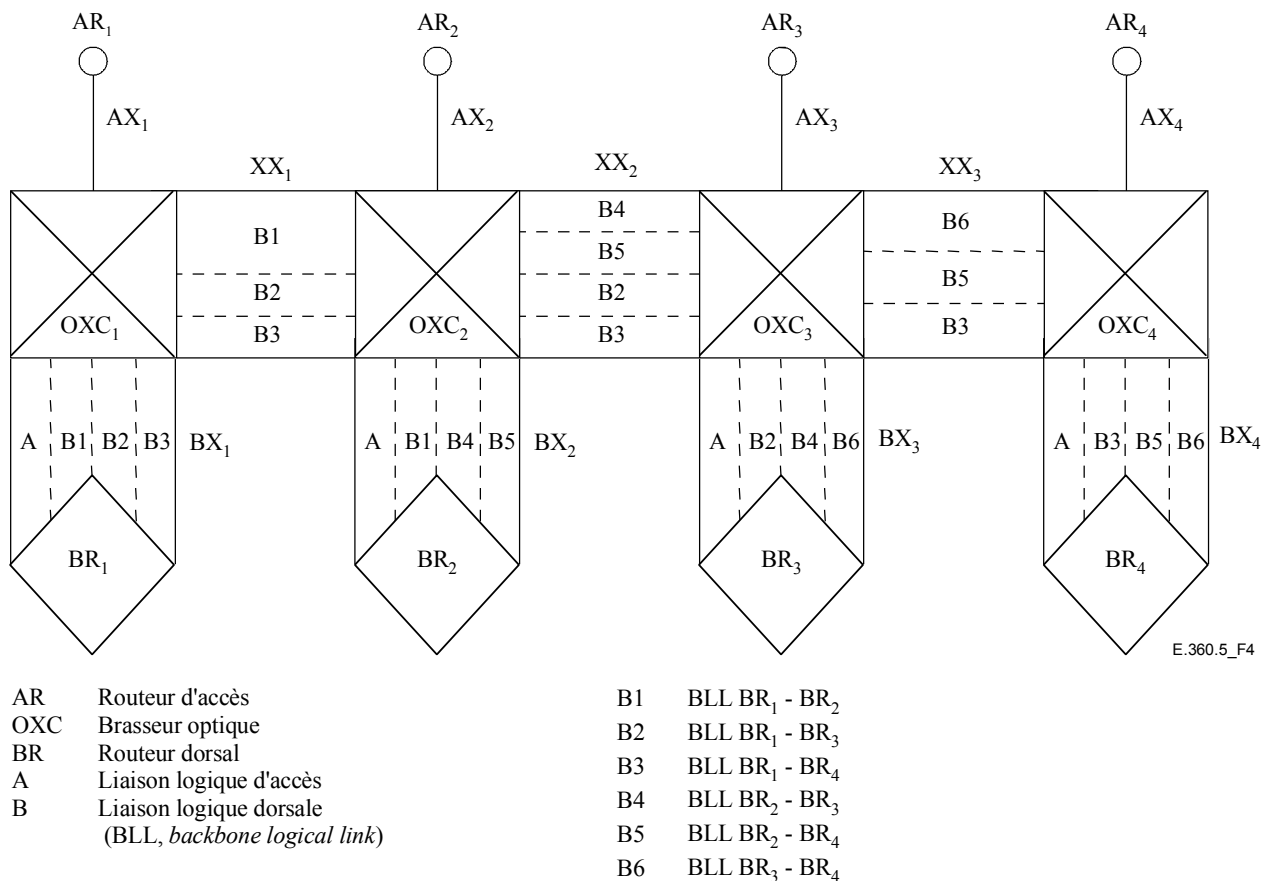


Figure 4/E.360.5 – Réseau à routage de transport dynamique

Par exemple, la liaison logique dorsale B2, allant de BR₁ à BR₃, est formée par la connexion des liaisons DWDM à fibres optiques BX₁, XX₁, XX₂ et BX₃ grâce à un brassage approprié au niveau des brasseurs optiques OXC₁, OXC₂ et OXC₃. Les liaisons logiques ont une largeur de bande variable contrôlée par le courtier pour la largeur de bande qui implémente le réseau à routage de transport dynamique. Les liaisons logiques d'accès sont formées par brassage entre les routeurs d'accès (AR) et les routeurs dorsaux (BR) – par exemple, le routeur d'accès AR₁ raccordé au routeur dorsal BR₁ par les liaisons DWDM par fibre optique AX₁ et BX₁ via le brasseur optique OXC₁, ou encore, le routeur d'accès AR₁ raccordé au routeur dorsal BR₂ par les liaisons DWDM par fibre optique AX₁, XX₁ et BX₂ via les brasseurs optiques OXC₁ et OXC₂. Pour accroître la fiabilité du réseau, les routeurs dorsaux et les routeurs d'accès peuvent être rattachés à deux brasseurs optiques OXC, éventuellement installés dans des bâtiments différents.

6 Exemples de routage de transport dynamique

Le routage de transport dynamique offre de nombreuses possibilités de conception de réseau. Dans le présent paragraphe, nous donnerons des exemples de routage de transport dynamique sur différentes périodes de temps. Ces exemples illustrent les améliorations de l'efficacité et de la performance du réseau rendues possibles par une reconfiguration de transport saisonnière, hebdomadaire, quotidienne ou en temps réel.

La Figure 5 illustre le routage de transport dynamique pour des demandes de trafic qui varient en fonction de la saison. En présence de variations saisonnières des demandes, le réseau de transport dynamique est à même de faire correspondre les demandes avec la capacité de transport du trafic routé, ce qui lui permet de satisfaire de façon efficace les besoins de transport. La Figure 5 montre comment le routage de transport dynamique permet de réduire la capacité du réseau et comment les demandes de transport sont routées en fonction des variations saisonnières. En présence de variations saisonnières des demandes, le réseau de transport dynamique est à même de faire correspondre les demandes avec la capacité de transport du trafic routé, ce qui lui permet de satisfaire de manière efficace aux besoins de transport. La Figure 5 indique la variation des demandes de capacité entre l'hiver et l'été. Pour le routage de transport fixe, les capacités maximales en termes de nœuds et de transport sont mises en œuvre pour toutes les variations saisonnières, car dans un environnement manuel sans reconfiguration de transport dynamique, il est impossible de déconnecter et reconnecter une certaine capacité sur des périodes de temps aussi courtes. En revanche, pour le routage de transport dynamique avec automatisation de la reconfiguration de transport, la configuration des nœuds et du transport peut être modifiée chaque semaine, chaque jour ou, dans le cas de la commutation par paquets à haut débit, en temps réel, de manière à la faire correspondre exactement aux demandes effectives sur le réseau. A noter que le réseau de transport fixe dispose d'une capacité inutilisée en termes de nœuds et de transport qui ne peut être utilisée par aucune demande; on désigne parfois cette capacité inutilisée sous la dénomination de "capacité piégée", étant donné qu'il s'agit d'une capacité disponible mais à laquelle aucune demande concrète ne peut avoir accès. Le réseau de transport dynamique, en revanche, suit la demande de capacité avec le routage de transport souple et permet, conjointement avec la conception du réseau de transport, de réduire la capacité piégée.

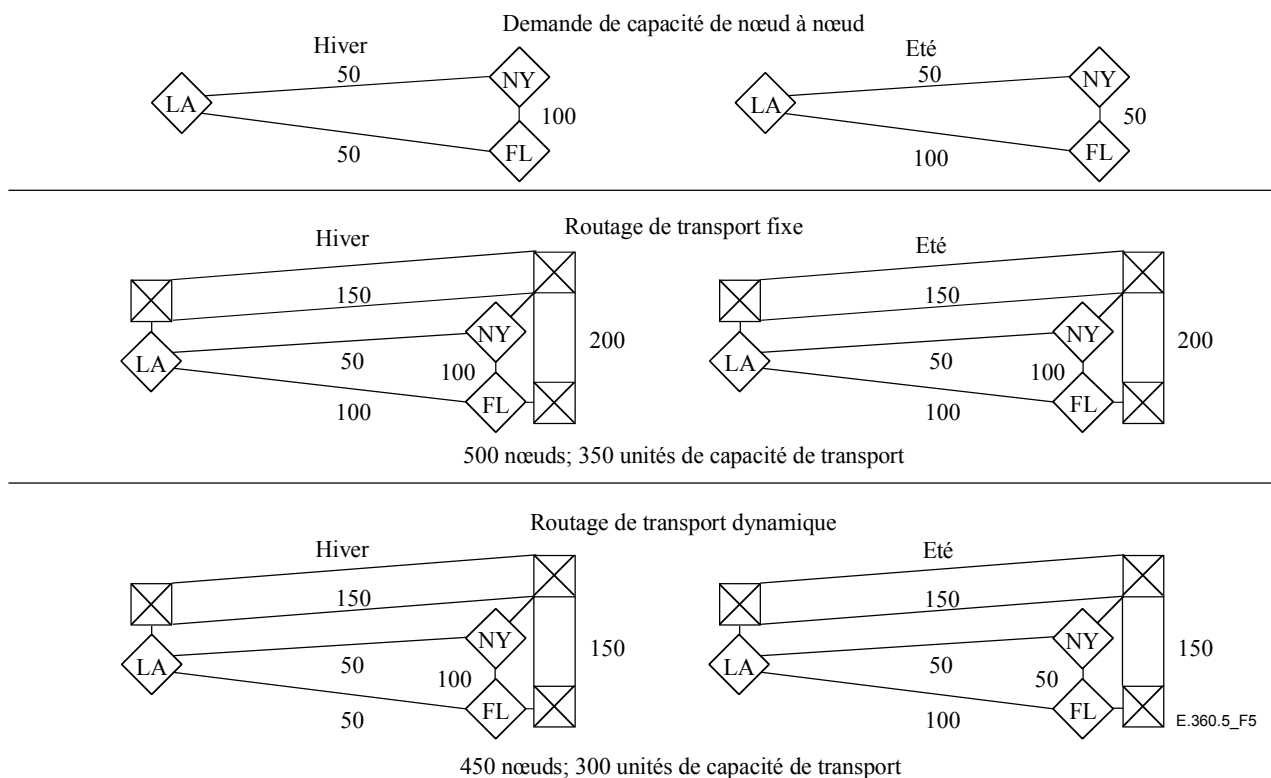


Figure 5/E.360.5 – Comparaison entre le routage de transport dynamique et le routage de transport fixe

Les variations des demandes conduisent donc à un partage efficace de la capacité, ce qui, dans l'exemple de la Figure 5, permet de réduire la capacité requise de 50 nœuds, soit environ de 10% par rapport au réseau de transport fixe, et de 50 unités de capacité de transport, soit environ de 14%. Le routage de transport dynamique permet donc d'utiliser la capacité de manière plus efficace que le routage de transport fixe, car les liaisons peuvent être dimensionnées en fonction de la charge de trafic du réseau.

Les modèles de routage de trafic dynamique et de routage de transport dynamique permettent de réduire la capacité de réserve par rapport au routage de transport fixe. La capacité en place en sus de la capacité exacte nécessaire au transport des charges prévues avec la performance requise est appelée capacité de réserve. Du fait d'incertitudes relatives à la charge (erreurs de prévision, par exemple), on est amené à prévoir une capacité de réserve en sus de la capacité de réseau qui correspond exactement aux charges prévues. La réticence des exploitants de réseau à déconnecter et à réorganiser la capacité de faisceau de trafic et de transport incite à mettre en place cette capacité de réserve. En règle générale, la capacité de réserve représente de 15 à 25%, voire plus, des coûts du réseau. Il ressort des modèles utilisés que le routage de trafic dynamique est susceptible d'entraîner une réduction de 5% de la capacité de réserve, par rapport au routage de trafic fixe, tout en maintenant à un bas niveau la capacité à court terme [A98].

La configuration du réseau de transport dynamique permet de dimensionner les liaisons en fonction de la charge de trafic du réseau. Dans le cas du routage de transport dynamique, la méthode de déconnexion de capacité de liaison consiste, dans la pratique, à toujours déconnecter une capacité de liaison lorsque celle-ci n'est pas nécessaire pour les charges de trafic courantes. Selon les modèles figurant dans le Document [FHH79], il est à prévoir que cette méthode permettra de réduire d'environ 10%, voire davantage, la capacité de réserve, ce que confirment les résultats présentés dans l'Annexe A dans le cas d'une reconfiguration de transport dynamique hebdomadaire.

Avec une reconfiguration hebdomadaire de la capacité des liaisons logiques, la capacité de réserve peut tendre vers la capacité nulle. Les Figures 6 et 7 illustrent la modification hebdomadaire de la

capacité de transport du trafic routé entre les paires de nœuds A-B, C-D et B-E, étant donné que les demandes entre ces paires de nœuds changent chaque semaine.

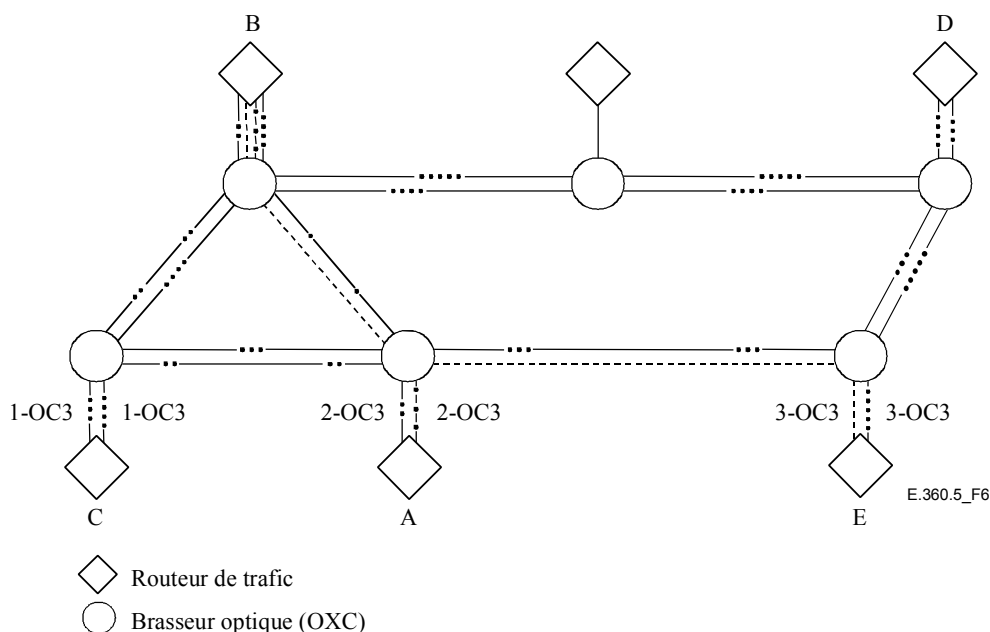


Figure 6/E.360.5 – Configuration hebdomadaire du réseau à routage de transport dynamique (caractéristiques de charge de trafic pendant la première semaine)

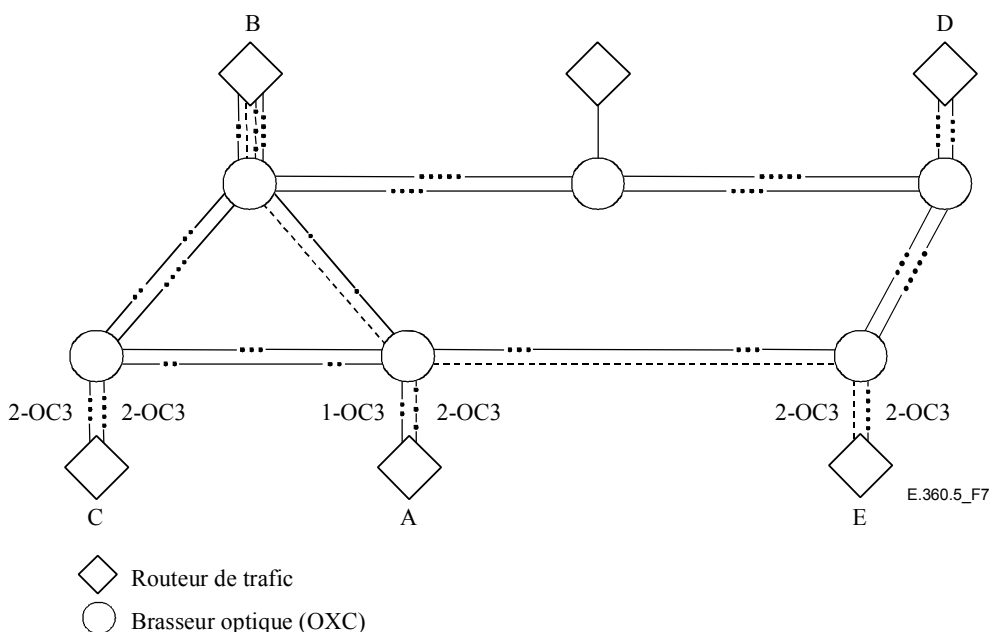


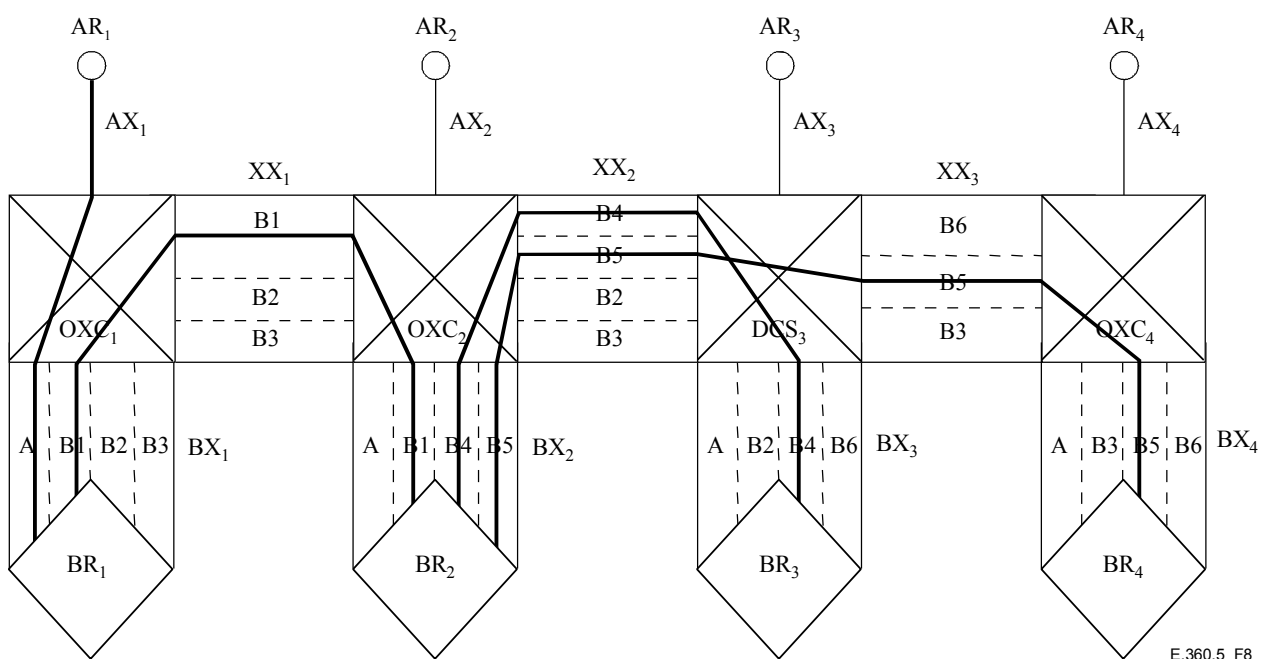
Figure 7/E.360.5 – Configuration hebdomadaire du réseau à routage de transport dynamique (caractéristiques de charge de trafic pendant la deuxième semaine)

Ces modifications du routage de transport et de la capacité s'opèrent automatiquement dans le réseau de routage de transport dynamique, lequel maintient le routage de transport fondé sur la diversité des liaisons logiques A-B et C-D. Cette diversité renforce la fiabilité du réseau.

La reconfiguration quotidienne de la capacité des liaisons de transport permet d'améliorer la performance pour des raisons analogues, du fait de la non-coïncidence des demandes de capacité de transport qui varient d'un jour à l'autre. Les Figures 8 et 9 donnent un exemple de non-coïncidence du trafic pendant les jours de pointe tels que le jour de Noël. La Figure 8 illustre le routage normal

des demandes d'accès et des demandes entre routeurs dorsaux (BR) pendant les jours ouvrables. Le jour de Noël, toutefois, de nombreux nœuds sont très occupés et beaucoup d'autres sont inactifs. Par exemple, le nœud BR2 peut être relativement inactif ce jour-là (s'il s'agit d'un nœud desservant un quartier ou une zone d'activité commerciale), alors que le nœud BR1 peut être très occupé. Par conséquent, le jour de Noël, le nœud BR2 enregistrera un nombre moindre de demandes à destination de tout autre point du réseau et le routage de transport dynamique permettra de réduire automatiquement la capacité de transport. De même, le nœud BR1 enregistrera un plus grand nombre de demandes ce jour-là. Les demandes d'accès telles que celles qui émanent d'un nœud AR1 peuvent être réacheminées vers le nœud BR2, qui a une capacité disponible (voir la Figure 9), ce qui en outre permet de libérer une certaine capacité au niveau du nœud BR1 qui peut être utilisée pour les demandes entre nœuds dorsaux, qui sont plus nombreuses. Ce type de reconfiguration, fondée sur la non-coïncidence du trafic, permet d'écouler davantage de trafic à destination et en provenance du nœud BR1 grâce à la capacité accrue des liaisons logiques entre nœuds BR, qui utilisent alors la capacité de transport dont le nœud BR2 n'a plus besoin. Pendant les jours de pointe tels que le jour de Noël, les nœuds occupés sont souvent limités par la capacité des liaisons logiques entre nœuds dorsaux; ce type de reconfiguration permet de réduire ou d'éliminer cet engorgement du trafic, comme il ressort de l'exemple de modèle de réseau de transport dynamique pour le jour de Noël présenté dans l'Annexe A.

L'équilibrage de capacité entre la capacité d'accès et la capacité entre nœuds dorsaux dans l'ensemble du réseau peut conduire à une certaine robustesse du réseau face aux surcharges inattendues. Il est illustré dans l'Annexe A par le cas de figure d'une surcharge ponctuelle causée par un ouragan, au nord-est des Etats-Unis. Une reconfiguration visant à accroître la capacité, dictée par une réaction instantanée à des événements imprévus (tremblement de terre, par exemple) pourrait être faite dans le réseau de transport dynamique.



E.360.5_F8

AR	Routeur d'accès	B1	BLL BR ₁ - BR ₂
OXC	Brasseur optique	B2	BLL BR ₁ - BR ₃
DCS	Brassage numérique	B3	BLL BR ₁ - BR ₄
BR	Routeur dorsal	B4	BLL BR ₂ - BR ₃
A	Liaison logique d'accès	B5	BLL BR ₂ - BR ₄
B	Liaison logique dorsale (BLL, backbone logical link)	B6	BLL BR ₃ - BR ₄

Figure 8/E.360.5 – Modèle de routage de transport dynamique les jours de pointe

Le routage de transport dynamique permet de procéder dynamiquement à un rétablissement en cas de défaillance (rupture d'une fibre optique, par exemple) en utilisant la capacité de transport de réserve ou de secours. Le routage de transport dynamique offre une capacité de rétablissement automatique du réseau garantissant un choix de chemin dans tout le réseau et une adaptation immédiate en cas de défaillance.

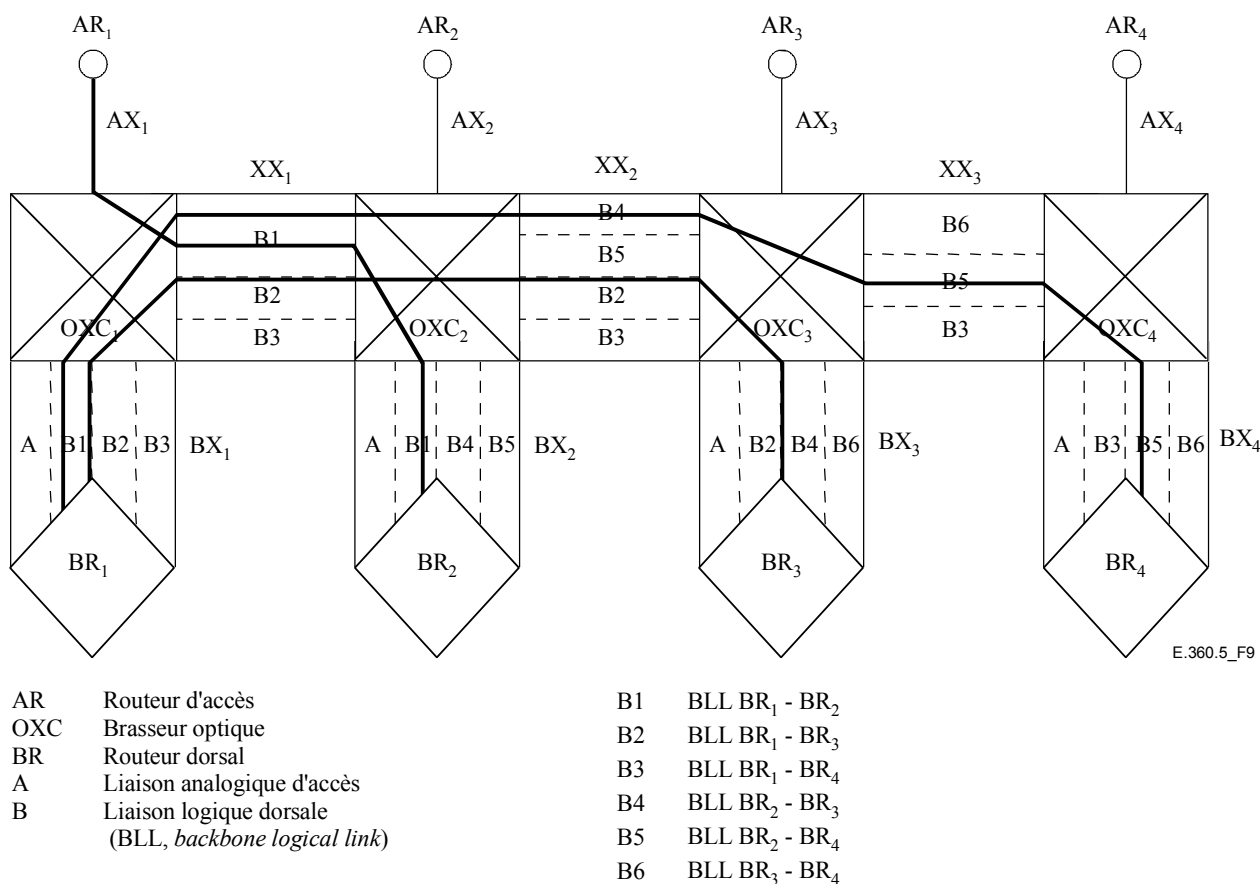


Figure 9/E.360.5 – Modèle de routage de transport dynamique les jours de pointe

FASTAR [CED91], par exemple, implémente une commande automatique centralisée des commutateurs de transport pour rétablir rapidement le service après une panne de transport. Comme le montre la Figure 10, la rupture d'une fibre optique peut causer la mise hors service d'une grande capacité de faisceau de trafic, et le routage de transport dynamique permet de rétablir rapidement la capacité de transport. Le routage de transport dynamique offre une capacité de rétablissement automatique du réseau garantissant un choix de chemin dans tout le réseau et une adaptation immédiate en cas de défaillance. Comme le montre la Figure 10, la rupture d'une fibre optique à proximité du nœud de Nashville a entraîné la mise hors service d'une capacité de faisceau de trafic de 8,576 Gbit/s dans le réseau commuté (qui écoulait également du trafic de lignes privées), et, après rétablissement de transport dynamique, une capacité de 3,84 Gbit/s était encore hors service. Dans l'exemple considéré ici, le rétablissement de transport dynamique est implémenté par une commande automatique centralisée des brasseurs de transport afin de rétablir rapidement le service après une panne de transport, due par exemple à la rupture d'un câble. Pendant toute la durée de cette panne, plus de 12 000 appels – la quasi-totalité d'entre eux étant en provenance ou à destination du nœud de Nashville – ont été bloqués dans le réseau commuté, et il est intéressant de noter que les appels ont commencé à être débloqués une fois rétablie une capacité de faisceau de trafic de 4,736 Gbit/s, c'est-à-dire 11 minutes après le début de la panne, même si une capacité de faisceau de trafic de 3,84 Gbit/s était encore hors service.

Le routage de trafic dynamique a permis de trouver des chemins pour router le trafic, bien que la capacité des liaisons logiques était nettement inférieure à la normale, même après le rétablissement de transport dynamique. Par conséquent, associé au rétablissement de transport dynamique, le routage de trafic dynamique offre une capacité de rétablissement automatique du réseau et, en dépit du fait que le câble a été réparé deux heures après sa rupture, la dégradation du service a été minime. Dans l'exemple considéré ici, le routage de trafic dynamique a aussi assuré un routage selon la priorité pour certains abonnés et services, comme décrit dans la Rec. UIT-T E.360.3, permettant d'acheminer les appels prioritaires plutôt que les autres appels, et les services prioritaires n'ont pratiquement pas été bloqués pendant toute la durée de la panne.

Pendant toute la durée d'une panne, les appels sont bloqués jusqu'au rétablissement d'une capacité suffisante pour arrêter de bloquer des appels dans le réseau. En d'autres termes, le routage de transport dynamique et le routage de trafic dynamique permettent de trouver des chemins disponibles sur lesquels acheminer le trafic bloqué. Par conséquent, l'exemple présenté ici montre clairement comment le routage de trafic dynamique en temps réel, associé au routage de transport dynamique en temps réel, offre une capacité de rétablissement automatique du réseau et, même si le câble n'est réparé que deux heures après sa rupture, la dégradation du service est minime. Cette amélioration de la performance du réseau se traduit pas un accroissement des recettes du service, du fait que les appels précédemment bloqués aboutissent, et par une amélioration de la qualité du service offert à la clientèle.

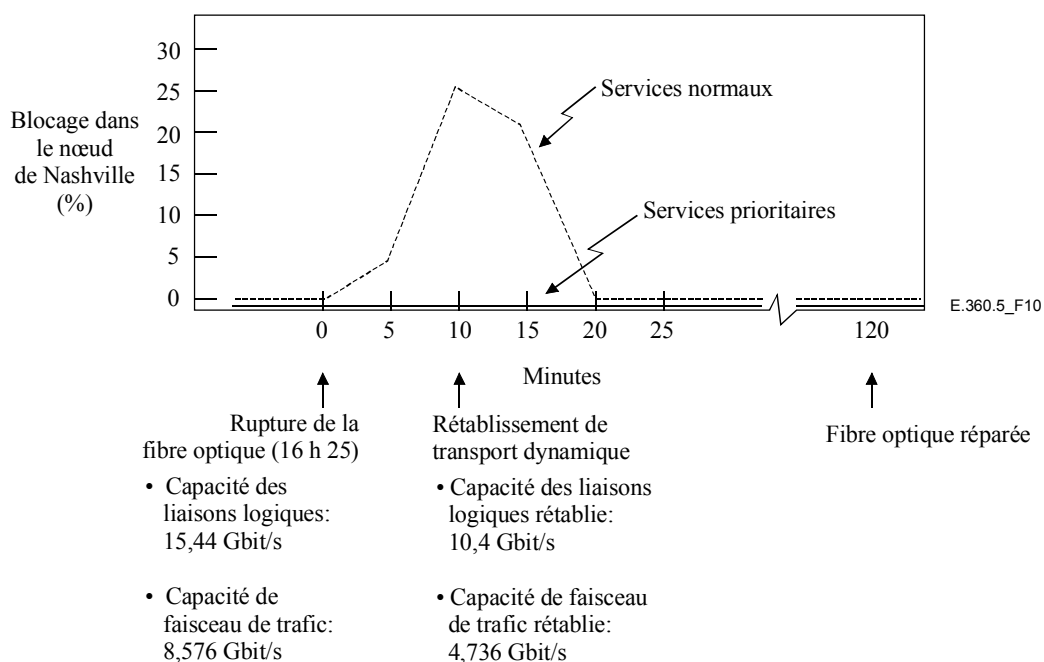


Figure 10/E.360.5 – Exemple de rupture d'une fibre optique avec routage de trafic dynamique et routage de transport dynamique

Ces exemples démontrent que l'implémentation du routage de transport dynamique permet d'améliorer la performance du réseau et de réduire les coûts. Ces avantages sont comparables à ceux que permet d'obtenir le routage de trafic dynamique et, comme on l'a vu, l'association du routage de trafic dynamique et du routage de transport dynamique contribue, par un effet de synergie, à renforcer les améliorations ainsi obtenues dans le réseau.

L'implémentation d'un réseau à routage de transport dynamique permet de réduire considérablement les dépenses d'infrastructure ainsi que les frais de conception et de gestion du réseau, grâce aux méthodes de reconfiguration de la capacité de transport. La mise en service et la reconfiguration automatiques des liaisons logiques se traduisent par une réduction des dépenses d'exploitation annuelles. La conception et la gestion du réseau ont en outre un certain nombre d'effets, qui se

traduisent par de nouvelles réductions des dépenses d'exploitation, à savoir: simplification des systèmes de configuration des liaisons logiques; automatisation des essais des liaisons logiques avant la mise en service et simplification des systèmes de maintenance; intégration, dans la planification et la mise en place des capacités des liaisons logiques, des opérations suivantes: établissement des prévisions, gestion et attribution de largeurs de bande; simplification de la planification des nœuds et du transport; automatisation de la gestion des stocks.

7 Conception d'un réseau de transport fiable

En cas de défaillance d'une liaison, d'un nœud ou d'un autre élément du réseau, il importe que, de par sa conception, le réseau puisse conserver une capacité de survie suffisante pour respecter les niveaux de performance requis. En effet, la défaillance d'une importante liaison par fibre optique, par exemple, pourrait avoir un effet catastrophique sur le réseau, du fait que le trafic à acheminer entre de nombreuses paires de nœuds ne pourrait plus être écoulé sur la liaison en question. De même, la défaillance d'un des nœuds pourrait couper du monde toute une région géographique jusqu'à ce que ce nœud soit remis en service.

En gardant présents à l'esprit ces deux types de défaillances importantes, sont présentés ici des modèles de routage de transport fiable permettant de concevoir un réseau fiable, en mesure d'assurer le service en fonction d'objectifs prédéfinis de rétablissement en cas de défaillance au niveau d'une liaison de transport ou d'un nœud du réseau et de continuer à offrir des connexions aux abonnés de telle sorte que ceux-ci ne perçoivent quasiment pas d'interruption de service. Cette manière de procéder vise à intégrer, dans les réseaux de trafic et de transport, des capacités assurant la robustesse du réseau ou son insensibilité en cas de défaillance. Ces modèles ont principalement pour but d'offrir une diversité de liaison et d'augmenter la capacité de protection, en fonction des besoins, afin d'atteindre des objectifs spécifiques de "robustesse du réseau" (objectifs en termes de niveau de rétablissement du trafic, par exemple) lorsque des défaillances se produisent. Il s'ensuit que le réseau est conçu de manière à acheminer au moins la fraction de trafic correspondant au niveau de rétablissement du trafic (TRL, *traffic restoration level*) lorsqu'une défaillance se produit. Par exemple, un niveau de rétablissement du trafic de 70% signifie qu'en cas de défaillance d'une liaison de transport quelconque du réseau de transport, au moins 70% du trafic initial à acheminer entre les paires de nœuds affectées doivent être écoulés après que la défaillance s'est produite; concernant les paires de nœuds non affectées, l'objectif à respecter pour l'écoulement du trafic est l'objectif normal de probabilité de blocage. Ces modèles permettent de concevoir des réseaux capables de remédier immédiatement aux défaillances qu'ils subissent. Par ailleurs, un rétablissement de transport est souhaitable après l'apparition d'une défaillance dans un réseau, pour permettre le retour du service à la normale. Le rétablissement de transport est également examiné dans la présente Rec. UIT-T.

Pour garantir la fiabilité d'un réseau, un objectif pourra par exemple être que le réseau doive écouler 50% de sa charge de trafic pendant les heures de pointe sur chaque liaison dans les cinq minutes qui suivent une importante panne du réseau, afin d'éviter tout isolement de paires de nœuds. Pour cela, on pourra faire appel aux techniques de rétablissement du trafic suivantes: diversité de liaison, capacité de rétablissement du trafic et routage de trafic dynamique. Un autre objectif pourra être de ramener le niveau de blocage des établissements de connexion à moins de 5% dans un délai de 30 minutes, par exemple, afin de limiter la durée de dégradation du service. On y parviendra en mettant en œuvre des méthodes de rétablissement de transport utilisant des nœuds de transport et une commande centralisée de rétablissement de transport. Un autre objectif encore pourra être de rétablir au moins 50% des faisceaux coupés sur les lignes affectées dans le même délai.

La procédure de rétablissement de transport permet de rétablir la capacité pour les services commutés, ainsi que pour les services spécialisés ("ligne privée"), en cas de défaillance de liaison. Dans une certaine mise en œuvre, le rétablissement de transport est assuré via un système centralisé qui rétablit la capacité de transport affectée jusqu'à ce que la capacité de rétablissement disponible

soit intégralement utilisée. Il est possible d'optimiser le coût total de la capacité de rétablissement de transport en recourant à une conception qui augmente les possibilités de partage de la capacité de rétablissement pour différents scénarios de défaillance. Le rétablissement de transport en temps réel peut par ailleurs nécessiter l'utilisation d'une capacité de rétablissement spécialisée pour chaque liaison, ce qui réduira les possibilités de partage de la capacité de rétablissement. Aux fins de la présente analyse, on admet qu'un certain niveau de capacité de rétablissement permet d'assurer la protection du transport sur l'ensemble du réseau. On désigne par le terme niveau de rétablissement du transport (TPRL, *transport restoration level*) le pourcentage minimal de capacité de chaque liaison de transport qui peut être rétabli. Le modèle considéré ici utilise un niveau de rétablissement de transport qui doit être respecté pour le rétablissement de chaque liaison affectée lors d'une défaillance. Une distinction du E.360.6 entre le niveau de rétablissement de transport pour les circuits commutés et le niveau de rétablissement de transport pour les circuits spécialisés, désignés respectivement par TPRLs et TPRLp.

Voir maintenant les modèles de conception de routage de transport logique applicables aux réseaux ayant une capacité de survie. Avant de décrire ces modèles, la distinction entre réseau de trafic et réseau de transport ainsi que le concept de diversité de liaison seront examinés.

Pour différencier un réseau de trafic d'un réseau de transport, prenons l'exemple du réseau à trois nœuds de la Figure 2. Le réseau de transport physique est représenté dans la partie inférieure de la figure, et le réseau (de trafic) de transport logique correspondant dans la partie supérieure. Par exemple, la liaison logique directe pour raccorder les nœuds A et B peut suivre le chemin A-C-D-B dans le réseau de transport physique. Il n'existe aucune liaison logique entre les nœuds B et C, ce qui signifie qu'il n'existe aucune capacité de faisceau de trafic directe du nœud B au nœud C. La défaillance d'une seule liaison de transport physique peut affecter plusieurs liaisons logiques. Par exemple, sur la Figure 2, la défaillance de la liaison de transport physique C-D affecte les liaisons logiques A-D, C-D et A-B. La diversité de liaison logique désigne une conception de liaison logique dans laquelle la capacité directe associée à une liaison logique est répartie entre deux chemins de transport physiques différents, ou plus. Par exemple, sur la Figure 1, la capacité directe associée à la liaison logique A-D peut être répartie entre les deux chemins de transport physiques A-B-C-D et A-E-F-D. Une politique de diversité de liaison de 70/30, par exemple, correspond à une situation dans laquelle pas plus de 70% de la capacité d'une liaison logique directe (faisceau de trafic) est routée sur une même liaison de transport physique pour les différents chemins de transport correspondant à cette liaison logique. L'intérêt de la diversité de liaison logique est qu'en cas de défaillance d'une liaison de transport physique, le trafic correspondant à une paire de nœuds donnée peut continuer d'utiliser la capacité de la liaison logique subsistant sur le chemin de transport physique ne comportant pas la liaison défaillante.

Des modèles de conception de routage de transport en cas de défaillance d'une liaison de transport physique ou d'un nœud vont être examinés.

7.1 Modèles de conception pour les liaisons de transport

A supposer qu'il existe deux chemins de transport distincts correspondant à la capacité de la liaison logique directe raccordant chaque paire de nœuds. Dans le modèle considéré ici, la demande de trafic est convertie en demande de faisceaux virtuels compte tenu, par exemple, de la capacité de transport logique directe et de celle de débordement, comme indiqué dans la Figure 6.1 du E.360.6. Soit v le nombre requis de faisceaux virtuels correspondant à la demande de trafic pour une paire de nœuds donnée. Soient d le nombre de faisceaux virtuels à prévoir sur le chemin de transport physique primaire et s le nombre de faisceaux virtuels à prévoir sur le chemin de transport physique de remplacement correspondant à la liaison logique directe raccordant la paire de nœuds considérée. Soient encore b le nombre nominal de faisceaux de trafic prévus pour cette liaison selon le modèle de conception du réseau et t le niveau de rétablissement du trafic (TRL) requis en cas de défaillance de liaison. Soit enfin Δ_b l'augmentation de capacité qui peut être nécessaire pour la liaison logique considérée.

Le but recherché, en cas de défaillance, est d'acheminer une partie tv de la demande totale de faisceaux virtuels pour les paires de nœuds affectées. Ainsi, si $tv \leq b/2$, on pose que $\Delta_b = 0$ (pas d'augmentation), avec $d = b - tv$ et $s = tv$. De cette manière, en cas de défaillance de l'un ou l'autre des chemins de transport, nous pouvons acheminer au moins la partie tv de la demande de faisceaux virtuels. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si $tv > b/2$, on souhaite que:

$$(b + \Delta_b)/2 = tv$$

d'où: $\Delta_b = 2tv - b$

Dans ce cas, on pose $d = s = (b + \Delta_b)/2$. On procède comme indiqué ci-dessus pour chaque paire de nœuds dans le réseau. Les coûts marginaux du réseau correspondent aux coûts liés à l'augmentation du nombre de faisceaux et au routage de la capacité de la liaison logique directe pour chaque paire de nœuds, le cas échéant, sur deux chemins de transport.

La procédure ci-dessus peut être étendue au cas général de k chemins de transport physiques distincts. Ainsi, pour k chemins de transport physiques distincts, si

$$tv \leq \frac{k-1}{k}b$$

alors $\Delta_b = 0$, avec $d = b - tv$ sur le premier chemin de transport physique, et $tv/(k - 1)$ sur chacun des $(k - 1)$ autres chemins de transport. Si

$$tv > \frac{k-1}{k}b$$

alors: $\Delta_b = \frac{k}{k-1}tv - b$

chacun des k chemins de transport comportant $(b + \Delta_b)/k$ faisceaux.

La Figure 11 représente un modèle de liaison de transport, où chaque section transversale de transport est censée contenir, en moyenne, certaines fractions de circuits commutés (N) et de circuits spécialisés (M). Une partie de ces circuits est en outre présumée pouvoir être rétablie en temps réel, à l'aide par exemple de configurations de transmission en anneau ou à double entrée (valeurs n et m).

Concernant les circuits qui ne sont pas rétablis en temps réel, il est procédé à un rétablissement de transport au niveau de rétablissement de transport (TPRL) spécifié. La partie inférieure de la Figure 11 met en évidence l'interaction entre la capacité des circuits commutés et celle des circuits spécialisés dans le processus de rétablissement. Celui-ci est censé rétablir la première unité de capacité de transport (OC3, par exemple) au bout de x secondes, chaque autre unité de capacité de transport étant rétablie dans un délai de y secondes. Indiqués uniquement à titre d'exemple, les temps de rétablissement ne sont pas critiques du point de vue de la conception d'un réseau fiable selon les principes examinés ici. Le rétablissement utilisant un anneau SONET peut intervenir en l'espace de 50 à 200 millisecondes; cette phase de rétablissement en temps réel est incluse dans le modèle. On suppose l'utilisation d'une méthode dans laquelle les liaisons de transport qui acheminent des services spécialisés à priorité élevée sont rétablies en premier. Etant donné que la capacité des circuits commutés et celle des circuits spécialisés sont souvent mélangées au niveau des liaisons logiques, une certaine capacité des circuits commutés est également rétablie.

Différents niveaux de rétablissement de transport peuvent également être attribués au réseau de circuits spécialisés (TPRLp) et au réseau de circuits commutés (TPRLs). Pour chaque type de demande de circuit, il est alors procédé à un rétablissement au niveau de rétablissement correspondant. Par ailleurs, la Figure 11 montre les variations du niveau de rétablissement des circuits commutés en fonction du temps. Une partie des circuits de trafic est rétablie en temps réel (n). Au bout de

x secondes, le rétablissement de transport commence, à raison d'une unité de capacité de transport rétablie toutes les y secondes, la fraction de trafic commuté présente dans chaque unité de capacité de transport était faible au départ. Cette fraction augmente ensuite, une fois que le trafic spécialisé est rétabli au niveau TPRLp préalablement défini. Le rétablissement de transport s'arrête dès que les objectifs TPRLp et TPRLs sont atteints.

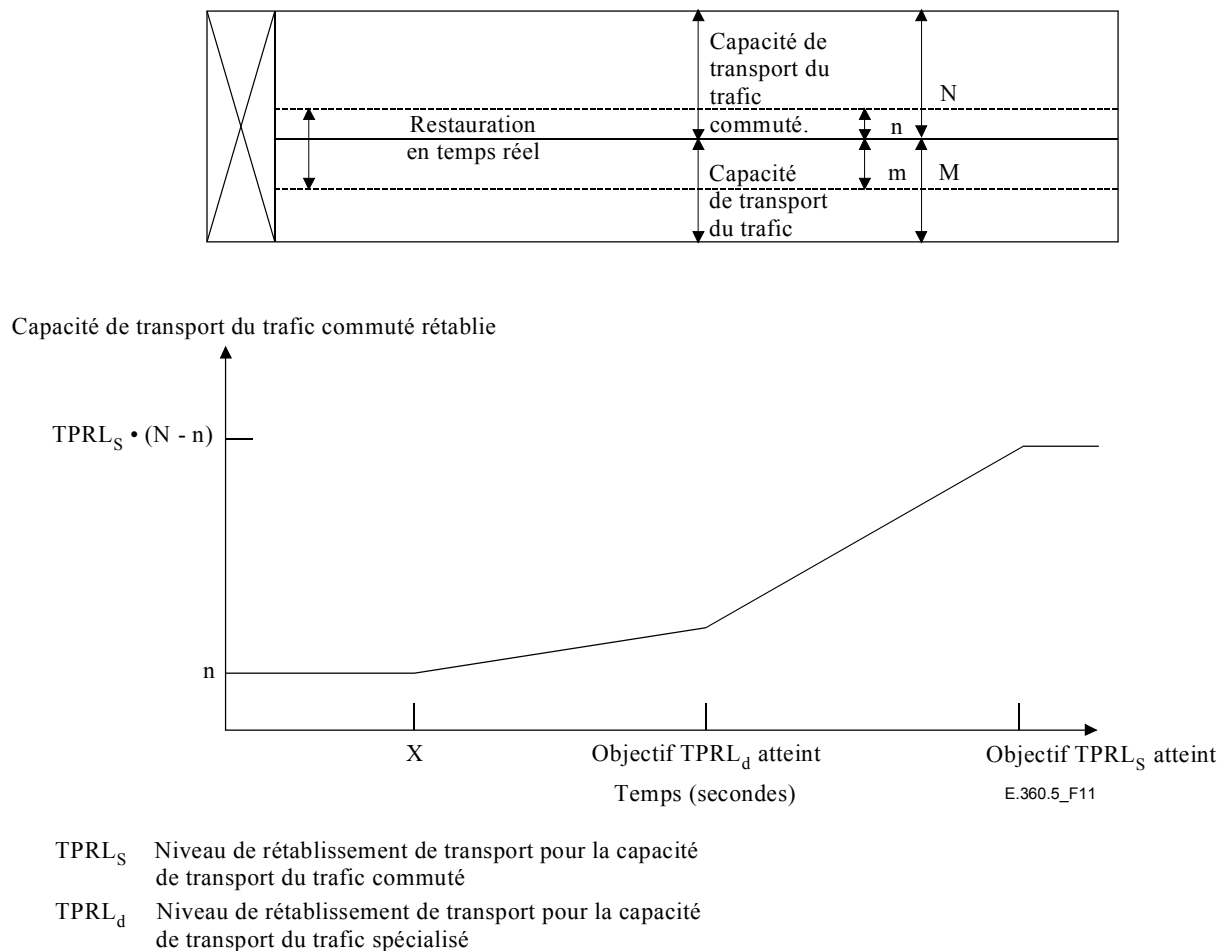


Figure 11/E/360.5 – Modèle de rétablissement de transport

7.2 Modèles de conception pour les nœuds

La conception du rétablissement en cas de défaillance d'un nœud intègre le concept de double rattachement, tel qu'il est évoqué dans la Rec. UIT-T E.360.2, ainsi que celui de routage à entrées/sorties multiples. Dans le cas du simple rattachement, le trafic en provenance d'une zone géographique donnée est normalement dirigé vers le nœud le plus proche, qui assure l'écoulement du trafic d'entrée et de sortie. Par exemple, sur la Figure 12, le trafic en provenance de la zone desservie A1 entre dans le réseau via le nœud B et, de même, le trafic en provenance de la zone desservie A2 entre dans le réseau via le nœud C. En l'état actuel des choses, si le nœud B tombe en panne, la zone A1 se trouve coupée du monde. Pour éviter qu'une telle situation ne se produise, on rattache les zones A1 et A2 à plusieurs nœuds – en l'occurrence aux nœuds A et B (voir la partie inférieure de la Figure 12). Tel est le principe du double rattachement, qui facilite la conception d'un réseau fiable au cas où un des nœuds tomberait en panne.

A chaque nœud à protéger, on attribue un nœud de double rattachement. Avant que la défaillance ne se produise, on suppose que la charge de trafic en provenance d'un nœud à destination du nœud protégé et de son nœud de double rattachement est répartie à parts égales. En d'autres termes, si la charge de trafic initiale entre la zone A1 et le nœud A est égale à a_1 et que la charge de trafic

initiale entre le nœud A et le nœud de double rattachement C est égale à a_2 , on suppose que, dans des conditions normales d'exploitation du réseau, la charge de trafic est égale à $(a_1 + a_2)/2$ aussi bien entre les nœuds A et B qu'entre les nœuds A et C. C'est ce qu'on appelle le principe de l'équilibre de la charge de trafic. En cas de défaillance du nœud B, par exemple, on écoulera la charge de trafic égale à $(a_1 + a_2)/2$ entre les nœuds A et C (voir la partie inférieure de la Figure 12). On parle alors d'objectif de 50% en termes de niveau de rétablissement du trafic, par analogie avec le cas de la défaillance d'une liaison. Comme il ressort de la partie inférieure de la Figure 12, le trafic en provenance ou à destination de la zone A1 correspondant à ce niveau de rétablissement continue à être acheminé.

Dans le modèle de rétablissement, on commence par déterminer les paires de nœuds à prendre en considération pour les scénarios de défaillance de nœud. Puis on détermine le nœud de double rattachement associé à chaque nœud et le routage du trafic en condition d'équilibre de la charge de trafic qui en découle. On calcule ensuite les v_k faisceaux virtuels correspondants. Pour chaque paire de nœuds, on suppose qu'un des nœuds (le nœud B, par exemple) subit une défaillance. Ce nœud ne peut donc recevoir aucun trafic entrant ni émettre aucun trafic sortant et ne peut pas non plus servir de nœud intermédiaire pour assurer l'écoulement du trafic sur deux liaisons entre d'autres paires de nœuds. Compte tenu de ces contraintes, on résout un modèle de programmation linéaire visant à minimiser les coûts marginaux. On intervertit ensuite les rôles des nœuds de la paire considérée et on résout à nouveau le modèle de programmation linéaire en appliquant les contraintes susmentionnées. Cette procédure est répétée pour chaque paire de nœuds à prendre en considération pour chaque scénario de défaillance de nœud.

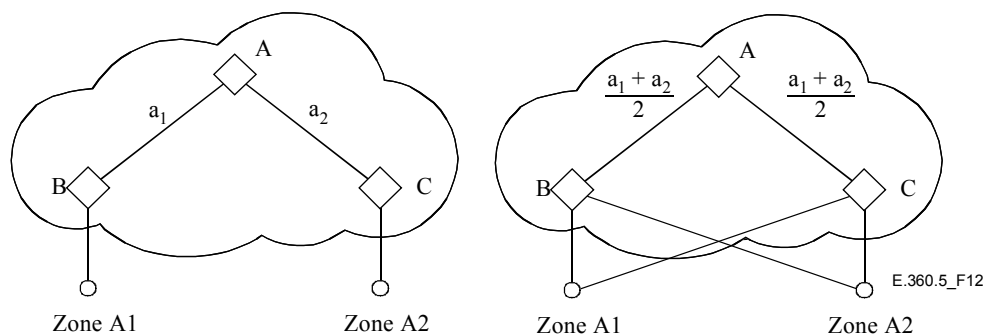


Figure 12/E.360.5 – Exemple de double rattachement

8 Conclusions/recommandations

La présente Recommandation décrit et analyse différentes architectures de réseau de transport dynamique. Le routage de transport dynamique est une méthode de routage et d'attribution de largeur de bande, qui associe routage de trafic dynamique et routage de transport dynamique et pour laquelle sont indiquées les méthodes de conception de réseau correspondantes. On constate que les réseaux gagnent de plus en plus en efficacité et en performance à mesure que la capacité de réattribution de la largeur de bande de transport s'accroît et permet de simplifier la gestion et la conception des réseaux. Les résultats de plusieurs analyses sont présentés, conceptions et études de simulation se rapportant à des architectures de réseau de transport dynamique.

Des modèles sont utilisés pour comparer la performance du réseau dans le cas d'un routage de transport dynamique et dans le cas d'un routage de transport fixe, pour diverses caractéristiques de charge de trafic – charge journalière normale, charge de trafic imprévisible (causée par un ouragan, par exemple), surcharge de trafic connue (le jour de Noël, par exemple) – et pour un cas de défaillance dans le réseau (rupture d'une fibre optique, par exemple).

Les conclusions/recommandations formulées dans la présente Recommandation sont les suivantes:

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

Annexe A

Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

La présente annexe indique les résultats de modélisation obtenus pour la détermination de la capacité pour un routage de transport dynamique, la performance du réseau en cas de défaillance et la performance du réseau pour différents scénarios de surcharge de trafic.

A.1 Détermination de la capacité pour un routage de transport dynamique

Conçu pour des charges de trafic qui varient d'une semaine à l'autre, le réseau à routage de transport dynamique permet d'utiliser plus efficacement la capacité des nœuds et la capacité de transport et peut entraîner une réduction de la capacité des faisceaux de trafic de réserve du réseau d'environ 10%, tout en améliorant la performance du réseau. Le Tableau A.1 dresse un état comparatif des prévisions de la capacité normalisée requise pour les liaisons logiques d'un réseau interurbain national sans et avec routage de transport dynamique. Lorsque l'on tient compte, comme dans la présente analyse, des variations du trafic d'une semaine à l'autre, lesquelles rendent compte des variations saisonnières, la méthode de routage de transport dynamique permet de réduire la capacité de réserve du réseau. Comme indiqué dans le tableau A.1, l'économie de capacité des faisceaux de trafic est toujours supérieure à 10%, ce qui se traduit par une réduction sensible des investissements.

Tableau A.1/E.360.5 – Economies de capacité réalisées grâce au routage de transport dynamique dans le cas de variations saisonnières du trafic d'une semaine à l'autre (capacité normalisée)

Période de prévision	Capacité pour le routage de transport fixe	Capacité pour le routage de transport dynamique	Economies de capacité (%)
1 ^{ère} année	1,000	0,873	12,7
2 ^e année	1,048	0,919	12,3
3 ^e année	1,087	0,968	11,0
4 ^e année	1,138	1,019	10,4

En ce qui concerne la capacité de transport, le réseau à routage de transport dynamique permet d'obtenir des taux de remplissage des liaisons par fibre optique supérieurs, ce qui réduit encore les coûts de transport. Le réseau à routage de transport dynamique implémente un routage automatique avec diversité de liaison logique entre nœuds dorsaux et de liaison logique d'accès, un rétablissement des liaisons logiques et un rétablissement de secours des nœuds pour renforcer la robustesse du réseau face aux diverses défaillances auxquelles il est exposé. Voir maintenant la performance du réseau à routage de transport dynamique à l'étude pour des charges de trafic normales, des défaillances de transport telles que la rupture d'une fibre optique, des caractéristiques de charge de trafic imprévisibles et des caractéristiques de charge de trafic pendant les jours de pointe.

A.2 Performance du réseau en cas de défaillance

Des simulations de performance de réseau avec routage de transport fixe et de réseau avec routage de transport dynamique ont été effectuées après rupture d'une fibre optique à Newark (New Jersey) ayant entraîné une perte de la capacité de faisceau de trafic d'environ 8,96 Gbit/s. Les résultats de ces simulations sont présentés dans le Tableau A.2. Un seuil de blocage des paires de nœuds de 50% ou plus a été utilisé ici pour identifier les paires de nœuds isolées ou pour ainsi dire; par conséquent, un réseau à transport reconfigurable permet d'éliminer tous les risques d'isolement pendant ce type de défaillance du réseau.

Tableau A.2 E.360.5 – Performance du réseau après rupture d'une fibre optique à Newark (New Jersey)

	Trafic perdu/différé (%)	Nombre de paires de nœuds dont le trafic perdu/différé est > 50%
Routage de transport fixe	14,4	963
Routage de transport dynamique	4,2	0

Il a également été procédé à une analyse de la performance du réseau après un rétablissement de transport, des simulations dans le cas du routage de transport fixe et dans le cas du routage de transport dynamique ayant été faites après le rétablissement de 29% des faisceaux de trafic perdus. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le Tableau A.3. Là encore, le routage de transport dynamique permet d'éliminer tout risque d'isolement de telle ou telle partie du réseau, comme il s'en produit encore dans le réseau à routage de transport fixe après le rétablissement de faisceaux de trafic.

Tableau A.3/E.360.5 – Performance du réseau après rupture d'une fibre optique à Newark (New Jersey) (après rétablissement de liaisons logiques)

	Trafic perdu/différé (%)	Nombre de paires de nœuds dont le trafic perdu/différé est > 50%
Routage de transport fixe	7,0	106
Routage de transport dynamique	0,6	0

Cette analyse nous porte à conclure que l'association du routage de trafic dynamique, de la méthode de routage avec diversité de liaison logique et du rétablissement de transport engendre un phénomène de synergie qui renforce la robustesse du réseau. Un réseau à routage de transport dynamique assure de manière efficace l'automatisation et le maintien du routage avec diversité de liaison logique, et assure le rétablissement automatique de transport après une défaillance.

Un exemple de fiabilité de réseau est donné dans le cas du double rattachement des demandes de transport pour divers nœuds de transport équipés d'un brasseur optique (OXC). La défaillance d'un brasseur optique (OXC) au niveau du nœud MA de Littleton (voir le modèle représenté sur la Figure 1) a été analysée. Les résultats de cette analyse sont indiqués dans le Tableau A.4. Le fait que les demandes de transport fassent l'objet d'un routage avec diversité entre nœuds et d'un double rattachement nœuds d'accès et dispositifs OXC renforce la robustesse et la capacité d'adaptation du réseau aux défaillances des nœuds. Dans le cas d'un réseau assurant l'équilibrage de la charge de trafic entre les demandes de nœud à nœud ainsi que le rétablissement des faisceaux de trafic, la performance du réseau à routage de transport dynamique s'en trouve améliorée.

Tableau A.4/E.360.5 – Performance du réseau à routage de transport dynamique en cas de défaillance d'un brasseur optique

	Trafic perdu/différé (%)	Nombre de paires de nœuds dont le trafic perdu/différé est > 50%
Routage de transport fixe	4,1	231
Routage de transport dynamique, double rattachement	1,3	0
Routage de transport dynamique, double rattachement, équilibrage de la charge de trafic, rétablissement des liaisons logiques	0,6	0

La Figure A.1 illustre un exemple type de réseau dans lequel des objectifs en termes de niveau de rétablissement du trafic (TRL) et de niveau de rétablissement du transport (TPRL) sont fixés, par comparaison avec le réseau de base dans lequel aucun objectif TRL ou TPRL n'est fixé. Dans cet exemple, une défaillance de liaison par fibre optique se produit f secondes après le début de la simulation, privant le réseau d'une grande partie de sa capacité de transport et coupant des milliers de connexions existantes. C'est pourquoi les résultats de la simulation présentés sur la Figure A.1 font apparaître le blocage soudain d'un grand nombre d'appels à l'instant de la rupture de la fibre optique. On observe ensuite une vague transitoire de nouvelles tentatives d'appels, correspondant à la phase de recomposition des numéros demandés par les abonnés qui tentent de rétablir leurs communications qui ont été interrompues. Ce processus de rétablissement d'appels est facilité par l'implémentation d'un niveau de rétablissement du trafic, qui offre la diversité de liaison et la capacité de transport de protection nécessaires pour atteindre les objectifs TRL immédiatement après une défaillance. Cette mise en œuvre d'un niveau TRL, alliée à l'aptitude du routage de trafic dynamique a trouvé la capacité qui subsiste là où elle se trouve, permet de réduire rapidement le niveau de blocage transitoire, qui reste ensuite à peu près constant pendant environ x secondes jusqu'à ce que le processus de rétablissement du transport commence. Au bout de x secondes après

la panne de la liaison, le processus de rétablissement du transport est engagé en vue de rétablir la capacité perdue en raison de la défaillance. Le blocage continue ensuite de diminuer pendant la période durant laquelle s'opère le rétablissement du transport jusqu'à ce qu'il atteigne pratiquement un niveau de blocage zéro. La Figure A.1 compare les niveaux de performance du réseau obtenus avec et sans les techniques de rétablissement du trafic et du transport exposées dans la présente Recommandation.

Le rétablissement du trafic autorise divers niveaux de diversité sur différentes liaisons pour garantir un niveau minimal de performance. Des techniques de routage éprouvées, telles que le routage de trafic dynamique, le routage à entrées/sorties multiples ou le routage avec diversité de liaison logique, améliorent la réponse du réseau face aux défaillances de nœud ou de transport. Le rétablissement du transport est nécessaire pour ramener le blocage du réseau à un bas niveau. On observe qu'un niveau de rétablissement du trafic de 50%, par exemple, conjugué à un niveau de rétablissement du transport de 50% de la capacité de transport défaillante sur les liaisons affectées, suffit à rétablir le trafic avec un bas niveau de blocage. Par conséquent, l'association d'un niveau de rétablissement du trafic et d'un niveau nominal de rétablissement du transport est considérée comme une solution rentable et garantissant la rapidité et la fiabilité de fonctionnement. L'implémentation d'un niveau de rétablissement du trafic élimine tout risque d'isolement entre paires de nœuds, le niveau de rétablissement du transport étant utilisé pour réduire les périodes pendant lesquelles la performance du réseau est insuffisante. Les techniques de rétablissement du trafic, associées aux techniques de rétablissement du transport, assurent au réseau une certaine fiabilité intrinsèque, en dépit des multiples défaillances et autres risques inattendus auxquels il est exposé, et sont considérées comme étant d'une grande utilité pour la conception d'un réseau fiable.

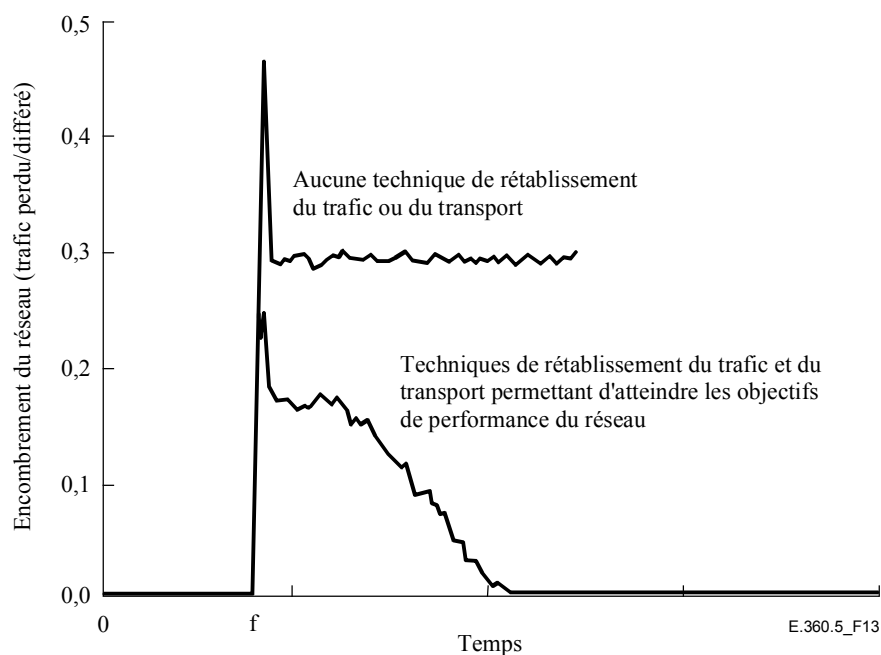


Figure A.1/E.360.5 – Performance du réseau après une défaillance de liaison en dérangement lorsque des techniques de rétablissement du trafic et du transport sont utilisées

A.3 Performance des surcharges de trafic générales

Dans le modèle de réseau national, on utilise le routage de transport dynamique avec des charges de trafic normales reposant sur le modèle DEFO, optimisation de flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*) décrit dans la Rec. UIT-T E.360.6, qui permet d'économiser 15% de la capacité des faisceaux de trafic de réserve par rapport au modèle avec routage de transport fixe. Par ailleurs, le Tableau A.5 dresse un état comparatif de la performance du réseau obtenue pour l'une et l'autre forme de routage en présence d'une surcharge de trafic de 10%. Il ressort de ce tableau que les réseaux conçus pour utiliser le routage de transport dynamique permettent de réaliser des économies importantes en termes d'investissement tout en offrant une performance supérieure.

Tableau A.5/E.360.5 – Performance du réseau pour une surcharge de trafic de 10%

	Trafic perdu/différé (%)	Pourcentage maximal de paires de nœuds dont le trafic est perdu/différé (%)
Routage de transport fixe	0,11	17,3
Routage de transport dynamique	0	0

A.4 Performance pour des surcharges de trafic imprévues

Le routage de transport dynamique assure un équilibrage de la charge de trafic des nœuds et de la capacité des liaisons logiques, ce qui permet d'assurer une capacité de réserve suffisante dans l'ensemble du réseau pour faire face aux demandes de trafic imprévues sur le réseau. L'intérêt de ce type de routage est illustré dans le Tableau A.6, qui présente un état comparatif du blocage dans le réseau résultant de simulations fondées sur le routage de transport fixe et sur le routage de transport dynamique pendant une surcharge ponctuelle de trafic causée par un ouragan au nord-est des Etats-Unis. De telles surcharges imprévues ne sont pas rares dans un réseau commuté et les résultats présentés ici mettent clairement en évidence la robustesse accrue face aux surcharges de trafic imprévues qu'offre le routage de transport dynamique.

Tableau A.6/E.360.6 – Performance du réseau pour une surcharge de trafic imprévue (surcharge ponctuelle causée par un ouragan au nord-est des Etats-Unis)

	Trafic perdu/différé (%)	Pourcentage maximal de paires de nœuds dont le trafic est perdu/différé (%)
Routage de transport fixe	0,43	22,7
Routage de transport dynamique	0,28	13,3

Un autre exemple des avantages de l'équilibrage de la charge de trafic est donné sur la Figure A.2, qui illustre le cas d'une surcharge ponctuelle de trafic de 25% au niveau d'un nœud situé à Jackson (Mississippi).

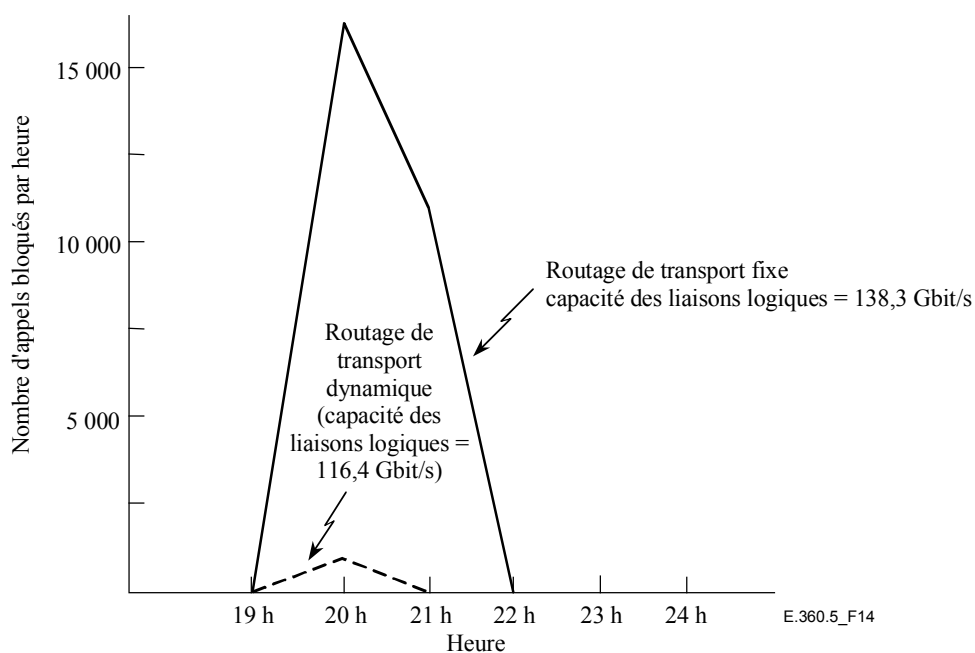


Figure A.2/E.360.5 – Performance pour le routage de transport dynamique en cas de surcharge de trafic de 25% sur le nœud de Jackson (Mississippi)

Le fait que sur le réseau à routage de transport dynamique il y ait un équilibre entre les demandes d'accès et les demandes entre nœuds dorsaux renforce la robustesse du réseau et sa capacité d'adaptation aux surcharges de trafic imprévues, même si, dans le modèle présenté ici, la capacité du réseau à routage de transport dynamique est inférieure de plus de 15% à celle du réseau à routage de transport fixe. Dans l'exemple considéré, une reconfiguration déclenchée par le blocage est autorisée dans le réseau à routage de transport dynamique. Autrement dit, dès que le blocage d'une paire de nœuds est détecté, on ajoute aux liaisons affectées une capacité de liaison logique additionnelle en interconnectant certaines capacités de réserve en termes de nœuds et de liaisons logiques, dégagées grâce au routage de transport dynamique, qui est plus efficace. Comme il ressort de la Figure A.2, la manière dont le réseau réagit à la surcharge de trafic s'en trouve grandement améliorée.

A.5 Performance pour les charges de trafic pendant les jours de pointe

Un réseau à routage de transport dynamique est modélisé pour les charges de trafic le jour de Noël et il est procédé à des simulations pour le réseau de base et le réseau de transport reconfigurable modélisés pour le trafic le jour de Noël. Le Tableau A.7 récapitule les résultats obtenus pour le blocage entre nœuds dorsaux. Le réseau de transport reconfigurable permet manifestement d'éliminer le blocage entre nœuds dorsaux; le blocage entre nœud d'accès et routeur dorsal peut toutefois subsister, mais il n'est pas quantifié dans le modèle. Outre les recettes accrues générées, ce type de réseau conduit à la perception, pour les abonnés, d'une amélioration de la performance du réseau, pour ces situations pendant les jours de pointe.

**Tableau A.7/E.360.5 – Performance du réseau pour une
surcharge de trafic le jour de Noël**

Heure de la journée	Routage de transport fixe Trafic perdu/différé (%)	Routage de transport dynamique Trafic perdu/différé (%)
De 9 heures à 10 heures	17,2	0
De 10 heures à 11 heures	22,2	0
De 11 heures à 12 heures	29,7	0

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