



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.360.6

(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 gestion de la capacité**

Recommandation UIT-T E.360.6

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.360.6

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

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 d'implémentation des méthodes dans des réseaux IP, ATM et TDM.

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

Source

La Recommandation E.360.6 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	Modèles pour la conception de la capacité de liaison.....	2
6	Modèles de choix des chemins les plus courts	3
7	Modèles pour la conception de capacité de réseau sur plusieurs heures	4
	7.1 Modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO).....	5
	7.2 Modèles d'optimisation pour des flux de charges de trafic (TLFO).....	9
	7.3 Modèles d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic (VTFO)	10
8	Modèles pour la conception de capacité pour les variations de charge d'un jour sur l'autre	11
9	Modèles pour la conception de la capacité de réserve pour les incertitudes de prévision	12
10	Modèles pour les réseaux à maillage dense, pour les réseaux à maillage peu dense et pour le routage de transport dynamique	14
11	Conclusions/recommandations	15
	Annexe A – Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic	17
	A.1 Conception de réseau par réseau virtuel et conception de réseau par flux.....	17
	A.2 Conception de réseau intégré et conception de réseaux distincts voix/RNIS et données.....	18
	A.3 Conception de réseau avec routage multiliasion et conception de réseau avec routage à deux liaisons	25
	A.4 Conception de réseau non hiérarchique à une seule zone et conception de réseau hiérarchique à deux niveaux.....	25
	A.5 Conception de réseau avec routage EDR et conception de réseau avec routage SDR	28
	A.6 Conception de réseau à routage de transport dynamique et conception de réseau à routage de transport fixe	30

Introduction

La présente Recommandation porte sur les principes de gestion de la capacité et notamment sur les points suivants:

modèles pour la conception de la capacité de liaison. Ces modèles visent à trouver le meilleur compromis entre le trafic transporté sur le chemin de réseau le plus court (peut-être une liaison directe) et le trafic transporté sur d'autres chemins de réseau.

Modèles de choix des chemins les plus courts. Ces modèles permettent de déterminer les chemins les plus courts afin de disposer d'un plan de routage plus efficace et plus souple.

Modèles pour la conception de capacité de réseau sur plusieurs heures. Trois types de modèles sont décrits:

- i) modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*);
- ii) modèles d'optimisation pour des flux de charges de trafic (TLFO, *traffic load flow optimization*);
- iii) modèles d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic (VTFO, *virtual trunking flow optimization*).

Modèles pour la conception de capacité pour les variations de charge d'un jour sur l'autre. Ces modèles décrivent des techniques permettant de traiter les variations d'un jour sur l'autre dans le cadre de la conception de capacité.

Modèles pour la conception de la capacité de réserve pour les incertitudes de prévision. Ces modèles décrivent les moyens permettant de tenir compte des erreurs de projection des charges de trafic lors de la conception de la capacité du réseau.

Voir les Recs. UIT-T E.520 à E.529 et E.731 sur le dimensionnement des réseaux TDM; E.735 et E.737 sur le dimensionnement des réseaux TDM; E.733 sur le dimensionnement des réseaux de signalisation SS7; E.734 sur le dimensionnement des ressources de réseau RI.

Recommandation UIT-T E.360.6

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

1 Domaine d'application

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. E.360.1.

3 Définitions

Voir le paragraphe 3 de la Rec. E.360.1.

4 Abréviations

Voir le paragraphe 4 de la Rec. E.360.1.

5 Modèles pour la conception de la capacité de liaison

Comme illustré sur la Figure 1, pour déterminer la capacité de liaison, il faut établir un compromis entre la charge de trafic transportée sur la liaison et le trafic à router sur d'autres chemins.

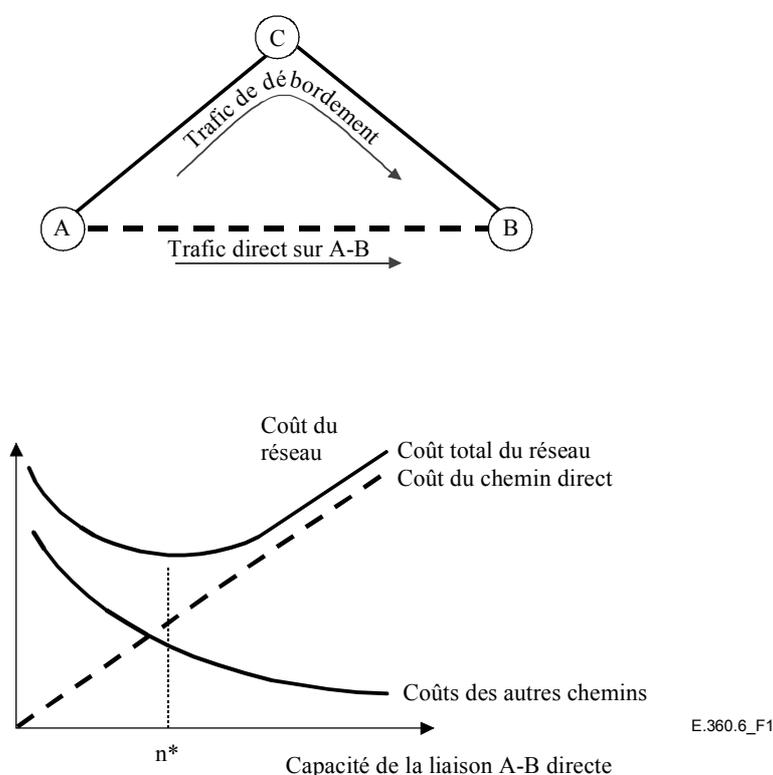


Figure 1/E.360.6 – Compromis entre la capacité de la liaison directe et la capacité des autres chemins

Une forte occupation de liaison se traduit par une grande efficacité d'utilisation de la capacité; toutefois, une forte occupation peut entraîner des encombrements sur la liaison et il faut alors router une partie du trafic non pas sur la liaison directe mais sur d'autres chemins, susceptibles d'être plus longs et moins efficaces. Un bon équilibre peut être trouvé entre la conception de la capacité de liaison et l'utilisation d'autres chemins. Considérons par exemple la Figure 1, qui illustre le cas d'un réseau où le trafic est offert sur la liaison A-B raccordant le nœud A au nœud B.

Le trafic peut être transporté sur la liaison A-B. Toutefois, lorsque le volume de trafic est supérieur à la capacité de la liaison A-B, une partie doit être transportée sur d'autres chemins, faute de quoi elle serait perdue. Le but est de déterminer la capacité de la liaison A-B directe et le flux sur d'autres chemins de manière à ce que l'ensemble du trafic soit transporté à un coût minimal. On utilise une procédure d'optimisation simple pour déterminer la meilleure proportion entre le volume

de trafic à transporter sur la liaison A-B directe et le volume de trafic à router sur d'autres chemins dans le réseau. Plus la capacité de la liaison directe est grande, plus son coût est élevé et moins le coût des autres chemins est élevé; en effet, plus la capacité de la liaison directe est grande, moins la charge de débordement est forte et donc moins le coût afférent au transport de la charge de débordement est élevé. Une condition de coût optimal, c'est-à-dire minimal, est remplie lorsque la capacité de la liaison A-B directe est telle que le coût par unité de largeur de bande afférent au transport du trafic sur la liaison directe correspond exactement au coût par unité de largeur de bande afférent au transport du trafic sur d'autres chemins de réseau. Il s'agit d'un principe appliqué dans de nombreux modèles de réseau (réseau à maillage peu dense ou réseau à maillage dense, réseau à routage hiérarchique fixe ou réseau à routage non hiérarchique dynamique).

6 Modèles de choix des chemins les plus courts

Certaines méthodes de routage, notamment le routage hiérarchique, limitent le nombre de chemins possibles et conduisent à une conception inefficace, d'où une souplesse et une efficacité moins grandes. Si on choisit les chemins en fonction des coûts et si on assouplit les contraintes (structure de réseau hiérarchique, par exemple), il en résulte un réseau plus efficace. Il en est de même si, dans le cadre de la conception de réseau, on définit un plan de routage plus souple qui ne soit pas restreint aux routes hiérarchiques mais qui permette de choisir les chemins non hiérarchiques les plus courts. La méthode de Dijkstra [Dij59], par exemple, est souvent utilisée pour choisir les chemins les plus courts. La Figure 2 illustre le choix des chemins les plus courts entre deux nœuds de réseau, SNDG et BRHM.

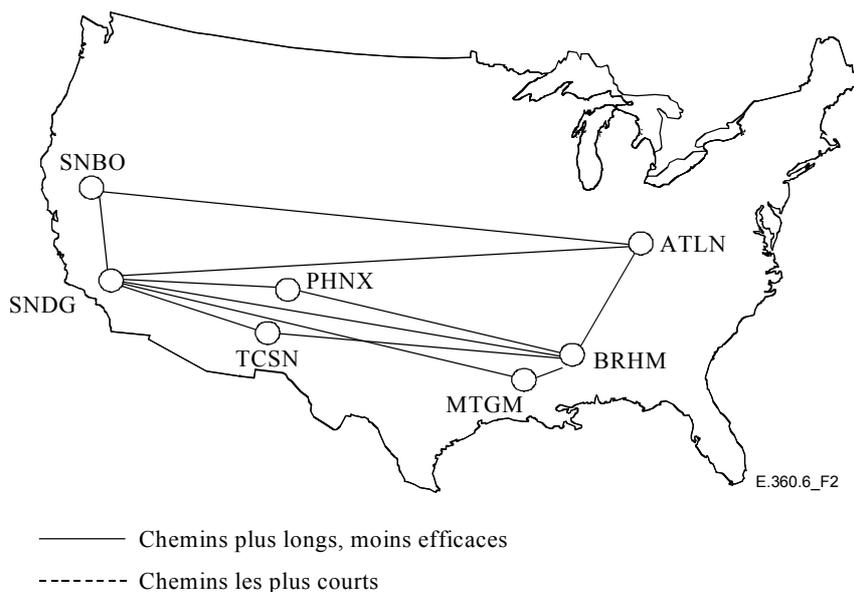


Figure 2/E.360.6 – Routage sur les chemins les plus courts

Les chemins plus longs (SNDG-SNBO-ATLN-BRHM par exemple), qui peuvent résulter d'un choix de chemin hiérarchique, sont moins efficaces que les chemins les plus courts (SNDG-PHNX-BRHM, SNDG-TCSN-BRHM ou SNDG-MTGM-BRHM par exemple). Le choix des chemins les plus courts présente en réalité deux avantages. Le premier avantage tient à l'élimination de la fragmentation des liaisons. Cette fragmentation se produit notamment lorsque plusieurs nœuds sont tenus de prendre en charge une charge de trafic dans une zone donnée, par exemple une zone métropolitaine. Plusieurs liaisons sont alors susceptibles d'être utilisées pour raccorder un nœud distant, d'où une répartition de la charge entre des liaisons moins efficaces qu'une seule liaison large. Le second avantage est lié au coût des chemins. Un routage sur les chemins les moins onéreux, les plus directs ou les plus courts est souvent plus efficace qu'un routage sur des chemins hiérarchiques plus longs.

7 Modèles pour la conception de capacité de réseau sur plusieurs heures

Un réseau est utilisé plus efficacement avec un routage dynamique qu'avec un routage fixe car le routage fixe ne permet pas de répondre aussi efficacement aux variations de charge de trafic liées aux appels téléphoniques professionnels/privés, aux fuseaux horaires, aux variations saisonnières, etc. Avec un routage dynamique, on augmente l'efficacité d'utilisation du réseau en modifiant les tables de routage en fonction des diagrammes de trafic et en concevant la capacité en conséquence. Ce principe est illustré de manière simple sur la Figure 3 dans un cas où une forte charge est à acheminer l'après-midi entre les nœuds A et B et une forte charge est à acheminer le matin entre les nœuds A et C ainsi qu'entre les nœuds C et B.

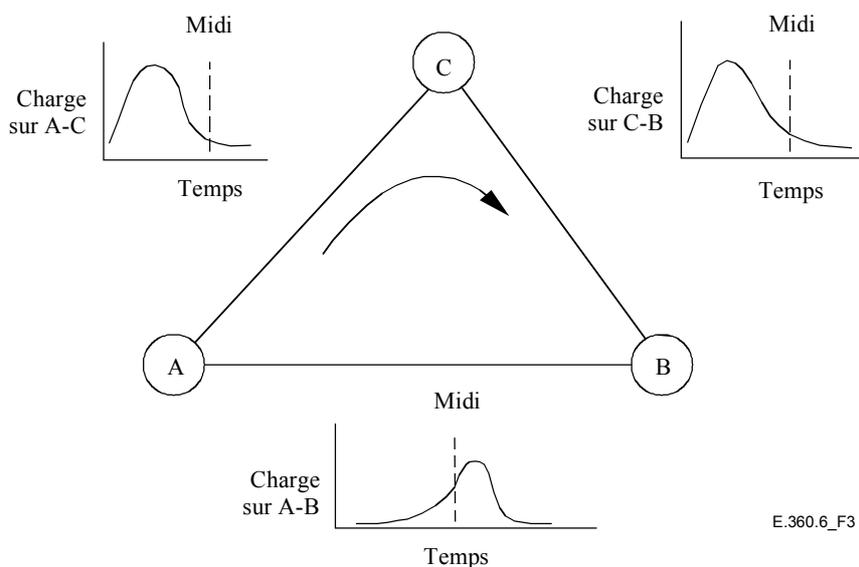


Figure 3/E.360.6 – Conception de capacité de réseau sur plusieurs heures

Ici, un routage dynamique simple consiste à prévoir une capacité uniquement entre les nœuds A et C et entre les nœuds C et B mais aucune capacité entre les nœuds A et B. Ainsi, les fortes charges à acheminer entre A et C et entre C et B le matin sont routées directement sur cette capacité le matin et la forte charge à acheminer entre A et B l'après-midi utilise cette même capacité, autrement dit, elle est routée sur le chemin A, C et B l'après-midi. Avec un routage fixe, on prévoit une capacité en fonction de la période de pointe pour chaque couple de nœuds, à savoir entre les nœuds A et B, entre les nœuds A et C et entre les nœuds C et B.

L'effet de la conception de capacité de réseau sur plusieurs heures est illustré par un modèle de réseau national interurbain représenté sur la Figure 4. On constate qu'environ 20% des coûts d'établissement d'un réseau peuvent être attribués à la conception de capacité pour la variation des charges dans le temps.

Comme illustré sur la Figure 4, on obtient les 17 capacités réseau sur une heure en prenant en considération chaque charge horaire et en ignorant les autres charges horaires, afin de dimensionner une capacité réseau qui corresponde parfaitement à cette charge horaire. Chaque capacité réseau sur une heure correspond à la capacité de trafic pour chaque heure dont il est question au Tableau 1/E.360.1. Les 17 capacités réseau sur une heure laissent apparaître trois périodes de pointe (une le matin, une l'après-midi et une le soir), une baisse de charge à midi et une autre baisse de charge en début de soirée correspondant aux derniers appels professionnels de la journée et aux premiers appels privés de la soirée. La courbe des capacités réseau sur une heure sépare la capacité en deux composantes: au-dessous de la courbe se trouve la capacité nécessaire chaque heure pour transporter la charge; au-dessus de la courbe se trouve la capacité qui est disponible mais non nécessaire pour l'heure considérée. Sur l'ensemble de la journée, cette capacité additionnelle constitue plus de 20% de la capacité totale du réseau, qui correspond à la capacité sur plusieurs

heures dont il est question au Tableau 1/E.360.1. Elle représente la capacité du réseau à transporter des charges non coïncidentes.

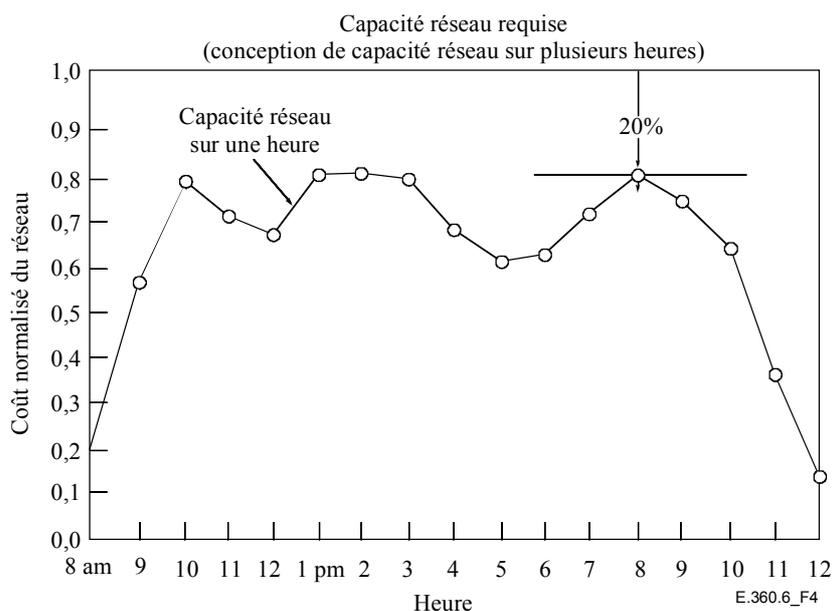


Figure 4/E.360.6 – Conception de capacité réseau sur une heure/ de capacité réseau sur plusieurs heures

Nous examinons maintenant les trois types de modèles associés à la conception de capacité réseau sur plusieurs heures – modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets, modèles d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic et modèles d'optimisation pour des flux de charges de trafic – et illustrons la manière dont ils sont appliqués à diverses conceptions de réseau à routage fixe ou dynamique. Pour chaque modèle, nous nous intéressons aux étapes suivantes: initialisation, conception du routage, conception de la capacité et mise à jour des paramètres.

7.1 Modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO)

Les modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*) sont utilisés pour la conception de réseau à routage de trafic fixe ou dynamique. Ils visent à optimiser le routage des flux d'événements discrets, exprimés en nombre de demandes de connexion, et les capacités de liaison associées. La Figure 5 illustre les étapes du modèle DEFO.

Le générateur d'événements convertit les demandes de trafic en événements discrets de demande de connexion. Le modèle à événements discrets comprend une logique de routage conforme à la méthode de routage particulière et route les événements de demande de connexion en fonction de la logique de la table de routage. Les modèles DEFO utilisent des modèles de simulation pour le choix de chemin et pour la gestion de table de routage afin de router les demandes d'événements discrets sur les capacités de liaison; les capacités de liaison sont alors optimisées pour pouvoir transporter le flux nécessaire. Les capacités de liaison initialement requises sont générées sur la base de la matrice des charges de trafic introduite dans le modèle. Compte tenu de l'expérience acquise avec le modèle en termes de conception, une capacité initiale des nœuds est évaluée sur la base d'une occupation maximale de chaque nœud de 0,93 pendant l'heure de pointe, et l'occupation totale du réseau (demande totale en trafic/capacité de liaison totale) pendant l'heure de pointe est ajustée de manière à être comprise entre 0,84 et 0,89. L'évaluation de la performance de réseau, faite en sortie du modèle à événements discrets, permet de déterminer tout ajustement nécessaire des capacités de liaison. Une capacité est allouée à chaque liaison conformément à la méthode d'allocation de Kruithof [Kru37], c'est-à-dire proportionnellement à la demande globale entre les nœuds.

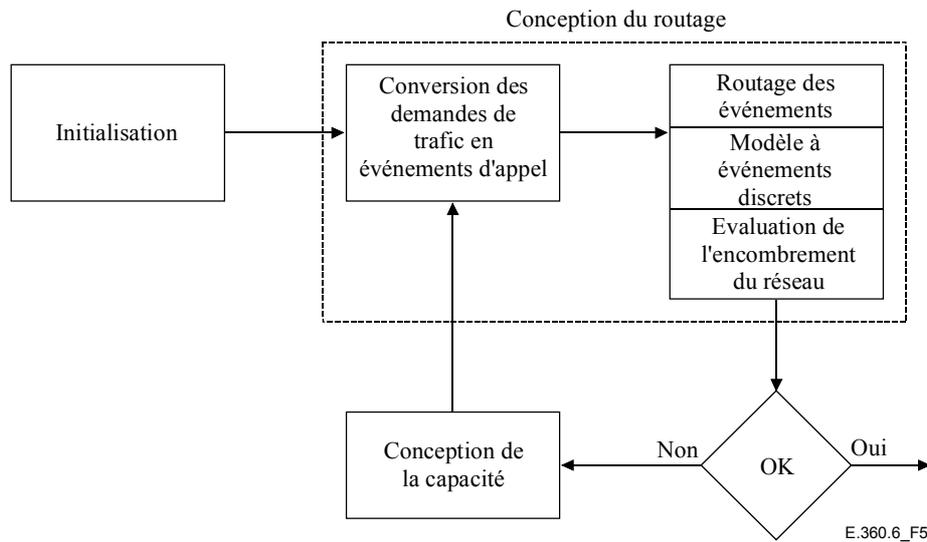


Figure 5/E.360.6 – Modèle d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO)

La méthode de Kruihof est utilisée pour évaluer la capacité requise p_{ij} entre le nœud d'origine i et le nœud de destination j sous réserve que l'on puisse établir la capacité de liaison totale requise en ajoutant les éléments de la matrice $P = [p_{ij}]$. Supposons qu'une matrice $Q = [q_{ij}]$, représentant la capacité de liaison requise pour une itération précédente, est connue. La capacité de liaison totale b_i requise à chaque nœud i et la capacité de liaison totale d_j requise à chaque nœud j sont évaluées comme suit:

$$b_i = \frac{a_i}{\gamma}$$

$$d_j = \frac{a_j}{\gamma}$$

où a_i désigne le trafic total au nœud i , a_j le trafic total au nœud j et γ la capacité moyenne de transport de trafic par faisceau, ou occupation de nœud, comme indiqué précédemment. Les termes p_{ij} peuvent être obtenus comme suit:

$$f_i = \frac{b_i}{\sum_j q_{ij}}$$

$$f_j = \frac{d_j}{\sum_i q_{ij}}$$

$$E_{ij} = \frac{f_i + f_j}{2}$$

$$p_{ij} = q_{ij} \times E_{ij}$$

La résolution itérative des équations ci-dessus permet d'obtenir les valeurs vers lesquelles les variables p_{ij} convergent.

Le modèle DEFO permet de générer des événements de demande de connexion conformément à une distribution de Poisson pour les arrivées et à une distribution exponentielle des durées de garde ou bien conformément à une distribution des arrivées plus générale et à une distribution arbitraire

des durées de garde, car les modèles de ce type peuvent facilement être implémentés dans le modèle de simulation de table de routage discrète. Les événements de demande de connexion sont générés en fonction de la matrice des charges de trafic introduite dans le modèle. Ils sont routés sur le chemin choisi conformément aux règles associées à la table de routage, telles que modélisées dans le cadre de la simulation de table de routage, qui détermine le chemin choisi pour chaque événement d'appel et fait circuler l'événement dans la capacité de réseau.

La conception de routage donne en sortie la fraction de trafic perdu ou retardé pour chaque période. Cela étant, la conception de capacité détermine les nouvelles capacités de liaison requises pour atteindre le niveau de performance voulu. A partir de l'évaluation du trafic perdu ou retardé à chaque nœud pendant chaque période, on détermine, par un calcul de l'occupation, les capacités de liaison additionnelles requises, afin de mettre à jour l'évaluation des capacités de liaison. Cette détermination des capacités de liaison est fondée sur le volume de trafic bloqué. Le volume total de trafic bloqué Δa étant évalué à chaque nœud, on évalue l'augmentation de capacité de liaison ΔT pour chaque nœud au moyen de la formule:

$$\Delta T = \frac{\Delta a}{\gamma}$$

où γ désigne à nouveau la capacité moyenne de transport de trafic par faisceau. Le ΔT associé à chaque nœud est alors alloué aux liaisons conformément à la méthode d'allocation de Kruithof [Kru37] décrite ci-dessus, c'est-à-dire proportionnellement à la demande globale entre les nœuds et en fonction du coût des liaisons, de manière à minimiser le coût total du réseau. Dimensionner chacune des liaisons de la sorte permet de garantir une certaine efficacité d'utilisation sur chaque liaison du réseau et de répartir de façon optimale la charge entre la liaison directe et les chemins de débordement. Une fois que les liaisons sont redimensionnées, on réévalue la performance du réseau afin de vérifier si les objectifs de performance sont remplis; si tel n'est pas le cas, on procède à une nouvelle itération du modèle.

Dans le modèle, on évalue l'intervalle de confiance de la probabilité de blocage/retard mise en œuvre. Pour cela, on évalue la distribution binomiale pour l'intervalle de confiance correspondant au 90^e percentile. On suppose que, pour une charge de trafic du nœud A correspondant à des appels qui arrivent pendant la période désignée où le comportement de trafic est stationnaire, il y a en moyenne m appels bloqués sur n tentatives. Cela signifie que la probabilité moyenne de blocage/retard observée est de:

$$p^{\ell} = \frac{m}{n}$$

où, par exemple, $p^{\ell} = 0,01$ pour une probabilité moyenne de blocage/retard de 1%. Maintenant, on souhaite déterminer la valeur de la probabilité p de blocage/retard correspondant au 90^e percentile telle que

$$E(n, m, p) = \sum_{r=m}^n C_n^r p^r q^{n-r} \geq 0.90$$

où

$$C_n^r = \frac{n!}{(n-r)!r!}$$

est le coefficient binomial, et

$$q = 1 - p$$

La valeur p représente alors l'intervalle de confiance de la probabilité de blocage/retard correspondant au 90^e percentile. Autrement dit, il y a 90% de chance pour que le blocage/retard observé soit inférieur ou égal à la valeur p . On utilise les méthodes données dans le document [Wei63] pour évaluer numériquement les expressions ci-dessus.

A titre d'exemple d'application de la méthode ci-dessus au modèle DEFO, on suppose que le trafic d'un réseau est tel que 1 million d'appels arrivent pendant une heure de pointe donnée et on souhaite concevoir le réseau de manière à ce que la probabilité de blocage/retard soit de 1% au plus. Si le réseau est conçu dans le cadre du modèle DEFO de manière à ce que la probabilité de blocage/retard soit au plus de 0,00995 – autrement dit, 9950 appels au plus sont bloqués sur 1 million d'appels – alors on peut être sûr à plus de 90% que la probabilité maximale de blocage/retard dans le réseau est de 0,01. Pour un couple de commutateurs donné pour lequel 2000 appels arrivent pendant une même heure de pointe donnée, on suppose que l'on souhaite concevoir le couple de commutateurs de manière à ce que la probabilité moyenne de blocage/retard soit de 1% au plus. Si la capacité réseau est conçue dans le cadre du modèle DEFO de manière à ce que la probabilité de blocage/retard soit au plus de 0,0075 pour le couple de commutateurs – autrement dit, 15 appels au plus sont bloqués sur 2000 appels – alors on peut être sûr à plus de 90% que la probabilité maximale de blocage/retard pour le couple de commutateurs est de 0,01. Ces méthodes permettent de garantir que les objectifs en termes de probabilité de blocage/retard sont atteints, compte tenu des erreurs d'échantillonnage du modèle à événements discrets.

Le plus gros avantage du modèle DEFO tient à ce qu'il permet de tenir compte d'un comportement de routage très complexe grâce à l'équivalent d'un modèle de simulation fourni sous forme logicielle dans le module de conception du routage. Cela a permis de concevoir des réseaux à routage très complexe au moyen du modèle, incluant toutes les méthodes de routage examinées dans la Rec. UIT-T E.360.2 (méthodes TDR, SDR et EDR) et les modèles d'allocation des ressources en fonction de la qualité de service pour les réseaux multiservice examinés dans la Rec. UIT-T E.360.3. Des processus de trafic complexes, notamment le trafic autosimilaire, peuvent aussi être modélisés avec des méthodes DEFO. Un diagramme du modèle DEFO, dans lequel les blocs logiques DC-SDR décrits dans la Rec. UIT-T E.360.2 sont implémentés, est illustré sur la Figure 6. Le modèle DEFO est suffisamment général pour être applicable à tous les modèles d'ingénierie du trafic qui sont à déterminer.

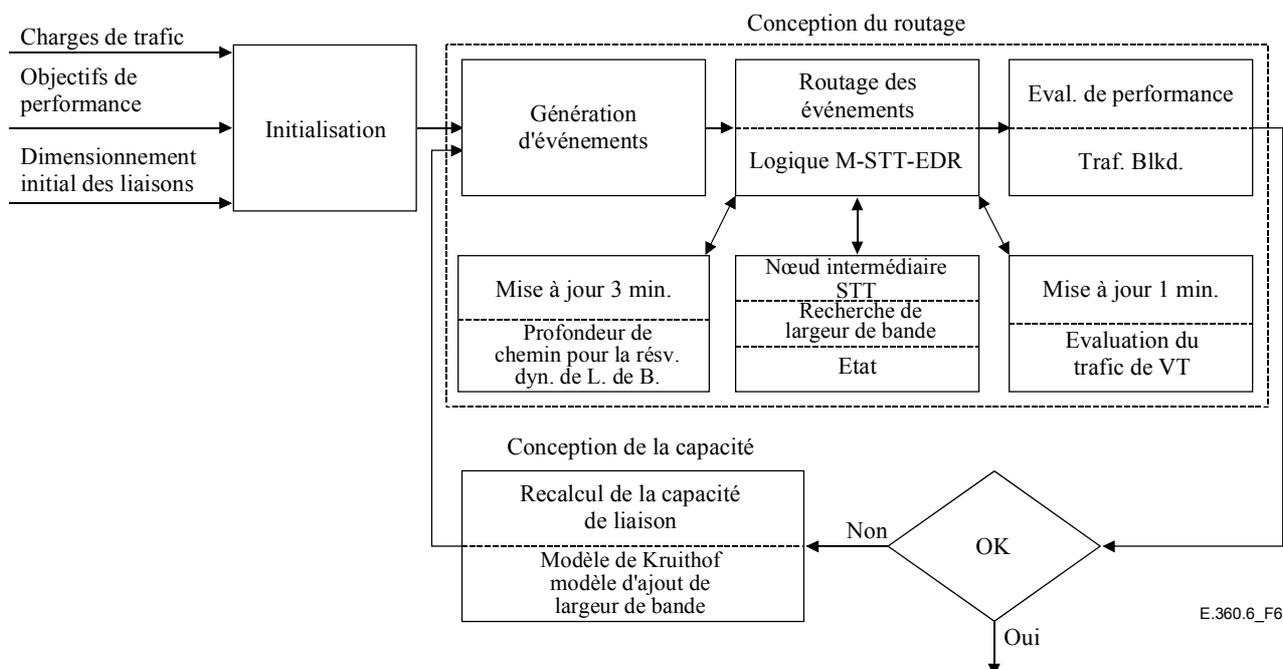


Figure 6/E.360.6 – Modèle d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO) avec routage en fonction des événements de type *success-to-the-top* fondé sur plusieurs liaisons (M-STT-EDR)

7.2 Modèles d'optimisation pour des flux de charges de trafic (TLFO)

Les modèles d'optimisation pour des flux de charges de trafic (TLFO, *traffic load flow optimization*) sont utilisés pour la conception de réseau à routage de trafic fixe ou dynamique. Ils visent à optimiser le routage des flux de trafic et les capacités de liaison associées. Ces modèles font généralement intervenir la résolution d'équations mathématiques qui décrivent analytiquement le routage de flux de trafic et, pour la conception de réseau à routage dynamique, font souvent intervenir la résolution de modèles d'optimisation de flux par programmation linéaire. On distingue divers types de modèles d'optimisation pour des flux de trafic selon la manière dont le flux est assigné aux liaisons, chemins et routes. Pour la conception de réseau à routage fixe, le flux de trafic est assigné aux liaisons directes et le trafic de débordement est routé sur d'autres chemins dans le réseau, comme décrit plus haut. Pour la conception de réseau à routage dynamique, les modèles associés aux flux de trafic sont souvent fondés sur les chemins, auquel cas le flux de trafic est assigné à différents chemins, ou fondés sur les routes, auquel cas le flux de trafic est assigné à des routes.

Tels qu'ils sont appliqués aux réseaux à routage fixe ou dynamique, les modèles TLFO reposent, pour la conception de réseau, sur des modèles de choix des chemins les plus courts et d'optimisation des flux de trafic par programmation linéaire. Un exemple de modèle d'optimisation pour des flux de trafic est illustré sur la Figure 7.

Il existe deux versions de ce modèle: modèle TLFO de type route et modèle TLFO de type chemin. Le routage fondé sur les chemins les plus courts à coût minimal permet aux connexions d'accéder aux chemins par ordre de coût; ainsi, les connexions peuvent accéder à tous les circuits directs entre les nœuds avant d'essayer les chemins de débordement plus coûteux. Les routes sont construites selon des règles de choix de chemin spécifiques. Par exemple, pour le routage de chemin fondé sur deux liaisons ou plus, les modèles TLFO de type route permettent de construire des routes sur la base de capacités de retour en arrière et de commande de nœud d'origine. Dans le cadre du modèle d'optimisation de flux par programmation linéaire, on cherche, dans toute la mesure du possible, à partager la capacité de liaison en fonction de la variation des charges dans le réseau. Pour cela, on

équilibre les charges sur les liaisons du réseau pendant les périodes de pointe, de sorte que chaque liaison soit utilisée au maximum possible pendant toutes les périodes. Dans l'étape de conception du routage, on recherche les chemins les plus courts entre les nœuds du réseau, on les combine pour former différentes routes possibles et on utilise le modèle d'optimisation de flux par programmation linéaire pour assigner le flux de trafic aux différentes routes.

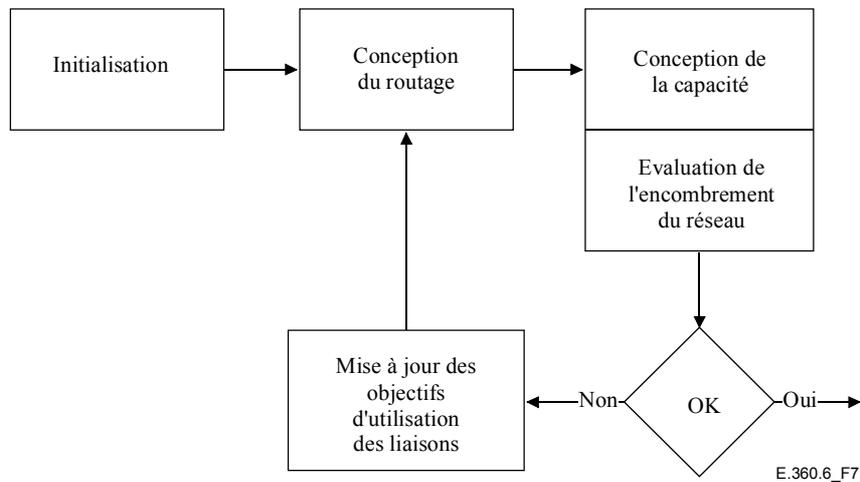


Figure 7/E.360.6 – Modèle d'optimisation pour des flux de charges de trafic (TLFO)

Dans l'étape de conception de la capacité, on part de la conception du routage et on résout un modèle de flux de trafic à points fixes pour déterminer la capacité de chaque liaison du réseau. Ce modèle permet de déterminer le flux sur chaque liaison et de dimensionner la liaison afin de remplir les objectifs en termes de niveau de performance utilisés dans l'étape de conception du routage. Une fois que les liaisons sont dimensionnées, on évalue le coût du réseau et on le compare au coût donné par la dernière itération. Si le coût du réseau continue à décroître, le module de mise à jour :

- 1) calcule la pente de la courbe de la capacité en fonction de la charge sur chaque liaison, qui représente le coût marginal de liaison et met à jour la "longueur" de liaison en utilisant ce coût marginal comme facteur de pondération;
- 2) procède à une nouvelle évaluation du débordement optimal de liaison sur la base de la méthode décrite plus haut.

Les nouvelles valeurs de longueur de liaison et de débordement sont introduites dans le module de conception du routage, qui à nouveau construit un ensemble de routes possibles à partir des chemins les plus courts, et ainsi de suite. Minimiser les coûts marginaux de réseau permet de passer d'un problème d'optimisation non linéaire à un problème d'optimisation par programmation linéaire. Yaged [Yag71], [Yag73] et Knepley [Kne73] utilisent cette approche dans leurs modèles de conception de réseau. Cette approche favorise les liaisons efficaces larges, qui transportent le trafic avec une meilleure efficacité d'utilisation que les liaisons moins larges. Choisir un niveau efficace de blocage/retard sur chaque liaison du réseau constitue la base du modèle TLFO de type route/chemin. Le modèle d'optimisation du débordement de liaison [Tru54] est utilisé dans le modèle TLFO pour répartir de façon optimale la charge entre la liaison directe et les chemins de débordement.

7.3 Modèles d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic (VTFO)

Les modèles d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic (VTFO, *virtual trunk flow optimization*) sont utilisés pour la conception de réseau à routage de trafic fixe ou dynamique et à routage de transport fixe ou dynamique. Ils visent à optimiser le routage de flux de "faisceaux de trafic (VT, *virtual trunking*)", mesurés dans une unité relative aux demandes de largeur de bande de VT (1,5 Mbit/s, OC1, OC12, etc.). Appliqués à la conception de réseau, les modèles VTFO utilisent

des équations mathématiques pour convertir les demandes de trafic de VT et le flux de VT est alors routé et optimisé. La Figure 8 illustre les étapes du modèle VTFO. Ce modèle convertit directement les demandes de trafic en demandes de VT. Il repose généralement sur une structure de routage de trafic sous-jacente.

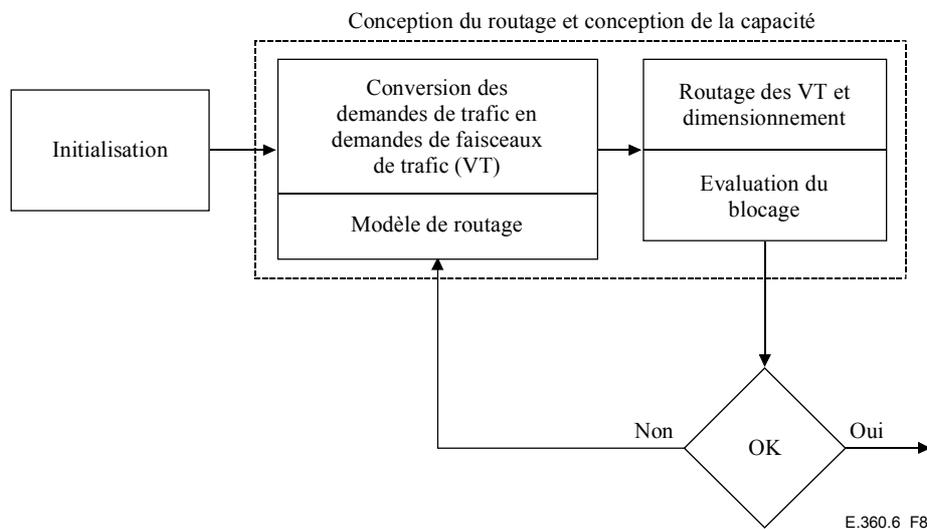


Figure 8/E.360.6 – Modèle d'optimisation pour des flux de faisceaux de trafic (VTFO)

On peut utiliser, pour la conception de réseau, un modèle d'optimisation pour des flux de VT par programmation linéaire, dans lequel, pour chaque heure, les demandes de trafic sont converties en demandes de VT grâce par exemple aux méthodes de conception de réseau TLFO décrites plus haut pour chaque diagramme de trafic sur une heure. L'optimisation pour des flux de VT par programmation linéaire est ensuite utilisée afin de faire en sorte que les demandes de VT nœud par nœud pour chaque heure soient routées de façon optimale sur les chemins les plus courts à coût minimal et que les liaisons soient dimensionnées de manière à satisfaire toutes les demandes de VT. Autre solution: on convertit les demandes de trafic nœud par nœud en demandes de VT nœud par nœud en utilisant l'approche décrite plus haut pour répartir de façon optimale la charge de trafic entre la liaison directe et les chemins de débordement, mais, dans cette application du modèle, on obtient une demande de VT équivalente, par heure, et non pas un objectif optimal de débordement de liaison.

8 Modèles pour la conception de capacité pour les variations de charge d'un jour sur l'autre

Dans le cadre de la conception de réseau, on utilise les charges de trafic prévues, qui sont en fait des charges moyennes autour desquelles il se produit une variation d'un jour sur l'autre, caractérisée, par exemple, par une distribution gamma avec un ou trois niveaux de variance [Wil58]. Même si les charges moyennes prévues sont correctes, les charges réelles présentent une fluctuation aléatoire d'un jour sur l'autre. Des études ont établi que, du fait de cette incertitude, il est nécessaire de prévoir une capacité additionnelle dans le réseau afin de préserver les objectifs de performance requis. Pour tenir compte des variations d'un jour sur l'autre dans la procédure de conception de réseau, on peut utiliser une technique de charge équivalente qui modélise chaque couple de nœuds du réseau comme une liaison équivalente conçue pour remplir les objectifs de performance. Sur la base de modèles de conception de capacité pour les variations d'un jour sur l'autre ([HiN76], [Wil58] par exemple), on détermine la largeur de bande N requise sur la liaison équivalente pour satisfaire aux objectifs requis en termes de charge prévue R , de rapport charge instantanée/charge moyenne spécifié (IMR, *instantaneous-to-mean ratio*) et de niveau spécifié de variation d'un jour sur l'autre ϕ . En gardant fixes la valeur IMR spécifiée et la largeur de bande calculée N , on calcule

la charge équivalente R_e qui permet de remplir les objectifs de performance dans le cas où aucune variation d'un jour sur l'autre n'est associée à la charge prévue. La charge de trafic équivalente R_e est alors utilisée à la place de R , étant donné qu'elle donne lieu à la même largeur de bande équivalente lorsqu'elle est déterminée pour le même niveau IMR mais en l'absence de variation d'un jour sur l'autre.

9 Modèles pour la conception de la capacité de réserve pour les incertitudes de prévision

Pour l'ajustement de réseau, on utilise les charges de trafic mesurées et les charges de trafic évaluées qui sont sujettes à erreur. Pour la conception de réseau, on utilise les charges de trafic prévues car la capacité de réseau doit être en place avant que les charges ne soient présentes. Les erreurs relatives au trafic prévu correspondent à une incertitude sur les charges réelles qui seront présentes. Il faut donc prévoir une capacité suffisante pour pouvoir absorber la charge attendue sur le réseau compte tenu de ces erreurs attendues. Des études ont montré que, du fait de cette incertitude, il faut prévoir une capacité additionnelle dans le réseau afin de préserver les objectifs de qualité d'écoulement du trafic en termes de probabilité de blocage/retard [FHH79].

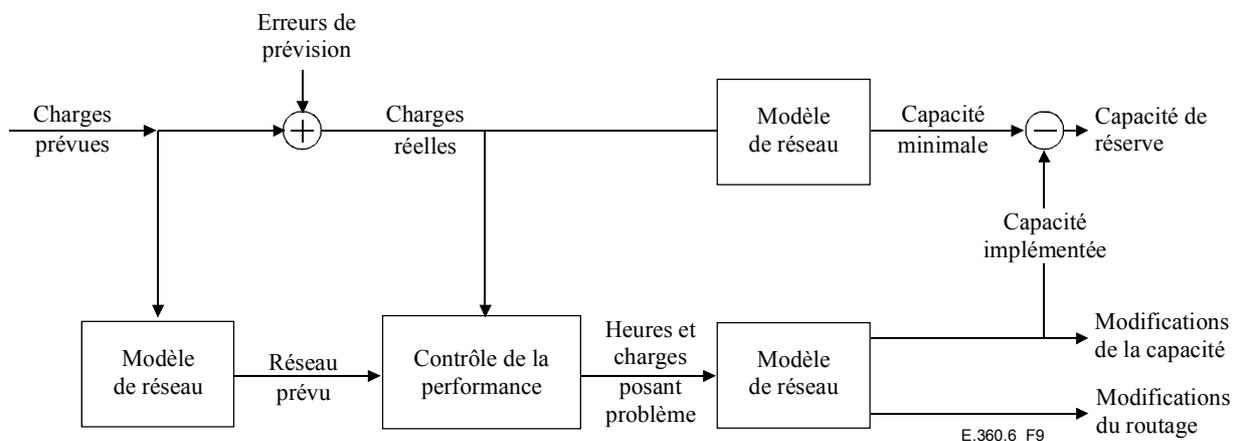


Figure 9/E.360.6 – Modèle illustrant le compromis entre erreurs de prévision et capacité de réserve

Le processus de gestion de la capacité tient compte des erreurs de prévision aléatoires dans les procédures. Lorsque certains niveaux de performance entre nœuds ne sont pas atteints, une capacité additionnelle est prévue et/ou des modifications sont apportées au routage afin de rétablir la performance de réseau au niveau voulu. Souvent, la capacité n'est pas déconnectée au cours du processus de gestion de la capacité même lorsque les erreurs de prévision sont telles que cette déconnexion serait possible sans dégradation de la performance. La gestion de la capacité est donc fondée sur les charges de trafic prévues et sur la capacité de liaison déjà en place. La capacité de liaison en service est analysée compte tenu d'une politique de routage de transport dans laquelle on peut envisager:

- 1) un routage de transport fixe, pour lequel le transport n'est pas réorganisé;
- 2) un routage de transport dynamique (voir la Rec. UIT-T E.360.5), permettant de réorganiser périodiquement le transport et de procéder à certaines déconnexions de capacité.

Dans le cadre de la politique de déconnexion de capacité, la capacité peut être laissée en place même si elle n'est pas nécessaire pour la conception de réseau. La capacité en place qui vient s'ajouter à la capacité requise correspondant exactement aux charges prévues avec la performance voulue est appelée capacité de réserve. La stratégie de gestion de la capacité a des conséquences sur le plan économique et sur le plan du service. Une capacité insuffisante signifie qu'occasionnellement, une certaine capacité de liaison doit être connectée rapidement si la charge de réseau le nécessite. On parle de gestion de capacité à court terme. Il existe un compromis entre la

capacité de réserve et la gestion de la capacité à court terme. Le document [FHH79] contient l'analyse d'un modèle qui montre que la capacité de réserve est comprise entre 6 et 25% de la capacité, lorsque des erreurs de prévision, des erreurs de mesure ou autres sont présentes. Dans les réseaux à routage de transport fixe, si on constate que des liaisons sont surchargées lorsque les charges réelles sont plus fortes que les charges prévues, une capacité additionnelle est fournie afin de rétablir les niveaux de performance voulus. Le résultat du processus est que le réseau conserve la capacité de réserve même lorsque l'erreur prévue est correcte. Dans le cadre d'études opérationnelles menées dans des réseaux à routage de transport fixe, on a mesuré une capacité de réserve de réseau pouvant aller jusqu'à 20% de la capacité voire davantage. Des méthodes telles que le filtre de Kalman [PaW82], pour lesquelles les prévisions de trafic sont plus précises et le routage de transport peut être réorganisé, permettent de réduire cette capacité de réserve. Parfois, une capacité de liaison pas assez grande est fournie en certains endroits du réseau, à nouveau en raison d'erreurs de prévision, et le module de gestion de la capacité à court terme doit corriger ces erreurs de prévision et rétablir le service.

On utilise le modèle illustré sur la Figure 9 pour étudier un réseau sur la base des charges prévues, compte tenu du réseau existant et des charges prévues dans le cadre de la gestion de la capacité. Le module de gestion de la capacité peut procéder à des ajouts de capacité à court terme si la performance de réseau pour les charges de trafic réelles devient inacceptable et ne peut pas être améliorée par des ajustements du routage. Le module de gestion de la capacité essaie de minimiser la capacité de réserve tout en conservant les objectifs de performance et un niveau acceptable d'ajouts de capacité à court terme. Il utilise les prévisions de trafic, sujettes à erreur, et le réseau existant. Dans le modèle, on suppose que la capacité de réseau est toujours en place et, si nécessaire, des ajouts de capacité à court terme sont opérés afin de rétablir la performance du réseau lorsque les objectifs ne sont pas remplis.

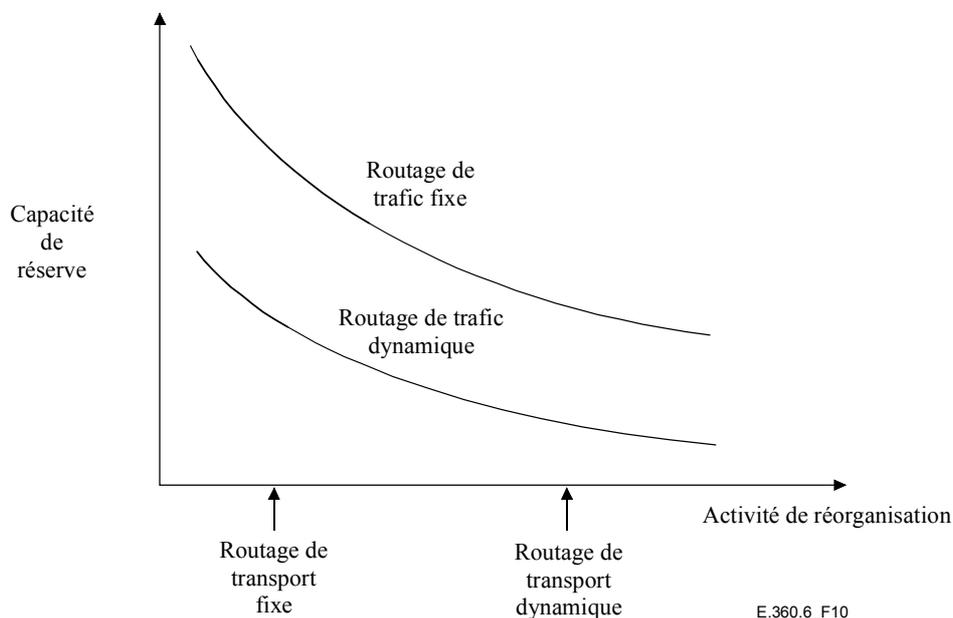


Figure 10/E.360.6 – Compromis entre capacité de réserve et activité de réorganisation

Avec un routage de trafic et un routage de transport fixes, les ajouts de capacité de liaison requis sont implémentés et, lorsqu'un moins grand nombre de faisceaux sont nécessaires pour une liaison, une politique de déconnexion est appliquée afin de décider si des faisceaux doivent être déconnectés. Cette politique tient compte d'une certaine réticence à déconnecter une capacité de liaison, car la capacité de liaison déconnectée peut être requise peu de temps après si la charge de trafic augmente. Avec un routage de trafic dynamique et un routage de transport fixe, il est possible de réduire la capacité de réserve tout en conservant une gestion de capacité à court terme modérée.

Avec un routage de trafic dynamique et un routage de transport dynamique, on peut encore réduire la capacité de réserve. Avec un routage de trafic dynamique et un routage de transport dynamique, comme illustré sur la Figure 10, la capacité de réserve peut être réduite par rapport au cas du routage de transport fixe, car les liaisons sont dimensionnées de manière à correspondre à la charge de réseau.

10 Modèles pour les réseaux à maillage dense, pour les réseaux à maillage peu dense et pour le routage de transport dynamique

Dans le cas des réseaux à maillage dense, on suppose que l'on a une structure de réseaux superposés, dans laquelle, par exemple, les faisceaux de trafic MPLS sont constitués par des conduits commutés avec étiquette (LSP, *label switched path*) ou des conduits virtuels ATM (VP, *virtual path*). Pour établir les chemins LSP, on utilise des routeurs à commutation par étiquette (LSR, *label switched router*). Pour établir les conduits virtuels, on utilise des commutateurs ATM ou éventuellement des brasseurs ATM. Dans le cas des réseaux à maillage dense, le trafic est regroupé sur de nombreuses liaisons logiques et la granularité de largeur de bande des liaisons doit donc être inférieure au niveau OC3. Cette capacité de brassage de réseaux superposés permet d'établir un maillage dense de liaisons logiques de couche 2, qui sont multiplexées dans les liaisons centrales à fibres optiques de capacité plus élevée. Compte tenu du maillage dense des liaisons logiques, on peut employer des méthodes de routage à une ou deux liaisons (méthode STT-EDR à deux liaisons ou méthode DC-SDR à deux liaisons par exemple) si les conduits virtuels ou les chemins LSP peuvent être utilisés en cascade.

Dans le cas des réseaux à maillage peu dense, comme illustré sur la Figure 11, les liaisons logiques sont établies par le biais de brasseurs, par exemple des brasseurs optiques (OXC, *optical cross connect*) (voir la Rec. UIT-T E.360.5). Dans le cas des réseaux à maillage peu dense, le trafic est regroupé sur un moins grand nombre de liaisons logiques et la granularité de largeur de bande des liaisons est donc plus grande: OC3, OC12, OC48 ou plus. Dans le cas des réseaux à routage de transport dynamique, le trafic est regroupé sur un nombre encore plus petit de liaisons centrales à fibres optiques et la granularité de largeur de bande est encore plus grande (OC48, OC192 ou plus), correspondant à une seule longueur d'onde sur un canal à fibres optiques DWDM.

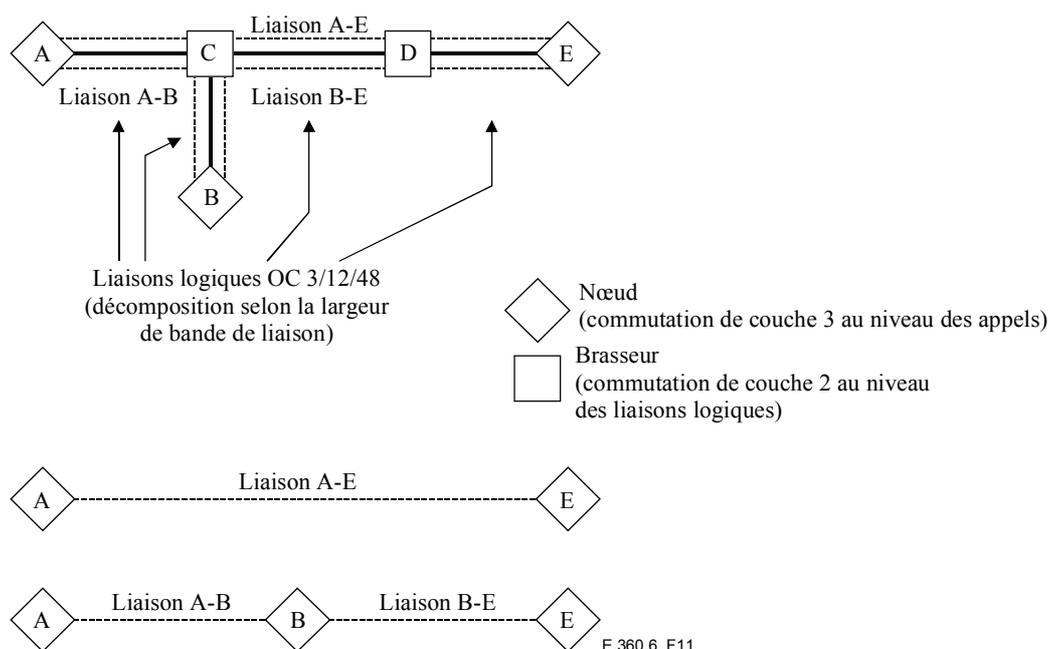


Figure 11/E.360.6 – Topologie de réseau logique à maillage dense avec commutation de couche 2 au niveau des liaisons logiques et commutation de couche 3 au niveau des appels

Dans le cas des réseaux à routage de transport dynamique (voir la Rec. UIT-T E.360.5), les liaisons logiques sont commandées dynamiquement dans le réseau de brasseurs optiques par le biais de la commutation de largeur de bande des liaisons centrales à fibres optiques sur les liaisons logiques. La procédure de conception peut donc être relativement simple. Les demandes de trafic des divers couples de nœuds sont regroupées sur les liaisons centrales de transport à fibres optiques, qui sont superposées aux liaisons logiques, puis chaque liaison de transport est dimensionnée de manière à acheminer l'ensemble de la demande de trafic émanant de tous les couples de nœuds qui utilisent cette liaison pour la voix, les données et le trafic à large bande. Comme illustré sur la Figure 12, une subtilité de la procédure de conception consiste à déterminer les objectifs de performance (par exemple en termes de blocage) à utiliser pour dimensionner les liaisons centrales de transport. La difficulté tient à ce que de nombreux couples de nœuds envoient un trafic sur la même liaison centrale de transport et le chemin associé à chacun de ces couples de nœuds comprend un nombre différent de liaisons centrales de transport. Autrement dit, pour chaque charge de trafic, il faut un niveau différent de performance (par exemple en termes de blocage) sur une liaison centrale de transport donnée afin de garantir, par exemple, un niveau de blocage de bout en bout de 1%. Lorsque de nombreuses sortes de trafic sont présentes sur la liaison, un objectif acceptable de probabilité de blocage est garanti si, pour chaque liaison de transport, on détermine le chemin qui nécessite le plus grand nombre de liaisons, n , et si on dimensionne la liaison avec un objectif en termes de blocage de $1/n$. Sur la Figure 12, pour la liaison L1, le plus grand nombre n est égal à 6 et pour la liaison L2, le plus grand nombre n est égal à 4. Si l'objectif en termes de blocage de bout en bout est de 1%, les objectifs en termes de blocage de liaison sont déterminés comme indiqué sur la Figure 12. On montre que le réseau à routage de transport dynamique dimensionné de cette manière simple continue à être très efficace.

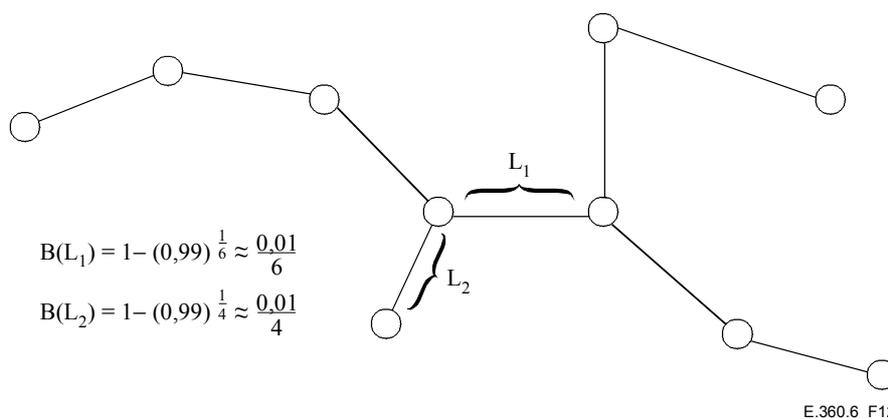


Figure 12/E.360.6 – Modèle pour la conception de réseau à routage de transport dynamique

11 Conclusions/recommandations

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

- les modèles d'optimisation pour des flux d'événements discrets (DEFO, *discrete event flow optimization*) sont recommandés. En effet, ils permettent de tenir compte d'un comportement de routage très complexe grâce à l'équivalent d'un modèle de simulation fourni sous forme logicielle dans le module de conception du routage. On a pu concevoir des réseaux à routage très complexe au moyen du modèle, incluant toutes les méthodes de routage examinées dans la Rec. UIT-T E.360.2 (méthodes FR, TDR, SDR et EDR) et les modèles d'allocation des ressources en fonction de la qualité de service pour les réseaux multiservice examinés dans la Rec. UIT-T E.360.3;

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

Annexe A

Modélisation de méthodes d'ingénierie du trafic

Dans la présente annexe, nous utilisons à nouveau le modèle de réseau national en grandeur réelle présenté dans la Rec. UIT-T E.360.2 afin d'étudier divers scénarios d'ingénierie du trafic et divers compromis. On trouvera une illustration du modèle de réseau national à 135 nœuds sur la Figure A.1/E.360.2, un résumé du modèle des demandes de trafic multiservice dans le Tableau A.1/E.360.2 et un résumé du modèle des coûts dans le Tableau A.2/E.360.2.

A.1 Conception de réseau par réseau virtuel et conception de réseau par flux

Nous illustrons ici l'utilisation du modèle DEFO pour concevoir un réseau multiservice par flux et un réseau multiservice par réseau virtuel ainsi que pour comparer ces deux conceptions. Les conceptions par flux et par réseau virtuel dans le cas du modèle non hiérarchique à 135 nœuds sont résumées dans le Tableau A.1.

**Tableau A.1/E.360.6 – Comparaison entre l'allocation de largeur de bande par réseau virtuel et par flux – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Allocation de largeur de bande par réseau virtuel	Allocation de largeur de bande par flux
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	583	482
	Liaisons OC12	294	389
	Liaisons OC48	104	111
	Nombre total de liaisons	981	982
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	3,16	2,30
	Liaisons OC12	6,07	6,64
	Liaisons OC48	7,30	7,50
	Total	16,5	16,4
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	1536,3	1185,5
	Liaisons OC12	3876,0	4105,4
	Liaisons OC48	3952,9	3994,5
	Total	9365,2	9285,3
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	61,0	44,4
	Liaisons OC12	58,5	64,0
	Liaisons OC48	28,6	29,4
	Total	148,1	137,7
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	299,6	229,8
	Liaisons OC12	621,3	659,6
	Liaisons OC48	237,3	240,0
	Total	1158,1	1129,5

**Tableau A.1/E.360.6 – Comparaison entre l'allocation de largeur de bande par réseau virtuel et par flux – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Allocation de largeur de bande par réseau virtuel	Allocation de largeur de bande par flux
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	360,6	274,2
	Liaisons OC12	679,8	723,6
	Liaisons OC48	265,8	269,5
	Total	1306,2	1267,2
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	1,84	1,86
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	982	982
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	3698	3698
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	4365	4365

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception par réseau virtuel et la conception par flux donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception par flux est égale à 0,996 fois la capacité totale des nœuds pour la conception par réseau virtuel;
- la capacité totale de transport pour la conception par flux est égale à 0,991 fois la capacité totale de transport pour la conception par réseau virtuel;
- le coût total du réseau pour la conception par flux est égal à 0,970 fois le coût total du réseau pour la conception par réseau virtuel.

Ces résultats indiquent que la conception par réseau virtuel et la conception par flux sont tout à fait comparables en termes de capacité requise et de coût de conception. Dans la Rec. UIT-T E.360.3, nous avons montré que les performances associées à ces deux conceptions étaient aussi tout à fait comparables pour divers scénarios de réseau.

A.2 Conception de réseau intégré et conception de réseaux distincts voix/RNIS et données

Le Tableau A.2 donne une comparaison de la conception de réseau intégré et de la conception de réseaux distincts pour un routage par flux de type STT-EDR multiliasion dans les cas suivants:

- trafic voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8 du Tableau A.1/E.360.2);
- trafic de données uniquement (VNET 9 à 11 du Tableau A.1/E.360.2);
- réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11 du Tableau A.1/E.360.2).

Tableau A.2/E.360.6 – Comparaison entre les cas voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8), données uniquement (VNET 9 à 11) et réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11) – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)

Paramètres de conception de réseau		Voix/RNIS uniquement	Données uniquement	Réseau intégré voix/RNIS et données
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	92	393	482
	Liaisons OC12	159	294	389
	Liaisons OC48	3	109	111
	Nombre total de liaisons	254	796	982
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	0,36	1,87	2,30
	Liaisons OC12	2,76	4,99	6,64
	Liaisons OC48	0,20	7,34	7,50
	Total	3,31	14,2	16,4
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	380,1	937,7	1185,5
	Liaisons OC12	1284,4	3025,8	4105,4
	Liaisons OC48	160,0	3853,4	3994,5
	Total	1824,5	7816,9	9285,3
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	6,92	36,0	44,4
	Liaisons OC12	26,6	48,1	64,0
	Liaisons OC48	0,78	28,7	29,4
	Total	34,2	112,8	137,7
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	70,0	182,2	229,8
	Liaisons OC12	211,1	486,8	659,6
	Liaisons OC48	9,33	231,9	240,0
	Total	290,4	900,9	1129,5
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	76,9	218,3	274,2
	Liaisons OC12	237,7	534,9	723,6
	Liaisons OC48	101,2	260,6	269,5
	Total	324,7	1013,8	1267,2

**Tableau A.2/E.360.6 – Comparaison entre les cas voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8), données uniquement (VNET 9 à 11) et réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11) – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Voix/RNIS uniquement	Données uniquement	Réseau intégré voix/RNIS et données
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	2,32	1,96	1,86
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	254	796	982
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	2895	3350	3698
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	5806	4899	4365
	Nombre de couples de nœuds pour 4 liaisons par connexion	90	0	0

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données et la conception de réseau intégré donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau intégré est égale à 0,937 fois la capacité totale des nœuds pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau intégré est égale à 0,963 fois la capacité totale de transport pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données;
- le coût total pour la conception de réseau intégré est égal à 0,947 fois le coût total pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données.

Ces résultats indiquent que la conception de réseau intégré est un peu plus efficace en raison des économies d'échelle réalisées sur le coût des éléments de réseau à capacité plus élevée (voir le modèle de coûts donné dans le Tableau A.2/E.360.2).

Le Tableau A.3 donne une comparaison de la conception de réseau intégré et de la conception de réseaux distincts pour un routage de connexion de type STT-EDR à deux liaisons avec gestion des ressources en fonction de la qualité de service par flux dans les cas suivants:

- trafic voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8 du Tableau A.1/E.360.2);
- trafic de données uniquement (VNET 9 à 11 du Tableau 2.1/E.360.2);
- réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11 du Tableau 2.1/E.360.2).

**Tableau A.3/E.360.6 – Comparaison entre les cas voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8), données uniquement (VNET 9 à 11) et réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11) – Routage de connexion de type STT-EDR à deux liaisons; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Voix/RNIS uniquement	Données uniquement	Réseau intégré voix/RNIS et données
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	170	61	47
	Liaisons OC12	169	92	100
	Liaisons OC48	0	186	192
	Nombre total de liaisons	339	339	339
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	0,65	0,35	0,28
	Liaisons OC12	3,85	2,02	2,22
	Liaisons OC48	0,0	20,1	23,1
	Total	4,50	22,5	25,6
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	1031,0	611,4	501,0
	Liaisons OC12	9823,5	3401,0	3600,2
	Liaisons OC48	0,0	6133,9	7529,4
	Total	2013,4	10 146,3	11 630,6
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	12,6	6,84	5,44
	Liaisons OC12	37,1	19,5	21,4
	Liaisons OC48	0,0	78,8	90,6
	Total	49,7	105,1	117,4
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	186,7	110,4	90,4
	Liaisons OC12	173,7	522,0	553,1
	Liaisons OC48	0,0	392,5	477,5
	Total	360,4	1024,9	1120,9
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	199,3	117,2	95,8
	Liaisons OC12	210,8	541,5	574,4
	Liaisons OC48	0,0	471,3	568,1
	Total	410,1	1130,0	1238,4

**Tableau A.3/E.360.6 – Comparaison entre les cas voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8), données uniquement (VNET 9 à 11) et réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11) – Routage de connexion de type STT-EDR à deux liaisons; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Voix/RNIS uniquement	Données uniquement	Réseau intégré voix/RNIS et données
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	2,77	2,77	2,77
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	340	340	340
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	3249	3249	3249
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	8487	8487	8487
	Nombre de couples de nœuds pour 4 liaisons par connexion	14	14	14

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données et la conception de réseau intégré donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau intégré est égale à 0,948 fois la capacité totale des nœuds pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau intégré est égale à 0,956 fois la capacité totale de transport pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données;
- le coût total pour la conception de réseau intégré est égal à 0,804 fois le coût total pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données.

Ces résultats indiquent que la conception de réseau intégré est un peu plus efficace pour ce qui est de la capacité des nœuds et de la capacité de transport. La conception de réseau intégré est environ 20 fois plus efficace en termes de coût en raison des économies d'échelle réalisées sur le coût des éléments de réseau à capacité plus élevée (voir le modèle de coûts donné dans le Tableau A.2/E.360.2).

Le Tableau A.4 donne une comparaison de la conception de réseau intégré et de la conception de réseaux distincts pour un routage de connexion de type DC-SDR à deux liaisons avec gestion des ressources en fonction de la qualité de service par flux dans les cas suivants:

- trafic voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8 du Tableau A.1/E.360.2);
- trafic de données uniquement (VNET 9 à 11 du Tableau A.1/E.360.2);
- réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11 du Tableau A.1/E.360.2).

Tableau A.4/E.360.6 – Comparaison entre les cas voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8), données uniquement (VNET 9 à 11) et réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11) – Routage de connexion de type DC-SDR à deux liaisons; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)

Paramètres de conception de réseau		Voix/RNIS uniquement	Données uniquement	Réseau intégré voix/RNIS et données
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	170	63	48
	Liaisons OC12	169	90	99
	Liaisons OC48	0	186	192
	Nombre total de liaisons	339	339	339
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	0,65	0,37	0,29
	Liaisons OC12	3,83	2,00	2,20
	Liaisons OC48	0,0	20,1	23,17
	Total	4,48	22,5	25,66
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	1029,7	638,3	501,2
	Liaisons OC12	976,0	335,7	3599,6
	Liaisons OC48	0,0	613,4	7528,9
	Total	2005,7	10128,9	11 629,8
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	12,5	7,12	5,60
	Liaisons OC12	36,9	19,3	21,2
	Liaisons OC48	0,0	78,8	90,7
	Total	49,4	105,2	117,5
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	186,4	115,2	90,5
	Liaisons OC12	172,6	515,2	552,9
	Liaisons OC48	0,0	392,5	477,6
	Total	359,0	1023,0	1238,5
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	199,0	122,4	96,1
	Liaisons OC12	209,5	534,5	574,1
	Liaisons OC48	0,0	471,3	568,3
	Total	408,4	1128,1	1238,5

**Tableau A.4/E.360.6 – Comparaison entre les cas voix/RNIS uniquement (VNET 1 à 8), données uniquement (VNET 9 à 11) et réseau intégré voix/RNIS et données (VNET 1 à 11) – Routage de connexion de type DC-SDR à deux liaisons; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Voix/RNIS uniquement	Données uniquement	Réseau intégré voix/RNIS et données
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	2,77	2,77	2,77
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	340	340	340
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	3249	3249	3249
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	8487	8487	8487
	Nombre de couples de nœuds pour 4 liaisons par connexion	14	14	14

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données et la conception de réseau intégré donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau intégré est égale à 0,951 fois la capacité totale des nœuds pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau intégré est égale à 0,958 fois la capacité totale de transport pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données;
- le coût total pour la conception de réseau intégré est égal à 0,806 fois le coût total pour la conception de réseaux distincts voix/RNIS et données.

Ces résultats indiquent que la conception de réseau intégré est un peu plus efficace pour ce qui est de la capacité des nœuds et de la capacité de transport. La conception de réseau intégré est environ 20 fois plus efficace en termes de coût en raison des économies d'échelle réalisées sur le coût des éléments de réseau à capacité plus élevée (voir le modèle de coûts donné dans le Tableau A.2/E.360.2).

A.3 Conception de réseau avec routage multiliasion et conception de réseau avec routage à deux liaisons

D'après les Tableaux A.2 et A.3, la comparaison entre la conception de réseau avec routage EDR multiliasion et la conception de réseau avec routage EDR à deux liaisons donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau voix/RNIS uniquement avec routage EDR multiliasion est égale à 0,735 fois la capacité totale des nœuds pour la conception à deux liaisons;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau voix/RNIS uniquement avec routage EDR multiliasion est égale à 0,906 fois la capacité totale de transport pour la conception à deux liaisons;
- le coût total pour la conception de réseau voix/RNIS uniquement avec routage EDR multiliasion est égal à 0,792 fois le coût total pour la conception à deux liaisons;
- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau données uniquement avec routage EDR multiliasion est égale à 0,631 fois la capacité totale des nœuds pour la conception à deux liaisons;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau données uniquement avec routage EDR multiliasion est égale à 0,770 fois la capacité totale de transport pour la conception à deux liaisons;
- le coût total pour la conception de réseau données uniquement avec routage EDR multiliasion est égal à 0,897 fois le coût total pour la conception à deux liaisons;
- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau intégré avec routage EDR multiliasion est égale à 0,640 fois la capacité totale des nœuds pour la conception à deux liaisons;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau intégré avec routage EDR multiliasion est égale à 0,798 fois la capacité totale de transport pour la conception à deux liaisons;
- le coût total pour la conception de réseau intégré avec routage EDR multiliasion est égal à 1,023 fois le coût total pour la conception à deux liaisons.

Ces résultats montrent que les conceptions avec routage multiliasion sont généralement plus efficaces que les conceptions avec routage à deux liaisons en termes de capacité de transport et de capacité des nœuds et qu'elles sont associées à un coût inférieur dans le cas de réseaux distincts et à un coût comparable dans le cas du réseau intégré.

A.4 Conception de réseau non hiérarchique à une seule zone et conception de réseau hiérarchique à deux niveaux

Dans le Tableau A.5, nous illustrons l'utilisation du modèle DEFO pour concevoir un réseau multiservice hiérarchique à deux niveaux par flux et un réseau multiservice hiérarchique à deux niveaux par réseau virtuel et pour comparer ces deux conceptions. Nous rappelons que le modèle hiérarchique, illustré sur la Figure A.1/E.360.2, comprend 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux. Les nœuds périphériques sont rattachés aux nœuds centraux dans une relation hiérarchique. Les conceptions par flux et par réseau virtuel dans le cadre du modèle hiérarchique à 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux sont résumées dans le Tableau A.5.

**Tableau A.5/E.360.6 – Comparaison entre l'allocation de largeur de bande par réseau virtuel et par flux – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion
Topologie hiérarchique à deux niveaux multizone à maillage peu dense
comportant 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux
(modèle de réseau multiservice; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Allocation de largeur de bande par réseau virtuel	Allocation de largeur de bande par flux
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	60	40
	Liaisons OC12	97	113
	Liaisons OC48	186	187
	Nombre total de liaisons	343	340
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	0,36	0,21
	Liaisons OC12	2,09	2,18
	Liaisons OC48	19,62	18,72
	Total	22,08	21,12
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	654,4	377,2
	Liaisons OC12	3462,2	3608,0
	Liaisons OC48	5870,9	5923,6
	Total	9987,5	9908,8
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	70,0	4,1
	Liaisons OC12	20,2	21,0
	Liaisons OC48	76,8	73,3
	Total	104,0	98,5
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	118,0	68,0
	Liaisons OC12	531,6	554,0
	Liaisons OC48	376,7	377,1
	Total	1026,3	991,2
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	125,0	72,2
	Liaisons OC12	551,8	57,5
	Liaisons OC48	453,5	450,4
	Total	1130,3	1097,6

**Tableau A.5/E.360.6 – Comparaison entre l'allocation de largeur de bande par réseau virtuel et par flux – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion
Topologie hiérarchique à deux niveaux multizone à maillage peu dense
comportant 135 nœuds périphériques et 21 nœuds centraux
(modèle de réseau multiservice; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Allocation de largeur de bande par réseau virtuel	Allocation de largeur de bande par flux
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	2,90	2,77
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	344	340
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	2706	3249
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	6703	8487
	Nombre de couples de nœuds pour 4 liaisons par connexion	2158	14
	Nombre de couples de nœuds pour 5 liaisons par connexion	179	0

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception hiérarchique par réseau virtuel et la conception hiérarchique par flux donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception hiérarchique par flux est égale à 0,956 fois la capacité totale des nœuds pour la conception hiérarchique par réseau virtuel;
- la capacité totale de transport pour la conception hiérarchique par flux est égale à 0,992 fois la capacité totale de transport pour la conception hiérarchique par réseau virtuel;
- le coût total de réseau pour la conception hiérarchique par flux est égal à 0,971 fois le coût total de réseau pour la conception hiérarchique par réseau virtuel.

Ces résultats indiquent que la conception hiérarchique par réseau virtuel et la conception hiérarchique par flux sont tout à fait comparables en termes de capacité requise et de coût de conception. Dans la Rec. UIT-T E.360.3, nous avons montré que les performances associées à ces deux conceptions étaient aussi tout à fait comparables pour divers scénarios de réseau.

D'après les Tableaux A.1 et A.5, la comparaison entre la conception de réseau non hiérarchique à une seule zone et la conception de réseau hiérarchique à deux niveaux multizone (cas par flux) donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception non hiérarchique à une seule zone est égale à 0,776 fois la capacité totale des nœuds pour la conception hiérarchique à deux niveaux multizone;
- la capacité totale de transport pour la conception non hiérarchique à une seule zone est égale à 0,937 fois la capacité totale de transport pour la conception hiérarchique à deux niveaux multizone;
- le coût total de réseau pour la conception non hiérarchique à une seule zone est égal à 1,154 fois le coût total de réseau pour la conception hiérarchique à deux niveaux multizone.

Dans ce modèle, les conceptions non hiérarchiques à une seule zone sont associées à une capacité totale des nœuds et une capacité totale de transport moins grandes que les conceptions hiérarchiques multizone et elles sont donc plus efficaces en termes de capacité mise en place. En revanche, le coût est plus bas pour les conceptions hiérarchiques. Cela s'explique par le plus fort pourcentage de liaisons OC48 dans les conceptions hiérarchiques, qui sont par ailleurs associées à un maillage beaucoup moins dense que les conceptions non hiérarchiques et les charges de trafic sont donc concentrées sur un plus petit nombre de liaisons plus larges. Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.360.2, une économie d'échelle est intégrée dans le modèle de coûts, qui permet aux liaisons à capacité plus élevée (par exemple OC48 par rapport à OC3) d'avoir un coût par unité de largeur de bande beaucoup plus bas et il en résulte donc un coût total de réseau plus bas. Toutefois, les résultats de l'analyse de performance donnés dans la Rec. UIT-T E.360.3 montrent que la performance est meilleure pour les conceptions non hiérarchiques que pour les conceptions hiérarchiques dans les scénarios de surcharge et de panne modélisés. Il s'agit aussi d'une conséquence du fait que les réseaux hiérarchiques ont un maillage moins dense et que les chemins de remplacement disponibles sont moins nombreux afin d'avoir des réseaux plus robustes.

A.5 Conception de réseau avec routage EDR et conception de réseau avec routage SDR

Nous examinons maintenant la conception de réseau à maillage dense avec routage STT-EDR à deux liaisons et celle avec routage DC-SDR à deux liaisons (voir la Rec. UIT-T E.360.2). Ces deux conceptions, avec gestion des ressources en fonction de la qualité de service par flux, sont comparées dans le Tableau A.6; elles sont à nouveau fondées sur le modèle DEFO avec un modèle de réseau à 135 nœuds.

Tableau A.6/E.360.6 – Comparaison entre le routage de connexion de type STT-EDR à deux liaisons et le routage de connexion de type DC-SDR à deux liaisons – Allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage dense
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds périphériques; modèle DEFO)

Paramètres de conception de réseau		Routage STT-EDR à deux liaisons	Routage DC-SDR à deux liaisons
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	47	48
	Liaisons OC12	100	99
	Liaisons OC48	192	192
	Nombre total de liaisons	339	339
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	0,28	0,29
	Liaisons OC12	2,22	2,20
	Liaisons OC48	23,14	23,17
	Total	25,64	25,66
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	501,0	501,2
	Liaisons OC12	3600,2	3599,6
	Liaisons OC48	7529,4	7528,9
	Total	11 630,6	11 629,8
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	5,44	5,60
	Liaisons OC12	21,4	21,2
	Liaisons OC48	90,6	90,7
	Total	117,4	117,5
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	90,4	90,5
	Liaisons OC12	553,1	552,9
	Liaisons OC48	477,5	477,6
	Total	1120,9	1121,0
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	95,8	96,1
	Liaisons OC12	574,4	574,1
	Liaisons OC48	568,1	568,3
	Total	1238,4	1238,5
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	2,77	2,77
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	340	340
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	3249	3249
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	8487	8487
	Nombre de couples de nœuds pour 4 liaisons par connexion	14	14

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception de réseau avec routage EDR et la conception de réseau avec routage SDR donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception avec routage EDR est égale à 0,999 fois la capacité totale des nœuds pour la conception avec routage SDR;
- la capacité totale de transport pour la conception avec routage EDR est égale à 1,000 fois la capacité totale de transport pour la conception avec routage SDR;
- le coût total de réseau pour la conception avec routage EDR est égal à 0,999 fois le coût total de réseau pour la conception avec routage SDR.

Nous constatons que les conceptions sont très comparables et le coût total de réseau qui leur est associé est pratiquement le même. Ainsi, il n'est pas vraiment avantageux d'employer des informations d'état de liaison dans ces conceptions de réseau et, compte tenu du volume important d'informations de gestion lié à l'inondation du réseau par des informations d'état de liaison, les méthodes EDR sont préférées.

A.6 Conception de réseau à routage de transport dynamique et conception de réseau à routage de transport fixe

Enfin, nous comparons les conceptions pour un routage de transport dynamique et pour un routage de transport fixe. Nous supposons que le modèle est fondé sur un routage de connexion de type STT-EDR multiliasion avec gestion des ressources en fonction de la qualité de service par flux. Nous utilisons à nouveau le modèle DEFO avec un modèle de réseau non hiérarchique à 135 nœuds. Les résultats sont récapitulés dans le Tableau A.7.

Tableau A.7/E.360.6 – Comparaison entre routage de transport fixe et routage de transport dynamique – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion; allocation de largeur de bande par flux Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense (modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)

Paramètres de conception de réseau		Routage de transport fixe	Routage de transport dynamique
Nombre de liaisons	Liaisons OC3	482	0
	Liaisons OC12	389	0
	Liaisons OC48	111	173
	Nombre total de liaisons	982	173
Capacité des nœuds (nombre équivalent de DS0s, millions)	Liaisons OC3	2,30	0
	Liaisons OC12	6,64	0
	Liaisons OC48	7,50	18,0
	Total	16,4	18,0
Capacité de transport (nombre équivalent de DS0-miles, millions)	Liaisons OC3	1185,5	0
	Liaisons OC12	4105,4	0
	Liaisons OC48	3994,5	9731,0
	Total	9285,3	9731,0

**Tableau A.7/E.360.6 – Comparaison entre routage de transport fixe et routage de transport dynamique – Routage de connexion de type STT-EDR multiliasion; allocation de largeur de bande par flux
Topologie non hiérarchique à une seule zone à maillage peu dense
(modèle de réseau multiservice à 135 nœuds; modèle DEFO)**

Paramètres de conception de réseau		Routage de transport fixe	Routage de transport dynamique
Coût des nœuds (millions de \$)	Liaisons OC3	44,4	0
	Liaisons OC12	64,0	0
	Liaisons OC48	29,4	70,6
	Total	137,7	70,6
Coût de transport (millions de \$)	Liaisons OC3	229,8	0
	Liaisons OC12	659,6	0
	Liaisons OC48	240,0	584,2
	Total	1129,5	584,2
Coût total (millions de \$)	Liaisons OC3	274,2	0
	Liaisons OC12	723,6	0
	Liaisons OC48	269,5	654,8
	Total	1267,2	654,8
Analyse du routage (heure de pointe du réseau)	Nombre moyen de liaisons par connexion	1,86	2,49
	Nombre de couples de nœuds pour 1 liaison par connexion	982	173
	Nombre de couples de nœuds pour 2 liaisons par connexion	3698	2371
	Nombre de couples de nœuds pour 3 liaisons par connexion	4365	6085
	Nombre de couples de nœuds pour 4 liaisons par connexion	0	416

D'après le tableau ci-dessus, la comparaison entre la conception de réseau à routage de transport fixe et la conception de réseau à routage de transport dynamique donne les résultats suivants:

- la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau à routage de transport dynamique est égale à 1,097 fois la capacité totale des nœuds pour la conception de réseau à routage de transport fixe;
- la capacité totale de transport pour la conception de réseau à routage de transport dynamique est égale à 1,048 la capacité totale de transport pour la conception de réseau à routage de transport fixe;
- le coût total de réseau pour la conception de réseau à routage de transport dynamique est égal à 0,516 le coût total de réseau pour la conception de réseau à routage de transport fixe.

Ces résultats indiquent que, dans le cas du routage de transport dynamique, la capacité des nœuds et la capacité de transport sont plus grandes mais le coût est beaucoup plus bas. La capacité plus grande est due au fait que la granularité de largeur de bande de liaison centrale à fibres optiques est plus grande que la granularité de liaison logique dans le cas du routage de transport fixe. Le coût plus bas du réseau à routage de transport dynamique est dû aux économies d'échelle réalisées sur le coût des éléments de transport et des nœuds à capacité plus élevée (voir le Tableau A.2/E.360.2). Dans la Rec. UIT-T E.360.3, nous avons montré que les performances associées à ces deux conceptions étaient aussi tout à fait comparables pour divers scénarios de réseau.

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