



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

E.737

(02/2001)

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

Ingénierie du trafic – Ingénierie du trafic RNIS

**Méthodes de dimensionnement pour le RNIS à
large bande**

Recommandation UIT-T E.737

(Antérieurement Recommandation du CCITT)

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

EXPLOITATION DES RELATIONS INTERNATIONALES	
Définitions	E.100–E.103
Dispositions de caractère général concernant les Administrations	E.104–E.119
Dispositions de caractère général concernant les usagers	E.120–E.139
Exploitation des relations téléphoniques internationales	E.140–E.159
Plan de numérotage du service téléphonique international	E.160–E.169
Plan d'acheminement international	E.170–E.179
Tonalités utilisées dans les systèmes nationaux de signalisation	E.180–E.189
Plan de numérotage du service téléphonique international	E.190–E.199
Service mobile maritime et service mobile terrestre public	E.200–E.229
DISPOSITIONS OPÉRATIONNELLES RELATIVES À LA TAXATION ET À LA COMPTABILITÉ DANS LE SERVICE TÉLÉPHONIQUE INTERNATIONAL	
Taxation dans les relations téléphoniques internationales	E.230–E.249
Mesure et enregistrement des durées de conversation aux fins de la comptabilité	E.260–E.269
UTILISATION DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE INTERNATIONAL POUR LES APPLICATIONS NON TÉLÉPHONIQUES	
Généralités	E.300–E.319
Phototélégraphie	E.320–E.329
DISPOSITIONS DU RNIS CONCERNANT LES USAGERS	E.330–E.349
PLAN D'ACHEMINEMENT INTERNATIONAL	E.350–E.399
GESTION DE RÉSEAU	
Statistiques relatives au service international	E.400–E.409
Gestion du réseau international	E.410–E.419
Contrôle de la qualité du service téléphonique international	E.420–E.489
INGÉNIERIE DU TRAFIC	
Mesure et enregistrement du trafic	E.490–E.505
Prévision du trafic	E.506–E.509
Détermination du nombre de circuits en exploitation manuelle	E.510–E.519
Détermination du nombre de circuits en exploitation automatique et semi-automatique	E.520–E.539
Niveau de service	E.540–E.599
Définitions	E.600–E.649
Ingénierie du trafic des réseaux à protocole Internet	E.650–E.699
Ingénierie du trafic RNIS	E.700–E.749
Ingénierie du trafic des réseaux mobiles	E.750–E.799
QUALITÉ DE SERVICE: CONCEPTS, MODÈLES, OBJECTIFS, PLANIFICATION DE LA SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT	
Termes et définitions relatifs à la qualité des services de télécommunication	E.800–E.809
Modèles pour les services de télécommunication	E.810–E.844
Objectifs et concepts de qualité des services de télécommunication	E.845–E.859
Utilisation des objectifs de qualité de service pour la planification des réseaux de télécommunication	E.860–E.879
Collecte et évaluation de données d'exploitation sur la qualité des équipements, des réseaux et des services	E.880–E.899

Pour plus de détails, voir la Liste des Recommandations de l'UIT-T.

Méthodes de dimensionnement pour le RNIS à large bande

Résumé

La présente Recommandation contient les principes généraux et les méthodes de dimensionnement des RNIS-LB au niveau des appels et au niveau des connexions. On y trouvera une technique de modélisation du réseau en vue de son dimensionnement ainsi qu'une description des commandes de gestion du trafic au niveau des appels et au niveau des connexions, telles que le routage du trafic et la réservation des largeurs de bande. Elle contient aussi les types de demande d'appel qui sont pris en compte pour le dimensionnement du réseau compte tenu des capacités de signalisation disponibles du RNIS-LB. Les principes des méthodes de dimensionnement du réseau sont accompagnés de plusieurs exemples de méthodes de calcul de la qualité d'écoulement de service de bout en bout (c'est-à-dire de la probabilité de blocage des appels/connexions).

Source

La Recommandation E.737 de l'UIT-T, révisée par la Commission d'études 2 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 2 février 2001 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 2002

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application..... 1
2	Références normatives..... 1
3	Termes et définitions..... 2
4	Abréviations..... 3
5	Introduction..... 3
6	Modélisation du réseau en vue du dimensionnement..... 6
6.1	Modèle de réseau..... 6
6.2	Objectifs de dimensionnement du réseau et objectifs de qualité d'écoulement de service..... 8
7	Gestion du trafic au niveau des appels et des connexions..... 9
7.1	Routage d'une connexion ATM..... 9
7.1.1	Aperçu général du processus de routage..... 9
7.2	Méthodes de protection du service..... 10
7.2.1	Réservation de la largeur de bande..... 10
7.2.2	Autres méthodes..... 11
7.3	Priorité des appels..... 11
7.4	Négociation de la largeur de bande à l'établissement de la connexion..... 12
8	Modélisation de l'offre de trafic..... 12
8.1	Aperçu général des commandes d'appel/connexion assurées par le RNIS-LB..... 12
8.1.1	Types d'appel/connexion représentatifs..... 12
8.1.2	Modification de la connexion..... 13
8.2	Types de demande d'appel..... 13
9	Dimensionnement d'un groupe unique de connexions VPC ou de modules de largeur de bande..... 14
9.1	Modèle pour le dimensionnement..... 14
9.1.1	Utilisation du débit ECR..... 14
9.1.2	Hypothèses..... 15
9.1.3	Quantification de la largeur de bande..... 16
9.1.4	Probabilité de blocage des connexions..... 16
9.1.5	Commandes de trafic au niveau connexion..... 16
9.2	Principes de la méthode de dimensionnement..... 16
9.3	Calcul de la probabilité de blocage de connexion d'un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande..... 17

9.3.1	Dimensionnement d'un groupe sans commande de priorité au niveau des cellules	17
9.3.2	Dimensionnement d'un groupe avec commande de priorité au niveau des cellules	18
10	Dimensionnement du réseau	19
10.1	Principes des méthodes de dimensionnement des réseaux	19
10.2	Principes des méthodes de calcul du blocage de bout en bout	21
10.2.1	Analyse de l'espace d'état.....	21
10.2.2	Méthode du point fixe.....	21
10.3	Calcul des probabilités de blocage dans un réseau avec appels de type A.....	23
10.3.1	Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau à plan de routage avec partage de la charge	23
10.3.2	Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant un plan de routage détourné	24
10.3.3	Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant d'autres plans de routage	24
10.4	Calcul des probabilités de blocage des appels de type B	24
10.4.1	Probabilité de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant le plan de routage à partage de charge	24
10.4.2	Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant d'autres plans de routage.....	24
10.5	Calcul des probabilités de blocage d'autres types d'appel	24
11	Historique	24
Annexe A	– Exemples de méthodes de calcul des probabilités de blocage individuel dans un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande	25
A.1	Résumé des méthodes.....	25
A.2	Notations.....	25
A.3	Méthode de Kaufman-Roberts.....	26
A.4	Méthode de type Hayward.....	27
Annexe B	– Exemple de méthode de calcul des probabilités de blocage pour un réseau avec appels de type A.....	27
B.1	Pour un plan de routage à partage de la charge	27
B.1.1	Modèle de réseau.....	27
B.1.2	Probabilités de blocage de l'appel de bout en bout.....	29
B.2	Exemple avec plan de routage détourné	30
B.2.1	Modèle de réseau.....	30
B.2.2	Probabilités de blocage de l'appel de bout en bout.....	31

	Page
Annexe C – Exemple de méthode de calcul des probabilités de blocage dans un réseau avec appels de type B	32
C.1 Cas d'un plan de routage à partage de la charge	32
C.1.1 Modèle de réseau	32
C.1.2 Probabilités de blocage des appels et des connexions de bout en bout	33
Appendice I – Bibliographie	34

Méthodes de dimensionnement pour le RNIS à large bande

1 Domaine d'application

La présente Recommandation a pour objet de donner des directives sur le dimensionnement du RNIS-LB permettant à l'exploitant d'atteindre les objectifs de la qualité d'écoulement de service pour les appels et pour les connexions, sous l'angle du plan d'utilisateur. Dans la présente Recommandation, il est tenu compte des services supports RNIS-LB assurés par les ensembles de capacités 1 et 2.1 du RNIS-LB. Bien que ces ensembles ne prennent pas en charge les connexions de conduit virtuel à la demande, on en tient compte dans la modélisation de la demande de trafic par l'utilisateur. La présente Recommandation ne concerne que les connexions ATM configurées pour les capacités supports de transfert ATM aux débits déterministe et statistique.

Les directives de dimensionnement relatives au plan de commande du RNIS-LB ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

2 Références normatives

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

- UIT-T E.170 (1992), *Acheminement du trafic.*
- UIT-T E.177 (1996), *Acheminement dans le RNIS à large bande.*
- UIT-T E.525 (1992), *Conception des réseaux pour le contrôle de la qualité d'écoulement du trafic.*
- UIT-T E.526 (1993), *Dimensionnement d'un faisceau de circuits avec services supports à intervalles de temps multiples et sans trafic de débordement.*
- UIT-T E.716 (1996), *Modélisation de la demande usager dans le RNIS à large bande.*
- UIT-T E.731 (1992), *Méthodes de dimensionnement des ressources exploitées en mode commutation de circuits.*
- UIT-T E.735 (1997), *Cadre général de gestion de trafic et du dimensionnement dans le RNIS à large bande.*
- UIT-T E.736 (2000), *Méthodes de gestion du trafic au niveau des cellules dans le RNIS-LB.*
- UIT-T I.121 (1991), *Aspects large bande du RNIS.*
- UIT-T I.150 (1999), *Caractéristiques fonctionnelles du mode de transfert asynchrone du RNIS à large bande.*
- UIT-T Q.2722.1 (1996), *Sous-système utilisateur du RNIS-LB – Spécification de l'interface de nœud de réseau pour la commande de connexion d'appel/connexion point à multipoint.*
- UIT-T Q.2726.2 (1996), *Sous-système utilisateur du RNIS-LB – Priorité d'appel.*
- UIT-T Q.2761 (1999), *Description fonctionnelle du sous-système utilisateur du RNIS-LB du système de signalisation n° 7.*

- UIT-T Q.2762 (1999), *Fonctions générales des messages et des signaux du sous-système utilisateur du RNIS-LB du système de signalisation n° 7.*
- UIT-T Q.2763 (1999), *Sous-système utilisateur du RNIS-LB du système de signalisation n° 7 – Formats et codes.*
- UIT-T Q.2764 (1999), *Sous-système utilisateur du RNIS-LB du système de signalisation n° 7 – Procédures d'appel de base.*
- UIT-T Q.2931 (1995), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Spécification de la couche 3 de l'interface utilisateur-réseau pour la commande de connexion/appel de base.*
- UIT-T Q.2959 (1996), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Priorité d'appel.*
- UIT-T Q.2961.x, *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Paramètres de trafic supplémentaires.*
- UIT-T Q.2962 (1998), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Négociation des caractéristiques de la connexion pendant la phase d'établissement d'appel.*
- UIT-T Q.2963.1 (1996), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Modification du débit cellulaire crête par le propriétaire de la connexion.*
- UIT-T Q.2971 (1995), *Système de signalisation d'abonné numérique n° 2 – Spécification de la couche 3 de l'interface utilisateur-réseau pour la commande d'appel/de connexion point à multipoint.*

3 Termes et définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

- 3.1 connexion ATM:** connexion de voie virtuelle (VCC) ou de conduit virtuel (VPC).
- 3.2 vers l'avant:** sens de communication de l'appelant à l'appelé.
- 3.3 vers l'arrière:** sens de communication de l'appelé à l'appelant.
- 3.4 liaison ATM:** conduit de transmission avec son tampon associé dans le nœud amont.
- 3.5 faisceau de liaisons ATM:** ensemble de toutes les liaisons ATM interconnectant, dans le même sens de transmission, deux nœuds ATM sans aucun nœud ATM intermédiaire.
- 3.6 faisceau de connexions VPC:** ensemble de toutes les connexions VPC interconnectant, dans le même sens de transmission, deux nœuds VC sans aucun nœud VC intermédiaire.
- 3.7 module de largeur de bande:** largeur de bande donnée d'une liaison ATM qui n'est pas attribuée aux connexions VPC réseau à réseau mais qui peut être attribuée aux connexions VPC/VCC usager à usager (voir 6.1).
- 3.8 faisceau de modules de largeur de bande:** ensemble de tous les modules de largeur de bande d'un faisceau de liaisons ATM.
- 3.9 groupe de connexions VPC:** connexions VPC d'un faisceau donné de connexions VPC ayant les mêmes caractéristiques permanentes et qualitatives, c'est-à-dire le même temps de propagation et les mêmes performances au niveau des cellules.
- 3.10 groupe de modules de largeur de bande:** modules de largeur de bande d'un faisceau de modules de largeur de bande donné ayant les mêmes caractéristiques permanentes et qualitatives, c'est-à-dire le même temps de propagation et les mêmes performances au niveau des cellules.
- 3.11 route:** concaténation de groupes de connexions VPC et de groupes de modules de largeur de bande, du nœud de départ au nœud de destination, d'une connexion ATM.
- 3.12 débit cellulaire équivalent (ECR, *equivalent cell rate*):** débit cellulaire, attribué à une connexion, tel que les objectifs de qualité d'écoulement de service au niveau des cellules sont atteints

sur une liaison ATM ou sur une connexion VPC de réseau à condition que la somme des débits cellulaires équivalents ne soit pas supérieure au débit de la liaison ATM ou de la connexion VPC.

Il faut noter que tous les objets définis ci-dessus, à savoir la connexion, la liaison, le module de largeur de bande, les faisceaux et les groupes ainsi que la route, sont unidirectionnels.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes.

ABR	débit binaire disponible (<i>available bit rate</i>)
ATM	mode de transfert asynchrone (<i>asynchronous transfer mode</i>)
CAC	contrôle d'admission de connexion
CLP	priorité de perte de cellules (<i>cell loss priority</i>)
CSn	ensemble de capacités n (<i>capability set n</i>)
DBR	débit binaire déterministe (<i>deterministic bit rate</i>)
ECR	débit cellulaire équivalent (<i>equivalent cell rate</i>)
GOS	qualité d'écoulement du trafic (<i>grade of service</i>)
INI	interface interréseaux (<i>inter-network interface</i>)
MCR	débit cellulaire minimal (<i>minimum cell rate</i>)
PCR	débit cellulaire crête (<i>peak cell rate</i>)
QS	qualité de service
RNIS	réseau numérique à intégration de services
RNIS-BE	réseau numérique à intégration de services à bande étroite
RNIS-LB	réseau numérique à intégration de services à large bande
RTPC	réseau téléphonique public commuté
SBR	débit binaire statistique (<i>statistical bit rate</i>)
STD	descripteur de trafic source (<i>source traffic descriptor</i>)
TP	conduit de transmission (<i>transmission path</i>)
UNI	interface utilisateur-réseau (<i>user-network interface</i>)
VC	voie virtuelle (<i>virtual channel</i>)
VCC	connexion de voie virtuelle (<i>virtual channel connection</i>)
VP	conduit virtuel (<i>virtual path</i>)
VPC	connexion de conduit virtuel (<i>virtual path connection</i>)
VPI	identificateur de conduit virtuel (<i>virtual path identifier</i>)

5 Introduction

Comme l'indique la Rec. UIT-T I.121, le RNIS-LB prend en charge les connexions ATM commutées, permanentes ou semi-permanentes, point à point et point à multipoint, et fournit des services supports sur demande, réservés ou permanents. Un tel service support RNIS-LB est fourni au moyen de connexions ATM utilisateur-utilisateur établies dans le réseau. La présente Recommandation est axée sur les services supports RNIS-LB fournis sur demande aux utilisateurs.

La Rec. UIT-T E.735 constitue le cadre pour la gestion du trafic et pour le dimensionnement dans le RNIS-LB en vue de donner des directives générales pour la conception du réseau. Elle décrit la structure générale du RNIS-LB, les divers types de réseau et la relation entre gestion du trafic au niveau des cellules (traitée dans la Rec. UIT-T E.736) et dimensionnement. La présente Recommandation est fondée sur le cadre fixé dans la Rec. UIT-T E.735.

Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.735, un conduit de transmission (TP, *transmission path*) interconnectant deux nœuds ATM physiquement adjacents, complété de son tampon associé, est appelé **liaison ATM**, et le faisceau formé de toutes les liaisons ATM entre deux nœuds est appelé **faisceau de liaisons ATM**. Une liaison est routée sur une concaténation de fonctionnalités de transmission. Les liaisons d'un faisceau peuvent avoir des caractéristiques différentes (au niveau du temps de propagation, par exemple). Des connexions VPC réseau-réseau peuvent être établies entre deux nœuds VC adjacents ou entre deux parties VC de nœuds VP-VC. Un ensemble de connexions VPC interconnectant les deux nœuds est appelé **faisceau de connexions VPC** dans la série des Rec. UIT-T E.700 sur l'ingénierie du trafic dans le RNIS-LB. Une connexion VPC réseau-réseau est routée sur une concaténation de liaisons ATM interconnectant ses nœuds d'origine et de destination, de sorte que les connexions VPC d'un faisceau VPC ne sont pas nécessairement homogènes au niveau des caractéristiques permanentes telles que le nombre de liaisons VP d'une connexion VPC et le temps de propagation. Dans un faisceau de connexions VPC, les connexions VPC qui ont les mêmes caractéristiques de performances permanentes et au niveau des cellules seront appelées **groupe de connexions VPC**¹. Chaque connexion VPC d'un faisceau VPC appartient à l'un des groupes VPC du faisceau. Un groupe de connexions VPC peut être composé d'une seule connexion VPC. La présente Recommandation est fondée sur l'hypothèse qu'une connexion VPC donnée assure les mêmes performances au niveau des cellules pour toutes les connexions VCC qu'elle contient. Pour cette raison, une caractéristique de performances courante est que toutes les connexions VCC sont assurées avec le même niveau de performances au niveau des cellules, par exemple la perte de cellules, le temps de propagation des cellules et les variations de celui-ci. Les connexions VPC d'un groupe de connexions VPC sont du même type (c'est-à-dire des connexions VPC à débit DBR, des connexions VPC à débit constant non contrôlé ou des connexions VPC à débit variable). Dans la présente Recommandation, une largeur de bande donnée de liaison ATM qui n'est pas attribuée aux connexions VPC réseau-réseau mais qui peut être attribuée à des connexions VPC/VCC utilisateur-utilisateur est appelée **module de largeur de bande**; et l'ensemble de tous les modules de largeur de bande qui ont leur terminaison à deux nœuds ATM adjacents est appelé **faisceau de modules de largeur de bande**. Pour ce qui est du groupage de connexions VPC dans un faisceau de connexions VPC, les modules de largeur de bande qui, dans un faisceau de modules de largeur de bande, ont les mêmes caractéristiques de performances permanentes et au niveau des cellules seront appelés un **module de largeur de bande**. Le même principe de groupage que celui des connexions VPC est appliqué au groupage des modules de largeur de bande dans un faisceau de modules de largeur de bande. La Figure 1 représente les liaisons ATM, les connexions VPC et les modules de largeur de bande d'un réseau.

Dans la présente Recommandation, on part du principe que l'effet sur le dimensionnement du réseau résultant du mécanisme de commande au niveau des cellules et les limitations au niveau de la capacité des tampons est pris en compte par la notion de débit cellulaire équivalent (ECR, *equivalent cell rate*), qui est examinée dans les Rec. UIT-T E.735 et E.736; pour les besoins du dimensionnement du réseau, chaque demande de connexion est caractérisée de manière univoque par son débit ECR. Etant donné que la présente Recommandation porte sur le dimensionnement de la

¹ La définition du groupe de connexions VPC donnée dans la présente Recommandation est la même que celle de la Rec. UIT-T E.177, à cela près que le groupe est, dans le cas présent, unidirectionnel, c'est-à-dire qu'il est défini pour chaque sens de transmission, vers l'avant ou vers l'arrière. Le cas de la présente Recommandation est un cas particulier dans lequel les groupes de connexions VPC sont une subdivision disjointe du faisceau de connexions VPC.

largeur de bande, on notera qu'en cas de changement d'un quelconque facteur qui a déterminé le débit ECR (par exemple la taille des tampons), la modification du débit ECR peut avoir un effet sur le dimensionnement nécessaire de la largeur de bande. L'effet de la priorité de perte de cellules (CLP, *cell loss priority*) nécessite un complément d'étude.

Généralement, les principales variables de conception qu'il y a lieu de déterminer dans le dimensionnement du RNIS-LB au niveau des appels et au niveau des connexions sont les suivantes:

- au niveau physique:
 - 1) la taille de chaque faisceau de liaisons ATM, autrement dit le nombre de conduits TP et les capacités possibles (telles que 45 Mbit/s, 155 Mbit/s ou 620 Mbit/s);
 - 2) une attribution de connexions VPC réseau-réseau et de modules de largeur de bande aux conduits TP;
- au niveau logique:
 - 1) la taille de chaque connexion VPC et de chaque module de largeur de bande réseau-réseau, et de chaque groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande;
 - 2) les paramètres déterminant la gestion du trafic au niveau des appels et des connexions tels que le routage des appels et des connexions et les méthodes de protection du service.

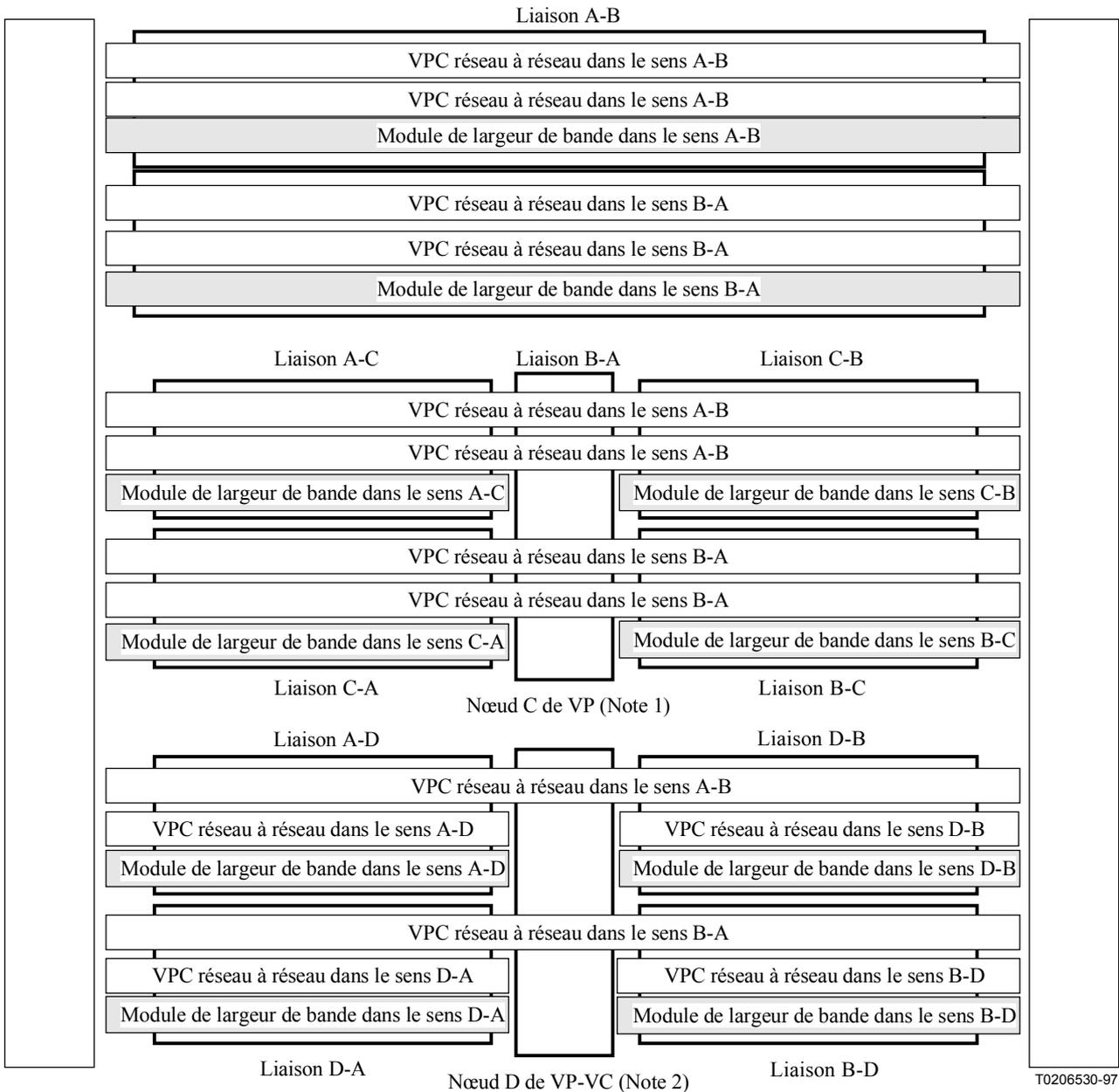
L'établissement de la topologie du réseau, tant au niveau logique que physique, ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation. La conception du réseau de transmission (le dimensionnement des fonctionnalités de transmission et l'attribution des conduits TP aux fonctionnalités de transmission, par exemple) est également hors du domaine d'application de la présente Recommandation.

L'objectif de la présente Recommandation est de fournir des méthodes pouvant être utilisées pour le dimensionnement du réseau compte tenu d'un ensemble donné d'hypothèses relatives à la demande de trafic et d'objectifs de la qualité d'écoulement du trafic (GOS, *grade of service*), en particulier les objectifs de probabilité de blocage des appels et des connexions. Afin d'établir la dimension des réseaux afin qu'ils répondent à ces objectifs de qualité GOS, il est important d'évaluer la qualité d'écoulement de service d'un réseau ayant une dimension donnée de manière à pouvoir juger si les performances sont satisfaisantes. La présente Recommandation traite essentiellement des techniques de modélisation des réseaux et des méthodes d'évaluation de la qualité d'écoulement de service.

Compte tenu du niveau actuel de normalisation du RNIS-LB, les principales capacités suivantes du RNIS-LB, qui ont un effet significatif sur les dimensionnements du réseau, ont été prises en considération dans la présente Recommandation:

- un réseau à connexions VPC semi-permanentes pour configurer un réseau de services supports fondé sur des connexions VCC;
- les services supports fournis à la demande par les connexions ATM utilisateur-utilisateur;
- les appels symétriques ou asymétriques;
- les appels et connexions unidirectionnels point à multipoint;
- la priorité d'appel;
- la négociation à l'instant d'établissement des appels et des connexions.

Le domaine d'application et le contenu de la présente Recommandation seront développés afin de répondre aux besoins opérationnels qui surviennent compte tenu de l'évolution des capacités du réseau.



NOTE 1 – Les connexions VPC utilisateur-utilisateur sur demande peuvent être établies via le module de largeur de bande qui a sa terminaison à un nœud VP.

NOTE 2 – Les connexions VPC et VCC utilisateur-utilisateur sur demande peuvent être établies via le module de largeur de bande terminé à un nœud VP-VC.

Figure 1/E.737 – Exemple de configurations de connexions VPC/modules de largeur de bande

6 Modélisation du réseau en vue du dimensionnement

6.1 Modèle de réseau

Pour les besoins de l'ingénierie du trafic aux niveaux des appels et des connexions, on peut modéliser un réseau au niveau logique comme un système composé d'un certain nombre de blocs de construction que sont les connexions VPC réseau-réseau et les modules de largeur de bande. La Figure 1 est un exemple de modèle de réseau qui accepte simultanément des connexions VCC utilisateur-utilisateur sur demande et des connexions VPC.

Trois types de connexion VPC ont été identifiés dans la Rec. UIT-T E.735:

- 1) la connexion VPC à débit DBR;
- 2) la connexion VPC à débit constant non contrôlé;
- 3) la connexion VPC à débit variable.

Le Tableau 1 résume les paramètres qui représentent la largeur de bande de chaque type de connexion VPC. Dans le cas de la connexion VPC à débit variable, la largeur de bande peut être différente dans chacune des liaisons sur laquelle elle est transportée étant donné qu'un débit ECR différent peut être attribué aux connexions VPC de chaque liaison. Dans la Rec. UIT-T E.736, on trouvera des exemples de procédures de contrôle CAC pour une liaison ATM avec chacun des trois types de connexion VPC et chacun avec deux modes de multiplexage: le mode d'attribution du débit crête et le mode de multiplexage d'enveloppe de débit.

Tableau 1/E.737 – Largeur de bande des connexions VPC

Type de connexion VPC	Largeur de bande
VPC à débit DBR mis en forme	PCR
VPC à débit constant non contrôlé	Débit disponible
VPC à débit variable	ECR

Dans la présente Recommandation, on part du principe, afin de simplifier le modèle de réseau en vue du dimensionnement, que le contrôle CAC d'une liaison est fondé sur le modèle de débit ECR; cela signifie que le contrôle CAC de la liaison attribue à chaque connexion à transmettre un débit ECR² et qu'il peut accepter de nouvelles connexions tant que la somme des débits ECR des connexions établies n'excède pas la largeur de bande de la liaison. On peut établir préalablement sur une liaison plusieurs connexions VPC réseau-réseau. Une connexion VCC utilisateur-utilisateur sur demande est attribuée à la connexion VCC réseau-réseau appropriée ou établie directement sur la liaison compte tenu, par exemple, de la destination demandée ou du type de connexion. Les connexions VPC utilisateur-utilisateur à la demande sont directement fondées sur la liaison. Lorsque des connexions VPC réseau-réseau sont préalablement établies sur une liaison, on se fonde sur l'hypothèse que le modèle de débit ECR s'applique également, tant au contrôle CAC de liaison qu'au contrôle CAC de chaque connexion VPC. Pour cette raison, on attribue une certaine largeur de bande à chacune des connexions VPC préalablement établies, et la largeur de bande restante de la liaison est attribuée au module de largeur de bande qui, par définition, est la largeur de bande d'une liaison qui est utilisée pour acheminer des connexions VCC utilisateur-utilisateur sur demande directement sur la liaison ainsi que des connexions VPC utilisateur-utilisateur sur demande. Dès lors, la capacité du module de largeur de bande d'une liaison est donnée par la formule suivante:

$$\text{Largeur de bande d'un module de largeur de bande} = \text{débit de transmission de la liaison} - \sum (\text{débits ECR de toutes les connexions VPC réseau-réseau contenues dans la liaison}). \quad (6-1)$$

Les contrôles CAC des connexions VPC et de la liaison partent du principe que la somme des débits ECR³ des connexions transportées sur chaque connexion VPC/module de largeur de bande n'excède pas la largeur de bande qui lui est attribuée.

² Le débit ECR de chaque connexion dépend des caractéristiques de trafic de la connexion ainsi que des paramètres et attributs déterminant la capacité de la liaison (largeur de bande, taille des mémoires tampons, mécanismes et paramètres de commande de priorité) et de son assortiment de trafics attendu.

³ On notera que le débit ECR d'une connexion, quand une liaison a été partitionnée en connexions VPC/modules de largeur de bande, peut être différent du débit ECR en l'absence d'une telle partition.

La largeur de bande d'un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande est donnée par la somme des largeurs de bande des connexions VPC/modules de largeur de bande de ce groupe, les connexions VPC de ce groupe étant toutes de même type.

Il convient de noter que le modèle de réseau à étudier dépendra de la précision prescrite du dimensionnement. Au stade initial du dimensionnement du réseau comme dans la planification du réseau à long terme, on peut mettre au point un modèle approximatif, par exemple pour trouver des configurations de réseau appropriées et saisir des besoins de capacité globaux. Un exemple simple consiste à représenter l'ensemble de la capacité unidirectionnelle entre deux nœuds adjacents par une seule liaison ATM, une seule connexion VPC ou un seul module de largeur de bande.

Le RNIS-LB assure un large choix d'appels/connexions, et les types d'appel/connexion assurés dans le réseau évolueront en fonction des progrès réalisés en termes de capacités de traitement des appels par le réseau. Au stade initial de la signalisation par l'ensemble CS-1, le RNIS-LB peut assurer des communications asymétriques avec une configuration point à point (voir les Rec. UIT-T Q.2761, Q.2762, Q.2763, Q.2764 et Q.2931). A des stades ultérieurs, le réseau pourrait assurer des communications plus complexes de type multiconnexion ou multipoint, par exemple. Pour les besoins de l'ingénierie du trafic, le modèle doit être construit de manière à représenter le trafic offert au réseau cible en spécifiant les types d'appel et de connexion présumés. Aussi faut-il, pour les besoins de l'ingénierie du trafic, des types de demande d'appel adéquats afin de rendre les modèles de trafic "accommodants" et, simultanément, saisir les facteurs majeurs ayant un effet décisif sur le dimensionnement du réseau. Le paragraphe 8 traite des types de demande d'appel nécessaires pour le dimensionnement du RNIS-LB.

6.2 Objectifs de dimensionnement du réseau et objectifs de qualité d'écoulement de service

Le principal objectif du dimensionnement du réseau au niveau des appels et à celui des connexions est de déterminer les paramètres de capacité des liaisons, des connexions VPC et des modules de largeur de bande dans le réseau parallèlement aux paramètres de contrôle du trafic au niveau des appels et à celui des connexions pour atteindre d'une manière économique les objectifs de qualité GOS établis. Dans la présente Recommandation, la probabilité de blocage des appels et des connexions de bout en bout est provisoirement considérée comme les paramètres de qualité GOS dont il faut tenir compte dans le processus de dimensionnement du réseau. La probabilité de blocage des appels/connexions de bout en bout est définie dans le cas présent comme la probabilité qu'un appel/connexion arrivant ne soit pas correctement établi en raison de l'insuffisance de ressources pour l'appel/connexion en question dans le plan utilisateur du réseau. Les valeurs cibles des paramètres de qualité d'écoulement de service seront traitées dans les Rec. UIT-T de la série E.720.

Le dimensionnement doit être fait de manière à atteindre les objectifs de qualité d'écoulement de service au cours d'une période de référence. Une difficulté survient dans le RNIS-LB quand il faut déterminer la longueur appropriée de la période de référence en raison de la grande diversité des temps d'occupation des communications. Par exemple, une communication téléphonique peut avoir une durée de quelques minutes, alors que les visioconférences peuvent durer plusieurs heures. Une période de référence d'une heure (l'heure chargée) pourrait convenir pour les communications téléphoniques. Même si la répartition à long terme du nombre de communications de longue durée peut être qualifiée de poissonnienne au cours de l'heure chargée (par exemple en tenant compte des heures chargées au cours d'une année), ce nombre est pratiquement fixe dans chaque heure chargée particulière. Donc, la qualité d'écoulement de service des communications de courte durée n'est qualitativement pas la même que dans le cas des ressources exclusivement réservées à des communications de courte durée étant donné que la probabilité de blocage escomptée varie fortement d'une heure chargée à l'autre (selon l'importance des ressources occupées par les communications de longue durée dans chaque heure chargée) [ROB]. La variation des probabilités de blocage escomptées d'une heure chargée à l'autre pour les communications de courte durée est plus grande si la largeur de bande requise par une communication de longue durée est considérablement plus importante que la largeur de bande requise par une communication de courte

durée. Une méthode de protection du service qui garantit l'utilisation d'un minimum de ressources pour les communications de service ayant une faible durée escomptée, assurant donc une certaine qualité d'écoulement de service pour ces communications au cours de l'heure la plus chargée, est recommandée. Il faudra consacrer un complément d'étude aux répercussions de la grande diversité des temps d'occupation.

Les objectifs de blocage de bout en bout sont répartis en objectifs de blocage s'appliquant à chacune des parties du réseau. Pour cette raison, on peut simplifier le dimensionnement du réseau en décomposant le modèle d'ensemble en petits modèles. La répartition des objectifs de qualité d'écoulement de service sera traitée dans les Rec. UIT-T de la série E.720.

Etant donné que l'attribution des ressources à une connexion ATM sur le RNIS-LB est effectuée au moment de l'établissement de la connexion et de sa modification au cours de sa durée de vie (voir les Rec. UIT-T Q.2725.1, Q.2725.2, Q.2962 et Q.2963.1), le blocage, dans les deux cas, intervient sur les paramètres de performances des appels et des connexions. Dans la présente Recommandation, on traite toutefois uniquement du blocage des demandes d'établissement de connexion, raison pour laquelle on parle de "blocage de la connexion". Le blocage des demandes de modification de connexion fera l'objet d'un complément d'étude.

7 Gestion du trafic au niveau des appels et des connexions

Les moyens de gestion du trafic au niveau des appels et des connexions qui ont le plus de poids dans le dimensionnement du réseau sont les suivants:

- 1) les plans de routage des appels/connexions;
- 2) les méthodes de protection du service;
- 3) la priorité des appels;
- 4) la négociation de la largeur de bande.

Ces commandes de gestion du trafic ont un effet déterminant sur le dimensionnement du réseau.

7.1 Routage d'une connexion ATM

Pour établir une connexion ATM demandée par l'utilisateur, il y a lieu de sélectionner une route entre la paire de nœuds d'origine et de destination et ensuite une connexion VPC/module de largeur de bande dans chacun des groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande de la route, la route étant définie comme la concaténation de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande du nœud de départ au nœud de destination. Le routage est une commande de trafic au niveau des appels et des connexions et, dans le modèle de réseau destiné à l'ingénierie du trafic, les plans de routage sont un moyen permettant de déterminer les connexions VPC/modules de largeur de bande auxquels est assignée une connexion ATM donnée.

7.1.1 Aperçu général du processus de routage

Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.177, le routage d'une connexion ATM à la demande sur le RNIS-LB est constitué de deux processus: la sélection de la route et la sélection du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, qui doivent être exécutés simultanément. Il s'ensuit l'établissement d'une concaténation de connexions VPC/modules de largeur de bande, du nœud de départ au nœud de destination, pour chacune des connexions demandées.

1) *Choix de la route*

Ce choix consiste à déterminer la route sur laquelle la connexion sera établie. Les routes qui peuvent être attribuées à une classe de connexion peuvent dépendre de divers facteurs tels que les objectifs de qualité de service au niveau des cellules pour les connexions, les classes de service et de qualité de service fournies par le réseau, la politique d'exploitation du

réseau, etc. Par exemple, une route donnée ne peut pas être empruntée pour des classes de connexion données en raison d'un temps de propagation insatisfaisant des connexions sur cette route. Cet arrangement peut mener à une restriction de la gamme des routes attribuables. Etant donné que cette restriction et les règles de choix de la route ont un effet sur la disponibilité des ressources du réseau pour chaque classe de connexion et donc sur le niveau de performances au niveau des appels et des connexions, il y a lieu d'en tenir compte dans le dimensionnement du réseau. Pour l'examen de celui-ci, on peut toutefois utiliser un modèle simplifié des systèmes de sélection des routes dans le modèle.

Un plan de routage fixe est tel qu'une classe donnée de connexions ATM soit associée à un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande donné et qu'une connexion qui est bloquée au niveau de ce groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande soit supposée perdue et libérée. D'autres systèmes possibles appliqués aux choix des routes dans le réseau sont le partage des charges, le routage détourné fixe, le routage dynamique, etc. Les principes de routage du trafic sont donnés dans la Rec. UIT-T E.170.

2) *Choix de la connexion VPC/module de largeur de bande*

Si plusieurs connexions VPC/modules de largeur de bande sont disponibles pour une nouvelle connexion dans un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande le long de la route choisie, il est nécessaire de déterminer à quelle connexion VPC/module de largeur de bande il convient d'attribuer la connexion. Le choix d'une connexion VPC/module de largeur de bande pour chaque connexion d'un appel peut dépendre des choix faits pour d'autres connexions de l'appel. Par exemple, comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.150, le même identificateur VPI est attribué aux deux sens de transmission d'une communication donnée au niveau d'une interface RNIS-LB. La dépendance entre les choix de connexions VPC/modules de largeur de bande pour les connexions d'un appel entraîne également une restriction au niveau du routage des connexions ATM dans le réseau. Etant donné que les restrictions et les règles de sélection des connexions VPC/modules de largeur de bande ont un effet sur la disponibilité des ressources des groupes de connexions VPC et groupes de modules de largeur de bande pour chaque classe de connexion, et donc sur le niveau de performances des appels et des connexions au niveau des groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande, il convient d'en tenir compte dans le dimensionnement du réseau. Pour celui-ci, on peut toutefois utiliser un modèle simplifié des systèmes de sélection des connexions VPC/modules de largeur de bande respectifs dans le modèle de réseau.

7.2 Méthodes de protection du service

Pour atteindre les objectifs de qualité GOS au niveau des appels et des connexions d'une manière économique, on peut appliquer certaines méthodes de protection du service telles que la réservation de la largeur de bande aux groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande du réseau.

Les Rec. UIT-T E.525 et E.731 contiennent des méthodes de protection du service disponibles dans le cadre d'un modèle de connexion à intervalles multiples. Le même principe de ces méthodes peut être appliqué au dimensionnement d'un RNIS-LB.

7.2.1 Réserve de la largeur de bande

Le principe de la réserve de la largeur de bande a pour but de restreindre l'accès d'une classe de connexion ATM en fonction de l'état d'attribution de largeur de bande du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande au moment de l'arrivée de la connexion. On peut atteindre une plus forte utilisation des groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande en utilisant dans la commande d'accès les informations détaillées sur leurs états [OD1]. Pour simplifier l'implémentation, on peut toutefois appliquer la commande d'accès en utilisant une information partielle sur l'état du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. Par exemple, une

connexion ATM peut être acceptée ou refusée simplement sur la base de la largeur de bande libre restante au niveau du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande au moment de l'arrivée de la connexion.

Si l'on prend, par exemple, un assortiment de trafics donné, offert à une connexion VPC avec une largeur de bande donnée, la probabilité de blocage des connexions VCC est généralement plus élevée pour les connexions nécessitant une largeur de bande importante que pour les connexions nécessitant une faible largeur de bande, si l'on n'utilise aucune commande d'accès. Si certaines probabilités de blocage excèdent les objectifs de performances au niveau des appels et des connexions, la capacité de la connexion VPC peut être simplement accrue pour remédier au niveau de performances insatisfaisant. Toutefois, l'utilisation de la réservation de largeur de bande peut résoudre le problème avec peu ou pas d'augmentation de la largeur de bande pour la connexion VPC. Généralement, les paramètres de réservation de la largeur de bande sont fixés de manière à refuser les demandes de connexion avec des besoins en largeur de bande moindres, afin de protéger les demandes de connexion dont le besoin en largeur de bande est plus élevé.

Pour un assortiment donné de trafics et un ensemble donné d'objectifs de blocage de la connexion, le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, ayant une largeur de bande donnée, peut avoir trois zones différentes de charge de trafic. La première est la zone de faible charge, dans laquelle tous les objectifs de blocage sont satisfaits sans recours à la réservation de largeur de bande. La deuxième est la zone de forte charge, dans laquelle tous les objectifs sont atteints par l'utilisation de la réservation de largeur de bande. La troisième est la zone de surcharge, dans laquelle les objectifs ne sont pas tous atteints, quelle que soit la réservation de largeur de bande. Pour cette raison, l'utilisation de la réservation de largeur de bande peut être significative pour la zone de forte charge au sens strict de la réalisation des objectifs de performances au niveau de la connexion.

Pour les besoins du dimensionnement, on partira du principe que la politique de réservation de largeur de bande sera faite au niveau du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, les politiques appliquées aux différents groupes étant indépendantes les unes des autres. Différents moyens d'appliquer la réservation de largeur de bande à un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande sont possibles. Une implémentation simplifiée de le faire consiste à appliquer la réservation séparément à chacune des connexions VPC ou modules de largeur de bande du groupe de manière à gérer l'accès des connexions VCC sur la base de la connexion VPC/module de largeur de bande.

On notera également que des paramètres de réservation différents peuvent être appliqués aux sens avant et arrière d'un appel donné.

7.2.2 Autres méthodes

D'autres méthodes de protection du service, en plus de la réservation de largeur de bande, sont possibles. Ce point nécessite un complément d'étude.

7.3 Priorité des appels

La signalisation CS-2.1 du RNIS-LB accepte que l'utilisateur spécifie la priorité de l'appel (voir les Rec. UIT-T Q.2721.1, Q.2726.2 et Q.2959). Le réseau peut attribuer des ressources aux appels en fonction des niveaux de priorité, des mécanismes de commande appliqués dans le réseau et de la priorité accordée par les utilisateurs à chaque appel individuel.

Selon les priorités spécifiées, on peut appliquer des objectifs de blocage d'appel différents. A cette fin, on peut utiliser la réservation de largeur de bande. Les autres répercussions de la priorité des appels sur le dimensionnement du réseau ne sont pas examinées dans la présente Recommandation.

7.4 Négociation de la largeur de bande à l'établissement de la connexion

Le principe de la négociation de la largeur de bande à l'établissement de la connexion consiste à modifier le besoin en ressources d'une connexion ATM par rapport au besoin initial en fonction des états du réseau à cet instant. Ce mécanisme de commande est assuré par la capacité de signalisation CS-2.1 du RNIS-LB (voir les Rec. UIT-T Q.2721.1, Q.2725.1 et Q.2962).

La négociation de la largeur de bande peut avoir plusieurs choix d'implémentation. Les caractéristiques de la demande de l'utilisateur, au cas où le mécanisme de négociation est disponible dans le réseau, peuvent aussi varier considérablement. Les capacités de signalisation CS-2.1 du RNIS-LB accepteront la spécification par l'utilisateur d'un autre débit cellulaire ATM et d'un débit cellulaire ATM minimal (voir la Rec. UIT-T Q.2961). Pour les besoins de l'ingénierie du trafic, on peut établir des modèles simples de mécanisme de négociation et les utiliser dans les modèles de réseau. Un exemple de modèle de négociation est le suivant: lorsqu'une connexion ATM est demandée et que l'utilisateur spécifie à la fois le débit cellulaire initial prévu et le débit cellulaire crête minimal acceptable, et que le débit initial est refusé par le réseau, celui-ci peut attribuer toute la capacité libre de la connexion par suite de la négociation, en partant du principe que la largeur de bande attribuée n'est pas inférieure au débit cellulaire crête minimal spécifié (voir la Rec. UIT-T E.731).

La Rec. UIT-T E.731 présente un modèle de connexion sur intervalles multiples dans un faisceau de circuits où un appel négocie son nombre de circuits à l'établissement de l'appel; elle fournit aussi une méthode pour calculer la probabilité de blocage de l'appel. La même technique peut être appliquée à un modèle de RNIS-LB quand la même hypothèse est valable.

Les détails de la négociation de la largeur de bande nécessitent un complément d'étude.

8 Modélisation de l'offre de trafic

Généralement, un appel pris en charge par le RNIS-LB peut être constitué de plusieurs connexions ATM unidirectionnelles, qui peuvent avoir une configuration point à point ou point à multipoint. Un sous-ensemble des connexions demandées dans l'appel peut être établi sur la même connexion VPC/module de largeur de bande si cela est accepté par le contrôle CAC. Le nombre de connexions dans chaque sens de communication et de configurations de connexion dans l'appel est spécifié comme un attribut de l'appel. On trouvera dans la Rec. UIT-T E.716 la modélisation de la "demande usager" dans le RNIS-LB qui permettra à l'exploitant du réseau de caractériser le trafic offert au réseau de services supports du RNIS-LB.

Il est clair que le dimensionnement fondé sur la distinction entre de nombreux types d'appel d'après leurs caractéristiques de trafic détaillées est en fait difficile. Il faut donc modéliser la demande d'appel afin de faciliter la procédure de dimensionnement. A cet effet, il est important de capter les aspects essentiels des types d'appel représentatifs, acceptés par le RNIS-LB au plan de l'ingénierie du trafic et d'en déduire des types de demande d'appel effectifs.

8.1 Aperçu général des commandes d'appel/connexion assurées par le RNIS-LB

8.1.1 Types d'appel/connexion représentatifs

Les Rec. UIT-T de la série Q relatives à la signalisation dans le RNIS-LB spécifient les capacités des interfaces UNI et INI du RNIS-LB. Les types d'appel/connexion assurés par le réseau sont déterminés par les ensembles de capacités de signalisation du RNIS-LB pris en charge par les nœuds ATM dans le réseau.

8.1.1.1 Appel point à point symétrique/asymétrique accepté par la signalisation CS-1 du RNIS-LB

Un appel point à point symétrique/asymétrique accepté par la signalisation CS-1 du RNIS-LB (les procédures de commande d'appel/connexion sont décrites dans les Rec. UIT-T Q.2931 et Q.2764) a la capacité de demander une paire de connexions VCC avec des débits cellulaires crête différents: l'une des connexions vers l'avant, l'autre vers l'arrière. L'appel est accepté si les deux connexions VCC sont acceptées; à défaut, il est refusé.

8.1.1.2 Appel point à multipoint unidirectionnel accepté par la signalisation CS-2.1 du RNIS-LB

Un appel/connexion point à multipoint unidirectionnel accepté par la signalisation CS-2.1 du RNIS-LB (la procédure de commande d'appel est décrite dans les Rec. UIT-T Q.2971 et Q.2722.1) est établi par la demande, en premier lieu, de l'établissement d'une connexion entre la racine de l'arbre hiérarchique et une feuille, avec indication de l'option point à multipoint dans l'élément d'information Capacité support large bande. Quand l'établissement de cette connexion a été accepté par le réseau, d'autres feuilles peuvent être ajoutées à partir des nœuds d'embranchement au moyen de demandes d'adjonction correspondantes depuis la racine. Une feuille peut être ajoutée à l'appel ou supprimée de celui-ci à tout moment, alors que l'appel est à l'état actif. On notera que l'appel est accepté si le réseau accepte la première connexion et qu'il est libéré par la perte de toutes les feuilles.

8.1.1.3 Autres types d'appel

Nécessitent un complément d'étude.

8.1.2 Modification de la connexion

La signalisation CS-2.1 du RNIS-LB a la capacité de prendre en charge la demande faite par l'utilisateur de modifier le débit cellulaire crête d'une connexion active (voir la Rec. UIT-T Q.2963.1).

Dans la présente Recommandation, on ne traitera pas de la modélisation du trafic en cas de modification de la connexion. Ce point nécessite un complément d'étude.

8.2 Types de demande d'appel

Les variables du trafic de l'appel définissent dans l'appel le processus d'arrivée de la connexion ATM et les temps d'occupation des connexions. Les demandes d'appel sont classées, avec les attributs d'appel, en plusieurs types. Cette classification sert uniquement à la modélisation.

1) Type A (appel point à point avec plusieurs connexions simultanées)

Un appel de ce type demande une ou plusieurs connexions ATM point à point entre les mêmes nœuds de départ et de destination au moment où l'appel arrive. L'appel est accepté si toutes les connexions sont acceptées par le réseau. L'appel peut être bloqué et libéré si une des connexions demandées est refusée à l'instant où l'appel arrive. Dès qu'un appel a été établi, aucune autre connexion n'est établie et toutes les connexions restent établies tant que l'appel n'est pas libéré. A la fin de la durée de vie de l'appel, toutes les connexions de celui-ci sont libérées simultanément. Le type de demande d'appel inclut l'appel point à point symétrique/asymétrique pris en charge par la signalisation CS-1 du RNIS-LB. La négociation de la largeur de bande d'une connexion ATM entre l'utilisateur et les réseaux peut être acceptée par certains réseaux. La négociation de la largeur de bande dans ce contexte est effectuée à l'instant où l'appel arrive.

2) Type B (appel point à multipoint)

Un appel de ce type demande l'établissement de la première connexion entre un nœud racine et un nœud feuille et peut demander, immédiatement après l'acceptation de la première

connexion par le réseau, d'autres connexions arborescentes depuis les nœuds d'embranchement jusqu'aux nœuds de feuilles restants, afin de former une connexion arborescente cible dans le réseau. L'appel est bloqué et libéré si la première connexion est refusée. La largeur de bande ne peut être négociée que pour la première connexion. Certaines adjonctions de feuilles peuvent être acceptées et d'autres peuvent être refusées si les ressources disponibles sont insuffisantes pour l'établissement de toutes les connexions arborescentes additionnelles demandées. En conséquence, une connexion arborescente allant de la racine jusqu'à un sous-ensemble de feuilles initialement prévues peut être établie avec succès. On part du principe qu'aucune feuille n'est ajoutée à des connexions arborescentes résultantes, ni enlevée de celles-ci, avant la fin de la durée de vie de l'appel. L'ensemble de la connexion arborescente est libéré à la fin de la durée de l'appel. On suppose que les liaisons VC/VP de la connexion arborescente, qui englobent la première connexion, n'ont aucun groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande en commun; autrement dit, au plus une liaison VC/VP de la connexion arborescente est demandée dans le réseau à un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande.

3) *Autres types*

La définition d'autres types de demande d'appel nécessite un complément d'étude.

9 Dimensionnement d'un groupe unique de connexions VPC ou de modules de largeur de bande

Le présent paragraphe traite des méthodes de dimensionnement d'un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande. Considérons un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande, auquel sont offertes des connexions ATM sur demande. Un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande est représenté par une largeur de bande totale. D'autres paramètres de capacité des connexions VPC/modules de largeur de bande du groupe sont pris en compte par les valeurs de débit ECR.

Dans le cas d'un groupe de connexions VPC à débit variable, la largeur de bande nécessaire du groupe peut être différente dans chacun des faisceaux de liaisons ATM sur lesquels ce groupe est établi (étant donné que les débits ECR des connexions VCC peuvent être différents dans chacun des faisceaux des liaisons ATM). Dans ce cas, la méthode décrite dans le présent paragraphe doit être appliquée indépendamment pour le dimensionnement de la largeur de bande nécessaire dans chacun des faisceaux de liaisons ATM sur lesquels le groupe de connexions VPC est établi.

9.1 Modèle pour le dimensionnement

On part du principe que les demandes de connexion ATM arrivent au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. Chaque connexion a ses propres paramètres de trafic et ses propres prescriptions de qualité d'écoulement de service, qui dictent les besoins en ressources de la connexion. Les paramètres de trafic peuvent être des paramètres descripteurs STD et/ou des variables du trafic cellulaire. Le contrôle CAC est appliqué à chaque connexion VPC/module de largeur de bande du groupe et une décision est prise d'accepter ou de refuser chaque nouvelle connexion arrivante. Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.735, le contrôle CAC attribue implicitement des ressources à chaque connexion avant de vérifier s'il y a suffisamment de ressources disponibles pour une nouvelle connexion. La Rec. UIT-T E.735 donne un concept général d'attribution formelle des ressources par le contrôle CAC et introduit la notion de débit ECR.

9.1.1 Utilisation du débit ECR

La notion de débit ECR (débit cellulaire équivalent) est une manière de représenter la largeur de bande estimée qu'il convient d'attribuer à une connexion. Le débit ECR de chaque connexion arrivante est déterminé sur la base des informations disponibles sur la capacité de la

connexion VPC/module de largeur de bande, des caractéristiques déclarées du trafic cellulaire et des prescriptions de qualité d'écoulement de service de la nouvelle demande de connexion, ainsi que des caractéristiques de trafic cellulaire déclarées ou mesurées et des prescriptions de qualité d'écoulement de service des connexions en cours. La Rec. UIT-T E.736 donne des formules possibles pour calculer le débit ECR. On notera que celui-ci dépend de la capacité de la connexion VPC (ou de la liaison ATM dans le cas d'une connexion VPC à débit variable ou d'un module de largeur de bande variable) et non de la capacité du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. Si la capacité disponible s'avère suffisante pour l'établissement d'une connexion avec la valeur de débit ECR calculée, la connexion est acceptée au niveau de la connexion VPC/module de largeur de bande ou, dans le cas contraire, est refusée et perdue. Il convient de noter que, selon le type de procédure de contrôle CAC, on peut déterminer différentes valeurs de débit ECR pour chaque connexion ATM. Le débit ECR d'une connexion, obtenu par une procédure de contrôle CAC donnée, peut prendre la même valeur indépendamment de l'assortiment de trafics attendu dans la connexion VPC/module de largeur de bande. Un débit ECR calculé par une autre procédure de contrôle CAC peut varier avec l'assortiment de trafics attendu; mais, pour l'assortiment de trafics attendu, la valeur sera fixe [RMV]. Avec d'autres procédures de contrôle CAC, la valeur ECR d'une connexion peut dépendre du trafic réel, mais ce dernier n'est pas pris en compte dans la présente Recommandation. De plus, la prescription de précision du débit ECR varie suivant l'application. Certaines procédures peuvent ne déterminer le débit ECR que pour le dimensionnement.

9.1.2 Hypothèses

Supposons que les affirmations ci-après soient vraies:

- 1) l'assortiment de trafics offert est le même pour toutes les connexions VPC/modules de largeur de bande dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande;
- 2) les mêmes objectifs de performances au niveau cellulaire sont appliqués à toutes les connexions routées vers le groupe;
- 3) le débit ECR des connexions arrivantes est le même pour toutes les connexions VPC/modules de largeur de bande du groupe.

En ce qui concerne la troisième hypothèse, si le débit ECR de chaque connexion est le même pour toutes les connexions VPC/modules de largeur de bande du groupe (par exemple un débit DBR ou des connexions VPC à débit constant non contrôlé ayant la même capacité, ou des connexions VPC à débit variable transportées sur des liaisons de même capacité), aucune approximation n'est requise. Dans le cas contraire, on peut utiliser à titre d'approximation une valeur pondérée du débit ECR. Les détails de cette approximation nécessitent un complément d'étude.

Le contrôle CAC de chaque connexion VPC/module de largeur de bande du groupe se fait par vérification de l'équation suivante:

$$\begin{aligned} & \sum (\text{des débits ECR des connexions VPC/modules de largeur de bande}) \\ & \quad + \text{débit ECR de connexion arrivante} \\ & \leq \text{largeur de bande de connexion VPC/module de largeur de bande} \end{aligned} \quad (9-1)$$

Si l'inégalité est Vraie, la connexion arrivante est acceptée par la connexion VPC/module de largeur de bande; dans le cas contraire, elle est refusée.

On part du principe que la décision d'accepter ou de refuser une connexion dans le groupe peut être représentée par:

$$\begin{aligned} & \sum (\text{ECR des connexions du groupe}) + \text{ECR de connexion arrivante} \\ & \leq \text{largeur de bande du groupe} \end{aligned} \quad (9-2)$$

On notera que la connexion est établie à l'une des connexions VPC/modules de largeur de bande du groupe.

Une connexion arrivante peut avoir un débit ECR plus grand que la largeur de bande libre correspondante de chaque connexion VPC/module de largeur de bande tout en étant plus petite que la largeur de bande libre totale du groupe. Cette connexion serait refusée dans un système réel alors qu'elle est acceptée par l'approximation proposée. Ce cas limite nécessite un complément d'étude.

9.1.3 Quantification de la largeur de bande

La gamme des débits ECR calculés pour les connexions ATM peut être étendue. Pour les besoins du dimensionnement, il est nécessaire, selon la méthode, de trouver une unité appropriée de quantification de largeur de bande (par exemple 64 kbit/s, selon l'assortiment de trafics attendu). Soit e l'unité de quantification de largeur de bande; dans ce cas, pour un débit ECR b d'une connexion ATM, la largeur de bande rendue discrète m est le plus petit entier qui ne soit pas inférieur à b/e . La largeur de bande de la connexion VPC/module de largeur de bande ou du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande peut également être rendue discrète par la même unité de quantification e .

On notera cependant qu'une erreur dans le débit ECR des connexions est introduite par la quantification et que plus l'unité de quantification est grande, plus l'erreur est importante. L'effet de l'erreur de quantification sur le résultat du dimensionnement du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande peut être atténué par l'ajustement des valeurs des débits d'arrivée moyens ou des temps d'occupation moyens des connexions de manière à conserver la charge moyenne de trafic offerte de chaque type de connexion.

9.1.4 Probabilité de blocage des connexions

Le paramètre de performances au niveau de la connexion qui est important pour l'ingénierie du trafic est la probabilité de blocage des connexions. Pour les besoins du dimensionnement, les paramètres de performances au niveau des cellules sont pris en compte par le débit ECR des connexions.

9.1.5 Commandes de trafic au niveau connexion

La probabilité de blocage des connexions partageant le même groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande peut varier considérablement avec le type de connexion, car les connexions peuvent nécessiter des quantités de ressources différentes dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande; et les valeurs calculées des débits ECR peuvent s'inscrire dans de larges étendues. Pour aboutir d'une façon économique à des performances appropriées au niveau des connexions dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, on peut utiliser une commande de trafic au niveau des connexions telle que la réservation de largeur de bande dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, afin d'améliorer la probabilité de blocage.

9.2 Principes de la méthode de dimensionnement

L'objet du dimensionnement du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande décrit ci-dessus a pour but de déterminer la largeur de bande optimale du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande et l'ensemble optimal correspondant de valeurs des paramètres de capacité de la connexion VPC/module de largeur de bande du groupe pour atteindre un objectif de qualité GOS donné pour un trafic offert. Comme indiqué dans la Rec. UIT-T E.735, une procédure itérative convient pour le dimensionnement du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande étant donné que les ressources qu'il faut attribuer aux connexions dépendent à la fois des paramètres de trafic des connexions et de la capacité du groupe connexions VPC/modules de largeur de bande.

L'objet du dimensionnement du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande est de trouver la largeur de bande la plus étroite du groupe répondant aux prescriptions de qualité GOS. La procédure itérative de base se présente de la manière suivante:

Etape 1): initialisation

Attribuer une largeur de bande appropriée au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. Fixer également les valeurs des paramètres de commande de trafic au niveau des connexions, comme la réservation de largeur de bande, si nécessaire.

Etape 2): évaluation du débit ECR

Calculer le débit ECR de chaque type de connexion en tenant compte des paramètres de trafic des connexions et des paramètres de capacité de la connexion VPC/module de largeur de bande ou, en cas de VPC à débit variable, des paramètres de capacité des liaisons. A cet effet, il convient de faire une hypothèse quant à la division de la largeur de bande du groupe entre les connexions VPC/modules de largeur de bande ou, en cas de VPC à débit variable, quant à la capacité des liaisons sur lesquelles sont acheminées les connexions VPC/modules de largeur de bande.

Etape 3): évaluation de la probabilité de blocage des connexions

Calculer la probabilité de blocage des connexions dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande.

Etape 4): itération

Modifier la largeur de bande et les paramètres de commande de trafic au niveau des connexions et répéter les opérations 2) et 3) jusqu'à obtenir une solution optimale.

En ce qui concerne le multiplexage avec partage du débit (voir la Rec. UIT-T E.736), il existe des définitions de débit ECR qui sont indépendantes de la liaison ou de la largeur de bande de la connexion VPC (mais dépendantes de la capacité tampon) et, dans ce cas, la valeur du débit ECR ne doit pas être mise à jour dans l'itération ci-dessus. On notera aussi que, pour des connexions VPC à débit variable, le débit ECR des connexions VCC dépend de la capacité de la liaison et non de la capacité de la connexion VPC; pour cette raison, il n'est pas nécessaire de mettre à jour le débit ECR dans les itérations.

9.3 Calcul de la probabilité de blocage de connexion d'un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande

Le calcul de la probabilité de blocage de connexion du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande est fondé sur une analyse de l'ensemble des états du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande et sur le calcul de la probabilité en régime permanent des états dans lesquels les demandes de connexion sont refusées.

9.3.1 Dimensionnement d'un groupe sans commande de priorité au niveau des cellules

9.3.1.1 Analyse spatiale d'état

Soit Γ un ensemble de flux de connexion différents offerts au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande concerné, et soit b_k le débit ECR calculé pour la connexion dans le flux $k \in \Gamma$ au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. Par ailleurs, soit n_k le nombre de connexions du flux k en cours dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande; dès lors un état de groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande est exprimé par un vecteur $n = (n_k : k \in \Gamma)$. Pour une procédure de contrôle CAC supposée et un système donné de régulation du trafic au niveau des connexions, on peut spécifier un espace d'état du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, désigné par Ω . Pour cela, on considère la largeur de bande C du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande et le débit ECR b_k des connexions de manière que, pour tout état n dans Ω , les objectifs de qualité GOS au niveau des cellules de chaque connexion du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande soient tous simultanément atteints.

L'emploi du débit d'arrivée des appels et d'un temps d'occupation moyen de chaque flux de connexion permet de définir les transitions d'état dans l'espace Ω . L'emploi des systèmes de régulation du trafic au niveau des connexions se reflète dans les transitions d'état de telle manière que les transitions d'état soient limitées ou régulées sélectivement. Par l'analyse de l'espace d'état obtenu, on peut calculer les probabilités d'état et donc la probabilité de blocage des connexions des flux individuels. Dans certains cas, la probabilité d'état a la forme d'un produit, par exemple [KAU], [ROB] et [DZI].

9.3.1.2 Dimensionnement dans le cas d'un débit ECR fixe

Lorsque le débit ECR de chaque connexion a une valeur fixe positive pour tout état \mathbf{n} , l'espace d'état Ω du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande a la même structure que celui du modèle de trafic sur intervalles multiples. Dans ces conditions on peut appliquer, pour calculer la probabilité B_k de blocage pour le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, les méthodes analytiques utilisées pour le modèle de connexion sur intervalles multiples décrit dans les Rec. UIT-T E.526 et E.731. D'autres méthodes sont données dans [RMV].

L'Annexe A contient les principes de quelques méthodes données en exemple.

9.3.1.3 Dimensionnement en cas de contrôle CAC adaptatif

Un complément d'étude est nécessaire pour traiter efficacement du cas où le débit ECR est dépendant de l'état.

9.3.2 Dimensionnement d'un groupe avec commande de priorité au niveau des cellules

Le présent paragraphe offre une méthode de dimensionnement d'un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande pour lequel une commande de priorité au niveau des cellules est appliquée à la mémoire tampon dans le nœud amont. Cette méthode est fondée sur la définition élargie du débit ECR présentée au 10.3.1/E.736 pour la commande de priorité au niveau des cellules.

9.3.2.1 Analyse spatiale d'état

Soit un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande possédant P niveaux de priorité. Soit p le niveau de priorité avec $p = 1, 2, \dots, P$ et soit Γ_p un ensemble de différents flux de connexion au niveau p . Plus petite est la valeur de p , plus grand est le niveau de priorité. Soit b_{pk}^j le débit ECR du flux pk (c'est-à-dire le k^e flux au niveau de priorité p) tel qu'il est perçu par la priorité j , où $b_{pk}^j = 0$ pour $j < p$ et soit n_{pk} le nombre de connexions du flux pk qui sont en cours dans le groupe. Du point de vue de l'appel, l'état du groupe est représenté par un vecteur $\mathbf{n} = (n_{pk} : p = 1, 2, \dots, P \text{ et } k \in \Gamma_p)$.

Pour une largeur de bande C du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, il est possible de spécifier un espace d'états $\Omega(P)$ tel que les P inégalités linéaires suivantes soient toutes vérifiées:

$$\sum_{p=1}^j \sum_{k \in \Gamma_p} b_{pk}^j n_{pk} \leq C, \quad \text{pour } j = 1, 2, \dots, P. \quad (9-3)$$

Comme au § 9.3.1.1 ci-dessus, il est possible de définir des transitions d'état dans l'espace $\Omega(P)$ au moyen du débit d'arrivée des appels et du temps d'occupation moyen de chaque flux de connexion. Lorsque des systèmes de régulation du trafic au niveau des connexions sont utilisés, cela se répercute sur les transitions d'état. L'analyse de l'espace d'états $\Omega(P)$ obtenu permet donc de calculer les probabilités d'état et donc les probabilités de blocage des connexions de flux individuels. Dans certains cas, la probabilité d'état a la forme d'un produit.

9.3.2.2 Dimensionnement dans le cas d'un débit ECR fixe

Lorsque le débit ECR prend une valeur fixe pour tout état $n \in \Omega(P)$ comme présenté dans le paragraphe précédent, l'espace d'états peut être analysé comme un modèle de trafic à intervalles multiples. Il est possible de calculer comme suit la valeur approchée des probabilités de blocage. Dans l'hypothèse que les contraintes (formule 9-3) peuvent être appliquées tour à tour, l'on calcule les probabilités de blocage B_{pk}^j de chaque flux pk soumis à la contrainte du niveau de priorité j ($j \geq p$) au moyen de la méthode décrite au § 9.3.1.2. Lorsque les probabilités B_{pk}^j sont petites, la probabilité globale de blocage B_{pk} du flux pk peut être approchée par la somme:

$$B_{pk} = \sum_j B_{pk}^j .$$

9.3.2.3 Dimensionnement en cas de contrôle CAC adaptatif

Un complément d'étude est nécessaire.

10 Dimensionnement du réseau

Le présent paragraphe traite des méthodes de dimensionnement du réseau.

10.1 Principes des méthodes de dimensionnement des réseaux

Les éléments de dimensionnement d'un réseau sont résumés au paragraphe 5. Les variables de conception considérées dans la présente Recommandation sont les suivantes:

- la taille de chaque faisceau de liaisons: le nombre de liaisons ATM et la largeur de bande de chaque liaison ATM de chaque faisceau de liaisons ATM;
- la taille des connexions VPC et des modules de largeur de bande;
- l'attribution des connexions VPC/modules de largeur de bande aux groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande;
- l'attribution de connexions VPC et de modules de largeur de bande aux liaisons ATM;
- les paramètres des commandes de trafic au niveau des appels et des connexions (par exemple le routage du trafic et les méthodes de protection du service) utilisés dans le réseau.

Considérons le cas dans lequel la capacité de chaque liaison, connexion VPC et module de largeur de bande du réseau est définie par une largeur de bande donnée. Dans ces conditions, l'objectif du dimensionnement peut être de déterminer la largeur de bande optimale de chacun de ces éléments parallèlement à l'assignation de connexions VPC et de modules de largeur de bande au réseau physique, ainsi qu'une évaluation des paramètres de commande de trafic au niveau des appels et des connexions. On part du principe que les systèmes de régulation du trafic au niveau des appels et des connexions sont choisis au stade initial du processus de dimensionnement et qu'ils sont fixes dans le modèle de réseau examiné.

Le problème fondamental du dimensionnement du réseau, dans ce contexte, est formulé par le problème d'optimisation non linéaire suivant:

Etant donné: matrice de demande de trafic et autres hypothèses relatives à la construction d'un modèle de réseau;

Variables de construction: vecteur \mathbf{v} dont les éléments représentent chaque variable de conception;

Objectif: minimiser $z = z(\mathbf{v})$;

Contraintes: $B_k \leq \bar{B}_k$, pour chaque flux de trafic k du réseau;

où B_k et \bar{B}_k représentent respectivement la probabilité de blocage de l'appel/connexion de bout en bout et sa valeur fixée comme objectif dans le flux de trafic k . La fonction $z = z(\mathbf{v})$ de la valeur fixée comme objectif sera choisie sur la base de la politique de l'exploitant du réseau et d'autres facteurs. A titre d'exemple, la fonction peut représenter le coût total du réseau dans certaines applications, par exemple [MEN]. La fonction peut être sélectionnée pour trouver une solution qui maximise le trafic transporté total, pondéré par le revenu unitaire de chaque flux individuel, par exemple [FAR], [GIR] et [MI2].

Quant au processus de dimensionnement appliqué à un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande unique comme indiqué au § 9.2, une méthode itérative s'applique au processus de dimensionnement, cela principalement parce que les ressources qu'il convient d'attribuer aux connexions dépendent de la capacité des connexions VPC/modules de largeur de bande du réseau ainsi que des paramètres de trafic des connexions. Par ailleurs, des méthodes d'optimisation itératives, telles que la méthode de la pente la plus raide, sont souvent utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation non linéaire. Diverses méthodes itératives peuvent être utilisées pour le dimensionnement du réseau. La procédure de base de processus d'itération simple est la suivante:

Etape 1): initialisation

A titre de solution initiale,

- fixer un nombre approprié de liaisons et leur largeur de bande entre chacune des paires de nœuds appropriées;
- fixer un nombre approprié de connexions VPC entre chaque paire appropriée de nœuds et attribuer chaque conduit VP à une liaison appropriée du réseau physique;
- attribuer une largeur de bande appropriée à chaque connexion VPC et module de largeur de bande et attribuer ces valeurs aux groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande;
- si nécessaire, fixer également les valeurs des paramètres des commandes de trafic au niveau des appels et des connexions, tels que le routage des appels/connexions et la réservation de largeur de bande.

Etape 2): évaluation du débit ECR

Calculer le débit ECR de chaque connexion dans chaque appel à chaque groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande sur lequel la connexion peut être établie, en tenant compte des paramètres de trafic des connexions et des paramètres de capacité des connexions VPC/modules de largeur de bande ou, dans le cas d'une connexion VPC à débit variable, des paramètres de capacité des liaisons.

Etape 3): évaluation de la probabilité de blocage des appels/connexions

Calculer la probabilité de blocage des appels/connexions de bout en bout pour chaque flux de trafic du réseau.

Etape 4): itération

Modifier la largeur de bande et les paramètres des systèmes de régulation du trafic au niveau des appels/connexions et répéter les opérations 2) et 3) jusqu'à trouver une solution satisfaisante permettant d'atteindre les objectifs de qualité d'écoulement de service.

Il convient de noter les points suivants relatifs à la procédure ci-dessus:

- 1) en raison de restrictions dues au matériel, la modularité du conduit de transmission dans le réseau physique peut être prise en compte pour sélectionner les valeurs des paramètres de capacité des liaisons aux étapes 1) et 4);
- 2) la contrainte par laquelle la somme des largeurs de bande des connexions VPC/modules de largeur de bande d'une liaison ne peut pas dépasser la capacité de la liaison doit être prise en compte aux étapes 1) et 4).

On trouvera dans la documentation, par exemple [FAR], [MEN] et [MI2] des exemples de techniques d'optimisation et d'un problème d'optimisation spécifique.

10.2 Principes des méthodes de calcul du blocage de bout en bout

10.2.1 Analyse de l'espace d'état

On pourra fonder le calcul des probabilités de blocage des appels/connexions de bout en bout sur l'analyse spatiale d'état du réseau. Pour les besoins du calcul de la probabilité de blocage, on prend généralement comme état du réseau un vecteur dont chacun des éléments représente le nombre d'appels/connexions en cours dans l'un des flux d'appels/connexions du réseau. Généralement, il y a diverses manières de spécifier les états du réseau et l'espace d'état selon l'objet des applications. Généralement, il est possible de spécifier un espace d'état et des transitions d'état dans l'espace en considérant les caractéristiques des types de demande d'appel et des commandes de trafic au niveau des appels et des connexions utilisés. Par l'analyse des probabilités permanentes du réseau, on peut calculer la probabilité de blocage des appels/connexions des flux de trafic individuels. Dans certains cas, les probabilités d'état se présentent sous la forme d'un produit.

Si, comme dans le RTPC et le RNIS à bande étroite, tous les appels offerts au réseau sont symétriques, autrement dit si un appel nécessite une paire de connexions ayant la même largeur de bande et le même temps d'occupation en avant et en arrière, et que le routage de la connexion soit établi de manière qu'une paire de connexions soit établie avec une paire de connexions de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande avant et arrière correspondants, il n'est pas nécessaire de faire la distinction entre les sens de transmission dans les réseaux lors du processus d'analyse de l'espace d'état. Une telle simplification peut également être appliquée dans les cas plus généraux s'il est utile de ne pas faire la distinction entre les deux sens.

10.2.2 Méthode du point fixe

a) *Principe*

En général, des difficultés peuvent surgir dans le calcul en raison des dimensions importantes de l'espace d'état des réseaux, surtout lorsqu'on ne dispose pas de la solution exprimée sous la forme d'un produit. Cela entraîne la nécessité d'utiliser des méthodes d'approximation pour calculer la probabilité de blocage de bout en bout des réseaux. La méthode du point fixe (également connue en tant qu'approximation à charge réduite), par exemple [WHI], [KEL], [DZI], [CHU] et [COY] est une technique fondamentale qui est généralement utilisée pour calculer la probabilité approximative de blocage des appels/connexions de bout en bout dans le processus de dimensionnement du réseau.

Le principe de la méthode du point fixe consiste à décomposer le réseau en composantes, à analyser chacune d'elles séparément et ensuite à déduire les performances cibles du réseau à partir des performances mesurées sur ses composantes. Dans les modèles de réseau traités dans la présente Recommandation, on prendra pour composantes de base le groupe de connexions VPC et le groupe de modules de largeur de bande. Au besoin, on peut prendre pour composante de base l'ensemble formé par plusieurs groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande. La méthode du point fixe est fondée sur les deux hypothèses suivantes:

1) l'indépendance des composantes:

on part du principe que les composantes du réseau sont statistiquement indépendantes, autrement dit que les événements tels que l'acceptation des appels et des connexions au niveau d'une composante sont statistiquement indépendants de l'acceptation des appels et des connexions au niveau des autres composantes du réseau;

2) le trafic fictif offert aux composantes:

pour évaluer les performances d'une composante, on part de l'hypothèse qu'un trafic fictif est offert à celle-ci. Les variables de trafic fictif telles que le débit d'arrivée sont déterminées à partir des caractéristiques de l'hypothèse de trafic initiale, des performances des autres composantes et du routage de trafic entre les composantes.

Il faut noter que les caractéristiques du trafic des composantes sont liées entre elles au moyen du trafic fictif supposé exister dans ces composantes. Donc, pour un vecteur de mesure de performances $\mathbf{u} = (u_j)$, où u_j est le niveau de performances de la composante j , on peut établir une équation de la forme $\mathbf{u} = \mathbf{F}(\mathbf{u})$. Pour résoudre celle-ci, on utilise généralement une procédure itérative permettant de calculer les caractéristiques de trafic approximatives pour chacune des composantes. On pourra utiliser diverses autres techniques pour le calcul numérique de la procédure itérative qui pourront avoir différentes caractéristiques de convergence. On notera que la convergence n'est pas garantie mais qu'elle est généralement obtenue dans la pratique. Les méthodes de calcul numérique et leurs caractéristiques de convergence ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

b) *Décomposition du réseau*

Lorsqu'on utilise la méthode du point fixe, il est capital de décomposer correctement le réseau en ses composantes [COY]. Il convient de choisir les composantes en sachant que la technique est fondée sur l'hypothèse que les composantes choisies seront statistiquement indépendantes les unes des autres. Par ailleurs, le choix des composantes a un effet sur le temps de calcul pour l'évaluation des mesures de performances cibles. Pour cette raison, on choisira dans la pratique des décompositions tenant compte des compromis entre le niveau de précision estimé et le temps de calcul.

Exemples:

- 1) lorsqu'on part de l'hypothèse que tous les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande sont indépendants, le réseau sera décomposé en ses groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande, qui seront considérés individuellement comme des composantes indépendantes. Dans le cas d'un groupe de connexions VPC à débit variable, le groupe pourra à nouveau être décomposé en composantes indépendantes plus petites, chacune correspondant à l'ensemble de conduits VP des connexions VPC du groupe dans chacun des faisceaux de liaisons ATM sur lesquels le groupe de connexions VPC est établi;
- 2) si, comme dans le RTPC et le RNIS à bande étroite, les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande vers l'avant et vers l'arrière correspondants sont statistiquement identiques, il peut être suffisant pour les besoins du dimensionnement du réseau de considérer un seul sens de transmission. Si les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande sont supposés indépendants les uns des autres dans le sens choisi, le réseau sera décomposé en groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande sans tenir compte de leur sens de transmission;
- 3) on peut utiliser une combinaison des exemples de décomposition 1) et 2).

On notera aussi que, pour simplifier le calcul du blocage, un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande prédéfini du point de vue du routage du trafic peut, à son tour, être divisé en groupes disjoints pour lesquels les hypothèses énoncées au § 9.1.2 sont considérées comme valables individuellement. Cette méthode a pour inconvénient qu'on suppose l'indépendance entre les groupes résultants. Cette subdivision des groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande est uniquement utilisée pour les besoins du dimensionnement.

La méthode itérative générale présentée au § 10.1 s'applique aux trois décompositions données en exemple ci-dessus. Si le cas de l'exemple 2) n'entre pas en ligne de compte, les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande dans les sens avant et arrière sont explicitement et séparément inclus dans l'itération. De plus, chaque exemple de décomposition a des effets sur le calcul de la probabilité de blocage à l'étape 3) de la méthode itérative. Dans les exemples de décomposition 1) et 2), les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande individuels sont testés quant à la capacité disponible pour les demandes de connexion arrivantes. Les calculs de blocage donnés en exemple dans l'Annexe A sont conçus pour ce cas.

Il conviendrait de poursuivre les études pour obtenir des directives plus précises sur la décomposition d'un réseau dans le cadre de la méthode du point fixe.

10.3 Calcul des probabilités de blocage dans un réseau avec appels de type A

Le présent paragraphe fournit des méthodes pour le calcul de la probabilité de blocage de l'appel/connexion de bout en bout des appels de type A compte tenu des plans de routage présumés. Les méthodes présentées ici sont des approximations fondées sur la technique de la modélisation par point fixe.

Il est clair que la probabilité de blocage des appels/connexions de bout en bout dépend dans une large mesure des plans de routage utilisés pour chaque appel et chaque connexion dans l'appel. Si une paire de connexions vers l'avant et vers l'arrière est demandée pour l'établissement d'un appel, comme cela est accepté par la signalisation CS-1 du RNIS-LB, la paire de connexions sera établie, si elle est acceptée, au moyen d'une paire de connexions VPC/modules de largeur de bande vers l'avant et vers l'arrière ayant le même identificateur VPI à chaque interface INI du RNIS-LB, conformément à la règle spécifiée dans la Rec. UIT-T I.150. Si, dans ce cas, l'une des deux connexions est refusée à un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande sur une route choisie, les deux connexions peuvent être reroutées vers une autre paire de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande ou routes⁴ vers l'avant et vers l'arrière. En conséquence, le choix de la route et de la connexion VPC/module de largeur de bande pour les connexions à l'intérieur d'un appel n'est pas nécessairement indépendant dans certains réseaux. Une telle dépendance dans le routage des connexions doit refléter dans la construction du modèle de réseau destiné au calcul des probabilités de blocage de bout en bout.

Par ailleurs, comme indiqué au § 10.2, les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande vers l'avant et vers l'arrière sont statistiquement dépendants. Cette dépendance doit aussi refléter dans le modèle.

10.3.1 Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau à plan de routage avec partage de la charge

Le paragraphe B.1 contient un exemple d'application de la méthode du point fixe à un réseau à plan de routage avec partage de la charge. Dans cet exemple, on suppose que tous les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande du réseau sont indépendants. Cet exemple peut également être appliqué au cas où il suffit de prendre en considération l'un des deux sens de transmission.

⁴ La signalisation RNIS-LB permet de coordonner l'établissement des connexions vers l'avant et vers l'arrière de telle manière qu'en l'absence de ressources libres adéquates pour une des deux connexions dans une paire sélectionnée de connexions VPC/modules de largeur de bande, les connexions puissent être reroutées vers une autre paire de connexions VPC/modules de largeur de bande vers l'avant et vers l'arrière ayant le même identificateur VPI, s'il est disponible, du groupe ou, à défaut, vers une autre paire de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande ou routes vers l'avant ou vers l'arrière (voir la Rec. UIT-T Q.2764).

10.3.2 Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant un plan de routage détourné

Le paragraphe B.2 contient un exemple d'application de la méthode du point fixe à un réseau ayant un plan de routage détourné. La Rec. UIT-T E.170 donne le principe de ce routage détourné. Dans cet exemple, on part de l'hypothèse qu'il est suffisant, du point de vue de l'ingénierie du trafic, de considérer les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande vers l'avant ou vers l'arrière pour calculer les probabilités de blocage des appels/connexions de bout en bout, ce qui est le cas lorsque les sens de transmission vers l'avant et vers l'arrière sont statistiquement identiques comme dans le RTPC et le RNIS à bande étroite.

10.3.3 Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant d'autres plans de routage

Ce point nécessite un complément d'étude.

10.4 Calcul des probabilités de blocage des appels de type B

Le présent paragraphe donne des méthodes de calcul de la probabilité de blocage des appels/connexions de bout en bout pour les appels de type B, compte tenu des plans de routage supposés. Les méthodes présentées ici sont des approximations fondées sur des techniques de modélisation par point fixe.

Le routage des connexions pour un appel de type B peut comporter:

- 1) le routage de la première connexion du nœud racine jusqu'au nœud de première feuille;
- 2) le routage des connexions subséquentes du nœud d'embranchement jusqu'aux nœuds de feuille restants.

Il est clair que le plan de routage utilisé pour les appels a un effet déterminant sur la probabilité de blocage des appels et des connexions de bout en bout.

10.4.1 Probabilité de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant le plan de routage à partage de charge

L'Annexe C contient un exemple dans lequel est utilisée la méthode du point fixe pour calculer la probabilité de blocage des appels/connexions dans un réseau où le routage de l'ensemble de la connexion arborescente est du type à partage de charge. On part du principe, dans cet exemple, que les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande du réseau sont tous indépendants [OD2].

10.4.2 Probabilités de blocage des appels de bout en bout dans un réseau ayant d'autres plans de routage

Ce point nécessite un complément d'étude.

10.5 Calcul des probabilités de blocage d'autres types d'appel

Ce point nécessite un complément d'étude.

11 Historique

La présente version de la Recommandation est la première.

ANNEXE A

Exemples de méthodes de calcul des probabilités de blocage individuel dans un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande

La présente annexe contient un tableau des méthodes de calcul des probabilités de blocage individuel dans un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande et la description des méthodes qui présentent le plus d'intérêt. Le tableau n'est pas une liste exhaustive des méthodes.

A.1 Résumé des méthodes

Le Tableau A.1 est le résumé des méthodes pouvant être utilisées pour modéliser un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande.

Tableau A.1/E.737 – Méthodes de calcul du blocage pour un groupe unique de connexions VPC/modules de largeur de bande

Hypothèses	Méthodes
– Entrées poissonniennes	– Solution sous forme de produit (solution exacte). – Méthode de Kaufman-Roberts (solution exacte) (voir § A.3). – Méthode de type Hayward – [LIN], [MEN] (voir § A.4). – Approximation asymptotique [MI1], [LAB].
– Entrées poissonniennes – Réservation de largeur de bande	– Méthode de Kaufman-Roberts [ROB] (voir § A.3). – Méthode de type Hayward (pour le cas de l'égalisation des blocages) [LIN], [MEN] (voir § A.4). – Méthode d'approximation du gros trafic [RMV].
– Entrées poissonniennes – Réservation de largeur de bande – Négociation de largeur de bande	– Méthode de Kaufman-Roberts (voir la Rec. UIT-T E.731) [OD2].
– Entrées non poissonniennes	– Méthode d'Erlang (pour le trafic composite) avec transformation [RMV]. – Méthode de Kaufman-Roberts (pour congestion temporelle) avec transformation [RMV]. – Méthode de Delbrouck (pour encombrement dans le temps avec transformation en encombrement d'appels [RMV]. – Méthode de type Hayward [MEN] (voir § A.4).
– Entrées non poissonniennes – Réservation de largeur de bande	– Méthode de type Hayward (pour le cas de l'égalisation des blocages) [LIN], [MEN] (voir § A.4).

A.2 Notations

La notation suivante est utilisée dans l'ensemble de la présente annexe:

- N largeur de bande du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, exprimée par un nombre entier d'unités de largeur de bande;
- k k^{e} flux de connexions, où $k = 1, 2, \dots, K$;
- λ_k débit d'arrivée à la connexion du flux k ;
- μ_k inverse du temps d'occupation moyen de la connexion dans le flux k ;

- m_k débit ECR d'une connexion dans le flux k au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, exprimé par un nombre entier d'unités de largeur de bande;
- a_k nombre moyen de connexions du flux k d'un système fictif de capacité infinie, donné par $a_k = \lambda_k / \mu_k$;
- v_k variance du nombre de connexions dans le flux k du système fictif de capacité infinie (quand l'entrée poissonnienne $v_k = a_k$);
- z_k facteur d'irrégularité du flux k , donné par $z_k = v_k / a_k$;
- θ_k paramètre de réservation de largeur de bande qui indique qu'une connexion dans le flux k n'est acceptée que si au moins $(\theta_k + m_k)$ unités de largeur de bande du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande sont au repos quand la connexion arrive, où θ_k est un entier non négatif;
- B_k probabilité de blocage du flux k ;
- $E(\bullet, \bullet)$ formule B d'Erlang.

A.3 Méthode de Kaufman-Roberts

Considérons un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande à entrée poissonnienne, avec ou sans réservation de largeur de bande. Cette méthode est fondée sur la relation de récurrence [KAU], [ROB] et [CHU]:

$$ip(i) = \sum_{k=1}^K \frac{\lambda_k m_k \zeta_k(i-m_k)}{\mu_k} p(i-m_k), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (\text{A-1})$$

$$\sum_{i=1}^N p(i) = 1 \quad (\text{A-2})$$

où i et $p(i)$ sont respectivement le nombre d'unités de largeur de bande occupées et la loi de probabilité approximative de ce nombre dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. $\zeta_k(i-m_k)$ est la fonction de modification du débit obtenue en tenant compte de la réservation de largeur de bande et exprimée de la manière suivante:

$$\zeta_k(i-m_k) = \begin{cases} 1 & \text{pour } m_k \leq i \leq N - \theta_k \\ 0 & \text{pour } N - \theta_k + 1 \leq i \leq N \end{cases}, \text{ pour toutes les valeurs de } k \quad (\text{A-3})$$

La probabilité de blocage B_k pour la connexion de flux est donnée par:

$$B_k = \sum_{i=N-\theta_k-m_k+1}^N p(i), \text{ pour toutes les valeurs de } k \quad (\text{A-4})$$

Cette méthode donne une solution exacte sous forme de produit quand la réservation de largeur de bande n'est pas appliquée. B_k donne une approximation de la probabilité de blocage individuel en cas de réservation de largeur de bande.

On notera que la probabilité d'état $p(n)$ dans la formule A-1 ne varie pas avec le débit de service μ_k tant que la charge de trafic λ_k / μ_k est maintenue constante, alors qu'en réalité la probabilité de blocage dans une connexion VPC/module de largeur de bande est sensible au temps d'occupation moyen du trafic offert en cas d'application de la réservation de largeur de bande [RMV]. Dans ce cas, il est conseillé d'utiliser le débit de service fictif μ plutôt que le débit de service réel μ_k :

$$1/\mu = \frac{\sum_{k=1}^K \lambda_k m_k (1/\mu_k)}{\sum_{k=1}^K \lambda_k m_k} \quad (\text{A-5})$$

A.4 Méthode de type Hayward

Le principe de cette méthode est de calculer en premier la probabilité de blocage B_0 d'un flux de trafic composite fictif au moyen de la méthode d'approximation de type Hayward puis de calculer la probabilité de blocage individuel approximative B_k à partir de la probabilité de blocage B_0 .

Pour des raisons de simplicité, supposons que la largeur de bande de la connexion minimale soit égale à un.

Dans la première étape, le trafic composite est représenté par la moyenne a et par la variance v du nombre d'unités de largeur de bande occupées dans un système fictif de capacité infinie, ce trafic étant donné par les équations suivantes:

$$a = \sum_{k=1}^K a_k m_k, \quad \text{et} \quad v = \sum_{k=1}^K v_k (m_k)^2 \quad (\text{A-6})$$

Pour calculer la probabilité de blocage B_0 du trafic composite, on utilise l'équation suivante:

$$B_0 = E(a/z, (N-z+1)/z) \quad (\text{A-7})$$

où $z = v/a$. On notera que B_0 donne une approximation de la probabilité de blocage moyenne des flux K .

Dans la deuxième étape, la probabilité de blocage individuel approximative est donnée par la transformation suivante:

$$B_k = B_0(1-B_0) \frac{(N/a)^{m_k z_k / z} - 1}{N/a - 1}, \quad \text{pour toutes les valeurs de } k \quad (\text{A-8})$$

Quand la réservation de largeur de bande est appliquée pour égaliser la probabilité de blocage individuel, la probabilité de blocage approximative est donnée par:

$$B_k = E(a/z, (N - m_{\max} + 1)/z), \quad \text{pour toutes les valeurs de } k \quad (\text{A-9})$$

où m_{\max} est la largeur de bande maximale des connexions.

ANNEXE B

Exemple de méthode de calcul des probabilités de blocage pour un réseau avec appels de type A

B.1 Pour un plan de routage à partage de la charge

B.1.1 Modèle de réseau

Considérons un modèle de réseau ayant des appels de type A et un plan de routage à partage de la charge. Dans cet exemple, il existe une correspondance entre la route choisie par une connexion et la route choisie par les autres connexions du même appel. Quand un appel est constitué de plusieurs connexions, on utilise l'expression "route établie pour l'appel" pour désigner une route pour chaque connexion de l'appel. Un choix donné de "faisceau de routes pour l'appel" est constitué d'un choix donné de route pour chaque connexion de l'appel. En particulier, le " q^e faisceau de routes d'un appel

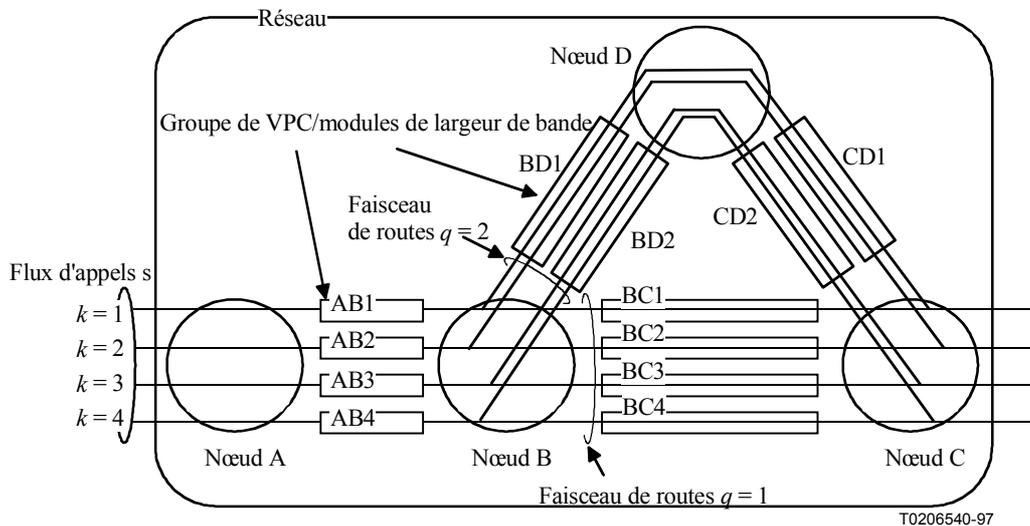
est choisi" signifie "chaque connexion de l'appel choisit sa q^e route". Les notations suivantes ont été utilisées:

- s s^e flux d'appels dans le réseau, où $s = 1, 2, \dots, S$;
- k k^e connexion d'un appel dans un flux s , où $k = 1, 2, \dots, K_s$;
- λ_s débit d'arrivée du flux d'appels s ;
- q q^e faisceau de routes pour un appel dans un faisceau s , où $q = 1, 2, \dots, Q_s$;
- $G(s,q,k)$ le faisceau de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande contenu dans la q^e route pour la k^e connexion du flux d'appel s ;
- $G(s,q)$ le faisceau de tous les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande inclus dans un faisceau de routes q pour le flux d'appels s [c'est-à-dire $G(s,q) = \bigcup_{k=1}^K G(s,q,k)$]
- r_{sq} la probabilité que le faisceau de routes q est sélectionné pour un nouvel appel arrivant dans le flux s , où $\sum_{q=1}^{Q_s} r_{sq} = 1$.

On prend pour hypothèse la règle de routage dans le réseau suivante:

- 1) un nouvel appel arrivant est routé aléatoirement vers le faisceau de routes q avec la probabilité r_{sq} ;
- 2) si une connexion quelconque de l'appel est bloquée sur la route du faisceau de routes sélectionné, l'appel est perdu et libéré.

La Figure B.1 est un exemple du faisceau de routes et du faisceau de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande $G(s,q,k)$. On notera que le schéma de routage inclut un plan de routage fixe en tant que cas spécial pour $r_{sq} = 1$ pour un seul des faisceaux de routes possibles.



Pour un flux d'appels s ,
 Choix du groupe de connexions VPC/
 modules de largeur de bande pour
 connexions sur leurs routes, $q = 1$:

- $G(s,q = 1, k = 1) = \{AB1, BC1\}$,
- $G(s,q = 1, k = 2) = \{AB2, BC2\}$,
- $G(s,q = 1, k = 3) = \{AB3, BC3\}$,
- $G(s,q = 1, k = 4) = \{AB4, BC4\}$.
- $G(s,q = 1) = \{AB1, AB2, AB3, AB4,$
 $BC1, BC2, BC3, BC4\}$.

Choix du groupe de connexions VPC/
 modules de largeur de bande pour
 connexions sur leurs routes, $q = 2$:

- $G(s,q = 1, k = 1) = \{AB1, BC1, CD1\}$,
- $G(s,q = 1, k = 2) = \{AB2, BC1, CD1\}$,
- $G(s,q = 1, k = 3) = \{AB3, BC2, CD2\}$,
- $G(s,q = 1, k = 4) = \{AB4, BC2, CD2\}$.
- $G(s,q = 2) = \{AB1, AB2, AB3, AB4,$
 $BD1, CD1, CD2\}$.

Figure B.1/E.737 – Exemple de faisceaux de routes pour un appel de type A

B.1.2 Probabilités de blocage de l'appel de bout en bout

Si l'on suppose que les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande du réseau sont tous indépendants les uns des autres, le réseau peut être décomposé en groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande conformément au principe énoncé au § 10.2.2. Ensuite on calcule les probabilités de blocage de la connexion à chaque groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande en prenant pour hypothèse que les demandes de connexion ATM dans un appel arrivent aux groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande avec un débit d'arrivée fictif indépendamment des autres groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande. Ces débits d'arrivée fictifs sont déterminés en tenant compte de la réduction du débit initial consécutif au blocage des connexions à d'autres groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande.

Au cas où plus d'une connexion d'un appel doit partager un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, autrement dit qu'il existe un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande g tel que $g \in G(s, q, k_1)$ et $g \in G(s, q, k_2)$ pour certaines connexions différentes k_1 et k_2 d'un appel, il peut être nécessaire de prendre en compte la simultanéité des arrivées de ces connexions k_1 et k_2 dans le calcul de leur probabilité de blocage au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande g . Pour les besoins du calcul de la probabilité de blocage de l'appel de bout en bout, une seule connexion fictive avec la largeur de bande globale des connexions concernées (telles que les connexions k_1 et k_2 ci-dessus) au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande partagé peut être utilisée comme modèle pour calculer la probabilité d'une largeur de bande libre suffisante au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande à l'instant d'arrivée des connexions en question.

Soit $\omega_{sq}^{(g)}$ le débit d'arrivée fictif d'une connexion ou connexion globale fictive d'un appel dans un flux s au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande $g \in G(s, q)$, où seule cette connexion ou connexion globale fictive de l'appel est acheminée vers le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande g pour l'établissement de l'appel. Ce débit est donné par:

$$\omega_{sq}^{(g)} = \lambda_s r_{sq} \frac{\prod_{h \in G(s, q)} (1 - B_{sq}^{(h)})}{1 - B_{sq}^{(g)}}, \quad \forall s, q, \text{ et } g \in G(s, q) \quad (\text{B-1})$$

où $B_{sq}^{(g)}$ est la probabilité de blocage de la connexion fictive du flux d'appels s au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande g . Sur la base de ce principe, la probabilité de blocage de la connexion et les débits d'arrivée réduits sont calculés de manière itérative. Les facteurs $(1 - B_{sq}^{(h)})$ de la formule B-1 sont importants dans l'analyse d'un réseau qui est en dépassement de capacité. Pour le dimensionnement, lorsque la probabilité cible de blocage est très petite [disons B_{sq} , soit 1 moins le produit des facteurs $(1 - B_{sq}^{(h)})$, de l'ordre de 1%], le fait de considérer que les facteurs $(1 - B_{sq}^{(h)})$ sont égaux à 1 peut être vu comme une approximation relativement sûre⁵. En conséquence, la formule B-1 devient:

$$\omega_{sq}^{(g)} = \lambda_s r_{sq}, \quad \forall s, q, \text{ et } g \in G(s, q) \quad (\text{B-2})$$

L'emploi de la formule simplifiée B-2 évite de devoir faire des itérations entre la probabilité de blocage de la connexion et les débits d'arrivée fictifs. Pour calculer la probabilité de blocage de la

⁵ Par ailleurs, les facteurs $(1 - B_{sq}^{(h)})$ doivent être utilisés avec prudence quand une partie du réseau est en cours de dimensionnement et que l'autre partie est en dépassement de capacité. Il peut être imprudent de dimensionner un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande g en se fondant sur un débit d'arrivée $\omega_{sq}^{(g)}$ réduit en raison du dépassement de capacité d'un autre groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande h étant donné que le dépassement de capacité du groupe h pourrait être supprimé ultérieurement.

connexion $B_{sq}^{(g)}$, on peut utiliser les méthodes énoncées au § 9.3. Il faut noter que le débit ECR d'une connexion peut varier en fonction du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande sur la route de la connexion. Dès que l'on a obtenu la probabilité de blocage de la connexion à chaque groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, la probabilité de blocage des appels B_{sq} sur le faisceau de routes q et la probabilité de blocage de l'appel total B_s du flux d'appels s peuvent être calculées au moyen des équations suivantes:

$$B_{sq} = 1 - \prod_{g \in G(s,q)} (1 - B_{sq}^{(g)}) \quad (\text{B-3})$$

$$B_s = \sum_{sq} r_{sq} B_{sq} \quad (\text{B-4})$$

La formule B-3 est obtenue à partir de l'hypothèse qu'un appel de type A n'est accepté que si toutes les connexions de l'appel sont acceptées.

La méthode faisant appel au point fixe et l'analyse du modèle de connexion sur intervalles de temps multiples peuvent être utilisées pour le réseau dans lequel la négociation et la réservation de la largeur de bande sont toutes deux appliquées simultanément. Si une connexion est routée vers une route constituée de plus d'un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande en cascade, les résultats de la négociation de la largeur de bande dans les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande peuvent être alignés sur toute la route [OD2].

B.2 Exemple avec plan de routage détourné

B.2.1 Modèle de réseau

Pour des raisons de simplicité, considérons un modèle de réseau où chaque appel demande uniquement une paire de connexions vers l'avant et vers l'arrière et où, pour chaque flux d'appels, un seul groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande peut être choisi dans tout faisceau de connexions VPC/modules de largeur de bande; et l'on part de l'hypothèse que, pour les besoins du calcul du blocage des appels, il suffit de considérer l'un des deux sens de transmission dans le réseau. Les notations suivantes ont été utilisées:

- s s^{e} flux d'appels, où $s = 1, 2, \dots, S$;
- q q^{e} route pour la connexion en question (c'est-à-dire pour la connexion dans le sens de transmission considéré) d'un appel dans le flux s où $q = 1, 2, \dots, Q_s$;
- j j^{e} groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande de la route q pour le flux s ;
- B_{sqj} probabilité de blocage de l'appel dans le j^{e} groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande de la route q pour le flux s ;
- RB_{sq} probabilité de blocage de l'appel sur la route q pour le flux s ;
- B_s probabilité de blocage de l'appel de bout en bout du flux.

En ce qui concerne le routage de l'appel, on part du principe qu'un conduit direct est choisi en premier lieu et que des routes à deux liaisons (c'est-à-dire une concaténation de deux groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande) sont utilisées comme route détournée (c'est-à-dire $j = 1, 2$), et que les routes à deux liaisons pour un flux d'appels ont des liaisons non consécutives, c'est-à-dire qu'aucune route n'utilise le même groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande en partage avec d'autres routes. On suppose la règle de routage suivante:

- 1) une suite de routes est spécifiée pour un flux d'appels;
- 2) un nouvel appel arrivant est routé vers sa route sur cette suite de routes. Lorsque l'appel est bloqué sur une route, il passe sur la route suivante;
- 3) si l'appel est bloqué sur la dernière route de la suite, il est perdu et libéré.

B.2.2 Probabilités de blocage de l'appel de bout en bout

Si l'on part de l'hypothèse que les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande sont tous indépendants les uns des autres, la probabilité de blocage d'appel sur une route RB_{sq} est approximativement donnée par:

$$RB_{sq} = \begin{cases} B_{sq1}, \forall s, q = 1 \\ 1 - \prod_{j=1}^2 (1 - B_{sqj}), \forall s, q > 1 \end{cases} \quad (\text{B-5})$$

Cas 1) Pour un flux d'appels exempt de dispositif de réacheminement automatique (voir la Rec. UIT-T E.170) aux nœuds de transit, la probabilité B_s de blocage de l'appel de bout en bout est donnée approximativement par:

$$B_s = 1 - \sum_{q=1}^{Q_s} (1 - RB_{sq}) \prod_{h=1}^{q-1} B_{sh1}, \forall s \quad (\text{B-6})$$

Cas 2) Dans le cas d'un flux d'appels pour lequel le réacheminement automatique (voir la Rec. UIT-T E.170) est utilisé à chaque nœud de transit, la probabilité B_s de blocage de l'appel de bout en bout est donnée approximativement par:

$$B_s = \prod_{q=1}^{Q_s} RB_{sq}, \forall s \quad (\text{B-7})$$

Cas 3) Dans le cas d'un flux d'appels pour lequel le réacheminement automatique est utilisé partiellement, la probabilité B_s de blocage de l'appel de bout en bout est exprimée approximativement par une formule mixte, se situant entre les deux extrêmes ci-dessus.

Pour calculer la probabilité B_{sqj} de blocage de l'appel dans un groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, on utilisera la méthode du point fixe avec le calcul du débit d'arrivée fictif dans le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande pour chaque flux. On peut calculer ce débit d'arrivée fictif en tenant compte des probabilités de blocage sur les routes précédentes et dans l'autre groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande sur la route dont le groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande en question fait partie. Les méthodes du § 9.3 peuvent être utilisées pour calculer la probabilité B_{sqj} de blocage de l'appel.

Il faut noter que le trafic de débordement d'une route n'est pas poissonnien. Si l'on détermine les variances des flux de trafics de débordement, on peut utiliser les méthodes de l'Annexe A, qui font appel à la moyenne et à la variance des flux de trafics pour calculer la probabilité de blocage des appels sur les routes de débordement qui reçoivent les flux qui débordent des routes précédentes. On trouvera dans [OD3] une méthode pour calculer les variances et/ou les moments supérieurs des débordements dans le modèle de connexion sur intervalles de temps multiples. Il faut cependant noter que le calcul des variances et des probabilités de blocage au moyen des informations de variance nécessite un temps de calcul supplémentaire dans la procédure de dimensionnement du réseau. Les méthodes permettant de calculer efficacement la variance des débordements nécessitent un complément d'étude.

Exemple de méthode de calcul des probabilités de blocage dans un réseau avec appels de type B

C.1 Cas d'un plan de routage à partage de la charge

C.1.1 Modèle de réseau

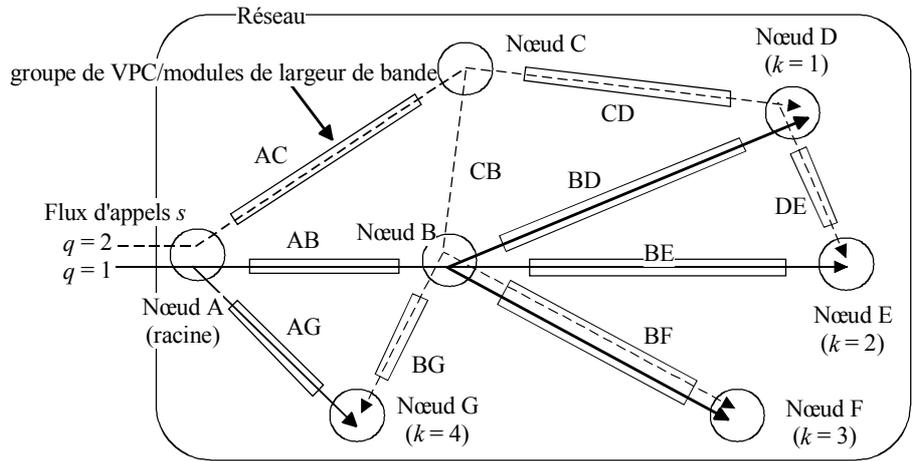
Considérons un modèle de réseau recevant des appels de type B. Dans cet exemple, un appel étant constitué de plusieurs connexions, le même concept de "route établie pour un appel" que celui de l'exemple du B.1 est utilisé pour représenter une correspondance entre les routes choisies par les connexions de l'appel. La notation suivante a été utilisée pour décrire les relations de trafic:

- s s^e flux d'appels, où $s = 1, 2, \dots, S$;
- $K(s)$ l'ensemble complet de feuilles d'un appel du flux s ;
- k la k^e feuille de $K(s)$, où $k = 1$ représente la feuille de la première connexion;
- q q^e faisceau de routes d'un appel dans le flux s , où $q = 1, 2, \dots, Q_s$;
- $F(s,q)$ le faisceau de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande inclus dans la q^e route pour la première connexion des appels contenus dans le flux s ;
- $G(s,q,k)$ le faisceau de groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande inclus dans la q^e route pour la connexion d'un nœud d'embranchement jusqu'à la feuille $k (> 1)$ des appels du flux s ;
- r_{sq} la probabilité qu'un faisceau de routes q soit sélectionné pour un nouvel appel arrivant dans le flux s , où $\sum_{q=1}^{Q_s} r_{sq} = 1$.

On part de l'hypothèse de la règle suivante dans le réseau:

- 1) un nouvel appel arrivant est acheminé aléatoirement vers le faisceau de routes q avec la probabilité r_{sq} ;
- 2) si la première connexion d'un appel est bloquée sur sa route dans le faisceau de routes sélectionné, l'appel est perdu et libéré. Si une connexion additionnelle est bloquée sur sa route dans le faisceau de routes sélectionné, seule cette connexion est perdue et libérée.

La Figure C.1 donne un exemple des faisceaux de routes $F(s,q)$ (la route de la première connexion) et $G(s,q,k)$ (la route de la k^e connexion). On notera que le plan de routage comporte un plan de routage fixe en tant que cas particulier où $r_{sq} = 1$ pour un seul des faisceaux de routes possibles.



Pour le flux d'appels s :

Faisceau de routes $q = 1$:	Faisceau de routes $q = 2$:
$F(s, q = 1) = \{AB, BD\}$,	$F(s, q = 2) = \{AC, CD\}$,
$G(s, q = 1, k = 2) = \{BE\}$,	$G(s, q = 2, k = 2) = \{DE\}$,
$G(s, q = 1, k = 3) = \{BF\}$,	$G(s, q = 2, k = 3) = \{CB, BF\}$,
$G(s, q = 1, k = 4) = \{AG\}$,	$G(s, q = 2, k = 4) = \{CB, BG\}$,

Figure C.1/E.737 – Exemple de faisceaux de routes pour un flux d'appels de type B

C.1.2 Probabilités de blocage des appels et des connexions de bout en bout

Si l'on part de l'hypothèse que tous les groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande du réseau sont indépendants les uns des autres, on peut appliquer la procédure de calcul fondée sur la méthode du point fixe, en décomposant le réseau en groupes de connexions VPC/modules de largeur de bande.

Pour des raisons de simplicité, considérons un cas particulier dans lequel toutes les routes allant des nœuds d'embranchement jusqu'aux feuilles additionnelles sont disjointes, autrement dit dans lequel les connexions allant des nœuds d'embranchement jusqu'aux feuilles additionnelles ne partagent aucun groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande. La probabilité de blocage B_{sq} de la première connexion peut être calculée par la même méthode d'approximation que celle qui est décrite au § B.1 [dans ce cas on peut utiliser les formules B-1, B-2 et B-3 en substituant $F(s, q)$ à $G(s, q)$], et cela donne la probabilité de blocage des appels du flux s acheminé sur le faisceau de routes q . Dans ce cas simple, la probabilité de blocage B_{sqk} de la connexion pour une feuille additionnelle $k (> 1)$ d'un appel du flux s routé sur le faisceau de routes q peut être calculée approximativement au moyen du débit d'arrivée fictif suivant de la k^e connexion additionnelle du groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande g de $G(s, q, k)$:

$$\omega_{sqk}^{(g)} = \lambda_s r_{sq} (1 - B_{sq})^{\frac{\prod_{h \in G(s, q, k)} (1 - B_{sqk}^{(h)})}{1 - B_{sqk}^{(g)}}}, \quad \forall s, q, k (\neq 1), \text{ et } g \in G(s, q, k) \quad (\text{C-1})$$

où $B_{sqk}^{(g)}$ représente la probabilité de blocage de la connexion au groupe de connexions VPC/modules de largeur de bande, g . La note du § B.1.2, 4^e alinéa, sur la nécessité des facteurs $(1 - B_{sq}^{(h)})$ en cas de dimensionnement avec une probabilité cible de blocage faible s'applique ici aux facteurs $(1 - B_{sqk}^{(h)})$. Une approximation de la probabilité de blocage B_{sqk} de la connexion est donnée par:

$$B_{sqk} = 1 - \prod_{g \in G(s, q, k)} (1 - B_{sqk}^{(g)}) \quad (\text{C-2})$$

APPENDICE I

Bibliographie

- [CHU] CHUNG (S.P.), KASHPER (A.), ROSS (K.W.): Computing approximate blocking probabilities for large loss networks with state-dependent routing, (Calcul des probabilités de blocage approximatives dans les réseaux à fort affaiblissement et routage dépendant de l'état), *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 1, No. 1, p. 105-115, février 1993.
- [COY] COYLE (A.J.), HENDERSON (W.), TAYLOR (P.G.): Reduced load approximations for loss networks, (Approximations à charge réduite pour réseaux à perte), *Telecommunications Systems*, Vol. 2, No. 1, p. 21-50, décembre 1993.
- [DZI] DZIONG (Z.), ROBERTS (J.W.): Congestion probabilities in a circuit-switched integrated services network, (Probabilités d'encombrement dans un réseau numérique avec intégration des services), *Performance Evaluation*, Vol. 17, p. 267-284, 1987.
- [FAR] FARAGO (A.), BLAABJERG (S.), AST (L.), GORDOS (G.), HENK (T.): A new degree of freedom in ATM network dimensioning: optimizing the logical configuration, (Un nouveau degré de liberté dans le dimensionnement des réseaux ATM: l'optimisation de la configuration logique), *IEEE JSAC*, Vol. 13, No. 7, p. 1199-1206, septembre 1995.
- [GIR] GIRARD (A.), LESSARD (N.): Revenue optimization of virtual circuit ATM networks, (Optimisation du revenu des réseaux ATM à circuits virtuels), *Proceedings of 5th Int'l Network Planning Symp.*, Kobe, mai 1992.
- [KAU] KAUFMAN (J.S.): Blocking in a shared resource environment, (Blocages dans un environnement à ressources partagées), *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 29, No. 10, p. 1474-1481, octobre 1981.
- [KEL] KELLY (F.): Blocking probabilities in large circuit-switched networks, (Probabilités de blocage dans les grands réseaux commutés), *Advances in Applied Probability*, Vol. 18, p. 473-505, 1986.
- [LAB] LABOURDETTE (J.-F.P.), HART (G.W.): Blocking probabilities in multitraffic loss systems: insensitivity, asymptotic behaviour, and approximations, (Probabilités de blocage dans les systèmes à perte due au trafic multiple: insensibilité, comportement asymptotique et approximations), *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 40, No. 8, p. 1355-1366, août 1992.
- [LIN] LINDBERGER (K.): Some ideas on grade of service and call scale link-by-link dimensioning, (Quelques avis sur la qualité d'écoulement de service et le dimensionnement liaison par liaison au niveau des appels), *10th Nordic Teletraffic Seminar*, 1992.
- [MEN] MENOZZI (M.), MOCCI (U.), SCOGLIO (C.), TONIETTI (A.): Traffic integration and virtual path optimization in ATM networks, (Intégration du trafic et optimisation des conduits virtuels dans les réseaux ATM), *Proceedings of 6th Int'l Network Planning Symp.*, Budapest, septembre 1994.
- [MI1] MITRA (D.), MORRISON (J.A.): Erlang capacity and uniform approximations for shared unduffered resources, (Capacité en erlangs et approximations uniformes pour les ressources partagées sans mémoire tampon), *IEEE Trans. on Networking*, Vol. 2, No. 6, p. 558-570, décembre 1994.
- [MI2] MITRA (D.), MORRISON (J.A.), RAMAKRISHNAN (K.G.): Unified approach to multirate ATM network design and optimization, (Approche unifiée de la conception et de l'optimisation des réseaux ATM multidébits), *Proceedings of 9th ITC Specialists Seminar*, p. 77-94, Leidschendam, novembre 1995.

- [OD1] ODA (T.), WATANABE (Y.): Optimal trunk reservation for a group with multislot traffic streams, (Réservation optimale des jonctions pour un groupe à flux de trafic sur intervalles de temps multiples), *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 38, No. 7, p. 1078-1084, juillet 1990.
- [OD2] ODA (T.), NAKAMURA (H.): A traffic model for networks handling multimedia multi-connection calls, (Modèle de trafic pour réseaux traitant des appels multimédias multiconnexions), *Proc. of NETWORKS96*, Vol. 2, p. 431-436, Sydney, novembre 1996.
- [OD3] ODA (T.): Moment analysis for traffic associated with Markovian queueing system, (Analyse des valeurs instantanées dans le trafic associé au système de mise en attente markovien), *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 39, No. 5, p. 737-746, mai 1991.
- [RMV] ROBERTS (J.W.), MOCCI (U.), VIRTAMO (J.) (Eds.): Broadband network teletraffic, (Télétrafic sur réseau à large bande), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1155, Springer-Verlag, 1996.
- [ROB] ROBERTS (J.W.): Teletraffic models for the Telecom 1 integrated service network, (Modèles de télétrafic pour le réseau à services intégrés de Telecom 1), *Proceedings of 10th ITC*, Paper 1.1.2, Montréal, 1983.
- [WHI] WHITT (W.): Blocking when service is required from several facilities simultaneously, (Blocage quand plusieurs installations réclament le service simultanément), *AT&T Technical Journal*, Vol. 64, No. 8, p. 1807-1856, octobre 1985.

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