



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

Y.1720

(09/2003)

SÉRIE Y: INFRASTRUCTURE MONDIALE DE
L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET
RÉSEAUX DE NOUVELLE GÉNÉRATION

Aspects relatifs au protocole Internet – Gestion,
exploitation et maintenance

**Commutation de protection pour les réseaux
MPLS**

Recommandation UIT-T Y.1720

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y
**INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION, PROTOCOLE INTERNET ET RÉSEAUX DE
 NOUVELLE GÉNÉRATION**

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION	
Généralités	Y.100–Y.199
Services, applications et intergiciels	Y.200–Y.299
Aspects réseau	Y.300–Y.399
Interfaces et protocoles	Y.400–Y.499
Numérotage, adressage et dénomination	Y.500–Y.599
Gestion, exploitation et maintenance	Y.600–Y.699
Sécurité	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899
ASPECTS RELATIFS AU PROTOCOLE INTERNET	
Généralités	Y.1000–Y.1099
Services et applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, accès, capacités de réseau et gestion des ressources	Y.1200–Y.1299
Transport	Y.1300–Y.1399
Interfonctionnement	Y.1400–Y.1499
Qualité de service et performances de réseau	Y.1500–Y.1599
Signalisation	Y.1600–Y.1699
Gestion, exploitation et maintenance	Y.1700–Y.1799
Taxation	Y.1800–Y.1899
RÉSEAUX DE LA PROCHAINE GÉNÉRATION	
Cadre général et modèles architecturaux fonctionnels	Y.2000–Y.2099
Qualité de service et performances	Y.2100–Y.2199
Aspects relatifs aux services: capacités et architecture des services	Y.2200–Y.2249
Aspects relatifs aux services: interopérabilité des services et réseaux dans les réseaux de nouvelle génération	Y.2250–Y.2299
Numérotage, nommage et adressage	Y.2300–Y.2399
Gestion de réseau	Y.2400–Y.2499
Architectures et protocoles de commande de réseau	Y.2500–Y.2599
Sécurité	Y.2700–Y.2799
Mobilité généralisée	Y.2800–Y.2899

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

Recommandation UIT-T Y.1720

Commutation de protection pour les réseaux MPLS

Résumé

La présente Recommandation indique les prescriptions et les mécanismes relatifs aux fonctionnalités de commutation de protection doublée (1+1), alternée (1:1), partagée entre mailles et 1+1 en mode paquet dans le plan utilisateur pour les réseaux à commutation multiprotocole avec étiquette (MPLS, *multiprotocol label switched*). Le mécanisme défini ici est conçu pour la prise en charge de chemins commutés avec étiquettes (LSP, *label switched path*) point à point de bout en bout. La fonctionnalité de commutation de protection pour des conduits LSP multipoint à point ou point à multipoint appelle un complément d'étude, de même que la commutation de protection multi-alternée (m:n). La commutation de protection transparente n'est pas abordée dans cette version de la présente Recommandation.

Source

La Recommandation Y.1720 de l'UIT-T a été approuvée le 13 septembre 2003 par la Commission d'études 13 (2001-2004) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

Mots clés

Commutation de protection, commutation MPLS, conduit LSP, défaillance, dérangement, reroutage, routeur PML, routeur PSL.

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.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

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 avait 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 2004

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1	Domaine d'application 1
2	Références normatives 1
3	Définitions 2
4	Symboles et abréviations 4
5	Prescriptions 4
6	Principes 5
7	Mécanismes 6
7.1	Commutation de protection unilatérale 6
7.2	Mécanisme de commutation de protection bilatérale 17
8	Aspects relatifs à la sécurité 17
Appendice I – Exemple de partage de capacité de protection en commutation de protection partagée entre mailles 17	
Appendice II – Exemple d'application de la protection doublée en mode paquet 20	
II.1	Double envoi et mécanisme de sélection 21
II.2	Analyse du système de protection doublée en mode paquet 22
Appendice III – Bibliographie 28	

Recommandation UIT-T Y.1720

Commutation de protection pour les réseaux MPLS

1 Domaine d'application

La présente Recommandation indique les prescriptions et les mécanismes relatifs aux fonctionnalités de commutation de protection doublée (1+1), alternée (1:1), partagée entre mailles et 1+1 en mode paquet dans le plan utilisateur pour les réseaux à commutation multiprotocole avec étiquette (MPLS, *multiprotocol label switched*). Le mécanisme défini ici est conçu pour la prise en charge de chemins commutés avec étiquettes (LSP, *label switched path*) point à point de bout en bout. La fonctionnalité de commutation de protection concernant les conduits LSP multipoint à point ou point à multipoint appelle un complément d'étude, de même que la commutation de protection multi-alternée (m:n). La commutation de protection transparente n'est pas abordée dans cette version de la présente Recommandation.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations 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. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document en tant que tel le statut d'une Recommandation.

- [1] Recommandation UIT-T Y.1710 (2002), *Prescriptions relatives à la fonctionnalité d'exploitation et de maintenance pour les réseaux MPLS*.
- [2] Recommandation UIT-T Y.1711 (2002), *Mécanisme d'exploitation et de maintenance pour les réseaux MPLS*.
- [3] Recommandation UIT-T G.805 (1995), *Architecture fonctionnelle générique des réseaux de transport*.

NOTE – L'architecture définie dans la Rec. UIT-T G.805 est soumise à des restrictions d'application. Elle n'est pas applicable aux conduits LSP multipoint à point utilisant le protocole LDP ni au cas où l'avant-dernier saut produit (PHP, *penultimate hop popping*) intervient à la sortie ne prenant pas en charge le plan des données de commutation MPLS.

- [4] Recommandation UIT-T G.841 (1998), *Types et caractéristiques des architectures de protection des réseaux à hiérarchie numérique synchrone*.
- [5] Recommandation UIT-T I.630 (1999), *Commutation de protection ATM*.
- [6] Recommandation UIT-T M.495 (1988), *Rétablissement de transmission et diversité de routage de transmission: terminologie et principes généraux*.
- [7] Recommandation UIT-T M.20 (1992), *Philosophie de maintenance pour les réseaux de télécommunication*.
- [8] IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture, Category: Standards Track*.
- [9] IETF RFC 3032 (2001), *MPLS Label Stack Encoding, Category: Standards Track*.

3 Définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 protection 1+1 (doublée): mécanisme de protection permettant de dupliquer le trafic dans le conduit de protection (ponté en permanence). Le routeur à commutation par étiquette (LSR) qui permet de regrouper les deux conduits assure la commutation du trafic entre le conduit en service et le conduit de protection.

3.2 protection 1:1 (alternée): mécanisme de protection permettant de n'écouler de trafic que dans le conduit en service ou que dans le conduit de protection. Le routeur LSR qui permet de passer d'un conduit à l'autre assure la commutation du trafic entre le conduit en service et le conduit de protection.

3.3 protection partagée entre mailles: on peut considérer la protection partagée entre mailles comme une évolution de la protection alternée. Elle offre le partage de la largeur de bande entre les conduits LSP de protection correspondant aux conduits LSP en service qui appartiennent aux liaisons, nœuds ou groupes SRG disjoints.

3.4 groupe à risques partagés (SRG, *shared risk group*): groupe de liaisons ou de nœuds pouvant s'interrompre simultanément en raison d'un seul incident de défaillance. Les fibres d'une canalisation, par exemple, font partie d'un groupe SRG étant donné qu'une rupture de canalisation peut produire la rupture de toutes les fibres qu'elle contient.

3.5 protection doublée en mode paquet: comme dans la protection 1+1, le trafic est acheminé dans les deux conduits LSP, mais cette protection permet de sélectionner le paquet entrant dans l'un ou dans l'autre des conduits LSP, indépendamment du conduit duquel provient le dernier paquet. Autrement dit, la protection doublée en mode paquet considère que les deux conduits sont actifs au lieu qu'un des conduits soit le conduit actif et l'autre le conduit de protection.

3.6 commutation de protection bilatérale: architecture de commutation de protection dans laquelle une panne unilatérale déclenche une commutation de protection dans les deux sens du chemin commuté par étiquette (LSP), à savoir dans le sens affecté et dans le sens non affecté.

3.7 pont: action ou fonction consistant à transmettre un trafic identique à la fois dans le conduit LSP en service et dans le conduit LSP de protection.

3.8 dérangement: interruption de la capacité d'un conduit LSP à transférer des informations d'utilisateur ou OAM (voir Note 1).

3.9 trafic supplémentaire: trafic volontairement placé dans la même ressource de couche réseau qu'un conduit LSP de protection (mais dans un conduit LSP distinct, parallèle au conduit LSP de protection), étant donné qu'en cas de défaillance de la connexion en service, ce trafic (supplémentaire) sera déconnecté pour faire place au trafic protégé en provenance de ladite connexion défaillante.

3.10 défaillance: interruption permanente de la capacité d'un conduit LSP à transférer des informations d'utilisateur ou OAM. Une défaillance peut être causée par un dérangement persistant (voir Note 1).

3.11 commutation forcée pour le conduit LSP en service: commutation déclenchée par un opérateur. Cette commutation est exécutée sauf si une demande de commutation de priorité plus élevée (verrouillage de la protection (LoP), par exemple) est en cours de traitement.

3.12 temps d'attente: durée qui s'écoule entre la déclaration d'une dégradation du signal ou d'une panne de signal (SF) et l'initialisation de l'algorithme de commutation de protection.

3.13 commutation manuelle: commutation déclenchée par un opérateur. Cette commutation est exécutée sauf si une demande de commutation de priorité égale ou supérieure (verrouillage de la

protection (LoP), commutation forcée (FS), panne de signal (SF) ou commutation manuelle (MS)) est en cours de traitement.

3.14 domaine de protection MPLS: ensemble des routeurs LSR utilisés pour le routage d'un conduit en service et de son conduit de protection correspondant.

3.15 commutation de protection irréversible: commutation de protection dans laquelle il n'y a pas d'action d'inversion (commutation permettant de revenir dans le conduit LSP en service) après réparation du conduit LSP en service.

3.16 non-requête: état durant lequel aucune demande de commutation de protection n'est présentée.

3.17 routeur LSR de commutation de conduit: routeur LSR ayant pour fonction de commuter ou de reproduire le trafic entre le conduit LSP en service et le conduit LSP de protection.

3.18 routeur LSR d'intégration de conduits: routeur LSR ayant pour fonction de réceptionner le trafic du conduit de protection et de l'intégrer au trafic du conduit en service ou, si ce trafic lui était destiné, de le transmettre aux protocoles des couches supérieures.

3.19 conduit LSP de protection: conduit LSP situé à l'intérieur du domaine de protection en provenance duquel le trafic actif est reçu dans le puits du domaine de protection où un conduit LSP en service est en dérangement.

3.20 commutation de protection: mécanisme de rétablissement dans lequel le conduit LSP de protection ou des segments de ce conduit sont créés avant la détection d'un dérangement dans le conduit en service, c'est-à-dire dans lequel le conduit LSP de protection est précalculé et préétabli et où sa capacité est préassignée.

3.21 reroutage: mécanisme de rétablissement dans lequel le conduit utilisé pour cette opération ou des segments de ce conduit sont créés dynamiquement après la détection d'un dérangement dans le conduit en service. En d'autres termes, il s'agit d'un mécanisme de rétablissement dans lequel le conduit utilisé pour cette opération n'est pas préétabli.

3.22 commutation de protection réversible: méthode de commutation de protection dans laquelle une action réversible (commutation avec retour au conduit LSP en service) est prise après que le conduit LSP en service a été réparé.

3.23 sélecteur: commutateur à deux positions (réception/émission) permettant de recevoir le trafic en provenance du conduit LSP en service ou du conduit LSP de protection au niveau du puits du domaine de protection, ou d'acheminer le trafic à destination du conduit LSP en service ou du conduit LSP de protection au niveau de la source du domaine de protection.

3.24 source du domaine de protection: extrémité d'émission (entrée) d'un routeur LSR de commutation de conduit du domaine de protection.

3.25 puits (ou collecteur) du domaine de protection: extrémité de réception (sortie) d'un routeur LSR d'intégration de conduits du domaine de protection.

3.26 entité de transport: composante architecturale qui transfère les informations entre ses entrées et ses sorties dans un réseau en couches (voir Note 2). Un conduit LSP fait office d'entité de transport dans un réseau MPLS.

3.27 commutation de protection unidirectionnelle: architecture de commutation de protection dans laquelle une panne unidirectionnelle (c'est-à-dire une panne affectant un seul sens de transmission) déclenche une commutation de protection dans le sens uniquement affecté (du conduit LSP).

3.28 attente de rétablissement: commande à déclenchement automatique émise lorsque le conduit LSP en service sort de l'état SF (panne de signal). Cette commande sert à maintenir cet état

jusqu'à ce que la temporisation d'attente de rétablissement expire, à moins qu'elle ne soit préemptée par une demande de dérivation de priorité supérieure.

3.29 temporisateur de rétablissement: temporisation configurable servant à retarder l'inversion.

3.30 conduit LSP en service: conduit LSP situé à l'intérieur du domaine de protection à partir duquel le trafic actif est reçu au niveau du puits du domaine de protection en l'absence de panne dans le mode réversible.

NOTE 1 – La Rec. UIT-T M.20 contient une définition plus générale et détaillée.

NOTE 2 – La Rec. UIT-T G.805 contient une définition plus générale et détaillée.

4 Symboles et abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

APS	commutateur de protection automatique (<i>automatic protection switching</i>)
BDI	indication de dérangement vers l'arrière (<i>backward defect indication</i>)
FDI	indication de dérangement vers l'avant (<i>forward defect indication</i>)
FS	commutation forcée (<i>forced switch</i>)
LDP	protocole de distribution avec étiquette (<i>label distribution protocol</i>)
LOCV	vérification de perte de connexité (<i>loss of connectivity verification</i>)
LoP	verrouillage du mécanisme de protection (<i>lockout of protection</i>)
LSP	chemin commuté avec étiquette (<i>label switched path</i>)
LSR	routeur à commutation par étiquette (<i>label switch router</i>)
MPLS	commutation multiprotocole avec étiquette (<i>multiprotocol label switching</i>)
MS	commutation manuelle (<i>manual switch</i>)
OAM	gestion, exploitation et maintenance (<i>operation, administration et maintenance</i>)
Paquet CV	paquet de vérification de connexité (<i>connectivity verification packet</i>)
Paquet FFD	paquet de détection rapide de défaillance (<i>fast failure detection packet</i>)
PHP	avant-dernier saut produit (<i>penultimate hop popping</i>)
PML	routeur LSR d'intégration de conduits (<i>path merge LSR</i>)
PS	basculement de protection (<i>protection switching</i>)
PSL	routeur LSR de commutation de conduit (<i>path switch LSR</i>)
SDH	hiérarchie numérique synchrone (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SF	défaillance du signal (<i>signal fail</i>)
SLA	convention sur le niveau de service (<i>service level agreement</i>)
TTSI	identificateur de source de chemin (<i>trail termination source identificateur</i>)

5 Prescriptions

Les techniques permettant d'améliorer la fiabilité de fonctionnement d'un réseau en le dotant d'une capacité de retour à l'exploitation normale après une interruption du service (due à des dérangements, par exemple) sont qualifiées de techniques de capacité de survie. Ces techniques comprennent la commutation de protection et le reroutage. Dans la présente Recommandation, qui

visé à définir les techniques de commutation de protection, la différence entre commutation de protection et reroutage est censée résider en ce qui suit:

- commutation de protection: cette forme de commutation suppose que le routage soit déterminé d'avance et que les ressources soient préalablement attribuées à un conduit LSP de protection spécialisé avant que la défaillance se produise. La commutation de protection offre donc une bonne assurance que les ressources de réseau voulues pourront être récupérées après la défaillance;
- reroutage: le reroutage suppose qu'aucun conduit LSP de protection spécialisé ne soit défini et donc que le routage ne soit pas déterminé d'avance et que les ressources ne soient pas non plus attribuées avant que la défaillance se produise. Le reroutage est communément utilisé dans des situations mettant en œuvre des fonctions de routage et de signalisation et dans lesquelles toute "demande de rétablissement de la connexion" soumise à la suite de la défaillance (à l'instigation du réseau ou de l'utilisateur) sera comparée à d'autres types de demande de trafic analogues aux fins de l'obtention de la ressource voulue. Le reroutage n'offre donc aucune garantie que les ressources de réseau voulues pourront être récupérées après la défaillance; en outre, le reroutage est généralement plus lent que la commutation de protection.

La commutation de protection, qui est nécessaire pour assurer un retour rapide à l'exploitation normale après une défaillance, améliore du même coup la fiabilité et la disponibilité de fonctionnement des réseaux MPLS. La commutation de protection doit répondre aux caractéristiques suivantes:

- 1) elle doit être appliquée sur toute la longueur d'un conduit LSP;
- 2) elle doit assurer la protection entre "défaillances du signal" (signaux SF) et "requêtes de commutation manuelle" selon l'ordre de priorité indiqué dans le Tableau 1;
- 3) elle doit permettre d'assurer une protection au niveau de la couche MPLS le plus rapidement possible (sous réserve de la résolution temporelle du mécanisme de détection des dérangements);
- 4) elle doit offrir un coefficient de protection de 100%, de telle sorte que 100% du trafic actif dégradé soit protégé contre une panne affectant un conduit LSP en service;
- 5) elle doit permettre, lorsque cela est possible, la prise en charge d'une capacité de trafic supplémentaire.

6 Principes

La commutation de protection est un mécanisme de protection entièrement déterministe qui est utilisable dans toute topologie. Il est entièrement déterministe dans le sens où le trajet et la largeur de bande du conduit LSP de protection sont réservés pour un conduit LSP en service sélectionné. Toutefois, pour être efficace dans tous les cas de figure possibles de défaillance du conduit LSP en service, le conduit LSP de protection doit être censé appliquer une séparation physique complète dans tous les modes de défaillance courants. Outre qu'elle ne pourra peut-être pas toujours être appliquée, une telle séparation peut également astreindre le conduit LSP en service à ne pas suivre son itinéraire le plus court.

L'architecture de commutation de protection MPLS peut être de type doublée, alternée, partagée entre mailles ou doublée en mode paquet. D'autres types d'architecture feront l'objet d'un complément d'étude.

Dans une architecture de type 1+1, un conduit LSP de protection est affecté à chaque conduit LSP en service, ce dernier étant ponté sur le conduit LSP de protection à la source du domaine de protection. Le trafic dans les conduits LSP en service et de protection est transmis simultanément vers le collecteur du domaine de protection où une sélection entre conduit LSP en service et conduit

LSP de protection est opérée sur la base de critères prédéterminés, comme une indication de dérangement.

Dans une architecture de type 1:1, un conduit LSP de protection est affecté à chaque conduit LSP en service. Le trafic actif est transmis par le conduit LSP en service ou par le conduit LSP de protection. Le choix de l'un ou de l'autre sera fonction du mécanisme de protection utilisé. Le conduit LSP de protection peut être utilisé pour véhiculer le "trafic supplémentaire" lorsqu'il n'est pas utilisé pour transmettre le trafic actif.

Avec l'architecture de type partagée entre mailles, on obtient le partage de la capacité de protection entre des liaisons, nœuds ou groupes SRG interrompus par disjonction dans le réseau tout en garantissant le rétablissement après une défaillance isolée. Pour chaque liaison du réseau, cette capacité suit les trajets actifs dont le trafic sera commuté vers elle après une défaillance donnée, ce qui lui permet de réserver simplement le maximum de capacité de protection requise afin de protéger d'une défaillance isolée dans le réseau.

Dans l'architecture de type doublée en mode paquet, le trafic est transmis simultanément sur deux conduits LSP éventuellement disjoints jusqu'au puits du domaine de protection. A chaque paire de paquets transmis en double est attribué le même identificateur (numéro de séquence) qui est toutefois différent de celui des autres paires de paquets transmis en double. Au niveau du puits du domaine de protection, on utilise un mécanisme de sélection pour choisir une des deux copies de chaque paquet éventuellement reçues. Les principes applicables aux architectures et aux mécanismes de protection par commutation MPLS sont énumérés ci-dessous:

- 1) aucun dérangement dans les couches situées au-dessus de la couche MPLS ne doit déclencher la commutation de protection au niveau de la couche serveuse. Par exemple, dans une architecture ATM utilisant la commutation MPLS, un dérangement dans la couche ATM ne doit pas déclencher la commutation de protection dans la couche MPLS;
- 2) en général, si les mécanismes de protection de couche inférieure (par exemple hiérarchie SDH ou optique) sont utilisés en association avec les mécanismes de protection MPLS, il faut offrir aux couches inférieures la possibilité de rétablir le trafic avant que la couche MPLS déclenche les actions de protection (par exemple en appliquant une temporisation de verrouillage). L'objectif est ici d'éviter de déclencher inutilement la commutation de protection dans différentes couches de réseau;
- 3) les actions de commutation de protection dans un domaine de protection ne doivent pas affecter le fonctionnement, les performances et la commutation de protection du réseau dans les autres domaines;
- 4) le mécanisme de commutation de protection doit favoriser le rétablissement rapide du trafic actif afin de minimiser les pannes du réseau. En principe, le rétablissement doit intervenir avant que le seuil d'entrée dans l'état d'indisponibilité soit atteint.

7 Mécanismes

Le présent paragraphe décrit les mécanismes de commutation de protection unilatérale et bilatérale.

7.1 Commutation de protection unilatérale

7.1.1 Architectures d'application

7.1.1.1 Architecture d'application de la commutation de protection unilatérale 1+1

L'architecture de commutation de protection linéaire 1+1 est représentée à la Figure 1. En cas d'utilisation de la commutation de protection unilatérale définie ici, la commutation de protection est mise en œuvre par le sélecteur situé dans le puits du domaine de protection sur la base d'informations purement locales (c'est-à-dire situées dans le puits de protection). Le trafic actif est ponté en permanence sur les conduits LSP en service et de protection au niveau de la source du

domaine de protection. Si des paquets de vérification de connexité (CV), des paquets de détection rapide de défaillance (FFD) ou d'autres paquets de contrôle de continuité sont utilisés pour détecter des dérangements du conduit LSP en service ou du conduit LSP de protection, ces paquets sont insérés dans la source du domaine de protection de chacun desdits conduits, puis détectés et extraits au niveau du puits du domaine de protection. Il est à noter que ces paquets doivent être envoyés indépendamment du fait que le conduit LSP est sélectionné ou non par le sélecteur.

Par exemple, si un dérangement unilatéral (dans le sens de transmission routeur PSL vers routeur PML) se produit dans le conduit LSP en service, comme indiqué sur la Figure 2, ce dérangement sera détecté au niveau du puits du domaine de protection du routeur PML et le sélecteur de ce routeur déclenchera la commutation vers le conduit LSP de protection.

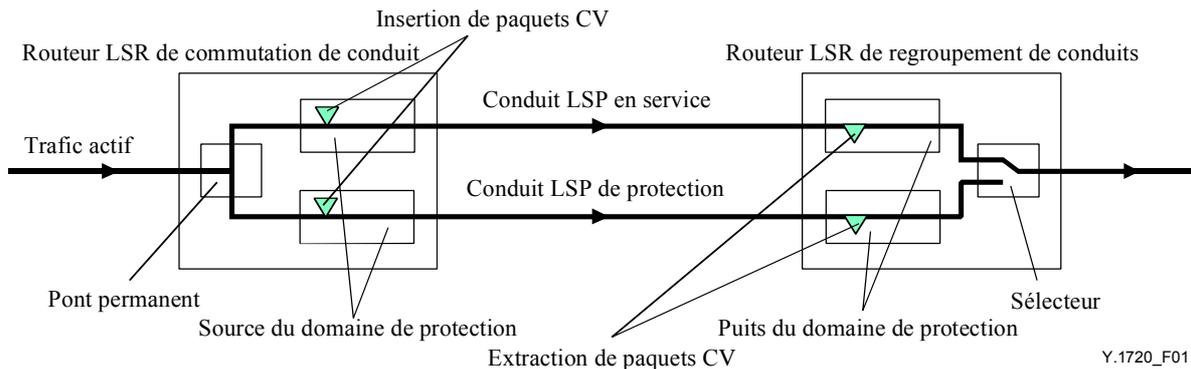


Figure 1/Y.1720 – Architecture de commutation de protection unilatérale 1+1

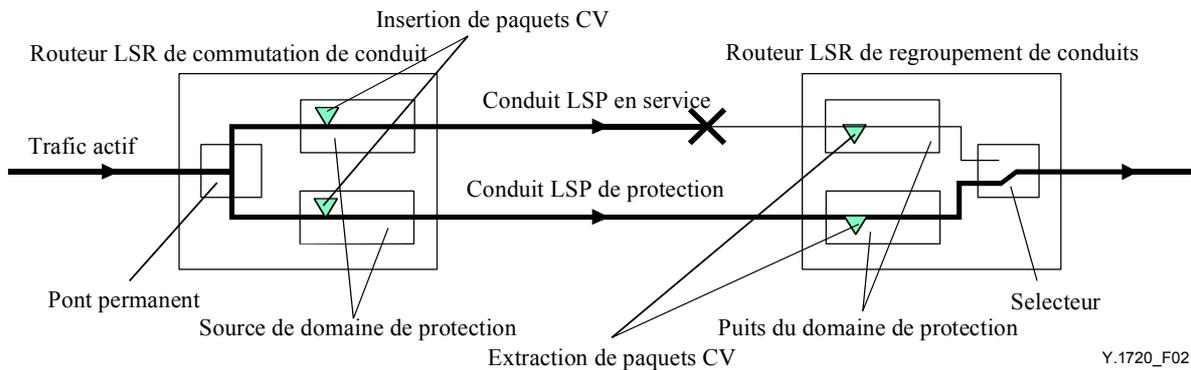


Figure 2/Y.1720 – Architecture de commutation de protection unilatérale 1+1 – panne du conduit LSP en service

7.1.1.2 Architecture d'application de la commutation de protection unilatérale 1:1

L'architecture de commutation de protection linéaire 1:1 est représentée sur la Figure 3. En cas d'utilisation de la commutation de protection unilatérale décrite ici, la commutation de protection est mise en œuvre par le sélecteur au niveau de la source du domaine de protection sur la base d'informations purement locales (c'est-à-dire situées au niveau de la source de protection). Le trafic actif et le trafic de protection sont regroupés en permanence au niveau du puits du domaine de protection.

Si des paquets de vérification de connexité (CV), des paquets de détection rapide de défaillance (FFD) ou d'autres paquets de contrôle de continuité sont utilisés pour détecter des dérangements du conduit LSP en service ou du conduit LSP de protection, ces paquets sont insérés au niveau de la source du domaine de protection desdits conduits, puis détectés et extraits au niveau du puits du

domaine de protection. Il est à noter que ces paquets doivent être envoyés indépendamment du fait que le conduit LSP soit sélectionné ou non par le sélecteur.

Par exemple, si un dérangement unilatéral (dans le sens de transmission routeur PSL vers routeur PML) se produit dans le conduit LSP en service, comme indiqué sur la Figure 4, ce dérangement est détecté au niveau du puits du domaine de protection du routeur PML, puis signalé par l'indication BDI à la source du domaine de protection du routeur PSL. Le sélecteur de ce dernier assure la commutation sur le conduit LSP de protection dès réception du rapport signalant ce dérangement.

NOTE – La commutation de protection 1:1 n'assure aucune protection contre un dérangement d'TTSI_Mismerge (erreur d'association d'identificateurs de source de chemin).

Lorsqu'une panne de signal (SF) dans le conduit LSP en service est déclarée et que le trafic de l'utilisateur est transmis par le conduit LSP de protection, les paquets d'indications FDI et le trafic de l'utilisateur peuvent se regrouper au niveau du collecteur du domaine de protection. Les nœuds situés en aval peuvent recevoir simultanément des paquets d'indications FDI, des paquets CV ou des paquets de détection FFD et le trafic de l'utilisateur. Il en va de même si une panne de signal (SF) dans le conduit LSP de protection est déclarée. Un moyen de résoudre ce problème consiste à utiliser un sélecteur d'intégration. En présence d'un dérangement au niveau du conduit LSP en service, ce sélecteur assure les opérations suivantes:

- 1) réception de paquets d'indications FDI ou détection d'un dérangement de couche inférieure à la sortie du conduit LSP en service;
- 2) commutation du sélecteur d'intégration à la sortie (c'est-à-dire ouverture du commutateur dans le conduit LSP en service et fermeture du commutateur dans le conduit LSP de protection);
- 3) transmission de paquets BDI dans le conduit LSP en service;
- 4) commutation du sélecteur à l'entrée (c'est-à-dire dans le sens du conduit LSP en service vers le conduit LSP de protection, et coupure du trafic supplémentaire).

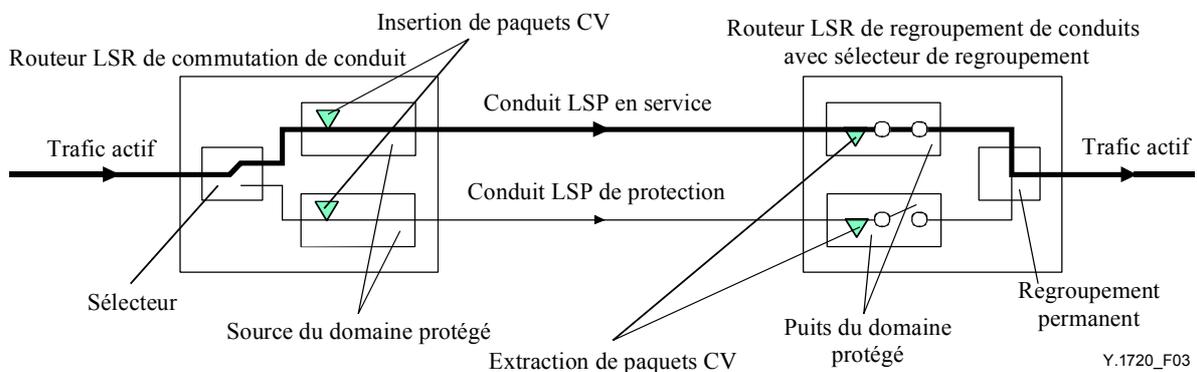


Figure 3/Y.1720 – Architecture de commutation de protection unilatérale 1:1

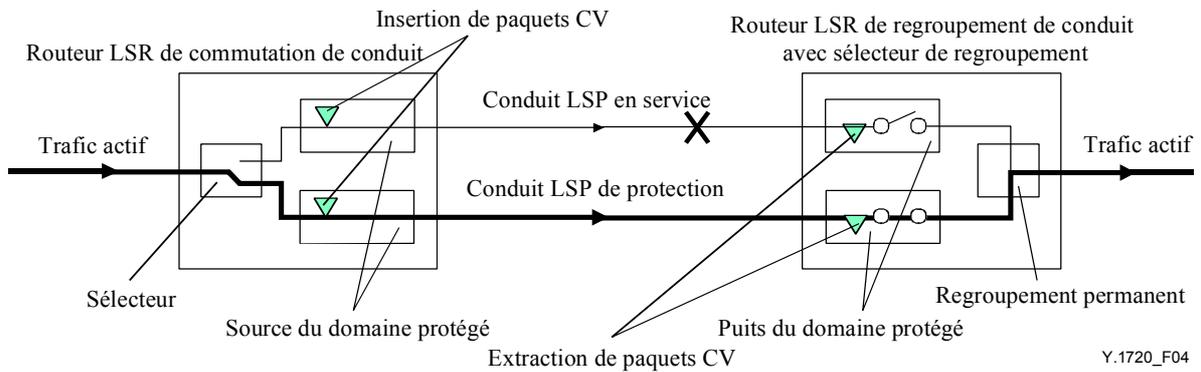


Figure 4/Y.1720 – Architecture de commutation de protection unilatérale 1:1 – panne du conduit LSP en service

Trafic supplémentaire

L'architecture 1:1 permet la prise en charge du trafic supplémentaire. Comme le trafic provenant du conduit LSP en service et le trafic provenant du conduit LSP de protection sont regroupés au niveau du collecteur du domaine de protection, le trafic supplémentaire doit être acheminé via un conduit LSP distinct empruntant le même itinéraire physique que le conduit LSP de protection (voir la Figure 5) afin d'éviter que le trafic supplémentaire et le trafic actif soient regroupés, ce qui les obligerait à se partager la même largeur de bande. Au moment où le trafic actif est commuté sur le conduit LSP de protection, le trafic supplémentaire est déconnecté pour laisser place au trafic protégé provenant de la connexion active en dérangement (voir la Figure 6). Cette opération exige généralement un protocole de coordination de la commutation de protection. Dans la présente Recommandation, l'indication BDI fait office de protocole à une phase (voir aussi la Rec. UIT-T I.630). La vérification de la connexité d'un conduit LSP acheminant le trafic supplémentaire est facultative. Si la déconnexion du trafic supplémentaire doit être notifiée, il convient de procéder à la vérification de la connexité.

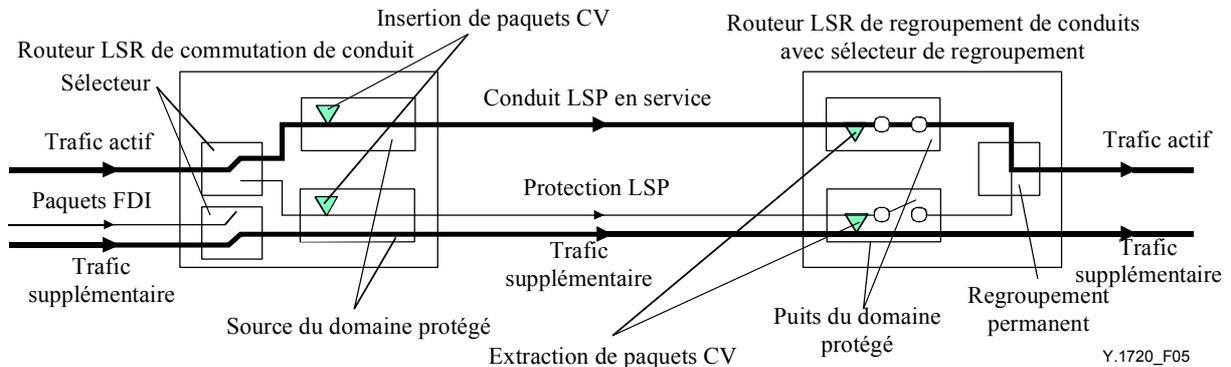


Figure 5/Y.1720 – Architecture 1:1 avec trafic supplémentaire

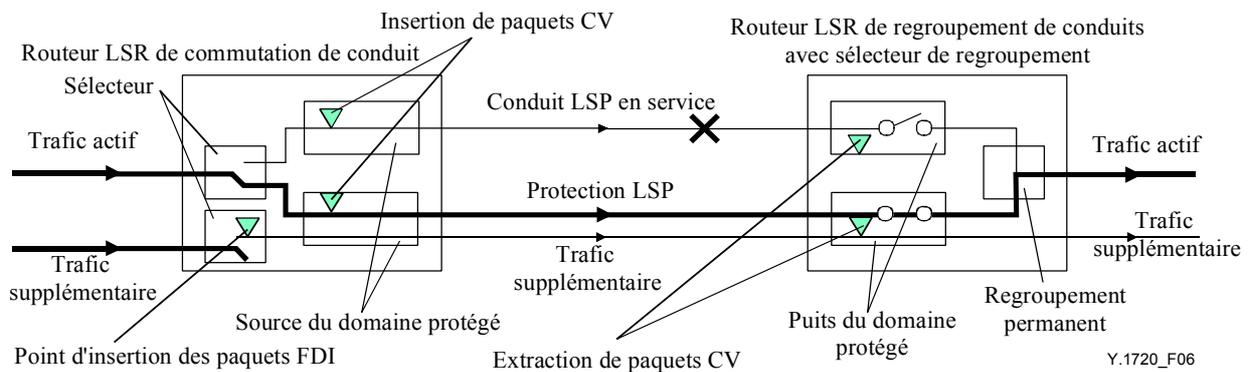


Figure 6/Y.1720 – Architecture 1:1 avec trafic supplémentaire – panne du conduit LSP en service

7.1.1.3 Architecture d'application de la commutation de protection partagée entre mailles unilatérale

On peut considérer la commutation de protection partagée entre mailles comme une évolution de la protection 1:1. Elle nécessite toutes les fonctionnalités pour assurer la protection 1:1 ainsi qu'une fonctionnalité additionnelle pour réaliser le partage de la largeur de bande en cas de défaillance par disjonction de liaisons, de nœuds ou de groupes à risques partagés (SRG).

Prescriptions de fonctionnement

Les prescriptions de fonctionnement nécessaires pour réaliser en temps réel un système de protection partagée entre mailles sont les suivantes:

- 1) la commutation de protection partagée entre mailles doit pouvoir partager la possibilité de protection en fonction des défaillances de liaison, de nœud ou de groupe SRG dans le réseau tout en garantissant le rétablissement après une panne isolée;
- 2) la commutation de protection partagée entre mailles doit pouvoir réserver (mettre de côté) la capacité de protection nécessaire pour chaque liaison sans l'attribuer à un quelconque conduit LSP;
- 3) la commutation de protection partagée entre mailles doit pouvoir détecter les défaillances aux nœuds d'extrémité (entrée et sortie) et les notifier à ces nœuds;
- 4) la commutation de protection partagée entre mailles doit pouvoir attribuer de la capacité de protection aux conduits LSP de protection au moment de la défaillance;
- 5) la commutation de protection partagée entre mailles doit pouvoir commuter l'alimentation du trafic à l'entrée et sélectionner le trafic à la sortie d'un conduit LSP actif vers un conduit LSP de protection et inversement;
- 6) la commutation de protection partagée entre mailles doit pouvoir assurer le rétablissement dans les limites de temps prescrites et être alignée sur les temps de rétablissement couramment utilisés;
- 7) la commutation de protection partagée entre mailles doit permettre une utilisation efficace de la largeur de bande de conduit LSP actif par des mesures telles que l'optimisation des routes et la corrélation entre la route d'un conduit actif et celle de son conduit de protection.

Architecture d'application

Le système de protection partagée entre mailles a pour but d'effectuer un rétablissement garanti tout en utilisant un minimum de largeur de bande de protection dans une topologie générale maillée. Il met en réserve une capacité de protection spéciale suffisante pour rétablir tout le trafic protégé après une éventuelle défaillance isolée dans le réseau. Pour chaque connexion active protégée, la capacité

de protection est attribuée au moment de l'activation. L'arrivée d'une demande d'établissement du service de protection partagée entre mailles entre deux nœuds déclenche le calcul d'une paire de trajets disjoints entre eux avec deux contraintes nécessaires. La première étant qu'il faut suffisamment de largeur de bande disponible le long du trajet pour donner suite au trafic demandeur, la seconde étant que soit la largeur de bande de protection réservée le long de la connexion de protection est suffisante pour garantir le rétablissement après toute défaillance isolée le long de la route principale, soit que la largeur de bande disponible le long de la connexion de protection est suffisante pour accepter la largeur de bande additionnelle nécessaire pour protéger la nouvelle connexion active. A noter que le partage est obtenu en cherchant toujours en premier lieu à accepter une nouvelle demande qui a déjà une capacité de protection attribuée. Cela peut se faire en conservant la trace, pour chaque liaison dans le réseau, de la quantité de capacité de rétablissement nécessaire au rétablissement après chaque défaillance de nœud ou de liaison dans le réseau. Par ailleurs, étant donné qu'il est généralement accepté et vérifié que la probabilité de défaillances multiples simultanées est faible quel que soit le réseau, le système a été conçu pour la protection contre toute défaillance isolée dans le réseau. La protection contre les défaillances multiples peut être réalisée au moyen d'une simple extension.

La commutation de protection et le mécanisme de déclenchement pour chaque conduit LSP actif sont analogues au système de protection 1:1. Un exemple de protection partagée entre mailles est montré à la Figure 7. La Figure 8 représente la protection du trafic après une défaillance spécifique.

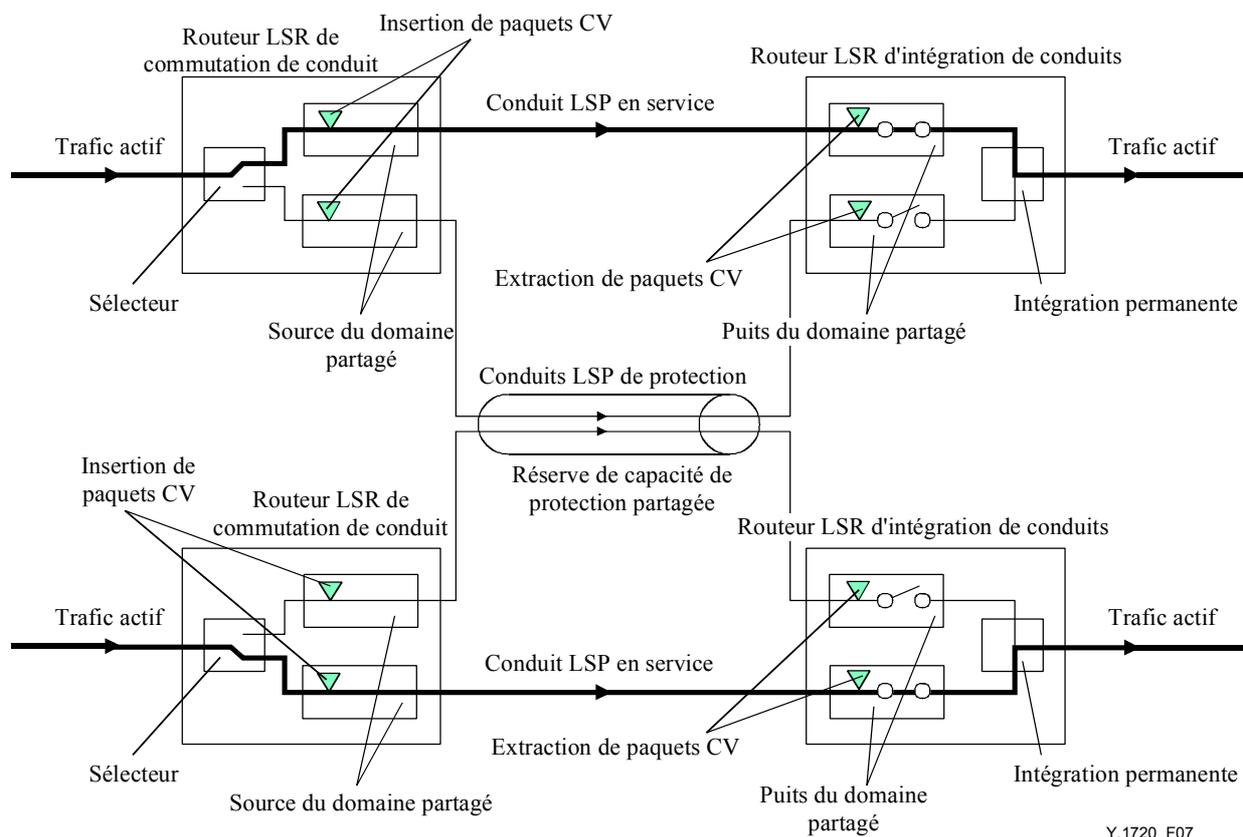
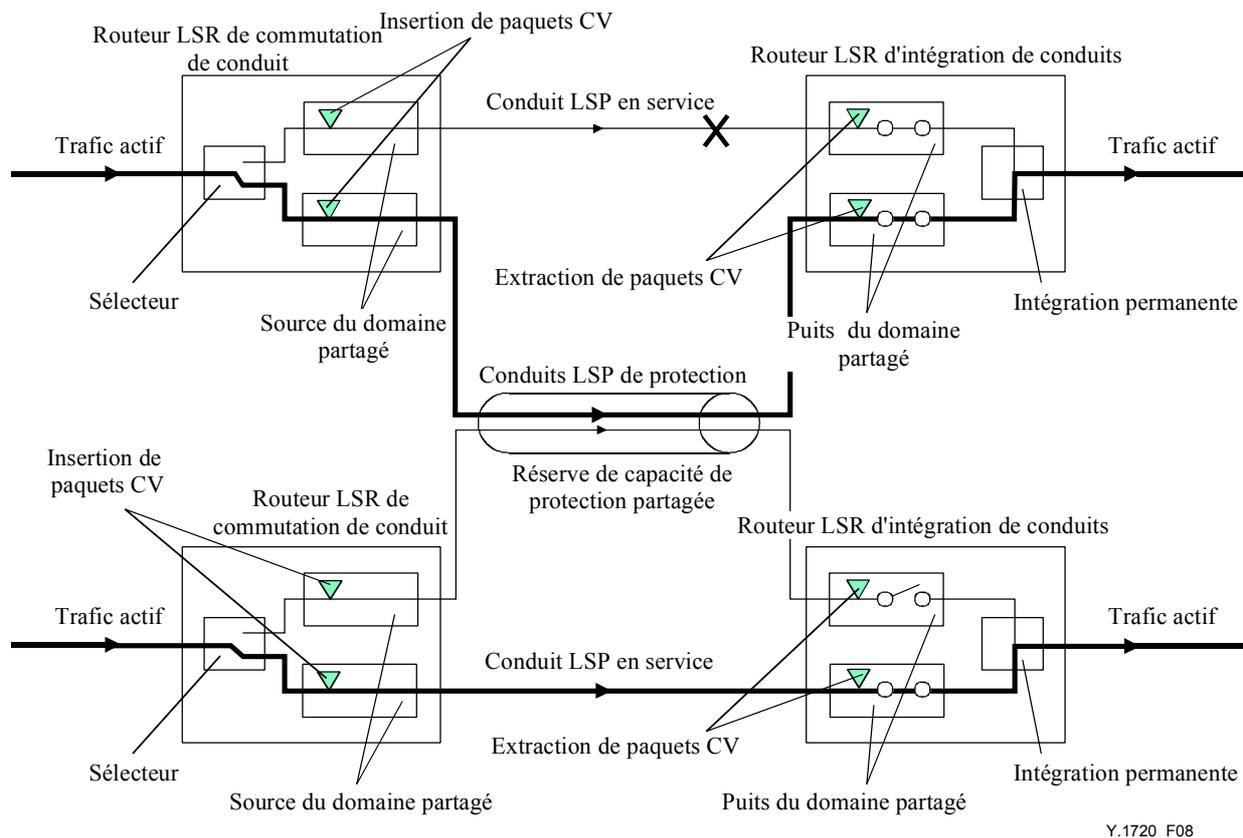


Figure 7/Y.1720 – Architecture de la commutation de protection partagée entre mailles unilatérale



Y.1720_F08

Figure 8/Y.1720 – Architecture de la commutation de protection partagée entre mailles unilatérale – défaillance isolée

7.1.1.4 Architecture d'application de la commutation de protection doublée en mode paquet unilatérale

La protection doublée en mode paquet du trajet offre un service de protection en mode paquet analogue à certains égards au classique service 1+1 en mode connexion avec toutefois plusieurs différences importantes. La protection 1+1 en mode paquet permet de sélectionner le paquet entrant dans n'importe quelle connexion, indépendamment de celle dans laquelle a été sélectionné le paquet précédent. Autrement dit, la protection doublée en mode paquet traite les deux connexions comme des connexions actives au lieu de considérer que l'une d'elles est la connexion active et l'autre la connexion de protection. Dans ce cas, les paquets sont prélevés dans la connexion active jusqu'à ce que la détection d'une défaillance dans cette connexion produise une commutation vers la connexion de protection. Par opposition, la protection doublée en mode paquet ne requiert pas la détection expresse de la défaillance et de la commutation de protection, ce qui lui permet un retour à la normale instantané et transparent après une défaillance. Comme dans la protection 1+1 en mode connexion, seuls les nœuds d'extrémité doivent être compatibles avec le service.

Pour assurer le service de protection doublée en mode paquet entre deux nœuds d'un réseau MPLS, on établit entre ceux-ci une paire de conduits LSP sur des trajets disjoints. Les paquets d'un flux provenant d'un client utilisant le service sont envoyés au niveau du nœud d'entrée dans les deux conduits LSP. Dans le cas le plus simple, les conduits disjoints peuvent l'être au niveau de la liaison ou du nœud mais ils vont généralement de pair avec une notion plus compliquée telle que des groupes de liaison de risques partagés. Au niveau du nœud de l'extrémité de sortie, un des deux exemplaires du paquet est sélectionné et envoyé à partir des deux copies possibles reçues, chacune traversant un conduit non consécutif. En raison de cela, toute défaillance isolée dans le réseau autre que le nœud d'entrée ou de sortie proprement dit peut affecter au maximum un exemplaire de chaque paquet. Cela permet au service de supporter une défaillance isolée de manière transparente.

En termes de temps de rétablissement, on peut considérer qu'il s'agit d'un rétablissement instantané après défaillance étant donné qu'il n'y a pas lieu de détecter, de notifier ni de commuter expressément vers une connexion de protection.

Prescriptions fonctionnelles

Les conditions minimales pour la fourniture de la protection doublée en mode paquet sont les suivantes:

- a) aucune nouvelle prescription n'est imposée concernant les nœuds intérieurs du réseau;
- b) le réseau doit accepter l'établissement de conduits LSP à routage en diversité;
- c) *le nœud d'entrée doit pouvoir:*
 - 1) associer les deux conduits LSP utilisés pour assurer la protection 1+1 en mode paquet entre deux nœuds d'extrémité;
 - 2) assurer l'acheminement d'un identificateur dans le paquet qui sera utilisé pour identifier les exemplaires en double d'un paquet dans le nœud de sortie;
 - 3) envoyer chaque paquet vers chacun des deux conduits LSP appariés.
- d) *le nœud de sortie doit pouvoir:*
 - 1) associer les deux conduits LSP utilisés pour assurer la protection 1+1 en mode paquet entre deux nœuds d'extrémité;
 - 2) reconnaître les deux exemplaires d'un paquet au moyen de l'identificateur;
 - 3) sélectionner et envoyer un, et seulement un, des deux exemplaires d'un paquet.

Les prescriptions énoncées ci-dessus constituent la fonctionnalité minimale nécessaire pour appliquer le système de protection 1+1 en mode paquet.

Modèle de référence

La Figure 9 représente une réalisation de la protection doublée en mode paquet utilisant des numéros de séquence en tant qu'identificateurs. Après passage dans le classificateur, chaque paquet qui doit être transmis dans les conduits LSP appariés reçoit au nœud d'entrée un numéro de séquence distinct. Ce paquet, avec son identification propre, est ensuite copié et envoyé dans les deux conduits LSP disjoints. Au niveau du nœud de sortie, on utilise un compteur pour conserver la trace du numéro de séquence escompté du paquet suivant. Les détails d'un exemple de réalisation sont proposés en appendice.

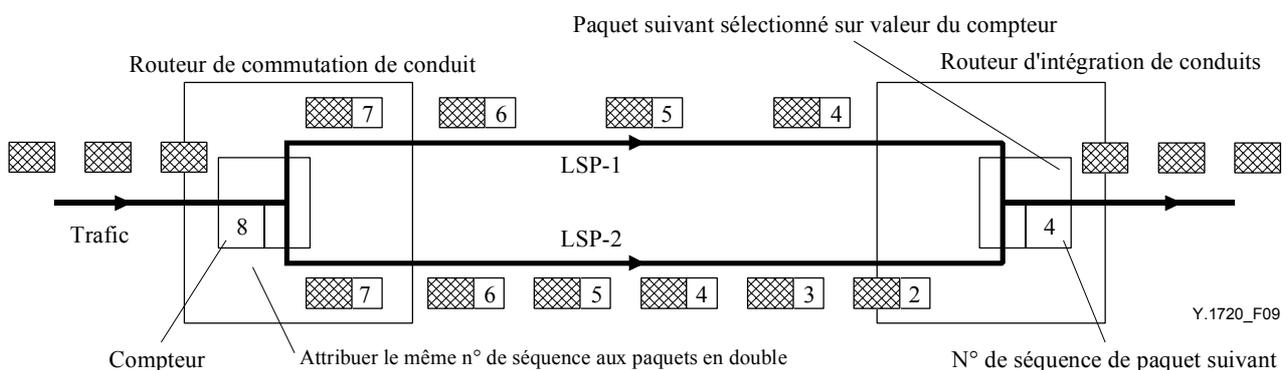


Figure 9/Y.1720 – Architecture d'application de la commutation de protection doublée en mode paquet unilatérale

7.1.2 Mécanisme de déclenchement de la commutation de protection

L'action de commutation de protection doit intervenir:

- 1) lorsqu'elle est déclenchée par une commande de l'opérateur (commutation manuelle, commutation forcée ou verrouillage de la protection, par exemple) en l'absence de toute demande de commutation de priorité supérieure;
- 2) lorsqu'une panne de signal est déclarée dans le conduit LSP connecté (conduit LSP en service ou conduit LSP de protection), mais pas dans l'autre conduit LSP alors que la temporisation de verrouillage a pris fin;
- 3) lorsque la temporisation d'attente de rétablissement expire (mode réversible) sans qu'aucune panne de signal soit déclarée dans le conduit LSP en service.

7.1.2.1 Commande manuelle

La commande manuelle de la fonction de commutation de protection peut être transférée depuis le système d'exploitation.

7.1.2.2 Conditions de déclaration d'une panne de signal

7.1.2.2.1 Architecture 1+1

Dans une architecture 1+1, une panne de signal est déclarée au moment où le puits du domaine de protection passe à l'état de dérangement à l'extrémité proche collecteur de chemin de conduit LSP en cas de situation dServer, dLOCV, dTTSI_Mismatch, dTTSI_Mismerge, dExcess, ou dUnknown.

Afin d'obtenir la protection rapide (les conditions d'obtention de cette protection sont à l'étude), une panne de signal peut être déclarée au moment où un paquet FDI est reçu par le puits du domaine de protection avant qu'il ne passe à d'autres situations de dérangement (dLOCV, par exemple). On obtient ainsi une protection rapide contre les dérangements qui prennent leur source dans des couches inférieures à la couche MPLS (ce qui exige que l'indication FDI entrante ait pour séquence codée de type de dérangement: DT 0x0101).

Par ailleurs, on peut utiliser la fonction FDD pour obtenir une déclaration plus rapide de la situation de panne de signal.

NOTE – Le recours à la protection rapide ne s'impose que si la couche inférieure n'est pas protégée. Si cette couche est également protégée, le recours à cette protection peut entraîner une commutation de protection inutile du fait que la panne de signal est déclarée à la réception de paquets d'indications FDI.

Si la fonction CV ou FFD n'est pas activée, une panne de signal est déclarée au moment où un paquet FDI est reçu par le collecteur du domaine de protection. Cela ne s'applique qu'aux dérangements qui prennent leur source dans des couches inférieures à la couche MPLS (ce qui exige que l'indication FDI entrante ait pour séquence codée de type de dérangement DT 0x0101).

7.1.2.2.2 Architecture 1:1

Dans une architecture 1:1, une panne de signal (SF) est déclarée lorsque:

- la source du domaine de protection passe à l'état de dérangement à l'extrémité distante du puits de chemin à la réception d'un paquet BDI (provenant du conduit LSP de voie de retour ou d'une source située en dehors de la bande).

7.1.2.2.3 Architecture partagée entre mailles

Cette architecture est une évolution de l'architecture 1:1. La panne de signal est déclarée comme dans l'architecture 1:1.

NOTE – La protection contre les dérangements de conduit LSP bilatéral appelle un complément d'étude.

7.1.3 Compatibilité avec les objectifs de réseau

Les objectifs de réseau suivants s'appliquent:

1) *Modes opératoires*

La commutation réversible et la commutation irréversible sont assurées.

2) *Commande manuelle*

Les commandes d'opérateur par verrouillage de la protection, commutation forcée et commutation manuelle sont acceptées.

3) *Autres critères de déclenchement de la commutation*

Outre les commandes manuelles précitées, les indications de panne de signal, d'attente de rétablissement et de non-requête sont prises en charge en tant que critères de déclenchement (ou d'empêchement) d'une commutation de protection.

7.1.4 Critères de déclenchement de la commutation

Les critères de déclenchement de la commutation de protection sont les suivants:

- 1) commande à déclenchement externe (annulation, verrouillage de la protection, commutation forcée, commutation manuelle);
- 2) commande à déclenchement automatique (panne de signal) associée à un domaine de protection;
- 3) état ("attente de rétablissement", "non-requête") de la fonction commutation de protection.

Toutes les requêtes sont locales (c'est-à-dire au niveau du puits de protection pour l'architecture 1+1 et au niveau de la source de protection pour l'architecture 1:1). L'ordre de priorité des requêtes locales est donné dans le Tableau 1.

Tableau 1/Y.1720 – Priorité des requêtes locales

Requête locale (c'est-à-dire commande ou état déclenché automatiquement ou bien commande à déclenchement externe)	Ordre de priorité
Annulation	Priorité la plus élevée
Verrouillage de la protection	
Commutation forcée	
Panne de signal	
Commutation manuelle	
Attente de rétablissement	
Non-requête	Priorité la moins élevée

NOTE 1 – Une panne de signal dans le conduit LSP de protection n'a pas priorité sur une commutation forcée concernant le conduit LSP en service. Etant donné que la commutation de protection unilatérale est en cours d'exécution et qu'aucun protocole APS n'est pris en charge dans le conduit LSP de protection, la panne de signal dans le conduit LSP de protection n'interfère pas avec la capacité à exécuter une commutation forcée concernant le conduit LSP en service.

NOTE 2 – La commutation forcée concernant un conduit LSP de protection n'est pas définie car cette fonction peut être obtenue par désactivation de la commande de protection.

7.1.4.1 Commandes à déclenchement externe

La liste des commandes à déclenchement externe est donnée ci-après par ordre décroissant de priorité. La fonction de chaque commande est indiquée.

annulation: commande qui annule toutes les commandes de commutation déclenchées extérieurement et indiquées ci-dessous.

verrouillage de la protection (LoP, *lockout of protection*): commande qui positionne le sélecteur sur le conduit LSP en service. Empêche le sélecteur de se positionner sur le conduit LSP de protection lorsqu'elle va sélectionner le conduit LSP en service. Commute le sélecteur du conduit LSP de protection sur le conduit LSP en service lorsqu'elle va sélectionner le conduit LSP de protection.

commutation forcée (FS, *forced switch*) concernant le conduit LSP en service: cette commande commute le sélecteur du conduit LSP en service sur le conduit LSP de protection (à moins qu'une requête de commutation de priorité plus élevée (c'est-à-dire LoP) ne soit en cours de traitement).

commutation manuelle (MS, *manual switch*) concernant le conduit LSP en service: cette commande commute le sélecteur du conduit LSP en service sur le conduit LSP de protection (à moins qu'une requête de commutation de priorité plus élevée (c'est-à-dire, LoP, FS, SF ou MS) ne soit en cours de traitement).

commutation manuelle concernant le conduit LSP de protection: cette commande commute le sélecteur du conduit LSP de protection sur le conduit LSP en service (à moins qu'une requête de commutation de priorité plus élevée (c'est-à-dire, LoP, FS, SF ou MS) ne soit en cours de traitement).

7.1.4.2 Commutation de protection déclenchée par une indication FDI

Si la commutation de protection est déclenchée par une indication FDI et si le conduit LSP qui subit une panne de signal ne passe jamais à un état de dérangement à l'extrémité proche, il peut être nécessaire d'empêcher des transitions fréquentes. Si de telles transitions se produisent, on pourra définir un laps de temps qui devra s'écouler avant toute nouvelle action de commutation de protection. Ce point appelle un complément d'étude.

7.1.4.3 Etats

L'état "attente de rétablissement" n'est applicable qu'au mode réversible et s'applique à un conduit LSP en service. La fonction de commutation de protection locale passe à cet état lorsque le trafic actif est reçu via le conduit LSP de protection une fois que le conduit LSP en service est rétabli et que les requêtes de commutation de protection précédemment actives sont devenues inactives. Il empêche la sélection du conduit LSP en service par retour à la position initiale du sélecteur jusqu'à expiration de la temporisation d'attente de rétablissement. Cette temporisation peut être configurée par l'opérateur par pas de 1 min entre 1 et 30 min, la valeur par défaut étant de 12 min.

La fonction de commutation de protection locale passe à l'état de "non-requête" lorsque toutes les situations où il n'y a pas de demande de commutation de protection locale (y compris l'état "attente de rétablissement") sont actives.

7.1.5 Protocole de commutation de protection

Dans le cas d'une architecture de commutation de protection unilatérale 1+1, 1:1 ou partagée entre mailles, il n'y a pas lieu d'utiliser de protocole de commutation APS.

7.1.6 Algorithme de commutation de protection unilatérale

7.1.6.1 Commande du sélecteur

Dans les architectures 1+1, 1:1 et partagée entre mailles en mode commutation de protection unilatérale, le sélecteur est commandé par la demande locale (c'est-à-dire au niveau du puits du domaine de protection pour l'architecture 1+1 et au niveau de la source du domaine de protection pour l'architecture 1:1) de priorité la plus élevée (commande ou état déclenché automatiquement ou

commande à déclenchement externe). Par conséquent, chaque extrémité fonctionne indépendamment de l'autre. S'il y a priorité égale dans les deux conduits LSP (par exemple SF), la commutation n'est pas exécutée.

Dans l'architecture 1+1, les paquets sont sélectionnés sur la base d'un sélecteur de niveau de paquet qui utilise des identificateurs (numéros de séquence) acheminés dans les paquets transmis.

7.1.6.2 Mode réversible

Dans ce mode, lorsque le trafic actif est transmis via le conduit LSP de protection, une fois que le conduit LSP en service est rétabli et que les demandes de commutation de protection locale précédemment actives sont devenues inactives, on passe à l'état local "attente de rétablissement".

Normalement, la temporisation associée à cet état expire et devient un état de "non-requête" après expiration de la temporisation d'attente de rétablissement. Le sélecteur revient ensuite à sa position initiale pour sélectionner le conduit LSP en service. Le temporisateur "attente de rétablissement" est désactivé plus tôt si une demande locale de priorité plus élevée préempte cet état.

7.1.6.3 Mode irréversible

Lorsque le conduit LSP en panne ne se trouve plus dans une situation SF et qu'il n'y a pas de commandes déclenchées extérieurement, on passe à l'état de "non-requête". Pendant cet état, il n'y a pas de commutation.

7.2 Mécanisme de commutation de protection bilatérale

Ce point appelle un complément d'étude.

8 Aspects relatifs à la sécurité

La présente Recommandation ne soulève aucune question de sécurité qui ne soit déjà présente dans l'architecture MPLS ou dans celle de ses protocoles de couche client.

Une commutation de protection pourrait favoriser la sécurité des réseaux à commutation MPLS étant donné qu'elle commuterait automatiquement le trafic d'un conduit LSP en dérangement par suite d'une erreur de branchement ou de configuration dans un autre conduit LSP, vers des conduits LSP fonctionnant correctement. Cela empêcherait d'exposer le trafic du client à d'autres clients.

Appendice I

Exemple de partage de capacité de protection en commutation de protection partagée entre mailles

Pour obtenir un rétablissement réussi avec un niveau de service analogue au précédent, il est nécessaire de mettre en réserve, dans le réseau, la quantité de largeur de bande nécessaire aux besoins de rétablissement. Un système maillé partagé requiert que cette largeur de bande de protection soit suffisante pour accepter tout le trafic concerné par toute défaillance isolée survenant dans le réseau. A cet effet, on calcule et on réserve la capacité de protection nécessaire au moment de l'activation du conduit LSP actif. Une demande d'établissement de service maillé partagé entre deux nœuds déclenche le calcul d'une paire de trajets disjoints entre ces nœuds avec les prescriptions nécessaires. Premièrement, il faut disposer, le long de la route principale du

conduit LSP, d'une largeur de bande suffisante pour accepter la largeur demandée. Deuxièmement, il faut que toute largeur de bande de protection réservée le long de la connexion de protection soit suffisante pour garantir le rétablissement du conduit LSP après une défaillance isolée le long de la route principale, ou que la largeur de bande disponible le long de la connexion de protection soit suffisante pour accepter la largeur de bande additionnelle nécessaire assurer la protection.

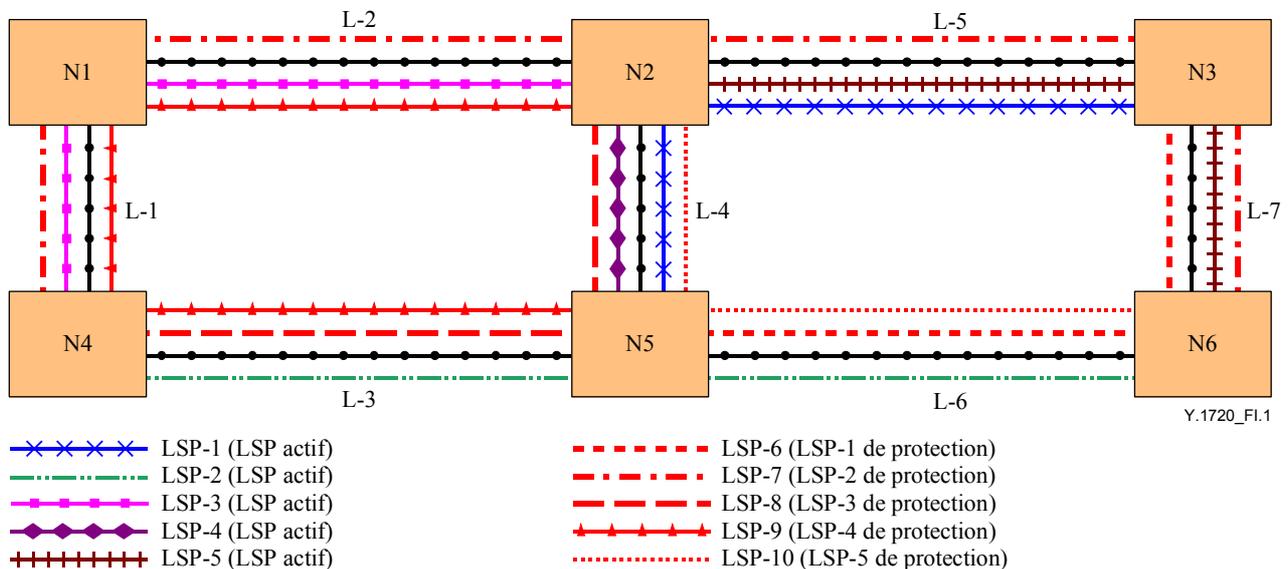


Figure I.1/Y.1720 – Exemple de conduits de connexion actifs et de protection

On peut répartir la capacité de protection entre les diverses défaillances en conservant la trace, pour chaque liaison, de la quantité nécessaire de largeur de bande pour assurer le rétablissement après chacune de ces défaillances. On peut montrer cela au moyen d'un exemple de réseau MPLS. La Figure I.1 contient un exemple de réseau avec cinq connexions bilatérales actives possédant leurs cinq connexions de protection bilatérales disjointes (à noter que chaque connexion est constituée d'une paire de conduits LSP unilatéraux). Pour les besoins de l'exemple, on supposera qu'il faut une unité de largeur de bande pour chaque connexion active.

Le Tableau I.1 montre la quantité de protection nécessaire dans chaque liaison pour toute défaillance isolée de liaison ou de nœud dans le réseau. Pour mieux comprendre le Tableau I.1, considérons la première rangée associée à la liaison L-1. L'inscription de la colonne L-3 pour cette rangée indique qu'il y a une unité de trafic qui, en raison du conduit LSP-2 de la liaison L-3, emploierait la liaison L-1 sur sa route de rétablissement si la liaison L-3 venait à être touchée par une défaillance. D'une manière analogue, l'inscription de la colonne N5 concerne le cas d'une défaillance du nœud N5 et son effet sur la liaison L-1. La dernière colonne, intitulée Max, est la valeur maximale de toutes les inscriptions de cette rangée. C'est la quantité de largeur de bande de protection qui doit être réservée dans cette liaison pour le cas le moins favorable de défaillance isolée dans le réseau. Dans le cas de la liaison L-6, par exemple, il faut deux unités de largeur de bande pour le rétablissement après une défaillance de la liaison L-5.

Tableau I.1/Y.1720 – Suivi des défaillances et largeurs de bande de protection nécessaires

Liaison	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	N1	N2	N3	N4	N5	N6	Max
L-1			1	1		1						1		1
L-2			1	1		1						1		1
L-3	1	1		1				1						1
L-4	1	1			1		1	1		1				1
L-5			1			1						1		1
L-6				1	2		1		1	1				2
L-7			1	1	1	1			1			1		1

Les informations du Tableau I.1 permettent de se rendre compte qu'en fonction de la route et de la largeur de bande d'un conduit LSP actif, on peut déterminer la capacité de protection additionnelle qu'il convient de réserver dans chaque liaison le long de la route par garantir sa protection en cas de défaillance.

Pour une nouvelle connexion protégée, on peut actualiser le contenu du Tableau I.1 en actualisant les rangées correspondant aux liaisons le long de sa connexion de protection. Cette actualisation nécessite l'incrémentation, par la largeur de bande de connexion demandée, de la valeur de chaque colonne correspondant aux nœuds et liaisons le long de la route active. Ensuite, on calcule le maximum de chaque rangée actualisée comme le montre la dernière colonne du Tableau I.1.

Tableau I.2/Y.1720 – Tableau actualisé compte tenu de la demande de service additionnelle

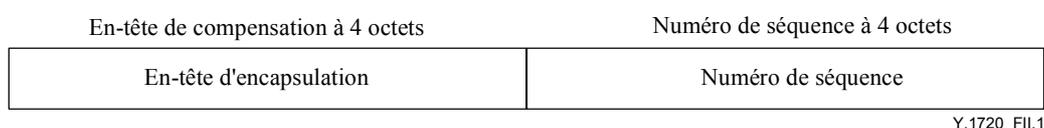
Liaison	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	N1	N2	N3	N4	N5	N6	Max
L-1			2	2		1						2		2
L-2			2	2		1						2		2
L-3	1	1		1				1						1
L-4	1	1			1		1	1		1				1
L-5			1			1						1		1
L-6				1	2		1		1	1				2
L-7			1	1	1	1			1			1		1

Considérons par exemple l'arrivée d'une demande du service de protection partagée entre mailles des nœuds N4 et N2 du réseau de la Figure I.1. Supposons qu'à l'arrivée de cette demande, le réseau se trouvait dans l'état montré dans la Figure I.1 et le Tableau I.1. Par ailleurs, supposons que (N4-L3-N5-L4-N2) et (N4-L1-N1-L2-N2) sont respectivement les routes active et de protection calculées pour répondre à cette demande. Etant donné ces routes de connexion disjointes, les liaisons L-1 et L-2 du Tableau I.1 seront actualisées. Le Tableau actualisé est le Tableau I.2. On notera qu'une unité de largeur de bande additionnelle est désormais nécessaire dans les deux liaisons L-1 et L-2 pour garantir le rétablissement de cette nouvelle connexion demandée en cas de défaillance sur sa route active.

Appendice II

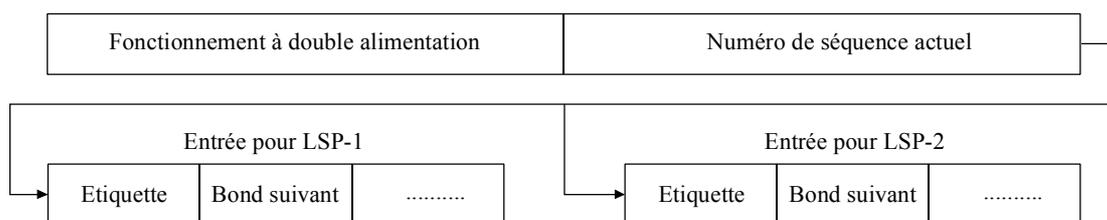
Exemple d'application de la protection doublée en mode paquet

Le système de protection doublée en mode paquet peut être mis en œuvre au moyen d'une séquence utilisée en tant qu'identificateur. Le numéro de séquence peut être acheminé dans les quatre premiers octets de l'en-tête de compensation du conduit LSP assurant la protection doublée en mode paquet. Etant donné que les nœuds d'entrée et de sortie doivent être informés de chaque LSP participant à la protection doublée en mode paquet, le nœud de sortie constatera qu'il y a un numéro de séquence dans l'étiquette. Il utilisera ce numéro aux fins de sélection et le supprimera ensuite avant de poursuivre l'acheminement du paquet accepté. Noter que la protection doublée en mode paquet peut être assurée à tout niveau de la hiérarchie d'un conduit LSP imbriqué. La Figure II.1 représente la position du numéro de séquence après les quatre octets correspondant à l'en-tête d'encapsulation.



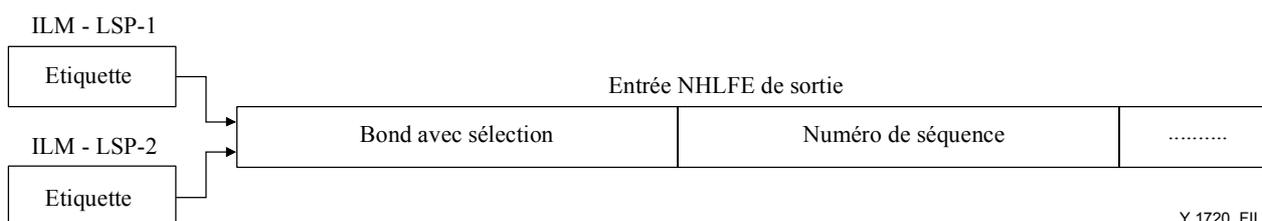
Y.1720_FII.1

Figure II.1/Y.1720 – Transport du numéro de séquence



Y.1720_FII.2

Figure II.2/Y.1720 – Fonctionnalité NHLFE améliorée pour la prise en charge de l'alimentation double



Y.1720_FII.3

Figure II.3/Y.1720 – Fonctionnalité NHLFE améliorée d'appui à la sélection

Les capacités de double envoi et de sélection peuvent être implémentées au niveau de la couche de compensation de la commutation MPLS en favorisant les inscriptions d'entrée de type *Next-Hop-Label-Forward-Entry* (NHLFE). Afin d'assurer la fonctionnalité de double envoi au nœud d'entrée, l'entrée NHLFE doit prendre en charge deux conduits LSP sortants au lieu d'un seul. Cela peut se faire très simplement en utilisant deux entrées "bond suivant/étiquette" au lieu d'une seule, chacune correspondant à l'un des conduits LSP en diversité appariés. La Figure II.2 représente ce cas. Donc, lorsque le paquet de couche client est transmis à l'entrée NHLFE prenant en charge le double envoi, elle copie d'abord ce paquet et l'envoie ensuite aux bonds suivants avec des étiquettes appropriées tenant compte des deux entrées "bond suivant/étiquette". Au milieu du réseau, chaque exemplaire du paquet traverse normalement le conduit LSP comme le ferait un autre paquet; autrement dit de manière transparente par rapport aux routeurs LSR. Au nœud de sortie, le tableau d'étiquettes entrantes (ILM, *incoming label map*) doit faire correspondre les étiquettes des deux conduits LSP en diversité avec une seule entrée NHLFE qui permet au côté récepteur de sélectionner un des deux exemplaires reçus. La Figure II.3 représente ce cas.

II.1 Double envoi et mécanisme de sélection

Les deux composantes nécessaires pour tout double envoi et pour le mécanisme de sélection sont les suivantes:

- 1) la capacité de double envoi à une extrémité;
- 2) la capacité de faire correctement la sélection entre les deux signaux reçus à l'autre extrémité. Généralement, le double envoi est simple à réaliser alors que la sélection à l'autre extrémité nécessite un traitement attentif et non trivial. A la source, il est possible d'envoyer les paquets en double en les copiant sur deux flux de paquets. A la destination, chaque paquet peut être reçu deux fois à des instants différents (voire une seule fois ou pas du tout), un exemplaire provenant de chacun des deux conduits LSP. Pour sélectionner correctement le paquet une seule fois exactement, la destination doit pouvoir identifier les paquets en double et ensuite en sélectionner un seul. Elle doit aussi pouvoir faire face à toutes les variantes possibles. Ce processus de sélection au niveau du paquet n'est pas simple étant donné que les deux exemplaires du paquet n'arrivent pas nécessairement en même temps (en raison des temps de propagation et de mise en mémoire tampon). Il peut également arriver que des paquets se perdent (en raison d'erreurs de transmission et de débordement des mémoires tampon).

L'algorithme donné en exemple ci-dessous offre une méthode qui répond simultanément à toutes ces questions.

Algorithme

Variables:

```
N                /* nombre de bits à utiliser pour le numéro de séquence */
rec_seq_no       /* numéro de séquence du paquet reçu */
select_counter   /* compteur de N bits au récepteur pour le suivi du du numéro de séquence du
                  paquet suivant attendu */
window_sz       /* largeur de la fenêtre, qui doit être inférieure à 2^N */
```

Initialisation:

```
Rec_seq_no = 0;
select_counter = 0;
```

Algorithme:

Expéditeur

```
insérer rec_seq_no dans "l'étiquette" interne du paquet;  
envoyer un exemplaire du paquet dans chacun des conduits LSP appariés;  
rec_seq_no ++;
```

Sélecteur

```
Si (le numéro rec_seq_no est extérieur à la fenêtre mobile définie par  
[select_counter, select_counter+window_sz])  
refuser le paquet;  
sinon /* le numéro rec_seq_no est dans la fenêtre */  
{  
    accepter le paquet;  
    select_counter = rec_seq_no +1;  
}
```

II.2 Analyse du système de protection doublée en mode paquet

Le nœud d'entrée introduit le numéro de séquence. Le paquet est ensuite copié et transporté dans des conduits LSP différents. En raison de cette diversité des conduits LSP, il y aura un conduit LSP principal et un conduit LSP secondaire. Le conduit LSP principal remettra les paquets au nœud de sortie plus rapidement que le conduit LSP secondaire. Pour cette raison, en situation de non-défaillance, le nœud de sortie choisira les paquets acheminés par le conduit LSP principal. Les paquets reçus via le conduit LSP secondaire seront en double et donc ignorés.

La décision d'accepter ou d'ignorer un paquet reçu est prise compte tenu du numéro de séquence de ce paquet et du compteur de la fenêtre mobile au nœud de sortie. Le compteur indique le numéro de séquence du paquet suivant qu'il attend. Le compteur et la fenêtre mobile établissent une fenêtre des numéros de séquence pouvant être acceptés. La fenêtre mobile est nécessaire pour accepter ou refuser correctement les paquets. Si le paquet entrant se trouve dans la fenêtre, il est jugé conforme et peut être accepté; sinon, il est refusé. La largeur de la fenêtre doit être supérieure au nombre maximal de paquets consécutifs qu'un conduit LSP actif peut perdre.

La fenêtre mobile sert à résoudre le problème de la perte de paquets dans le conduit LSP principal lorsque le numéro de séquence indiqué par le compteur est très proche du point de retour à zéro. La Figure II.4 représente un conduit LSP principal (LSP-1) qui remet un paquet ayant le numéro de séquence 29. Le paquet est accepté et le compteur porté à 30. Si on suppose la perte de deux paquets consécutifs (c'est-à-dire les paquets ayant les numéros de séquence 30 et 31), le paquet suivant qui sera reçu dans le conduit LSP-1 aura le numéro 0. Sans la fenêtre mobile, le nœud de sortie refusera le paquet étant donné que $0 < 30$. Par l'implémentation d'une fenêtre mobile plus grande que le nombre maximal de paquets consécutifs qu'un conduit LSP actif peut perdre, on peut résoudre le problème. Si, par exemple, le nombre maximal de paquets consécutifs qu'un conduit LSP actif peut perdre est 5, on peut définir une fenêtre mobile de 6. Dans l'exemple utilisé précédemment, grâce à la fenêtre mobile, le nœud de sortie acceptera les paquets de la série {30, 31, 0, 1, 2, 3}. Aussi, même en cas de perte de 5 paquets (c'est-à-dire le nombre maximal de paquets consécutifs qu'un conduit LSP actif peut perdre) le paquet suivant qui sera reçu aura le numéro de séquence 3 et ce paquet sera accepté.

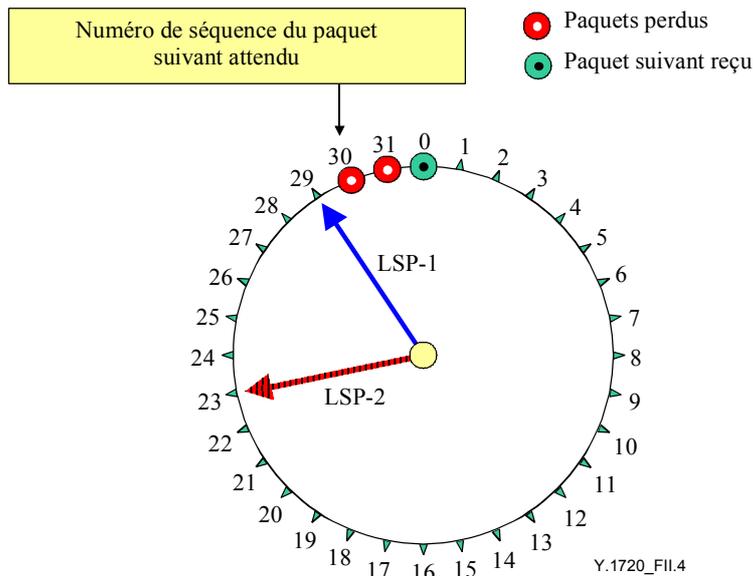


Figure II.4/Y.1720 – Perte de paquets à proximité du point de retour à zéro

Noter que cette solution de la fenêtre mobile ne fonctionne que si le conduit LSP en traîne ne peut pas revenir dans la plage de la fenêtre mobile. Si un paquet ayant un numéro de séquence qui s'inscrit dans la fenêtre mobile est reçu d'un conduit LSP en traîne, il sera accepté par erreur. Un conduit LSP en traîne ne peut recevoir de paquet ayant un numéro de séquence correspondant à la plage de la fenêtre mobile que s'il traîne de plus de $(2^N - \text{largeur de la fenêtre mobile})$. Pour cette raison, le nombre de bits "N" utilisé pour le numéro de séquence doit satisfaire à l'équation suivante:

$$2^N > \text{fenêtre mobile} + \text{fenêtre de retard}$$

où:

fenêtre mobile > nombre maximal de paquets consécutifs pouvant être perdus dans un conduit LSP

et

fenêtre de retard = nombre maximal de paquets que le conduit LSP secondaire peut avoir en retard sur le conduit LSP principal.

On notera que le champ de 4 octets offre une succession de plus de quatre milliards de nombres, ce qui est suffisant pour affronter les cas les moins favorables de perte de paquets consécutifs et de différence de retard.

Une manière raisonnable de concevoir la largeur des fenêtres mobile et de retard consiste à donner aux deux la même largeur. (A noter qu'on suppose généralement que la fenêtre de retard est plus grande que la fenêtre mobile.) Cela garantit que ce sont les paquets du conduit LSP principal qui seront utilisés dans tous les scénarios qui se présentent après la réparation d'un conduit LSP défaillant. Ce point est développé dans le paragraphe ci-après qui examine divers scénarios de défaillance.

II.2.1 Fonctionnement du mécanisme de sélection dans divers scénarios de défaillance

Une manière de se rendre compte du fonctionnement du mécanisme de sélection consiste à se représenter une horloge à intervalles 2^N . La Figure II.5 représente un exemple dans lequel $N = 4$ (c'est-à-dire un numéro de séquence à 4 bits) et pour cette raison le numéro de séquence peut aller de 0 à 15. Dans cet exemple, la largeur de la fenêtre mobile est rendue égale à celle de la fenêtre de retard, soit 5.

La Figure II.5 montre que le conduit LSP principal est en avance sur le conduit LSP secondaire de 3 numéros de séquence. Le conduit LSP principal remet un paquet ayant le numéro de séquence 1 et le compteur passe maintenant à 2.

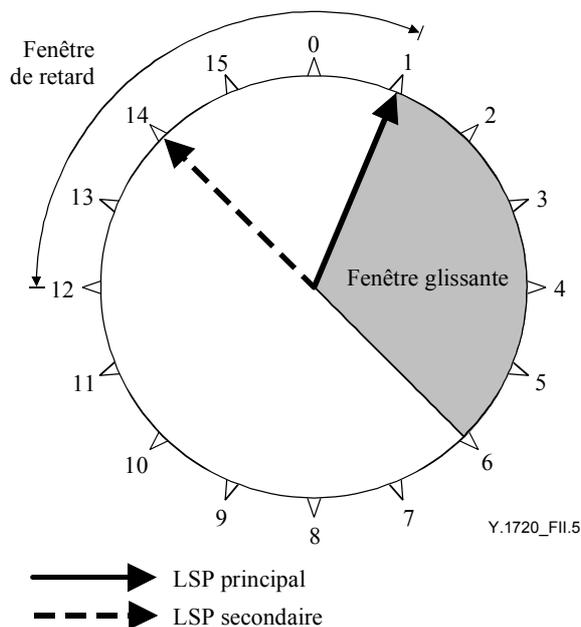


Figure II.5/Y.1720 – Concepts de fenêtre glissante et de fenêtre de retard

La Figure II.6 montre qu'avant la réception d'un paquet portant le numéro de séquence 2 dans le conduit LSP principal, celui-ci subit une défaillance. Tant que le paquet de numéro de séquence 2 n'est pas remis par le conduit LSP secondaire, le nœud de sortie ne sélectionnera aucun paquet et le compteur restera à 2.

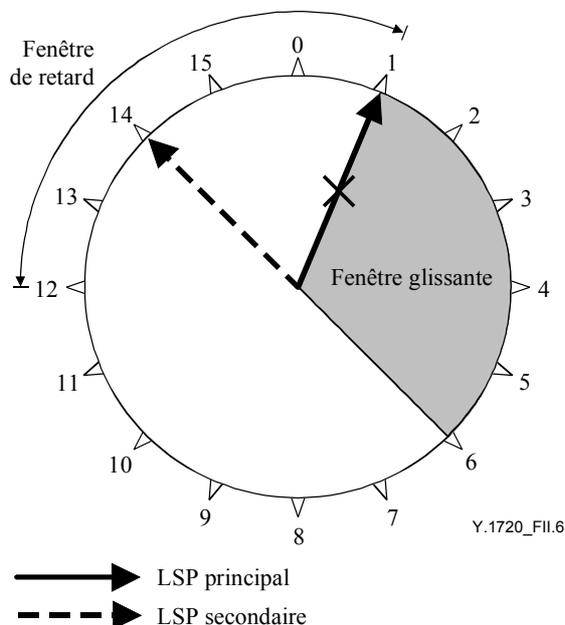


Figure II.6/Y.1720 – Scénario dans le cas d'une défaillance du conduit LSP principal

La Figure II.7 montre qu'au moment où le paquet ayant le numéro de séquence 2 est reçu dans le conduit LSP secondaire, le nœud de sortie incrémente le compteur à 3 et la fenêtre mobile varie de telle manière qu'un paquet ayant un numéro de séquence entre 3 et 7 puisse être accepté.

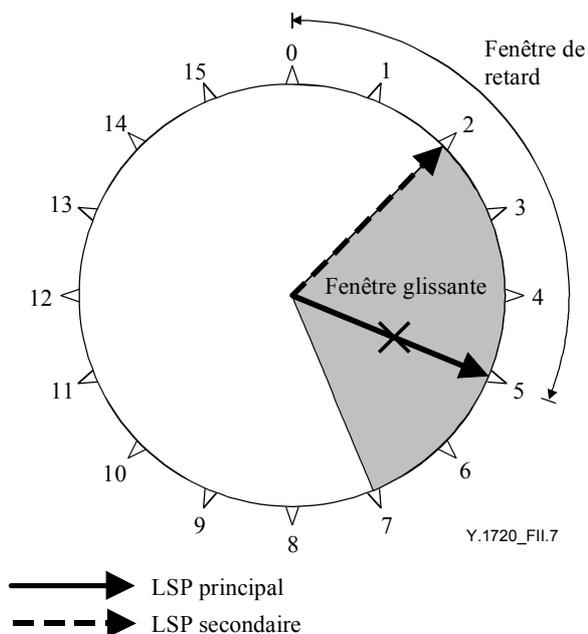


Figure II.7/Y.1720 – Rétablissement du trafic après la défaillance du conduit LSP principal

La Figure II.8 montre qu'avant la réception d'un paquet ayant le numéro de séquence 3 provenant du conduit LSP secondaire, le conduit LSP principal est réparé et un paquet de numéro de séquence 6 est reçu du conduit LSP principal. Etant donné que 6 se trouve dans la plage de la fenêtre mobile, le paquet est accepté. On notera qu'il est important, tant que le conduit LSP principal est actif, que les paquets soient reçus du conduit LSP principal. Aussi, pour être certain que le conduit LSP principal une fois réparé remet un paquet dont le numéro de séquence a une valeur se situant dans la fenêtre mobile, celle-ci doit être égale à la fenêtre de retard ou plus grande, ce qui est le cas dans cet exemple.

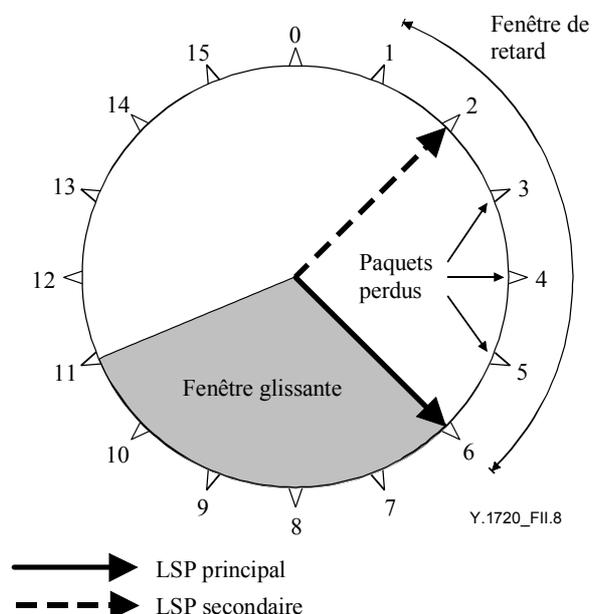


Figure II.8/Y.1720 – Scénario dans le cas de la réparation du conduit LSP principal

Les Figures II.9, II.10 et II.11 aident à comprendre le problème qui se présente quand la fenêtre mobile est mise à une valeur plus petite que la fenêtre de retard. Dans ce cas, il est possible qu'une fois le conduit LSP principal réparé, celui-ci remette des paquets ayant des numéros de séquence

qui se situent hors de la fenêtre mobile et dès lors le nœud de sortie continue à accepter des paquets provenant du conduit LSP secondaire. Si, plus tard, le conduit LSP secondaire est défaillant, il y a risque de perdre un grand nombre de paquets (le cas le moins favorable se présentant pour $2^N - \text{largeur de fenêtre mobile}$, où N est le nombre de bits utilisés pour le numéro de séquence).

La Figure II.9 montre un exemple dans lequel la fenêtre mobile est mise à 3, la fenêtre de retard pouvant atteindre 6. Le conduit LSP secondaire retarde sur le conduit LSP principal de 4 numéros de séquence. Etant donné que le conduit LSP principal est défaillant, les paquets sont prélevés dans le conduit LSP secondaire.

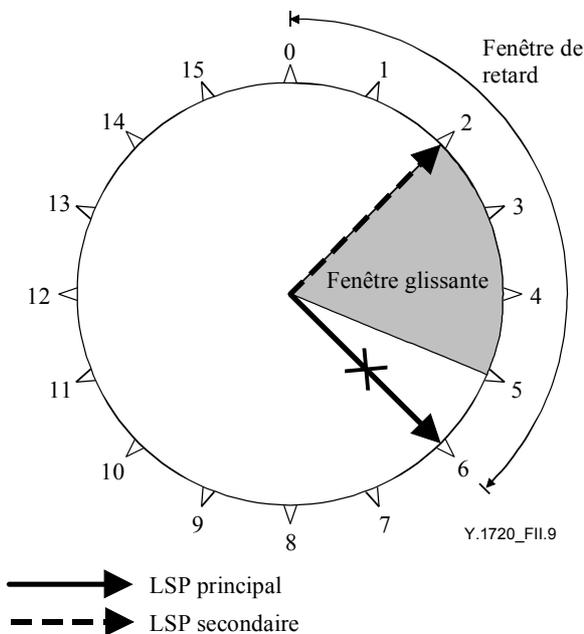


Figure II.9/Y.1720 – Scénario dans le cas fenêtre glissante < fenêtre de retard

La Figure II.10 montre qu'une fois le conduit LSP principal réparé, celui-ci fournit un paquet de numéro de séquence 7 qui, étant hors fenêtre mobile, est refusé. Les paquets continuent à être prélevés dans le conduit LSP secondaire.

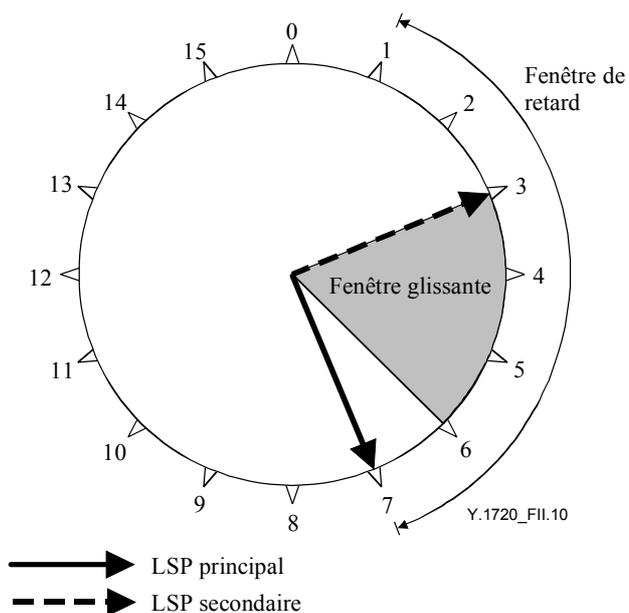


Figure II.10/Y.1720 – Réparation du conduit LSP; fenêtre glissante < fenêtre de retard

La Figure II.11 illustre le cas d'une défaillance du conduit LSP secondaire. Etant donné que le conduit LSP principal fournit des paquets hors fenêtre mobile, qui sont donc refusés, le nœud de sortie ne commencera pas à accepter de paquets tant que le conduit LSP principal n'aura pas fait un tour de cadran complet et qu'il ne commencera pas à fournir de paquets ayant un numéro de séquence s'inscrivant dans la fenêtre mobile. Cela peut entraîner la perte d'un grand nombre de paquets. Aussi, pour éviter que cela se produise, il est recommandé que ce type d'algorithme sélecteur rende la fenêtre mobile égale à la fenêtre de retard.

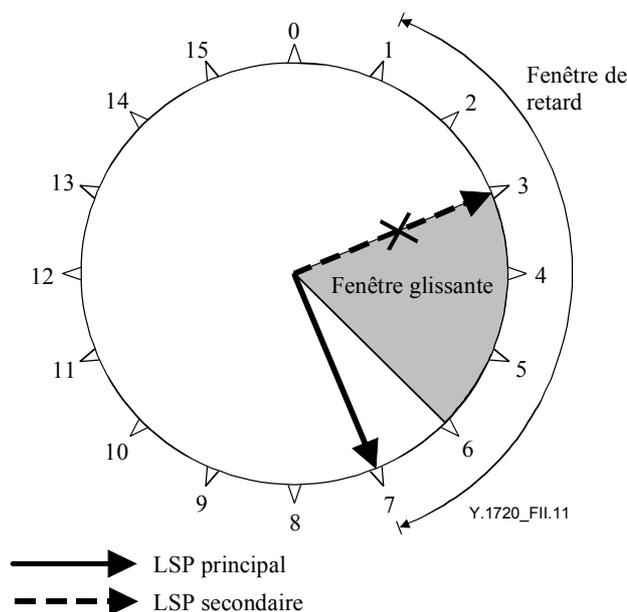


Figure II.11/Y.1720 – Problème possible: fenêtre glissante < fenêtre de retard

II.2.2 Autres remarques

- Le système ne requiert de traitement des informations qu'aux nœuds d'extrémité, mais aucune détection ou notification explicite d'un dérangement, qui est sous-entendue par le système de sélection des paquets à la sortie et qui intervient sur la base du numéro de séquence et des compteurs tenus à jour localement.
- Le double envoi nécessite de copier les paquets à l'entrée et donc d'effectuer un petit traitement supplémentaire à ce niveau. Pour la sélection, il faut comparer le numéro de séquence acheminé dans le paquet avec la valeur du compteur tenu à jour dans le récepteur, opération qui donne lieu à l'acceptation ou au refus du paquet. Sur le plan de l'application du matériel et du logiciel, le coût du traitement est minimal. Un autre effet sur la performance est celui du coût de la largeur de bande due au numéro de séquence acheminé dans le paquet. Cela introduit un préfixe de paquet additionnel qui est fonction de la longueur du numéro de séquence. Pour un numéro de séquence de 32 bits utilisant toute l'étiquette de 4 octets, la largeur de bande de préfixe est d'à peine 4% pour les paquets courts de 100 octets.
- On peut considérer la perte de performance du service proposé de la manière suivante: comme le mécanisme de sélection au nœud de sortie prélève des paquets de l'un ou de l'autre conduit LSP, le service peut en fait compenser, même si cela n'est pas exigé, les pertes de paquets dans le réseau. Dans le cas le plus favorable, cela peut se traduire par une perte nulle même si chacun des conduits peut avoir des pertes. Dans le cas le moins favorable, la perte nette de paquets sera la somme des pertes des deux conduits LSP. Autrement dit, la performance du service en terme de pertes ne sera pas plus importante et sera du même ordre de grandeur que celle du conduit LSP le moins efficace. Elle pourrait être parfois nettement supérieure.

- d) On peut considérer la performance du service proposé en terme de temps de propagation de la manière suivante: étant donné que l'algorithme sélectionne toujours, sans mise en mémoire tampon, le premier paquet acceptable des deux, la performance en terme de temps de propagation est toujours meilleure que celle de l'un ou de l'autre des conduits LSP.
- e) La largeur de la fenêtre devrait être fixée de manière à être supérieure au nombre maximal de paquets consécutifs qu'un conduit LSP actif peut perdre. Dès lors, il est assuré que le numéro de séquence du paquet suivant provenant du même conduit LSP se situera toujours dans la fenêtre et sera donc accepté.
- f) La largeur de la fenêtre devrait être fixée de manière que la différence de temps de propagation entre les deux paquets acheminés dans les conduits LSP appariés ne soit, en l'absence de perte, jamais supérieure à $(2^N - \text{largeur de la fenêtre})$ paquets. Dans ces conditions, il est garanti qu'un ancien paquet ne sera pas considéré par erreur comme un nouveau paquet et n'entraînera donc pas d'erreur.
- g) Dans l'éventualité d'une défaillance isolée dans le réseau autre que dans le nœud d'entrée ou de sortie, un seul des conduits LSP en diversité appariés sera touché. Le conduit LSP intact continuera à livrer des paquets. Si le conduit LSP intact est le conduit principal, autrement dit si c'est lui qui a acheminé le dernier paquet sélectionné, la fonction de sélection au nœud de sortie continuera d'accepter les paquets qu'il achemine, alors que si le LSP intact est le conduit LSP secondaire, la fonction de sélection refusera les paquets jusqu'au moment où surviendra un paquet dont le numéro de séquence se situe dans la fenêtre mobile. Une fois que le conduit LSP défaillant est réparé, on peut vouloir le remettre en service. Dans ce "mode de rétablissement automatique", la méthode la plus simple consisterait à conférer au premier paquet envoyé en double l'habituel numéro de séquence suivant, qui est celui qui fait suite au numéro attribué au dernier paquet ayant passé par le seul conduit LSP intact. Au besoin, on peut apporter diverses améliorations pour maintenir sous contrôle la performance en terme de perte de service pendant cette opération.
- h) Il conviendrait de mettre au point, dans le cas où les deux conduits seraient défaillants, des mécanismes additionnels afin de préserver le service et les états associés des conduits LSP et de conserver un fonctionnement sûr.

Appendice III

Bibliographie

IETF, RFC 3469 (2003), *Framework for MPLS-based Recovery*, Category: Informational.

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, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication