UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

UIT-T G.7715/Y.1706

(06/2002)

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

SÉRIE G: SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

Equipements terminaux numériques – Fonctionnalités de gestion, d'exploitation et de maintenance des équipements de transmission

SÉRIE Y: INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION ET PROTOCOLE INTERNET

Aspects relatifs au protocole Internet – Gestion, exploitation et maintenance

Architecture et prescriptions de routage dans les réseaux optiques à commutation automatique

Recommandation UIT-T G.7715/Y.1706

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G

SYSTÈMES ET SUPPORTS DE TRANSMISSION, SYSTÈMES ET RÉSEAUX NUMÉRIQUES

CONNEXIONS ET CIRCUITS TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX	G.100–G.199
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES COMMUNES À TOUS LES SYSTÈMES ANALOGIQUES À COURANTS PORTEURS	G.200–G.299
CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX À COURANTS PORTEURS SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.300–G.399
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES SYSTÈMES TÉLÉPHONIQUES INTERNATIONAUX HERTZIENS OU À SATELLITES ET INTERCONNEXION AVEC LES SYSTÈMES SUR LIGNES MÉTALLIQUES	G.400–G.449
COORDINATION DE LA RADIOTÉLÉPHONIE ET DE LA TÉLÉPHONIE SUR LIGNES	G.450–G.499
EQUIPEMENTS DE TEST	G.500–G.599
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.600–G.699
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.700–G.799
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.800–G.899
SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES	G.900–G.999
QUALITÉ DE SERVICE ET DE TRANSMISSION	G.1000–G.1999
CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	G.6000–G.6999
EQUIPEMENTS TERMINAUX NUMÉRIQUES	G.7000–G.7999
Généralités	G.7000–G.7099
Codage des signaux analogiques en modulation par impulsions et codage	G.7100–G.7199
Codage des signaux analogiques par des méthodes autres que la MIC	G.7200–G.7299
Principales caractéristiques des équipements de multiplexage primaires	G.7300–G.7399
Principales caractéristiques des équipements de multiplexage de deuxième ordre	G.7400–G.7499
Caractéristiques principales des équipements de multiplexage d'ordre plus élevé	G.7500–G.7599
Caractéristiques principales des équipements de transcodage et de multiplication numérique	G.7600–G.7699
Fonctionnalités de gestion, d'exploitation et de maintenance des équipements de transmission	**G.7700–G.7799**
Caractéristiques principales des équipements de multiplexage en hiérarchie numérique synchrone	G.7800–G.7899
Autres équipements terminaux	G.7900–G.7999
RÉSEAUX NUMÉRIQUES	G.8000–G.8999

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

Recommandation UIT-T G.7715/Y.1706

Architecture et prescriptions de routage dans les réseaux optiques à commutation automatique

Résumé

La présente Recommandation définit les prescriptions et l'architecture pour les fonctions de routage utilisées pour l'établissement des connexions commutées (SC, *switched connection*) et des connexions permanentes logicielles (SPC, *soft permanent connection*) dans le cadre du réseau optique à commutation automatique (ASON, *automatically switched optical network*). Parmi les principaux aspects traités dans la présente Recommandation, figurent l'architecture de routage ASON et les composants fonctionnels, notamment le choix du chemin, les attributs de routage, les messages abstraits et les diagrammes d'état.

La présente Recommandation fait partie intégrante de la série de Recommandations qui couvrent l'ensemble des fonctionnalités du réseau de transport à commutation automatique et du réseau optique à commutation automatique.

Source

La Recommandation G.7715/Y.1706 de l'UIT-T, élaborée par la Commission d'études 15 (2001-2004) de l'UIT-T, a été approuvée le 13 juin 2002 selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Mots clés

Acheminement, attributs de routage, choix de chemin, contrôleur d'acheminement, domaine de contrôle d'acheminement, interface réseau-réseau (NNI), interface utilisateur-réseau (UNI), messages d'acheminement, automate à états d'acheminement, réseau de transport à commutation automatique, réseau optique à commutation automatique, ressources réseau, zone d'acheminement.

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.

TABLE DES MATIÈRES

Recommandation UIT-T G.7715/Y.1706

Architecture et prescriptions de routage dans les réseaux optiques à commutation automatique

1 Domaine d'application

La présente Recommandation définit les prescriptions et l'architecture pour les fonctions de routage utilisées pour l'établissement des connexions commutées (SC) et des connexions permanentes logicielles (SPC) dans le cadre du réseau optique à commutation automatique (ASON). Parmi les principaux aspects traités dans la présente Recommandation, figurent l'architecture de routage ASON et les composants fonctionnels notamment le choix du chemin, les attributs de routage, les messages abstraits et les diagrammes d'état.

La présente Recommandation fait partie intégrante de la série de Recommandations qui couvrent l'ensemble des fonctionnalités du réseau de transport à commutation automatique et du réseau optique à commutation automatique. Elle s'appuie sur les spécifications fonctionnelles de haut niveau et l'architecture définie dans la Rec. UIT-T G.807/Y.1302 (ASTN) et la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304 (ASON) qui en constituent le cadre de référence.

La présente Recommandation vise à établir une approche neutre de protocole en matière de description de l'acheminement pour les réseaux optiques à commutation automatique. Les messages d'acheminement sont transportés sur un réseau de communication de données (RCD). Une implémentation possible est spécifiée dans la Rec. UIT-T G.7712/Y.1703.

La fourniture d'un service de routage exige une connaissance *a priori* des ressources réseau. Ces ressources peuvent être installées manuellement ou découvertes de façon automatique.

Le routage par le réseau optique à commutation automatique comporte de nombreuses applications, par exemple en matière d'ingénierie du trafic, de routage en diversité, etc. Toutefois, l'exposé détaillé de ces applications ne fait pas l'objet 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.

- Recommandation UIT-T G.805 (2000), *Architecture fonctionnelle générique des réseaux de transport*.
- Recommandation UIT-T G.807/Y.1302 (2001), *Prescriptions relatives aux réseaux de transport à commutation automatique*.
- Recommandation UIT-T G.851.1 (1996), *Gestion des réseaux optiques de transport – Application du modèle de référence RM-ODP*.
- Recommandation UIT-T G.7712/Y.1703 (2001), *Architecture et spécification des réseaux de communication de données*.
- Recommandation UIT-T G.8080/Y.1304 (2001), *Architecture des réseaux optiques à commutation automatique (ASON)*.

– Recommandation UIT-T M.3016 (1998), *Aperçu général de la sécurité du RGT*.

– Recommandation UIT-T X.800 (1991), *Architecture de sécurité pour l'interconnexion en systèmes ouverts d'applications du CCITT*.

3 Termes et définitions

3.1 La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans la Rec. UIT-T G.805:

a) domaine administratif;

b) liaison;

c) connexion de liaison (LC, *link connection*);

d) subdivision;

e) sous-réseau;

f) connexion de sous-réseau (SNC, *subnetwork connection*).

3.2 La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans la Rec. UIT-T G.851.1:

a) grappe.

3.3 La présente Recommandation utilise le terme suivant défini dans la Rec. UIT-T G.7712/Y.1703:

a) réseau de communication de données (RCD).

3.4 La présente Recommandation utilise les termes suivants définis dans la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304:

a) contrôleur de connexion;

b) fédération;

c) gestionnaire de ressource de liaison (LRM);

d) contrôleur de protocole (PC, *protocol controller*);

e) zone d'acheminement (RC);

f) contrôleur d'acheminement (RC);

g) base de données d'informations d'acheminement (RDB);

h) réserve de points de terminaison de sous-réseau (SNPP);

i) point de terminaison de sous-réseau (SNP);

j) réseau privé virtuel (VPN).

3.5 La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.5.1 nœud: dans le contexte de cette Recommandation, le mot nœud désigne un sous-réseau ou une zone d'acheminement.

3.5.2 adjacence d'acheminement (RAdj, *routing adjacency*): association logique entre deux contrôleurs d'acheminement.

3.5.3 domaine de contrôle d'acheminement (RCD, *routing control domain*): entité abstraite masquant les caractéristiques détaillées de la répartition du contrôle d'acheminement. Voir les indications plus complètes figurant au § 5.1.

3.5.4 exécutant d'acheminement (RP, *routing performer*): objet point de vue calcul (selon la Rec. UIT-T G.851.1) associé à une zone d'acheminement définissant une abstraction du service de routage pour le domaine correspondant.

3.5.5 groupe à risque partagé (SRG, *shared risk group*): groupe de ressources qui partage un composant commun de risque dont la défaillance peut provoquer la défaillance de toutes les ressources du groupe.

4 Abréviations

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

AD domaine administratif (*administrative domain*)

ASON réseau optique à commutation automatique (*automatically switched optical network*)

ASTN réseau de transport à commutation automatique (*automatic switched transport network*)

E-NNI interface réseau-réseau externe (*external network-network interface*)

IE élément de réseau (*information element*)

I-NNI interface réseau-réseau interne (*internal network-network interface*)

LRM gestionnaire de ressource de liaison (*link resource manager*)

RA zone d'acheminement (*routing area*)

RAdj adjacence d'acheminement (*routing adjacency*)

RC contrôleur d'acheminement (*routing controller*)

RCD domaine de contrôle d'acheminement (*routing control domain*)

RCD réseau de communication de données

RDB base de données d'informations d'acheminement (*routing information database*)

RI information d'acheminement (*routing information*)

RP exécutant d'acheminement (*routing performer*)

SNP point de terminaison de sous-réseau (*subnetwork point*)

SNPP réserve de points de terminaison de sous-réseau (*subnetwork point pool*)

SRG groupe de risque partagé (*shared risk group*)

UNI interface utilisateur-réseau (*user network interface*)

VPN réseau privé virtuel (*virtual private network*)

5 Architecture de routage du réseau optique à commutation automatique

L'architecture de routage ASON prend en charge différents paradigmes dont la liste figure dans la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304 (routage de type hiérarchique, pas à pas (ou progressif) et d'après l'origine). Cette architecture définit en outre de façon abstraite des différences de représentation des informations d'acheminement, telles que l'état de la liaison, vecteur de distance, etc. L'architecture de la liaison est établie après subdivision du réseau en zones d'acheminement et attribution en conséquence des ressources réseau nécessaires. La subdivision du réseau en zones d'acheminement et l'attribution des ressources réseau ne relèvent pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

5.1 Concepts fondamentaux

Un opérateur peut décider de subdiviser son réseau en fonction de politiques qui lui sont propres, dictées le cas échéant par différents critères notamment géographiques, administratifs, techniques, etc. Les subdivisions du réseau peuvent, en fonction d'un choix de l'opérateur être considérées comme des zones d'acheminement pour les besoins propres à la prestation du service de routage.

Les zones d'acheminement assurent l'analyse des informations d'acheminement, autorisant ainsi leur représentation. Le service offert par une zone d'acheminement (par exemple, choix du chemin) est assuré par un exécutant d'acheminement (fédération de contrôleurs d'acheminement) et chaque exécutant d'acheminement est responsable d'une zone d'acheminement déterminée. L'exécutant d'acheminement prend en charge des fonctions de calcul du chemin en conformité avec un au moins des paradigmes de routage dont la liste figure dans la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304 (d'après l'origine, hiérarchique et pas à pas) relatifs à la zone d'acheminement particulière pour laquelle il assure le service en question. Les fonctions de calcul du chemin susceptibles d'être prises en charge par un exécutant d'acheminement sont fonction des types d'information dont il dispose par l'intermédiaire d'une base de données d'informations d'acheminement.

Les zones d'acheminement peuvent être hiérarchiquement contenues, un exécutant d'acheminement distinct étant associé à chaque zone d'acheminement de la hiérarchie; pour chaque niveau de la hiérarchie, il est possible d'utiliser des exécutants différents, prenant en charge des paradigmes de routage différents. Les exécutants d'acheminements sont réalisés par l'instantiation de contrôleurs d'acheminement éventuellement répartis. Le contrôleur d'acheminement fournit l'interface de service de routage, c'est-à-dire le point d'accès de service, tel que défini pour l'exécutant d'acheminement. Le contrôleur d'acheminement est également chargé de la coordination de la diffusion des informations d'acheminement. Les interfaces de service du contrôleur d'acheminement fonctionnent par l'intermédiaire des points de référence NNI à un niveau hiérarchique donné. Différentes instances de contrôleur d'acheminement peuvent faire l'objet de politiques différentes, en fonction des organisations pour lesquelles elles assurent des services. L'exécution desdites politiques peut être prise en charge par divers mécanismes, par exemple en faisant appel à différents protocoles.

Un contrôleur d'acheminement peut être mis en place en tant que grappe d'entités réparties; ce type de grappe est appelé domaine de contrôle d'acheminement (RCD, *routing control domain*). Un domaine RCD désigne l'entité abstraite qui masque les données détaillées concernant la répartition interne de la grappe, tout en comportant des interfaces de répartition dotées de caractéristiques identiques à celles des interfaces de répartition du contrôleur d'acheminement. La nature des informations d'acheminement échangées entre différents domaines RCD reflète la sémantique commune des informations d'acheminement échangées entre les interfaces de répartition du contrôleur d'acheminement, tout en permettant la présence de différentes représentations à l'intérieur de chaque grappe. La réalisation du domaine RCD dépend de l'implémentation et ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

La Figure 1 ci-dessous illustre les relations entre les notions de zone d'acheminement, d'exécutant d'acheminement, de contrôleur d'acheminement et de domaine de contrôle d'acheminement.

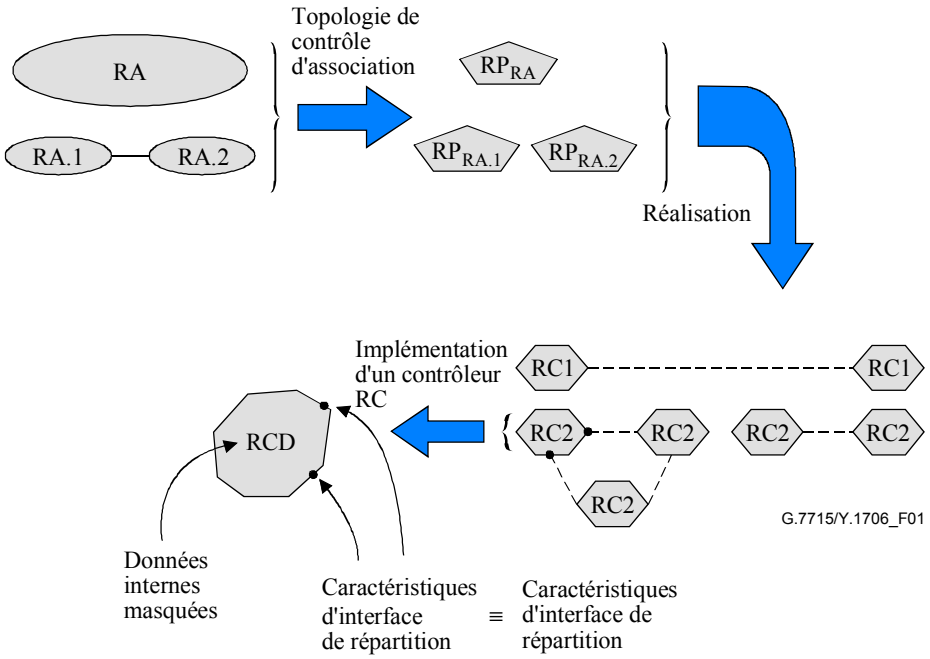

Figure 1/G.7715/Y.1706 – Relations entre RA, RP, RC et RCD

Tel qu'indiqué ci-dessus, les zones d'acheminement contiennent des zones d'acheminement qui à nouveau définissent des niveaux d'acheminement hiérarchiques successifs. Un exécutant d'acheminement distinct est associé à chaque zone: l'exécutant RP_{RA} est donc associé à la zone RA et les exécutants $RP_{RA.1}$ et $RP_{RA.2}$ sont associés aux zones RA.1 et RA.2, respectivement. Ensuite, les exécutants d'acheminement proprement dits sont réalisés par des instantiations de contrôleurs d'acheminement répartis RC1 et RC2, les RC1 étant déterminés à partir des exécutants RP_{RA} et les RC2 étant déterminés à partir des exécutants $RP_{RA.1}$ et $RP_{RA.2}$, respectivement. On peut ainsi constater l'identité des caractéristiques des interfaces de répartition RCD et des interfaces de répartition RC[1].

5.2 Architecture et composants fonctionnels de routage

L'architecture de routage comporte des composants de protocole indépendants (LRM, RC) et des composants de protocole spécifiques (contrôleur de protocole). Le contrôleur d'acheminement traite les informations abstraites nécessaires au routage. Le contrôleur de protocole traite les messages spécifiques de protocole en fonction du point de référence par lequel s'effectuent les échanges d'informations (par exemple, E-NNI, I-NNI) et transmet les primitives d'acheminement au contrôleur d'acheminement. La Figure 2 représente un exemple de composants fonctionnels de routage.

[1] En fonction de l'implémentation, le nombre d'instances d'interface de répartition RCD n'est pas nécessairement le même que pour une instance de contrôleur d'acheminement RC.

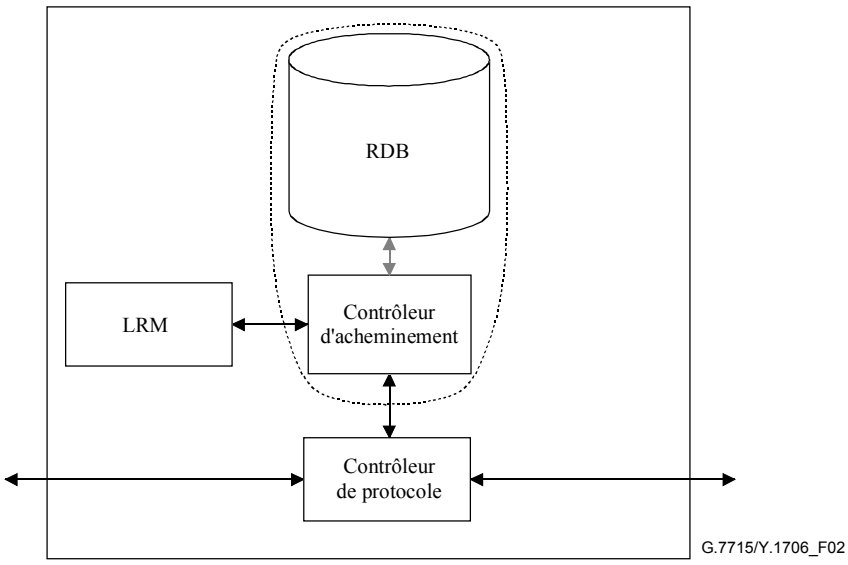

Figure 2/G.7715/Y.1706 – Exemple de composants fonctionnels de routage

1) Contrôleur d'acheminement – Les fonctions de contrôleur d'acheminement comprennent l'échange d'informations d'acheminement avec les contrôleurs homologues et les réponses aux demandes d'acheminement (choix de chemin) en utilisant la base de données d'informations d'acheminement. Le contrôleur RC est indépendant du protocole.

2) Base de données d'informations d'acheminement (RDB) – La base de données RDB peut constituer un répertoire central de la topologie locale, de la topologie du réseau, de la portée, de différentes informations d'acheminement, dont la mise à jour s'effectue dans le cadre des échanges d'informations d'acheminement; elle peut en outre contenir des informations configurées. La base de données RDB peut contenir des informations d'acheminement concernant plusieurs zones d'acheminement. Le contrôleur RC peut accéder à une vue de la base de données RDB. La Figure 2 illustre cette possibilité au moyen de la ligne en pointillé tracée autour du contrôleur RC de la base de données RDB; cette ligne signifie que le contrôleur RC (tel qu'il est décrit dans la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304) encapsule une vue de la base de données RDB. La base de données RDB est indépendante du protocole.

   NOTE – Puisque la base de données RDB peut contenir des informations d'acheminement concernant plusieurs zones d'acheminement (et donc éventuellement des réseaux à couches multiples), les contrôleurs d'acheminement ayant accès à la base de données RDB sont susceptibles de partager ces mêmes informations. Cette possibilité est représentée à la Figure 3 qui montre le chevauchement des lignes en pointillé.

3) Gestionnaire de ressource de liaison – Le gestionnaire de ressource de liaison fournit toutes les informations de liaison SNPP pertinentes au contrôleur d'acheminement. Il informe celui-ci de tout changement d'état des ressources de liaison dont il assure le contrôle.

4) Contrôleur de protocole – Le contrôleur de protocole transforme les primitives du contrôleur d'acheminement en messages de protocole, pour un protocole d'acheminement particulier ; il dépend du protocole. De plus, il assure le traitement de données de commande de flux propres au protocole pour les besoins des échanges d'informations d'acheminement.

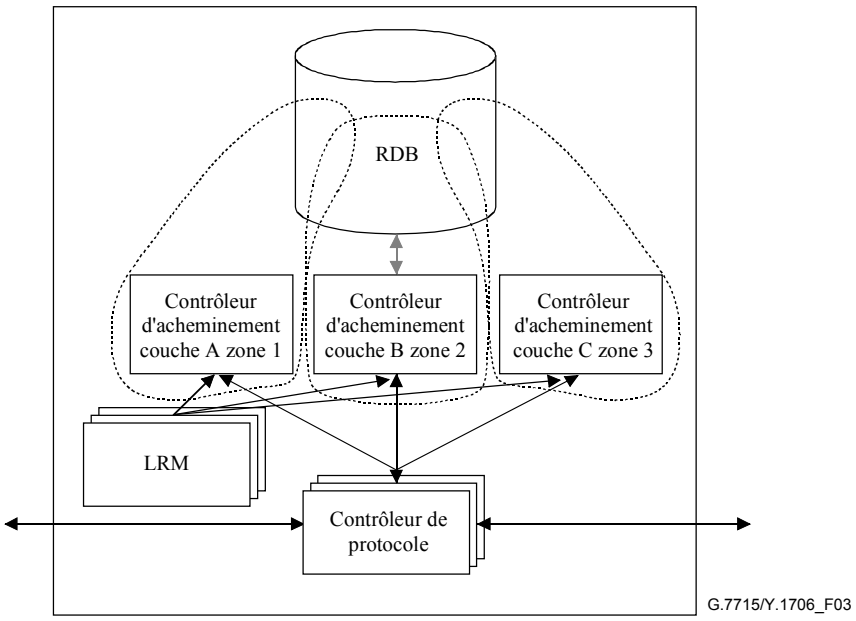

Figure 3/G.7715/Y.1706 – Exemple de relation entre base de données RDB et contrôleur d'acheminement RC pour plusieurs zones d'acheminement

5.2.1 Remarques concernant les différents protocoles

Pour une zone de cheminement déterminée, plusieurs protocoles peuvent être pris en charge pour les échanges d'informations d'acheminement. L'architecture de routage autorise la prise en charge de plusieurs protocoles d'acheminement et comporte à cet effet l'instantiation de différents contrôleurs de protocole. L'architecture suppose une correspondance biunivoque entre les instances de contrôleur d'acheminement et les instances de contrôleur de protocole, comme le montre la Figure 4.

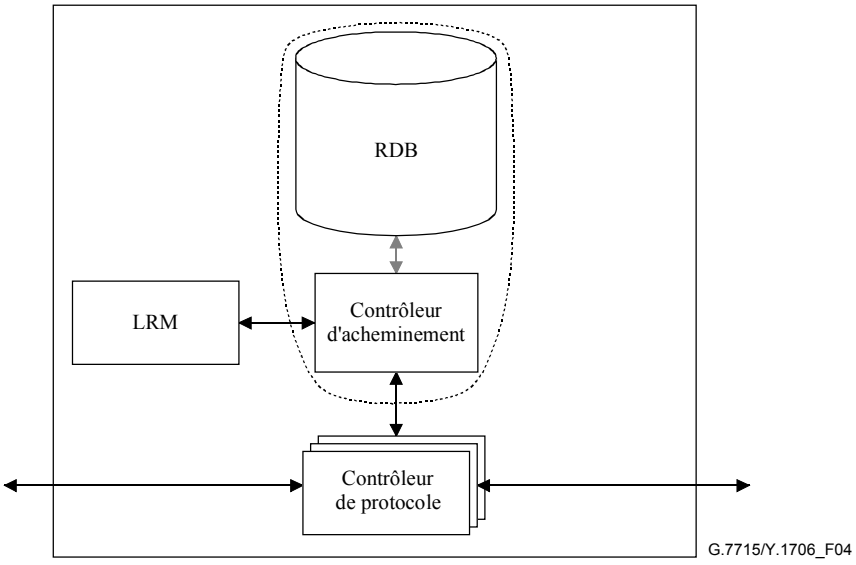

Figure 4/G.7715/Y.1706 – Exemple d'architecture correspondant à plusieurs protocoles

5.2.2 Observations concernant les réseaux privés virtuels multiples

Un réseau privé virtuel est construit à l'intérieur d'un réseau à couche unique et sa création peut résulter:

a) d'un partitionnement explicite des ressources réseau correspondantes;

b) d'un partage des ressources réseau communes entre plusieurs réseaux privés virtuels.

L'architecture de routage prend en charge tous les modèles ci-dessus de réseaux privés virtuels. Le modèle de partitionnement explicite est pris en charge en définissant une vue dans la base de données RDB pour le contrôleur d'acheminement d'un réseau privé virtuel, et en équipant cette vue des ressources absentes de toute autre vue, tel qu'indiqué à la Figure 5 dans le cas du réseau privé virtuel VPN3. La possibilité de partager la base de données RDB entre plusieurs réseaux privés virtuels, tel qu'indiqué à la Figure 5 dans le cas des réseaux privés virtuels VPN1 et VPN2, assure la prise en charge du modèle des ressources réseau partagées.

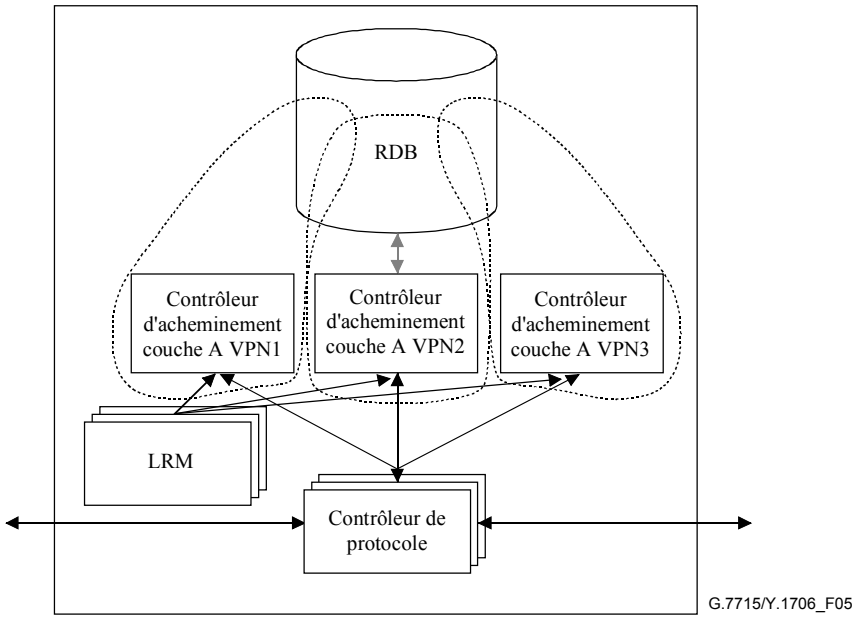

Figure 5/G.7715/Y.1706 – Architecture de routage pour plusieurs réseaux privés virtuels

5.2.3 Observations concernant la politique

L'application d'une politique d'acheminement est réalisée par l'intermédiaire des ports de politique et de configuration dont dispose le composant contrôleur d'acheminement. Pour une application d'ingénierie du trafic, des politiques appropriées de configuration et de sélection de chemin peuvent être appliquées aux contrôleurs d'acheminement par l'intermédiaire de ces ports. On peut ainsi modifier les informations d'acheminement révélées aux autres contrôleurs, comme les informations d'acheminement mises en mémoire dans la base de données RDB.

5.3 Hiérarchie de zones d'acheminement

La Figure 6 ci-dessous donne un exemple de zone d'acheminement. La zone d'acheminement RA de niveau supérieur (parent) contient les zones d'acheminement de niveau inférieur (fils) RA.1, RA.2, RA.3. Les zones RA.1 et RA.2 contiennent ensuite les zones d'acheminement RA.1.x et RA.2.x.

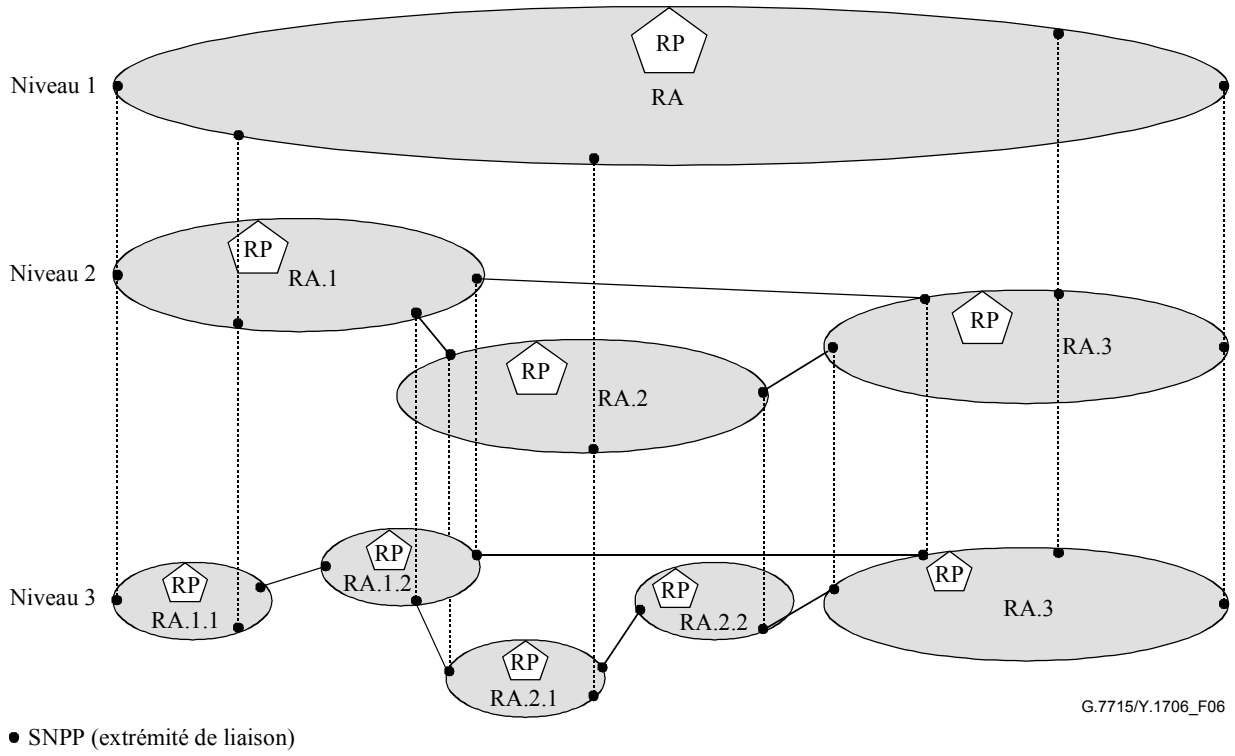

Figure 6/G.7715/Y.1706 – Exemple de hiérarchie de zones d'acheminement

A chaque zone d'acheminement est associé un exécutant d'acheminement qui fournit le service de routage correspondant à ladite zone, à ce niveau particulier de la hiérarchie, tel qu'indiqué à la Figure 7.

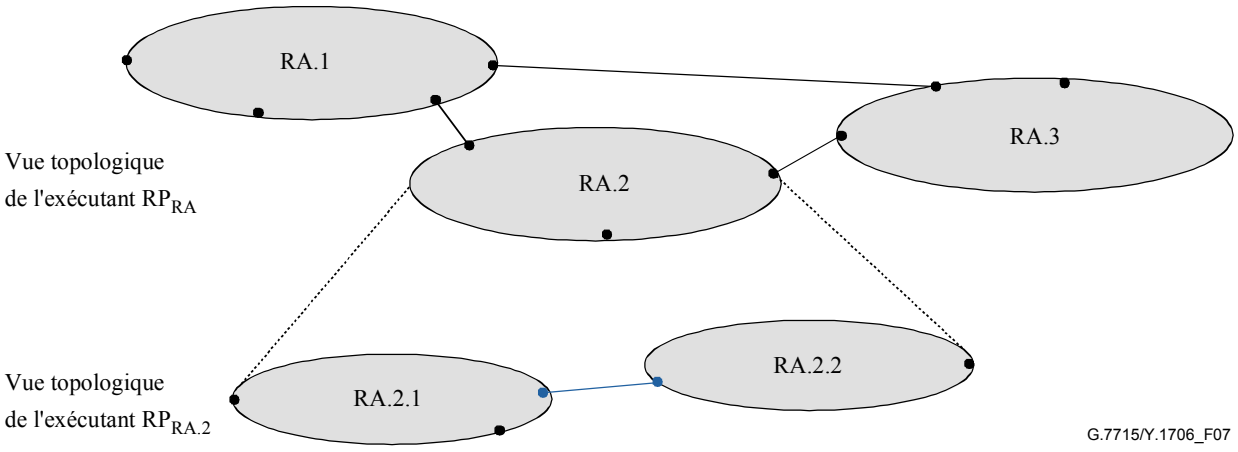

Figure 7/G.7715/Y.1706 – Vue topologique de l'exécutant d'acheminement associé aux zones d'acheminement hiérarchique

5.3.1 Réalisation de l'exécutant de l'acheminement compte tenu des hiérarchies de zones d'acheminement

L'exécutant d'acheminement est réalisé par l'intermédiaire d'instances de contrôleur d'acheminement. Tel qu'indiqué dans la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304, un contrôleur d'acheminement encapsule les informations d'acheminement pour la zone correspondante, et fournit des services de demande d'acheminement à l'intérieur de cette zone, à ce niveau particulier de la hiérarchie. Dans le contexte des zones d'acheminement hiérarchiques, la réalisation des exécutants d'acheminement

hiérarchiques est obtenue par l'intermédiaire d'une pile d'instances de contrôleur d'acheminement, dans laquelle chaque niveau de la pile correspond à un niveau de la hiérarchie. La Figure 8 décrit la réalisation des exécutants d'acheminement en tant que pile de contrôleurs d'acheminement. Sur la figure, les zones délimitées par un trait en pointillé désignent l'emplacement à l'intérieur des éléments matériels. A titre d'illustration, la figure représente plusieurs instances de contrôleur d'acheminement placées dans le même élément physique, mais il s'agit là simplement d'un exemple.

A un niveau hiérarchique donné, en fonction des choix en matière de répartition, il y a deux possibilités:

– chacun des contrôleurs d'acheminement répartis peut encapsuler une partie de l'ensemble de la base de données d'informations d'acheminement;

– chacun des contrôleurs d'acheminement répartis peut encapsuler la totalité de la base de données d'informations d'acheminement, dupliquée par un mécanisme de synchronisation.

On observera que dans un cas comme dans l'autre, les interfaces de service de chacun des contrôleurs d'acheminement répartis ne sont pas affectées. La répartition permet par ailleurs de fournir plusieurs points d'accès de service à l'intérieur de la zone d'acheminement. Il doit exister une interaction entre les contrôleurs d'acheminement qui correspondent aux exécutants d'acheminement à différents niveaux de la hiérarchie (voir indications plus détaillées présentées à l'Appendice I).

NOTE – Le cas particulier d'une implémentation centralisée est représenté par une instance unique de contrôleur d'acheminement. (La tolérance aux pannes peut exiger également la présence d'une instance de secours.)

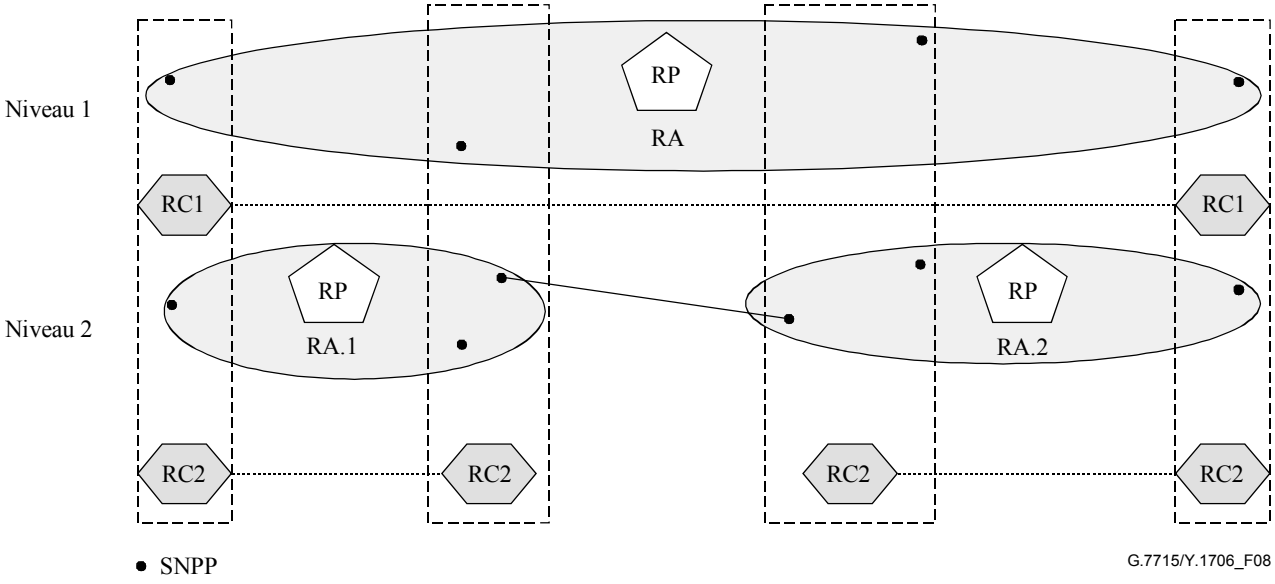

Figure 8/G.7715/Y.1706 – Exemple de réalisation d'exécutants d'acheminement hiérarchique

Dans le cadre d'interactions entre contrôleurs d'acheminement à différents niveaux de la hiérarchie, il importe de signaler que l'information reçue du contrôleur d'acheminement parent ne doit pas être renvoyée à ce dernier.

Les capacités de choix du chemin sont tributaires de l'information transmise entre les différents niveaux d'acheminement et peuvent en outre exiger des degrés de détail différents pour les adresses de sous-réseau ou de liaison. Par exemple, si le choix du chemin n'est pas tenu de notifier les points de sous-réseau d'un chemin, alors l'adressage au niveau SNPP est adéquat.

Il se peut qu'une destination soit connue simultanément des zones d'acheminement au niveau parent comme au niveau fils, mais que les chemins soient différents jusqu'à la destination. Grace à la

détection du domaine de visibilité, les zones plus proches (domaine de visibilité réduit) de la destination disposeront en règle générale d'une meilleure information pour établir un chemin vers la destination, par comparaison aux zones plus éloignées. En effet, le contrôleur d'acheminement fils est toujours informé de l'ensemble des destinations qui font partie de sa zone, ou qui font partie d'une zone contenue dans sa zone propre. Aussi, le contrôleur d'acheminement fils est-il le mieux placé pour déterminer s'il peut établir un itinéraire direct vers la destination.

5.3.2 Correspondance entre gestionnaires de ressource de liaison et contrôleurs d'acheminement pour zones d'acheminement hiérarchique

Les termes "liaisons externes" et "liaisons internes" distinguent les liaisons incidentes par rapport à la zone d'acheminement, de celles qui sont entièrement contenues dans une zone d'acheminement, à un niveau donné de la hiérarchie. Il convient d'observer que les liaisons externes par rapport à une zone d'acheminement à un niveau de la hiérarchie peuvent être des liaisons internes de la zone d'acheminement au niveau parent. Les gestionnaires de ressource de liaison fournissent les informations de liaison au contrôleur d'acheminement de la zone d'acheminement englobante. Les liaisons internes d'une zone d'acheminement au niveau fils peuvent être masquées du point de vue de la zone d'acheminement au niveau parent.

La Figure 9 représente un exemple d'association entre des gestionnaires de ressource de liaison (placés au même endroit que la réserve SNPP) et leurs contrôleurs d'acheminement correspondants. Les gestionnaires de ressource de liaison fournissent les informations nécessaires d'état de liaison aux contrôleurs d'acheminement.

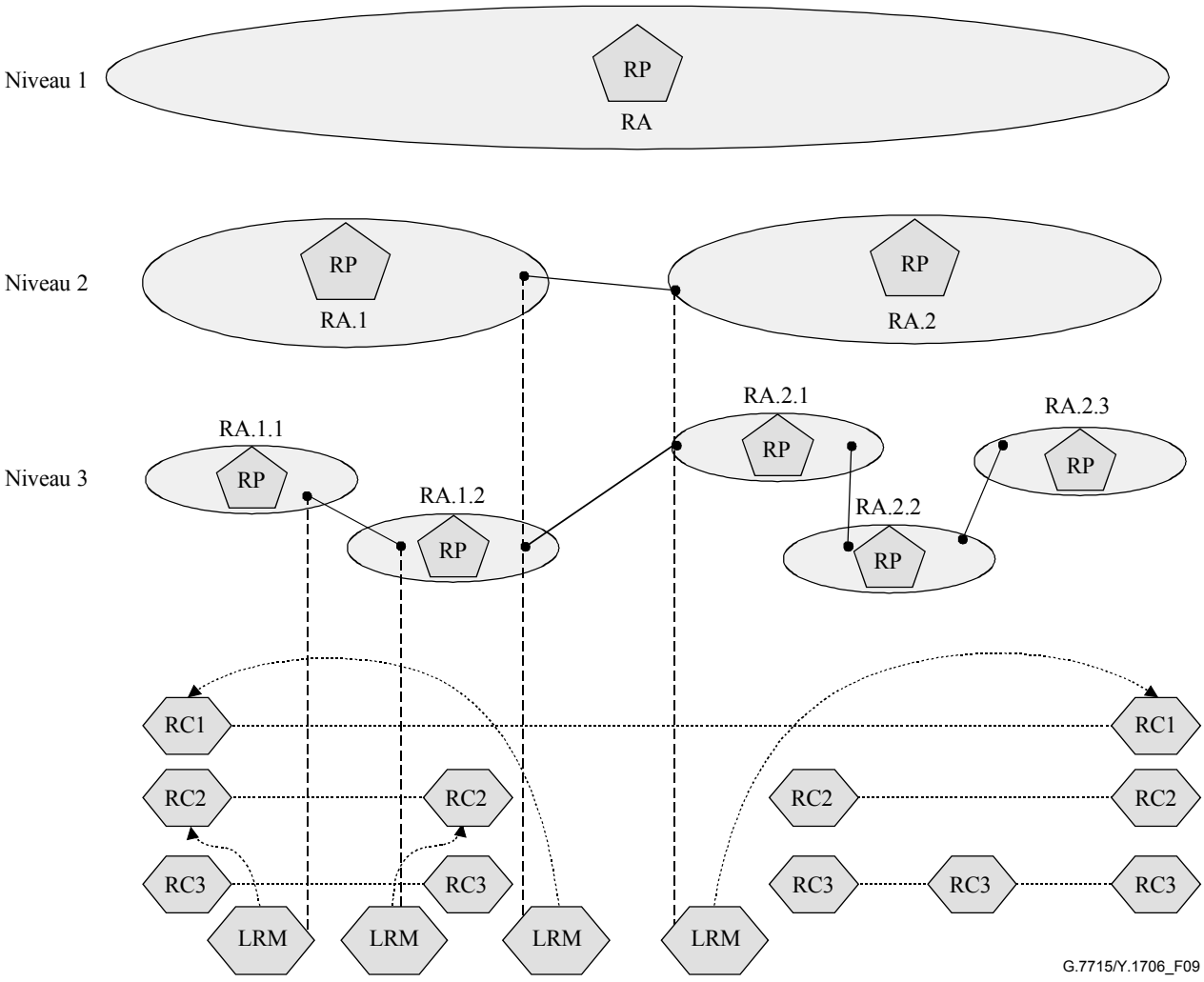

Figure 9/G.7715/Y.1706 – Exemple d'association entre instances de gestionnaire LRM (correspondant à une réserve SNPP) et contrôleurs RC

6 Spécifications de routage pour le réseau optique à commutation automatique

Les spécifications de routage pour le réseau optique à commutation automatique portent notamment sur l'architecture, les protocoles et le calcul des chemins.

6.1 Spécifications d'architecture

- Les informations échangées entre contrôleurs d'acheminement sont assujetties aux contraintes de politique imposées aux points de référence.
- Un exécutant d'acheminement fonctionnant à un niveau hiérarchique quelconque doit être indépendant du ou des protocoles d'acheminement utilisés aux autres niveaux.
- Les informations d'acheminement échangées entre domaines de contrôle d'acheminement sont indépendantes des choix de protocole intradomaniaux.
- Les informations d'acheminement échangées entre domaines de contrôle d'acheminement sont indépendantes des choix de répartition de contrôle intradomaniaux, par exemple centralisée ou entièrement répartie.
- Il n'y a pas lieu de supposer une congruence entre la topologie de l'adjacence d'acheminement et la topologie du réseau de transport.
- Chaque zone d'acheminement doit être identifiable de façon univoque à l'intérieur d'un réseau de transport.
- Les informations d'acheminement doivent prendre en charge une vue abstraite de chaque domaine. Le niveau d'abstraction dépend de la politique de l'opérateur.
- L'exécuteur d'acheminement doit fournir un moyen pour relever le système des dérangements (par exemple, épuisement des ressources mémoire).

6.2 Spécifications de protocole

- Le protocole d'acheminement doit pouvoir prendre en charge plusieurs niveaux hiérarchiques.
- Le protocole d'acheminement doit prendre en charge la diffusion hiérarchique des informations d'acheminement, notamment des informations récapitulatives.
- Le protocole d'acheminement doit comporter la prise en charge de liaisons multiples entre les nœuds et doit autoriser la diversité de liaison et de nœud.
- Le protocole d'acheminement doit pouvoir prendre en charge l'évolution de l'architecture du point de vue du nombre de niveaux hiérarchiques, de l'agrégation et de la segmentation des domaines.
- Le protocole d'acheminement doit être échelonnable en ce qui concerne le nombre de liaisons, de nœuds et de niveaux hiérarchiques de zones d'acheminement.
- En réponse à un évènement d'acheminement (par exemple, actualisation de la topologie, actualisation de la portée), le contenu de la base de données RDB doit converger et un mécanisme d'amortissement en cas de battement (broutage) sera fourni.
- Le protocole d'acheminement doit prendre en charge ou fournir un dispositif complémentaire pour prendre en charge un ensemble d'objectifs de sécurité défini par l'opérateur, s'il y a lieu.

  NOTE – En fonction des conditions d'utilisation d'un protocole d'acheminement, les objectifs généraux de sécurité définis dans la Rec. UIT-T M.3016 en matière de confidentialité, d'intégrité des données, de responsabilité et de disponibilité peuvent revêtir différents niveaux d'importance. Une analyse des menaces concernant un protocole d'acheminement envisagé doit tenir compte des aspects suivants en s'appuyant sur la Rec. UIT-T X.800: usurpation d'identité, interception illicite, accès non autorisé, perte ou altération d'informations (notamment attaque par réexécution), réfutation, contrefaçon et refus de service.

6.3 Spécifications de choix du chemin

- Le choix du chemin doit retenir des chemins exempts de boucles.
- Le choix du chemin doit prendre en charge au moins l'un des paradigmes de routage décrits dans la Rec. UIT-T G.8080/Y.1304: hiérarchique, d'après l'origine et pas à pas.
- Le choix du chemin doit permettre la prise en charge d'une classe de contraintes d'acheminement telles qu'elles sont définies au paragraphe 10.

7 Attributs de routage

L'information à diffuser au moyen d'un protocole d'acheminement peut être répartie entre les différents attributs concernant les liaisons et les nœuds.

NOTE – Le terme *nœud* est utilisé ci-dessous pour désigner soit une zone d'acheminement soit un sous-réseau en fonction du niveau de la hiérarchie d'acheminement pour lequel le chemin est calculé.

Une autre sous-catégorie importante des attributs de routage concerne ceux qui se rapportent aux sources susceptibles d'être modifiées sous l'effet des procédures d'établissement et de suppression d'une connexion. Ces attributs doivent parfois faire l'objet d'un traitement spécial dans les réseaux où les mécanismes d'établissement et de suppression des connexions entraînent des changements assez fréquents. Les implications en termes de politique et de sécurité seront envisagées pour ces grandes catégories d'attributs.

7.1 Attributs relatifs aux nœuds

Les principaux attributs de routage à envisager pour un nœud concernent la portée et la diversité. Un nœud contrôle entièrement l'information qu'il partage. Les sous-paragraphes ci-dessous spécifient un ensemble minimal d'informations qui doivent être partagées à l'intérieur d'une zone d'acheminement. En fonction du niveau de fiabilité imposé aux points de références en vertu des restrictions liées aux politiques retenues, les principales implications en matière de sécurité touchent à l'authentification, à l'intégrité et à la non-réfutation.

7.1.1 Attributs relatifs à la portée

Les informations concernant la portée définissent l'ensemble des nœuds qui sont accessibles par l'intermédiaire d'un nœud donné. Ces informations sont généralement mises en commun au moyen d'une liste d'adresses explicite ou résumée. Le préfixe d'adresse de portée contient parfois à titre d'attribut les informations sur le chemin par lequel les informations de portée sont introduites vers la destination. Les adresses sont associées à des réserves SNPP et à des sous-réseaux. La politique adoptée par l'opérateur peut conduire à divulguer uniquement un sous-ensemble des informations de portée.

7.1.2 Attributs liés à la diversité

Les attributs liés à la diversité correspondent à des propriétés des nœuds utilisés afin de restreindre le choix du chemin. L'appartenance à un groupe à risque partagé en est un exemple (voir des indications prédétaillées à l'Appendice II). Cet attribut qui peut consister en une liste d'identificateurs individuels de nœuds appartenant à un groupe à risque partagé permet d'identifier les nœuds dont le sort est semblable.

Un autre exemple de contraintes peut être défini par des critères d'exclusion (par exemple nœuds non terrestres, domaines géographiques), ou des critères d'inclusion (nœuds dotés d'une double alimentation électrique de secours).

7.1.3 Autres informations liées aux attributs

Parmi les autres attributs susceptibles de jouer un rôle en ce qui concerne un nœud peuvent figurer les données concernant les capacités supplémentaires, ainsi que le sous-ensemble d'informations topologiques propres à une zone d'acheminement au niveau fils.

- Les données concernant les capacités supplémentaires se rapportent à la possibilité d'assurer des services de transport spécifiques, par exemple les capacités de protection et de rétablissement.
- Le sous-ensemble de données topologiques présentes à l'intérieur d'une zone d'acheminement au niveau fils peut servir dans le cadre de différentes offres de services de transit, de services d'initialisation et de terminaison, en ingénierie du trafic et pour l'optimisation générale des ressources réseau.

La mise en commun d'une partie de ces informations et le niveau de détail font l'objet de choix définis par les politiques. Les attributs supplémentaires (par exemple attributs propres à la technologie) doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

7.2 Attributs des liaisons

Le jeu minimal d'attributs des liaisons à envisager se rapporte à leur état et à leur diversité. La négociation de la politique des liaisons (par exemple résolution des prises simultanées) ne relève pas de la fonction de routage.

7.2.1 Etat de la liaison

L'état d'une liaison constitue un triplet réunissant les informations suivantes: existence, poids et capacité:

- *existence*

  le principal attribut indique l'existence d'une liaison entre deux nœuds différents, à l'intérieur de la base de données d'informations d'acheminement. Ces informations permettent de déterminer la topologie de base (connectivité). L'existence de la liaison ne dépend pas de sa capacité disponible éventuelle (par exemple la liaison peut avoir une capacité nulle en raison de la défaillance de toutes les connexions de liaison).

  Le choix de diffuser les informations sur l'état de la liaison dépasse généralement le cadre d'une décision de politique et implique normalement un choix entre différentes classes de protocoles d'acheminement;

- *poids de la liaison*

  le poids de la liaison est un attribut obtenu à partir, le cas échéant, de plusieurs mesures, compte tenu des modifications imposées par la politique ou les contraintes de liaison. Sa valeur indique l'opportunité comparée d'une liaison particulière par rapport à une autre ou des processus de sélection/calcul de chemin. Un poids de liaison plus élevé indique généralement un chemin moins intéressant. Cet attribut peut également servir à éviter d'utiliser des liaisons dont la capacité est pratiquement épuisée en modifiant la valeur attribuée aux différents poids;

- *capacité*

  dans le cas d'un réseau en couches donné, cette information est liée principalement au nombre de connexions de liaisons sur une liaison. La quantité d'informations à diffuser concernant la capacité dépend de la politique choisie par l'opérateur. Par exemple, pour certaines applications il suffit parfois de révéler que la liaison dispose d'une capacité adéquate pour accepter de nouvelles connexions, sans toutefois divulguer la capacité disponible, alors que d'autres applications peuvent exiger la divulgation de la capacité

disponible. Le fait de ne pas révéler davantage d'informations concernant la capacité a pour conséquence de rendre plus difficile l'optimisation de l'emploi des ressources réseau.

7.2.2 Attributs relatifs à la diversité

Ces attributs sont semblables à ceux présentés au 7.1.2, hormis le fait que ces derniers se rapportent aux liaisons.

7.2.3 Informations concernant d'autres attributs

L'information concernant la disponibilité constitue un exemple des autres attributs des liaisons. Cette information n'est pas représentée de la même façon selon qu'elle se rapporte à la disponibilité des liaisons entre domaines et à l'intérieur d'un même domaine. Dans ce dernier cas, il est possible de la représenter comme un attribut spécifique désignant la capacité de survie de la liaison correspondante. Cette information peut s'avérer particulièrement intéressante en cas de prise en charge, par le réseau de transport en question, des fonctions de protection et de restauration. Pour les liaisons entre domaines, cet attribut est généralement représenté en termes de disponibilité de liaison.

8 Messages d'acheminement

Du point de vue fonctionnel, les messages d'acheminement concernant les réseaux optiques à commutation automatique peuvent être classés entre ceux ayant trait à la maintenance des fonctions de routage – par exemple la maintenance de l'adjacence – et ceux qui transportent les informations d'acheminement de réseau.

Les messages de maintenance sont échangés entre contrôleurs de protocole entre lesquels une relation logique d'adjacence est établie, soit après avoir été configurés manuellement, soit à la suite d'un établissement dynamique. La portée des échanges de messages est normalement limitée aux contrôleurs de protocole qui forment le domaine d'adjacence.

Les messages d'informations d'acheminement sont échangés entre deux contrôleurs d'acheminement voisins et sont utilisés par les algorithmes de sélection du chemin afin de calculer et d'acheminer des demandes de connexion à travers le réseau. Le domaine des échanges d'informations d'acheminement est normalement délimité par la zone d'acheminement. Les messages sont propagés selon un mécanisme d'échanges par incréments, d'échanges locaux par bonds ou par inondation du réseau.

La Figure 10 représente le flux de messages d'informations d'acheminement et d'événements entre composants homologues de contrôle d'acheminement. Elle mentionne également les événements générés à réception de messages de protocole par le contrôleur de protocole.

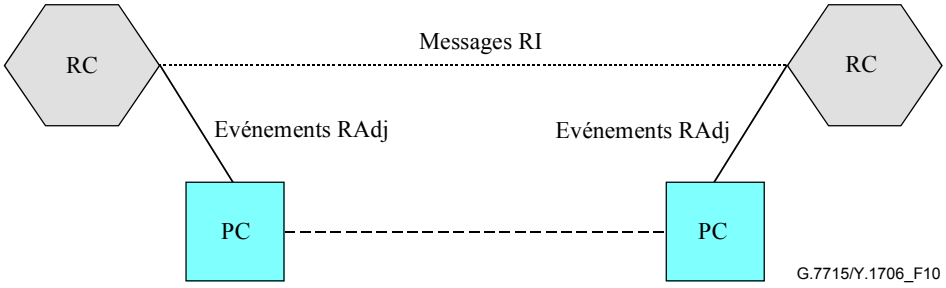

Figure 10/G.7715/Y.1706 – Messages et événements d'acheminement

8.1 Maintenance d'adjacence d'acheminement

L'adjacence (ou contiguïté) d'acheminement désigne l'association logique entre deux contrôleurs d'acheminement, tandis que la maintenance de l'état d'adjacence est assurée par les contrôleurs de protocole après établissement de ladite adjacence. Lorsque l'adjacence fait l'objet de modifications d'état, des événements appropriés sont envoyés aux contrôleurs d'acheminement par les contrôleurs de protocole. Les événements sont utilisés par le contrôleur d'acheminement afin de contrôler la transmission des informations d'acheminement entre contrôleurs d'acheminement adjacents.

La série suivante d'événements de maintenance d'adjacence d'acheminement a été définie:

- RAdj_CREATE: désigne l'initialisation d'une nouvelle adjacence.
- RAdj_DELETE: désigne le retrait d'une adjacence.
- RAdj_UP: désigne l'établissement d'une adjacence bidirectionnelle.
- RAdj_DOWN: désigne la perte d'une adjacence bidirectionnelle.

8.2 Messages d'informations d'acheminement

Les messages d'informations d'acheminement sont la représentation abstraite d'informations liées à l'acheminement par le réseau, telles que les attributs de nœuds et de liaisons décrits au paragraphe 7. Aucune information d'acheminement n'est transmise par l'interface utilisateur-réseau. Les informations d'acheminement passant par les points de référence NNI font l'objet des contraintes de la politique au niveau de chacune des interfaces NNI. Les informations d'acheminement échangées entre différents domaines de commande d'acheminement par les points de référence E-NNI encapsulent la sémantique commune des différentes informations liées au domaine RCD tout en autorisant l'utilisation d'une représentation différente à l'intérieur de chaque domaine RCD.

Chaque contrôleur d'acheminement reçoit et génère des messages d'informations d'acheminement destinés aux ressources réseau placées sous son contrôle direct et propage l'information produite vers les contrôleurs d'acheminement adjacents. Ce processus d'échange de messages doit se poursuivre jusqu'à la stabilisation des bases de données d'acheminement de tous les contrôleurs d'acheminement.

Il est à noter que le mode de propagation de l'information dépend du mécanisme utilisé par le protocole d'acheminement pour diffuser cette information. De plus, l'information contenue dans le message d'acheminement dépend du protocole d'acheminement utilisé (par exemple, état de la liaison, vecteur de distance ou vecteur de chemin).

La série générique suivante de messages d'acheminement est applicable indépendamment du type de protocole d'acheminement.

- RI_RDB_SYNC: ces messages facilitent la synchronisation de la totalité de la base de données d'informations d'acheminement entre deux contrôleurs d'acheminement adjacents. Cette synchronisation intervient au stade de l'initialisation et peut en outre être effectuée périodiquement.
- RI_ADD: après ajout d'une nouvelle ressource réseau, les informations d'acheminement liées à cette ressource doivent être annoncées au moyen de ce message pour être ajoutées à la base de données RDB.
- RI_DELETE: après suppression d'une ressource réseau existante, les informations d'acheminement liées à cette ressource doivent être retirées de la base de données RDB.
- RI_UPDATE: après modification des informations d'acheminement concernant une ressource réseau existante, les nouvelles informations d'acheminement liées à cette ressource sont annoncées à nouveau afin de mettre à jour la base de données RDB.

- RI_QUERY: si besoin, un contrôleur d'acheminement peut envoyer un message de demande d'acheminement au contrôleur d'acheminement adjacent afin d'obtenir les informations d'acheminement concernant un chemin particulier.

Aux fins de la présente Recommandation, cette série de messages est définie spécifiquement pour les échanges d'informations d'acheminement entre contrôleurs d'acheminement homologues.

8.3 Traitement des exceptions et des erreurs d'acheminement

Nombre de situations d'erreur risquent d'affecter le processus d'acheminement. Par exemple, un contrôleur d'acheminement pourrait recevoir un message altéré ou non défini au cours du processus d'acheminement. Dans ce cas, un message d'erreur devrait être généré par le protocole d'acheminement pour informer le plan contrôle des situations d'erreurs en présence et permettre l'adoption de certaines mesures correctives. Un message de notification générique est donc défini comme suit, afin de notifier les situations d'erreur ou d'exception à l'intérieur du zone d'acheminement.

- RE_NOTIFY: ce message sera généré lorsqu'une situation d'erreur ou d'exception se produira au cours du processus d'acheminement.

8.4 Diagrammes d'état

La transmission et la réception des messages d'acheminement sont gérées au moyen de trois différents automates à états.

8.4.1 Transmission d'éléments d'informations

L'automate à états représenté à la Figure 11 et dont les caractéristiques détaillées figurent au Tableau 1 permet de transmettre les éléments d'information d'acheminement (IE, *information element*) à partir d'un contrôleur d'acheminement, via une adjacence d'acheminement et à destination d'un contrôleur d'acheminement homologue. Tout au long de l'échange des messages, on suppose que le contrôleur de protocole assurera de façon fiable la remise de l'information acheminée. Il existe une instance de cet automate à états pour chaque adjacence d'acheminement dont la maintenance est effectuée par l'automate à états du contrôleur de protocole.

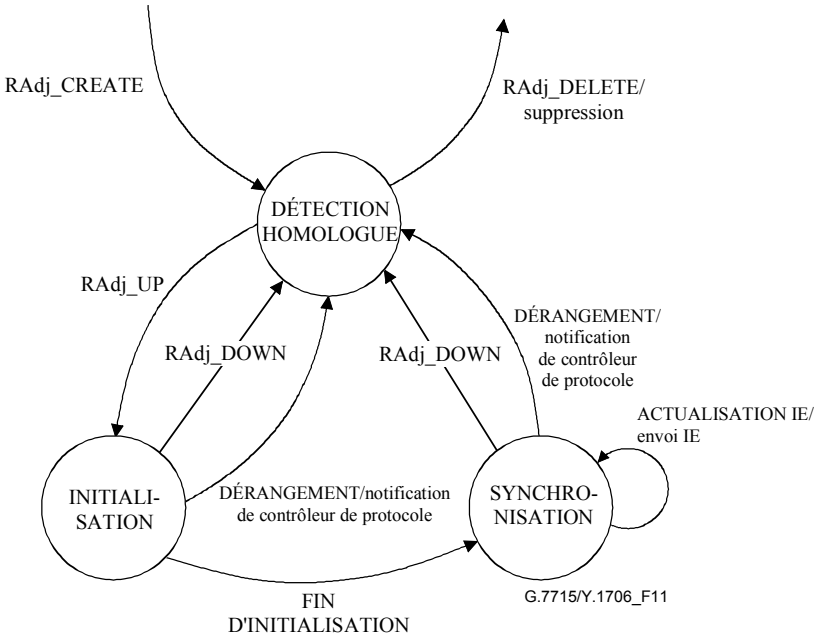

Figure 11/G.7715/Y.1706 – Diagramme d'états de transmission d'éléments d'informations d'acheminement

Tableau 1/G.7715/Y.1706 – Tableau d'états de transmission d'éléments d'informations d'acheminement

Etat / Evénement	<Inexistant> <Does Not Exist>	DÉTECTION HOMOLOGUE (PEER FOUND)	INITIALISATION (INIT)	SYNCHRONISATION (SYNCED)
RAdj_CREATE	DÉTECTION HOMOLOGUE/ Création de l'automate à états	Non valide	Non valide	Non valide
RAdj_UP	Non valide	INIT/début initialisation	Non valide	Non valide
INIT COMPLETE	Non valide	Non valide	SYNCHRONISATION	Non valide
IE UPDATED	Non valide	Non valide	Non valide	SYNCED/émission IE
RAdj_DOWN	Non valide	Non valide	DETECTION HOMOLOGUE	DETECTION HOMOLOGUE
RAdj_DELETE	Non valide	<Inexistant>/suppression de l'automate à états	Non valide	Non valide
FAIL	Non valide	Non valide	DETECTION HOMOLOGUE/ notification PC	DETECTION HOMOLOGUE/ notification PC

Le contrôleur d'acheminement crée une instance de l'automate à états dès qu'un contrôleur de protocole identifie une nouvelle adjacence d'acheminement. La création de cette instance intervient à réception d'un événement RAdj_CREATE. Initialement l'automate à états sera dans l'état <PEER FOUND> (<détection homologue>) . Cet état existe en tant que "état d'attente" jusqu'à ce que le contrôleur de protocole identifie la présence de l'adjacence d'acheminement. Si le contrôleur de protocole détecte la disparition de l'adjacence d'acheminement, alors cette instance de l'automate à états est supprimée.

Dès réception d'un événement RAdj_UP, l'automate à états passe dans l'état <INIT> (<initialisation>). Dans cet état, le contrôleur d'acheminement entreprend la synchronisation de la base de données locale RDB avec la base de données RDB distante.

Après initialisation de l'adjacence d'acheminement, l'automate à états passe dans l'état <SYNCED> (<synchronisation>). Toujours dans cet état, le contrôleur local de l'acheminement sera notifié en ce qui concerne les modifications apportées à la base de données RDB. Lorsqu'il y a une modification, une mise à jour incrémentielle est adressée à destination du contrôleur d'acheminement homologue.

Si, à un moment quelconque, l'adjacence d'acheminement cesse d'être bidirectionnelle, le contrôleur de protocole envoie un événement RAdj_DOWN et l'automate à états revient à l'état <PEER FOUND>.

8.4.2 Réception d'éléments d'informations

L'automate à états décrit à la Figure 12 et dont les caractéristiques détaillées sont indiquées au Tableau 2 assure la réception des éléments d'informations en provenance d'un contrôleur d'acheminement, via une adjacence d'acheminement et à destination d'un contrôleur d'acheminement homologue. Un unique exemplaire de cet automate à états existe pour chaque contrôleur d'acheminement.

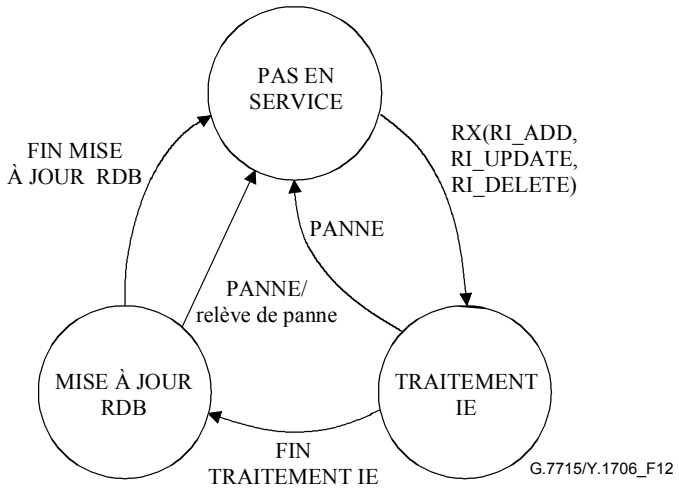

Figure 12/G.7715/Y.1706 – Diagramme d'états de réception d'éléments d'informations d'acheminement

Tableau 2/G.7715/Y.1706 – Tableau d'états de réception d'éléments d'informations d'acheminement

Etat / Evénement	PAS EN SERVICE (IDLE)	TRAITEMENT IE (PROCESS IE)	MISE A JOUR (UPDATE) RDB
Rx(RI_ADD,RI_UPDATE, RI_DELETE)	TRAITEMENT IE/ début traitement IE	Non valide	Non valide
IE PROC COMPLETE	Non valide	MISE A JOUR RDB/ mise à jour rdb	Non valide
UPDATE COMPLETE	Non valide	Non valide	PAS EN SERVICE
FAIL	Non valide	PAS EN SERVICE	PAS EN SERVICE relève de panne

Au moment de son initialisation, l'automate à états de réception d'éléments d'informations d'acheminement sera placé dans l'état IDLE (pas en service).

A réception d'un message RI_ADD, RI_UPDATE ou RI_DELETE provenant d'un contrôleur d'acheminement homologue, le contrôleur d'acheminement passe dans l'état <PROCESS IE> (<traitement éléments d'informations>). Dans cet état, il effectuera les opérations nécessaires sur les éléments d'informations pour que ces derniers puissent être intégrés à la base de données RDB.

Un événement IE PROC COMPLETE (fin traitement des éléments d'informations) indique que l'achèvement d'un traitement spécifique de protocole, à la suite duquel l'automate à états soumet l'élément d'information à la base de données RDB pour sa mise à jour en fonction de la teneur de cet élément, et passe dans l'état <UPDATE RDB> (<mise à jour RDB)>). De nouvelles informations concernant les nœuds ou les liaisons sont alors ajoutées à la base de données RDB. Les modifications des attributs associés aux nœuds ou aux liaisons déjà enregistrées dans la base de données seront traitées en tant que mise à jour du contenu de la base de données. de manière analogue, l'élément d'information peut donner pour instruction au contrôleur d'acheminement de supprimer un nœud ou une liaison de la base de données.

Une fois terminée la mise à jour de la base de données RDB, un événement UPDATE COMPLETE (fin de la mise à jour) sera reçu, à la suite de quoi l'automate à états reviendra à l'état <IDLE> et le système attendra ensuite l'arrivée d'un autre élément d'information.

8.4.3 Génération locale d'éléments d'informations

L'automate à états représenté à la Figure 13 et dont les caractéristiques détaillées figurent au Tableau 3 se rapporte aux éléments d'informations générés par le contrôleur d'acheminement, d'après l'information reçue d'un gestionnaire de ressource de liaison associé. Pour chaque élément d'information généré localement, il existe une instance de cet automate à états.

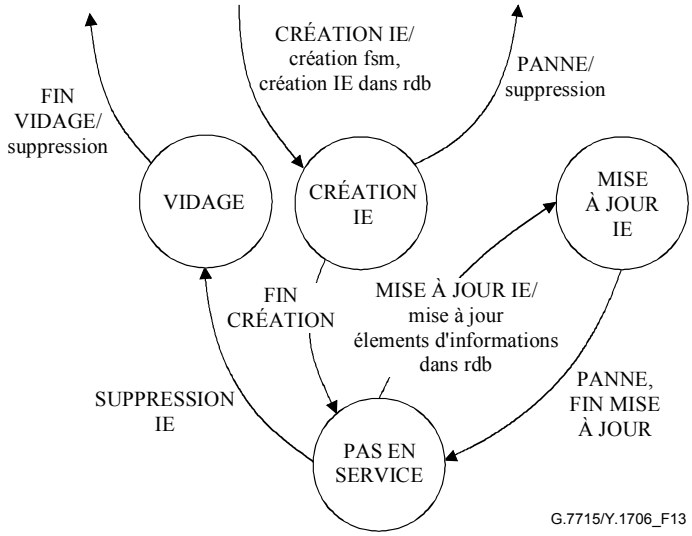

Figure 13/G.7715/Y.1706 – Diagramme d'état de génération locale d'éléments d'informations

Table 3/G.7715/Y.1706 – Tableau des états de génération locale d'éléments d'informations

Etat / Evénement	<Inexistant> (<Does Not Exist>	CREATION IE (CREATE IE)	MISE A JOUR IE (UPDATE IE)	PAS EN SERVICE (IDLE)	VIDAGE (FLUSH)
CREATE IE	CREATE IE/création automate à états, création élément ie dans la base rdb	Non valide	Non valide	Non valide	Non valide
CREATE COMPLETE	Non valide	PAS EN SERVICE	Non valide	Non valide	Non valide
UPDATE COMPLETE	Non valide		PAS EN SERVICE	Non valide	Non valide
UPDATE IE	Non valide	Non valide	Non valide	MISE A JOUR IE/ mise à jour ie dans la base rdb	Non valide
DELETE IE	Non valide	Non valide	Non valide	FLUSH	Non valide
FLUSH COMPLETE	Non valide	Non valide	Non valide	Non valide	<Inexistant>/ suppression automate à états
FAIL	Non valide	<Inexistant>/ suppression automate à états	PAS EN SERVICE	Non valide	Non valide

Lorsque le contrôleur d'acheminement reçoit une information d'un gestionnaire de ressource de liaison associé, il identifie la nécessité de créer un nouvel élément d'information. Il crée ensuite une nouvelle instance de l'automate à états de génération locale d'information, présente le nouvel élément d'information à la base de données RDB et passe ensuite à l'état <UPDATE IE>.

Lorsque l'élément d'information a été enregistré dans la base de données RDB, il y a génération d'un événement UPDATE COMPLETE. Il en résulte le passage de l'automate à l'état <IDLE>, dans

lequel il attend, soit une demande de mise à jour de l'élément d'information, soit une demande de suppression de l'élément d'information.

Lorsque le contrôleur d'acheminement reçoit un événement UPDATE, l'automate envoie l'information de mise à jour à la base de données RDB et passe à nouveau dans l'état <UPDATE IE>. Comme pour l'événement création, lorsque la base de données a été mise à jour avec succès, un événement UPDATE COMPLETE sera généré, provoquant le passage de l'automate à l'état IDLE.

Lorsque le contrôleur d'acheminement reçoit un événement DELETE, l'élément d'information doit être supprimé de la base de données RDB. Suite à l'invocation d'une opération vidage, l'automate passe à l'état <FLUSH> (<vidage>).

Une fois l'opération vidage terminée, l'automate à états reçoit un événement à FLUSH COMPLETE (fin du vidage); le contrôleur d'acheminement supprime ensuite l'automate.

9 Topologie de répartition des messages d'acheminement

Lorsque l'exécutant d'acheminement correspondant à une zone d'acheminement donnée est réalisé sous la forme d'un ensemble de contrôleurs d'acheminement réparti, l'information concernant la topologie du réseau et les points d'extrémité accessibles doit être diffusée à tous les autres contrôleurs d'acheminement et coordonnée avec ces derniers. La méthode employée pour transmettre les informations d'acheminement entre contrôleurs d'acheminement homologues ne dépend pas de l'emplacement de la source, ni de l'utilisateur des informations. Par conséquent, un certain nombre de topologies différentes peuvent être mises en œuvre afin de transmettre les informations d'acheminement. Les paragraphes suivants décrivent certaines méthodes utilisées à cet effet.

9.1 Topologie congruente

La Figure 14 représente une zone d'acheminement contenant un réseau de nœuds dans lequel toutes les paires de nœuds reliés par une ou plusieurs liaisons de transport ont également une adjacence d'acheminement entre les contrôleurs d'acheminement associés. La topologie résultante d'adjacences d'acheminement est congruente avec la topologie du réseau de transport. Par conséquent, les nœuds reliés par la liaison de transport ont une visibilité garantie par rapport aux adresses accessibles par l'intermédiaire de l'autre nœud. Lorsque le réseau de transport s'apparente de plus en plus à un réseau entièrement maillé, on observe un accroissement notable de la quantité d'informations redondantes en circulation.

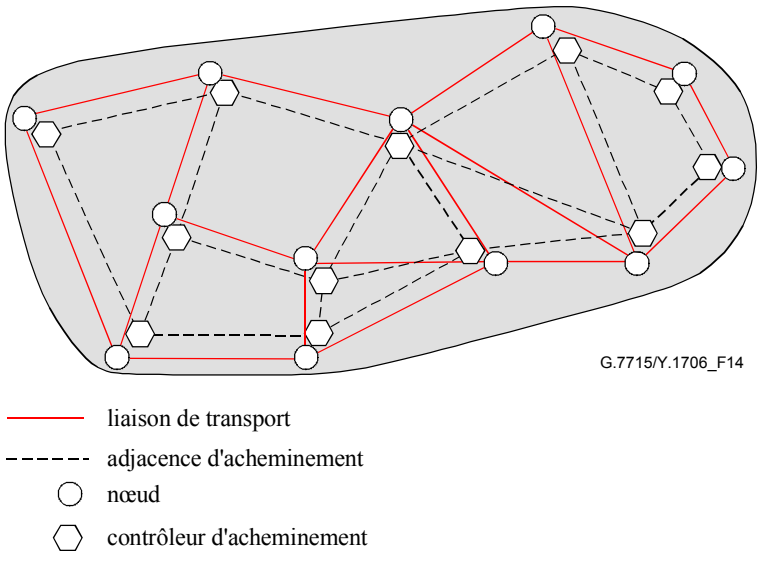

Figure 14/G.7715/Y.1706 – Exemple de connexions congruentes

9.2 Topologie concentrée utilisant un serveur de messages d'acheminement

La Figure 15 représente une zone d'acheminement contenant un réseau doté d'un ou plusieurs serveurs de messages d'acheminement. Chacun des contrôleurs d'acheminement du réseau maintient une association avec le serveur de messages. Le serveur de messages transmet ensuite les messages d'acheminement reçus d'un contrôleur à tous les autres contrôleurs de la zone d'acheminement. Par conséquent, l'adjonction au réseau de contrôleurs d'acheminement entraîne une augmentation proportionnelle du nombre d'associations au serveur de messages d'acheminement. En outre, puisque tous les messages sont transmis par l'intermédiaire d'un point central commun, celui-ci peut appliquer toute politique existante à la répartition des informations d'acheminement. Cependant, cette approche peut entraîner la transmission à plusieurs reprises d'un message d'acheminement sur la même liaison du réseau RCD, puisque deux contrôleurs d'acheminement différents peuvent être atteints par la même liaison RCD. Tel qu'indiqué plus haut, afin de réduire la probabilité de rupture de connexion, des serveurs d'attente peuvent être mis en œuvre.

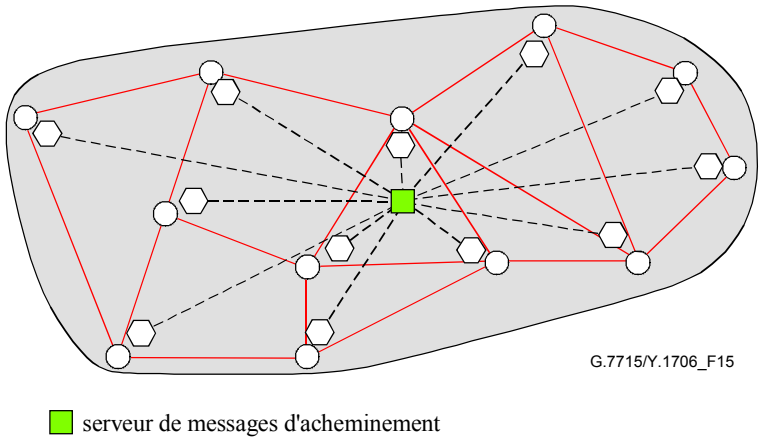

Figure 15/G.7715/Y.1706 – Exemple de flux concentrés de messages d'acheminement

9.3 Topologie orientée

La Figure 16 représente une zone d'acheminement contenant un réseau dont tous les contrôleurs d'acheminement transmettent des messages selon une topologie de répartition préconfigurée. Puisque l'administrateur de réseau définit la topologie de répartition, il a la possibilité de prendre en considération toute caractéristique de connexion de la topologie du réseau RCD façon à réduire au minimum la quantité d'informations d'acheminement redondantes transmises dans le réseau. Cette topologie de répartition doit s'étendre à tous les contrôleurs de la zone d'acheminement.

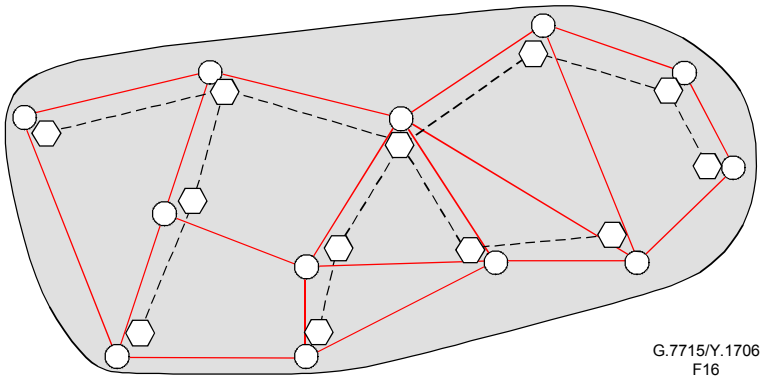

Figure 16/G.7715/Y.1706 – Exemple de flux de messages d'acheminement à topologie orientée

10 Choix du chemin

Le choix du chemin sur un réseau optique à commutation automatique désigne une fonction qui définit un chemin utilisable par un contrôleur de connexion en tant que paramètre de signalisation d'une connexion. La présente Recommandation traite essentiellement du choix du chemin pour la prise en charge de l'établissement d'une connexion.

Le choix du chemin peut s'effectuer hors ligne (planification du chemin par le plan de gestion) ou en ligne en temps réel (plan de commande); il dépend de la complexité des calculs, de la disponibilité des informations de topologie et du contexte de réseau particulier. Ce choix pouvant par ailleurs avoir lieu hors ligne et en ligne, les opérateurs pourraient, par exemple, procéder d'une part à des calculs en ligne pour traiter un sous-ensemble de décisions de choix de chemins, et d'autre part à des calculs hors ligne pour des problèmes complexes d'ingénierie du trafic et pour des questions liées aux politiques, notamment en matière de planification de la demande, d'organisation du service, de modélisation des coûts et d'optimisation globale.

10.1 Données d'entrée du choix du chemin

Les données d'entrée du choix du chemin dépendent du paradigme de routage considéré, dont différents exemples figurent au § 7.3.2/G.8080/Y.1304. Le choix du chemin dans le réseau optique à commutation automatique peut s'effectuer suivant différentes procédures dont certaines font l'objet de limitations quant aux données d'entrée relatives à la demande de choix d'un chemin. Les limitations portent par exemple sur:

- la diversité;
- les objectifs de performance du réseau;
- les politiques de gestion;
- les limitations propres à la couche transport (éventuellement une mesure particulière du poids de la liaison).

10.1.1 Routage pas à pas

Le choix du chemin pas à pas utilise normalement les données d'entrée suivantes:

I0 contexte topologique;

I1 destination;

I2 nœud source;

I3 ensemble (éventuellement vide) de contraintes indiquant la marche à suivre lorsque la sélection peut donner plusieurs résultats.

Le processus de choix du chemin pas à pas est généralement invoqué au niveau de chaque nœud afin de déterminer la liaison suivante sur un chemin vers une destination. La définition d'un nœud source en tant que donnée d'entrée, implique la possibilité de choisir le chemin en fonction d'une paire source/destination et non simplement en fonction d'une destination. Autrement dit, le choix du bond suivant s'effectue dans un contexte incluant l'adresse d'un nœud source.

La procédure de choix d'un chemin pas à pas est invoquée à plusieurs reprises, depuis différents points du réseau, les paramètres d'entrée devant être les mêmes à chaque fois. Il faut en outre que l'ensemble des instances invoquées de choix d'un chemin aboutisse globalement à la définition d'un chemin qui ne boucle pas sur lui même.

I0 désigne l'emplacement du réseau d'où la procédure de choix du chemin est invoquée; il s'agit donc d'un élément important dans le contexte de la sélection pas à pas. Par exemple, la sélection pas à pas du chemin peut être invoquée plusieurs fois avec les mêmes valeurs I1, I2 et I3, mais conduire à des résultats différents, si la fonction est invoquée à partir de nœuds différents.

10.1.2 Routage d'après l'origine et routage hiérarchique

Le routage d'après l'origine et le routage hiérarchique comportent des prescriptions semblables en matière de choix du chemin. Lorsqu'on détermine un chemin hiérarchique sur des sous-réseaux qui ne se situent pas "à la base", on obtient un résultat qui s'apparente à un chemin d'après l'origine dont les caractéristiques détaillées sont incomplètes.

Les données d'entrée nécessaires au choix d'un chemin selon un routage d'après l'origine comprennent généralement les éléments suivants:

I0 contexte topologique;

I4 destination;

I5 origine correspondant au nœud ou point de terminaison de sous-réseau identique ou de niveau plus élevé;

I6 contrainte de diversité – Diversité requise des chemins sélectionnés;

I7 contraintes d'inclusion – Liaisons et sous-réseaux nécessairement inclus dans les chemins sélectionnés;

I8 contraintes d'exclusion – Liaisons et sous-réseaux ou composants de chemins exclus des chemins sélectionnés;

I9 mesure à minimiser – Spécification d'une mesure de liaison à minimiser ou au terme des choix effectués par la fonction de sélection de chemin.

Dans le cas d'un routage d'après l'origine, le chemin est choisi en fonction d'un nœud source; il peut également s'agir d'un nœud intermédiaire sur un chemin en cours de calcul. Ce nœud doit normalement se situer à la lisière d'une zone d'acheminement, là où la fonction de choix de chemin pour cette zone est invoquée afin d'obtenir les modalités détaillées de franchissement.

Le routage hiérarchique commence normalement au sommet d'une hiérarchie et définit une succession de sous-réseaux par lesquels un chemin est susceptible de passer entre un nœud origine et un nœud destination donnés. Chacun des sous-réseaux en question doit donner lieu à une nouvelle procédure de sélection du chemin, tenant compte de la portée de la topologie interne du sous-réseau. En principe cette procédure est réitérée jusqu'à ce que les fonctions collectives de choix du chemin définissent des liaisons réelles. Dans ce cas, les fonctions de sélection du chemin d'après l'origine ne sont pas nécessairement identiques d'un sous-réseau à l'autre.

Les données d'entrée I4 et I5 peuvent par exemple spécifier un niveau quelconque de sous-réseau (réseaux de connexions ou sous-réseaux de niveau plus élevé).

10.2 Résultat de la procédure de sélection d'un chemin

Le résultat des procédures décrites ci-dessous dépend en outre du paradigme de routage. Le routage d'après l'origine et le routage hiérarchique obtiennent des résultats semblables dans la mesure où ils définissent différents types de chemins (liaisons et nœuds) tandis que le routage pas à pas exige simplement la définition de la liaison suivante. Dans le premier cas les solutions possibles sont nombreuses ce qui permet de définir de grandes catégories de résultats, selon le type de liaison et de chemin. Ces résultats peuvent par exemple être classés comme suit:

O1 liaison du bond suivant;

O2 chemin unique;

O3 deux chemins ou davantage.

10.3 Paradigmes de routage et choix du chemin

Le paradigme de routage définit les données d'entrée requises et les résultats de la procédure de sélection de chemin. Par ailleurs, toutes les combinaisons données d'entrée/résultats ne sont pas pertinentes. Le Tableau 4 ci-dessous présente un certain nombre de combinaisons susceptibles d'offrir un intérêt.

Tableau 4/G.7715/Y.1706 – Exemples de scénarios de choix du chemin

Scénario	Données d'entrée	Résultats	Paradigme	Visibilité topologique requise
C1	I0, I1	O1	Pas à pas. Bond suivant d'après la destination.	Vue de la meilleure liaison choisie pour une adresse de destination.
C2	I0, I1,12	O1	Pas à pas. Bond suivant d'après l'origine/destination.	Vue topologique permettant de mettre pleinement à profit le contexte d'origine. Possibilité d'une certaine discrimination de l'origine à partir du de la topologie du scénario C1 et de données supplémentaires concernant le chemin.
C3	I0, I4, I5	O2	D'après l'origine ou hiérarchique. Chemin défini d'après le couple origine/destination. Le cas échéant à un niveau hiérarchique quelconque.	Vue topologique au niveau de la hiérarchie d'acheminement requise.
C4	I0, I4, I5, I8	O2	D'après l'origine ou hiérarchique. Le chemin obtenu suit une succession différente de liaisons et de nœuds par rapport au chemin figurant dans les données d'entrée.	Vue topologique au niveau de la hiérarchie d'acheminement requise.
C5	I0, I4, I5, I7	O2	D'après l'origine ou hiérarchique. Toutes les liaisons du chemin obtenu ont une caractéristique commune (par exemple en matière de protection).	Vue topologique au niveau de la hiérarchie d'acheminement requise. Information nécessaire quant aux caractéristiques de liaison.
C6	I0, I4, I5, I6	O3	D'après l'origine ou hiérarchique. Choix de deux chemins différents l'un de l'autre.	Vue topologique au niveau de la hiérarchie d'acheminement requise.

Appendice I

Flux d'informations entre différents niveaux de la hiérarchie d'acheminement

Lorsqu'une demande de connexion est présentée au plan commande, les instances locales du contrôleur d'acheminement ne contiennent pas nécessairement les informations adéquates pour déterminer la façon d'établir la connexion. La découverte des adresses et de leur portée représente le processus permettant d'obtenir les informations adéquates pour déterminer la première étape nécessaire à l'établissement de la connexion. Les flux d'informations entre différents niveaux de la hiérarchie d'acheminement sont présentés ci-après à titre d'exemple. Le présent appendice décrit deux types de flux d'informations entre niveaux hiérarchiques d'acheminement.

Dans le premier cas, les interactions entre contrôleurs d'acheminement parent et fils s'effectuent par une interface. Pendant la phase de diffusion des informations d'acheminement, lesdites informations circulent vers le haut et vers le bas de la hiérarchie, pour permettre à chaque instance de contrôleurs d'acheminement une résolution adéquate de toute adresse de point de terminaison.

Dans le second cas, le processus de résolution commence par la reconnaissance du fait que les contrôleurs d'acheminement locaux ne disposent pas des informations adéquates, et se poursuit en transmettant la demande de chemin à un contrôleur d'acheminement parent, censé avoir (ou pouvoir obtenir) la résolution requise. Il existe également une variante de cette méthode lorsqu'un contrôleur d'acheminement n'a pas connaissance de son parent; la résolution est alors effectuée par des composants externes.

I.1 Diffusion des informations liées à la résolution des adresses de points de terminaison

Le choix d'un chemin dans une zone d'acheminement, au niveau d'une couche déterminée, est logiquement amené à résoudre des adresses en dehors de cette zone. En l'occurrence, les informations de portée provenant de sa couche parent ne doivent pas être envoyées en aval. Cela équivaut à déterminer le nombre d'annuaires téléphoniques publiant des codes nationaux ou régionaux qui constituent des adresses récapitulatives au niveau d'une couche supérieure.

Lorsqu'un contrôleur d'acheminement parent fournit au contrôleur fils des données récapitulatives de portée et/ou de topologie de destination, il associe la portée de la destination aux points de sortie de la zone d'acheminement au niveau fils:

1) une route déterminée à partir d'une destination accessible connue de la zone au niveau fils, soit parce qu'elle fait partie de celle-ci, soit parce qu'elle fait partie d'une zone incluse dans la zone au niveau fils doit correspondre à la préférence la plus élevée;
2) une destination accessible qui correspond à une adresse récapitulative transmise par la zone au niveau parent à la zone au niveau fils doit avoir la préférence la plus élevée;
3) si la destination de la demande de route n'est pas connue de la zone au niveau fils ou de la zone au niveau parent, alors la destination n'est pas accessible.

I.1.1 Flux d'informations du niveau parent au niveau fils

La prise en charge de ce modèle peut consister à envoyer l'information d'un contrôleur d'acheminement parent à un contrôleur fils, afin de faciliter la sélection du chemin à l'intérieur du contrôleur d'acheminement fils. Celui ci doit entretenir la connaissance du fait que cette information a été obtenue auprès d'un autre niveau et ne provient pas de son propre niveau. Il existe deux types d'information au niveau parent:

1) adresses accessibles – les informations récapitulatives concernant les adresses accessibles peuvent être adressées à des niveaux d'acheminement inférieurs, de façon à ce que leurs procédures de sélection de chemin puissent résoudre une adresse de destination en la situant

dans l'une de leurs réserves d'extrémité de points de terminaison de sous-réseaux. Il est fréquent qu'une association entre les adresses récapitulatives de niveau supérieur et les adresses détenues par la zone d'acheminement soit maintenue (par exemple l'ensemble de points passerelle X.75 par lesquels il est possible d'accéder à un code d'identification du réseau de données (DNIC, *data network international code*) X.121 particulier);

2) liaison et sous-réseau – des informations concernant les liaisons et sous-réseaux de niveau supérieur peuvent être adressées à des zones d'acheminement inférieures. Cette possibilité permet en principe de prendre certaines décisions quant au choix du chemin d'après la topologie d'autres zones d'acheminement. La diffusion vers l'aval de toutes les informations concernant le niveau supérieur a des applications en matière de normalisation.

I.1.2 Flux d'informations du niveau fils au niveau parent

Il est également possible d'envoyer des informations d'acheminement d'un contrôleur d'acheminement fils vers un contrôleur d'acheminement parent, pour pouvoir les utiliser en tant que données topologiques locales au niveau du contrôleur d'acheminement parent. Seules les informations provenant du contrôleur d'acheminement fils ou de ses propres fils peuvent être envoyées en amont. Les informations d'acheminement reçues d'un contrôleur d'acheminement parent ne doivent pas être renvoyées au contrôleur de protocole parent. Si les informations envoyées vers l'amont sont insuffisantes, la procédure de sélection du chemin au niveau supérieur risque de ne pas fonctionner.

Lorsqu'un contrôleur d'acheminement parent reçoit des informations d'acheminement provenant d'un contrôleur fils, il peut l'envoyer vers l'aval à d'autres contrôleurs d'acheminement fils et/ou vers l'amont à son propre contrôleur d'acheminement parent.

Il existe deux types d'informations au niveau fils:

1) adresses accessibles – les informations d'adressage utilisées par l'acheminement sont des adresses acheminables. Elles sont distinctes des adresses publiques des réserves SNPP reliées à des clients ou à des noms de clients. Il doit exister un mécanisme pouvant établir un mappage entre ces adresses et les adresses acheminables, mais cette question ne relève pas du domaine d'application de la présente Recommandation.

   Les informations d'adressage peuvent être récapitulées avant d'être envoyées vers l'amont. Il en est ainsi même lorsque le niveau inférieur n'utilise pas la totalité de l'espace d'adressage (autrement dit laissant ainsi des adresses inutilisées ou des "vides"). Des récapitulations plus fines pourraient être adressées depuis une zone d'acheminement vers le niveau parent, advenant l'exposition au niveau supérieur de lacunes contenues dans un préfixe d'adresse. Cette possibilité est particulièrement intéressante pour la procédure de sélection pas à pas d'un chemin, car elle permet d'établir plus rapidement si une adresse de destination n'existe pas.

   Les informations concernant les adresses peuvent par ailleurs être retenues ou exclues. Les adresses et/ou le récapitulatif peuvent ne pas être envoyées à un niveau supérieur. On évite ainsi à la couche supérieure de prendre connaissance des adresses en question. Il est ainsi possible de créer des zones d'acheminement ne pouvant être utilisées pour des connexions terminales ou des connexions intermédiaires, mais pouvant l'être pour des connexions d'origine;

2) liaison et sous-réseau – ces entités peuvent être récapitulées à des degrés divers. Dans le cas d'une récapitulation intégrale, une seule adresse représentant l'ensemble de la topologie d'une zone d'acheminement peut être envoyée à un niveau supérieur. Les adresses des réserves SNPP situées à l'extrémité de la zone d'acheminement sont également envoyées. Dans le cas d'une récapitulation partielle, il est possible d'envoyer à un niveau supérieur une représentation réduite d'une topologie. Une représentation non simplifiée d'un nœud

complexe, situé à une interface réseau-réseau privé (PNNI, *private network-network interface*) ATMF, en constitue un exemple.

Le détail des informations peut également dépendre des données d'entrée demandées. Par exemple, si l'on demande un chemin à partir d'une origine donnée vers une destination, il convient alors de définir une arborescence des chemins les plus courts à partir de cette origine et contenant toutes les destinations. Si l'on demande par contre un chemin à partir d'une origine donnée vers une destination et s'il faut exclure tous les éléments d'un chemin d'entrée de données, il faut alors déterminer toutes les liaisons et tous les nœuds (sous réseaux) de la zone d'acheminement.

I.2 Echange d'informations entre niveaux hiérarchiques pour la résolution des adresses de points de terminaison

La procédure de sélection de la route dans une zone d'acheminement et à un niveau donné n'est pas censée résoudre des adresses situées en dehors de cette zone. En l'occurrence, les informations de portée provenant du niveau parent ne doivent pas être envoyées vers l'aval. Néanmoins, dans ce cas, il sera nécessaire d'utiliser une fonction de demande de route fournie par la couche supérieure, pour que la couche inférieure puisse localiser le point de sortie de la zone.

Il convient de signaler que la prise en charge de cette méthode exige cependant le transfert d'une certaine quantité d'informations du niveau fils au niveau parent.

Lorsque l'identification du point de sortie pour des destinations situées hors de la zone d'acheminement fait appel à la coopération hiérarchique:

1) le contrôleur d'acheminement fils doit en premier lieu être consulté pour définir un chemin vers la destination. Si le contrôleur fils connaît la destination, le chemin qu'il a établi doit être utilisé. Ce chemin sera placé dans l'ordre de préférence le plus élevé;

2) si le contrôleur d'acheminement fils ne connaît pas la destination, alors le contrôleur d'acheminement parent sera prié de définir un chemin vers la destination. Si ce dernier est en mesure de le faire, alors la première extrémité de liaison du chemin notifié identifiera la réserve SNPP utilisée pour quitter la zone d'acheminement au niveau fils. Le contrôleur d'acheminement fils sera ensuite consulté pour définir un chemin vers la réserve SNPP. Le chemin notifié par le contrôleur d'acheminement fils est ensuite préfixé au chemin notifié par le contrôleur d'acheminement parent. La préférence la moins élevée sera attribuée à ce chemin;

3) si le contrôleur d'acheminement parent ne peut définir un chemin, alors la destination est dite inaccessible.

(NOTE – Un contrôleur parent est autorisé à prendre contact avec son propre contrôleur parent).

Appendice II

Groupe à risque partagé

Le présent appendice décrit et analyse le concept de groupe à risque partagé (SRG) qui présente un intérêt pour la détermination de la diversité des chemins possibles entre un couple de nœuds origine et destination dans les réseaux à commutation de circuits.

II.1 Diversité de chemin

Dans les réseaux à commutation de circuits, une connexion suit un chemin constitué alternativement de nœuds et de liaisons. Il est généralement exigé que les circuits parallèles établis entre le même couple de nœuds d'origine et de destination suivent un chemin utilisant des ressources réseau diversifiées (liaisons et nœuds). La diversité de routage est une relation entre les circuits et cette diversité a pour objectif d'éliminer le point dont la probabilité de défaillance consécutive à une défaillance de ressource réseau (tel qu'un sectionnement de fibre ou une défaillance de nœuds de commutation) dépasse celle des circuits.

Au niveau abstrait, il existe deux types de diversité topologique: celle des chemins à liaisons disjointes et celle des chemins à nœuds disjoints[2]. Deux circuits sont dits "liaison-disjoints" s'ils n'ont pas en commun une liaison en tant que point de défaillance isolé potentiel. De manière analogue, deux circuits sont dits "nœud-disjoints" s'ils n'ont pas en commun un nœud pouvant constituer un point de défaillance isolé potentiel, à l'exception des nœuds d'origine et de destination. Il est à noter au sens de la théorie des graphes, que l'absence de nœuds communs implique l'absence de liaisons communes, bien que cela exige dans le cas des réseaux réels la prise en considération de données géographiques.

La définition ci-dessus de la diversité s'appuie sur la relation topologique des ressources réseau constituées par les liaisons et les nœuds. Cette diversité topologique peut être étendue en faisant appel au modèle de partage des risques examiné ci-après.

II.2 Ressources réseau et partage des risques

Une connexion de bout en bout utilise conjointement les ressources constituées par les liaisons et les nœuds, tandis que les défaillances de ressources réseau incluent notamment les sectionnements de fibres, les pannes de nœuds de commutation, les incendies de central, etc. Un ensemble de ressources réseau ont tendance à tomber en panne simultanément lorsqu'elles sont appelées à connaître un même sort en raison de leur proximité géographique, laquelle peut servir à définir des groupes à risque partagé. On peut citer notamment à titre d'exemple:

- partage de fibres optiques: acheminement de toutes les longueurs d'ondes sur la même paire de fibres dans un système de transport optique à multiplexage par répartition en longueur d'onde;
- partage de câbles/conduits: installation de toutes les fibres dans un même câble ou dans un même conduit, en raison de contraintes de réalisation matérielle;
- partage d'un coût de servitude: tous les chemins de fibres optiques qui partagent le même coût de servitude. Il s'agit d'un domaine dans lequel l'opérateur de réseau a le droit d'installer un conduit ou un câble de fibres optiques.

---

[2] On peut également avoir des circuits à la fois liaison et nœud disjoints.

Les réseaux sont conçus fréquemment pour partager des équipements ou des servitudes entre plusieurs entreprises ou administrations. De manière analogue, dans un réseau métropolitain, des opérateurs différents peuvent louer un espace à l'intérieur du même conduit ou louer des équipements à fibres optiques auprès du même opérateur. Dans tous les cas ci-dessus, les défaillances affectant les infrastructures communes sont à l'origine du risque partagé.

La notion de risque partagé ne doit pas être limitée aux contraintes imposées par la structure du réseau physique. Il y a lieu également de prendre en compte les groupes à risque partagé imputables aux politiques administratives, comme en témoignent les exemples ci-dessous:

- deux circuits, censés fonctionner en diversité pour une application, ne fonctionnent pas nécessairement en diversité pour une autre. Le fonctionnement en diversité est considéré généralement comme une réaction aux pannes d'acheminement interoffice;
- les applications à haute fiabilité exigent parfois la prise en considération d'autres types de pannes. Les pannes de centraux surviennent également, mais avec une moindre fréquence que les défauts de chemin, les incendies, les pannes d'alimentation et les inondations. Nombre d'applications exigent un fonctionnement en diversité de nœud. Dans d'autres cas, le fonctionnement en diversité d'alimentation électrique du même central peut être suffisant;
- anneaux partagés: de nombreuses applications permettent à des circuits fonctionnant en diversité de partager une liaison SONET à protection en anneau; vraisemblablement ils devraient offrir la même possibilité pour les anneaux de couche optique;
- zone sinistrée: les tremblements de terre et les inondations peuvent provoquer des pannes sur une zone étendue. Pour les besoins du fonctionnement en diversité, toutes les ressources réseau situées dans une zone touchée par un tremblement de terre ou une inondation peuvent être considérées comme partageant le même risque;
- certains réseaux peuvent tolérer des risques plus importants. Par exemple, certains opérateurs de réseau peuvent considérer que deux câbles à fibre optique installés dans un conduit en béton robuste ont une faible probabilité de panne simultanée, et offrent donc une diversité de liaison. Ils peuvent en outre considérer que deux câbles à fibre optique enfouis de part et d'autre d'une voie ferrée assurent un fonctionnement en diversité en raison de la probabilité réduite au minimum de leur rupture simultanée par une même pelleteuse.

II.3 Groupe à risque partagé (SRG)

La notion courante de diversité de nœud et de liaison peut être étendue à la notion générale de groupe à risque partagé, pouvant concerner conjointement ou non des nœuds ou des liaisons. En particulier, il est question de diversité de groupe à risque partagé, par opposition à la diversité de nœud ou de liaison (celle-ci étant un cas particulier de la première).

On entend par groupe à risque partagé (SRG) un groupe d'éléments conjointement exposés à un même risque dont la réalisation peut provoquer la défaillance de tous les éléments du groupe.

Par exemple, toutes les liaisons à fibre optique qui utilisent un même conduit enfoui appartiennent au même groupe SRG, parce que le conduit est un composant à risque partagé dont la défaillance, par exemple le sectionnement, entraînera la rupture de toutes les fibres à l'intérieur du conduit.

On définit souvent un identificateur SRG correspondant à chaque groupe, à des fins d'identification. La notion de groupe SRG est applicable à la définition d'une diversité de chemin sans éléments de liaison communs. Deux chemins sont réputés distincts d'un groupe à risque partagé si aucune paire de liaisons de nœuds des deux chemins n'appartient au groupe SRG considéré.

Le concept de groupe à risque partagé est parfaitement adapté à une topologie de réseau plat et peut être étendu à un réseau hiérarchique. Un réseau plat peut être divisé en domaines constitués d'un ensemble de nœuds et de liaisons associées. La partition peut reposer sur des critères topologiques techniques ou administratifs. Les liaisons entre domaines sont des liaisons entre les nœuds de différents domaines et chaque domaine peut être à nouveau partagé en sous-domaines. Ce partitionnement peut être répété jusqu'à ce que la granularité des domaines atteigne un certain niveau, générant ainsi une hiérarchie de réseau. Dans le cas du réseau hiérarchique, un domaine est un nœud logique doté d'un ensemble de ports correspondant aux liaisons entrantes et sortantes.

Il importe de noter que le concept de groupe à risque partagé définit non seulement un groupe à risque partagé constitué de nœuds et de liaisons, mais définit en outre l'ordre de préférence en matière de choix d'un chemin, puisqu'il est tenu compte du niveau de risque et de la qualité des chemins en question. Le concept de groupe à risque partagé est essentiel pour la prise en charge d'un routage hiérarchique permettant de calculer en premier lieu un chemin au niveau des domaines puis de le préciser à l'intérieur de chaque domaine.

II.4 Implications des groupes à risque partagé pour l'acheminement

La gestion de la diversité est une exigence impérative pour assurer l'acheminement des données dans le réseau de transport à commutation de circuit. Il est nécessaire à cet effet de prendre en compte les contraintes de SRG dans le cadre du processus d'acheminement, mais il faut avant tout disposer d'informations d'état supplémentaires concernant les relations de type SRG.

A présent, la plus grande partie des informations relatives au groupe SRG ne peuvent être découvertes automatiquement. De fait, dans un grand réseau il est extrêmement difficile de tenir à jour des informations précises de ce type. Cette tâche est particulièrement délicate dès lors que plusieurs domaines administratifs sont impliqués. Par exemple, après acquisition d'un réseau par un autre, puisqu'il y a habituellement une probabilité de violation de diversité d'un domaine à l'autre. Il n'est guère probable que les relations de diversité concernant des groupes à risque partagé créés sur la base de mesures autres que des liens géographiques (par exemple, latitude et longitude des liaisons et des nœuds) soient jamais utilisées dans un proche avenir.

La notion de diversité acceptable pouvant être interprétée de multiples façons, un groupe à risque partagé pourrait être caractérisé par les deux paramètres suivants:

- type d'altération: par ex. partage d'un câble à fibre optique, d'un conduit, d'une servitude, d'un anneau optique, d'un central téléphonique sans partage de l'alimentation électrique, etc.;
- étendue de l'altération: dans le cas d'équipement extérieur, il pourrait s'agir de la durée de la mise en commun des ressources.

Un algorithme de choix initial sous contrainte du chemin le plus court (CSPF, *constrained shortest path first*) pourrait ensuite pénaliser une altération de diversité dans une certaine proportion en fonction de ces deux paramètres.

Il est à noter que des informations globalement cohérentes sur les groupes à risque partagé ne sont pas toujours disponibles dans plusieurs domaines de commande, même avec un opérateur unique.

Le mappage entre les liaisons/nœuds et les différents groupes à risque partagé est généralement définie par les opérateurs de réseau en fonction des politiques et des règles relatives aux groupes à risque partagé. Compte tenu de la difficulté de découverte des informations sur les SRG par un élément de réseau et puisque ces informations revêtent un caractère statique, les éléments de réseau risquent de ne pas les communiquer conjointement avec d'autres informations sur la disponibilité des ressources. Elles pourraient par contre être configurées dans une base de données centrale d'où elles seraient diffusées ou extraites par les nœuds ou encore annoncées par les éléments de réseau au stade de la découverte topologique.

RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE Y

INFRASTRUCTURE MONDIALE DE L'INFORMATION ET PROTOCOLE INTERNET

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

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

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

Genève, 2002