

MTP3 : pour une meilleure compréhension de SIGTRAN/M3UA

EFORT

<http://www.efort.com>

Le Réseau Sémaphore n°7 (SS7) a pour but d'acheminer des informations de contrôle entre les éléments d'un réseau de télécommunication, tels que les commutateurs, les bases de données et les serveurs. Le réseau SS7 est la clé pour l'introduction de services à valeur ajoutée.

Typiquement, dans un réseau GSM, les MSC/VLR, HLR (Home Location Register), SMSC (Short Message Service Center) et SCP (Service Control Point) échangent des messages de signalisation INAP (Intelligent Network Application Part), CAP (CAMEL Application Part) ou MAP (Mobile Application Part) à travers le réseau SS7. Dans un réseau GPRS, les SGSN (Serving GPRS Support Node) et HLR interagissent par échange de messages MAP.

Le Réseau SS7 est un réseau en mode non connecté. Sa couche réseau (couche 3 du modèle de référence OSI) appelée MTP3 (Message Transfer Part 3) prend en charge les fonctions d'adressage (à chaque nœud du réseau est associée une adresse appelée code de point), de routage (à l'aide de ses routeurs appelés points de transfert sémaphore), et de contrôle de congestion.

Le but de ce tutoriel est de présenter le protocole MTP3 dans le but d'une meilleure compréhension de l'émulation MTP3 sur un réseau IP appelée M3UA (MTP3 User Adaptation) dans le contexte SIGTRAN (Signaling Transport over IP). M3UA fera l'objet d'un autre tutoriel EFORT.

1. MTP Niveau 3

La structuration du réseau SS7 en couche a été influencée par le modèle OSI (Open Systems Interconnection).

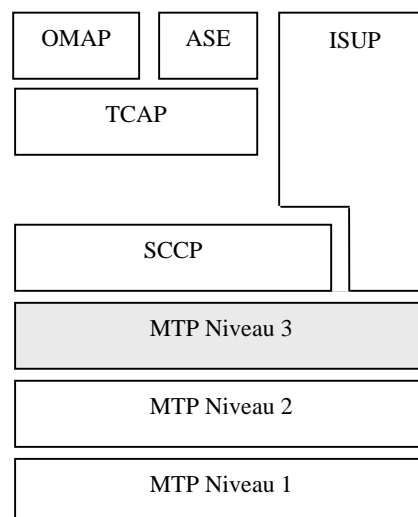


Figure 1: MTP niveau 3 dans la pile de protocoles SS7

SS7 est divisé en quatre niveaux représentés à la figure 1 (le terme niveau est utilisé afin de le différencier du concept de couche OSI) :

- Niveau 1 : physique
- Niveau 2 : liaison de données

- Niveau 3 : réseau
- Niveau 4 : partie(s) utilisateur.

Les niveaux 1 à 3 prennent en charge le transfert de messages de signalisation entre nœuds du réseau SS7, et ce, de façon fiable. Ils fournissent par ailleurs l'ensemble des fonctions nécessaires afin de gérer le réseau. Les niveaux 1 à 3 sont appelés sous-système de transfert de message (*MTP*, Message Transfer Part) de SS7.

Le niveau 4 concerne les services de signalisation. Plusieurs blocs fonctionnels au niveau 4 représentant des applications spécifiques utilisent les services de MTP. Puisque ces blocs fonctionnels sont des utilisateurs de MTP, ils sont référencés comme parties utilisateur. Plusieurs parties utilisateur peuvent exister simultanément au niveau 4. Des exemples de parties utilisateur sont ISUP (ISDN user part) et TCAP (Transaction Capability Application Part). *ISUP* offre le service de base d'établissement et de libération de circuits ainsi que des services complémentaires (identification de la ligne appelante, renvoi d'appel sur occupation, renvoi d'appel sur non-réponse, renvoi d'appel inconditionnel, etc.).

TCAP offre les services d'invocation à distance. Un exemple d'invocation est l'interrogation d'une base de données de numéro vert afin d'obtenir la traduction entre un numéro vert et le numéro physique correspondant.

Différentes applications utilisent les services de TCAP. Parmi celles-ci, figurent les suivantes:

- INAP (Intelligent Network Application Part) est le protocole permettant l'exécution de services à valeur ajoutée (numéro vert, réseau privé virtuel, carte prépayée, etc.)
- CAP (CAMEL Application Part) permet l'invocation de services à valeur ajoutée du réseau intelligent depuis des réseaux visités.
- MAP (Mobile Application Part) offre le service de mobilité du terminal ainsi que des services complémentaires.

MTP3 offre trois services importants qui sont ceux de la couche réseau :

- L'adressage : Chaque nœud du réseau SS7 tel que les MSC/VLR, SMSC, HLR, STP, etc, dispose de son adresse appelée Code de Point (PC, Point Code).
- Le routage : Chaque nœud du réseau SS7 dispose d'une table de routage préconfigurée permettant de connaître le nœud suivant par laquelle passer pour acheminer un paquet MTP3 à la destination.
- Le contrôle de congestion : Lorsque des problèmes surviennent au niveau MTP3, le réseau se reconfigure afin d'assurer l'acheminement des paquets à la destination.

1.1 L'étiquette d'acheminement

L'étiquette d'acheminement normalisée par l'ITU-T dans la recommandation Q.704 pour le réseau sémaphore international a une longueur de 32 bits divisés en trois champs (Figure 2):

- Code du point de destination (DPC, Destination Point Code) sur 14 bits,
- Code du point d'origine (OPC, Origination Point Code) sur 14 bits,
- Sélection des Canaux Sémaphores (SLS, Signaling Link Selection) sur 4 bits.

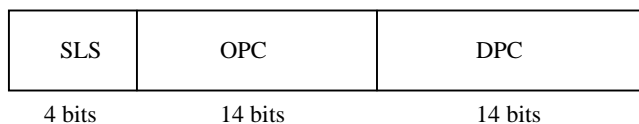


Figure 2: Structure de l'étiquette d'acheminement

Le champ DPC identifie le SP destinataire du message alors que le champ OPC indique le SP émetteur du message. Le rôle du champ SLS est d'effectuer un partage de la charge entre canaux sémaphores.

Avec des champs OPC et DPC de 14 bits de longueur, le réseau sémaphore international peut contenir 16344 SPs. Au niveau national il est possible d'adopter ce format si le nombre de SPs ne peut dépasser ce maximum.

Aux Etats-Unis par exemple, le format a été modifié par l'ANSI (American National Standards Institute). La longueur des champs DPC et OPC est de 24 bits alors que le champ SLS a une longueur de 8 bits.

Le champ SLS est utilisé afin de sélectionner un canal sémaphore particulier d'un faisceau de canaux sémaphores.

Chaque point sémaphore ou STP est identifié de façon unique par un code de point sémaphore qui est utilisé par la fonction d'acheminement de la couche MTP 3 afin de router les messages sémaphores.

La structure des champs OPC et DPC de longueur 14 bits est subdivisée en trois sous-champs (Figure 3): identification de zone géographique mondiale (network identifier) sur 3 bits, identification de zone/réseau (network cluster) sur 8 bits et identification de point sémaphore (network cluster member) sur 3 bits.

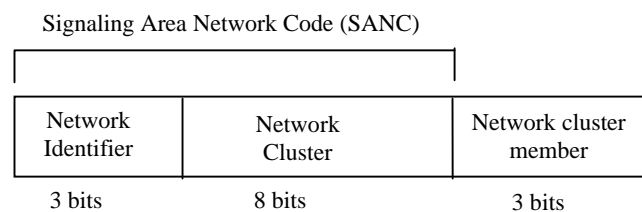


Figure 3: Format des codes de points internationaux

Le champ Network Identifier a la valeur 2 pour l'Europe, 3 pour les Etats-Unis, 4 pour l'Asie, 5 pour l'Australie, 6 pour l'Afrique et 7 pour l'Amérique du Sud. Les valeurs 0 et 1 sont réservées pour attribution future. 3 bits suffisent donc pour coder l'ensemble de ces valeurs. A chaque pays est attribué un ou plusieurs codes de zone/réseau sémaphores (SANC, Signaling Area Network Code). La France s'est vue attribuée les valeurs comprises entre 2-016 et 2-023, où le préfixe 2 est la valeur du champ Network Identifier.

1.2 Orientation des messages de signalisation

Les fonctions d'orientation des messages à la couche MTP niveau 3 sont au nombre de trois. Il s'agit de :

- La fonction de discrimination des messages,
- La fonction de distribution des messages,
- La fonction d'acheminement des messages

1.2.1 Fonctions de discrimination et de distribution des messages

Lorsqu'un message est reçu d'un point sémaphore (SP), la fonction de discrimination compare le code du point de destination (DPC, Destination Point Code) présent dans l'étiquette d'acheminement du message avec le code de point du SP. S'ils sont identiques, la fonction de discrimination conclut que ce message est destiné à ce même SP. L'étape suivante consiste à remettre le message au sous-système utilisateur approprié. Cette tâche est accomplie par la fonction de distribution. Elle examine les 4 bits du champ Service Indicator (SIO) présents dans le champ Service Information Octet (SIO) du message reçu. A partir de la valeur du champ SI, la fonction de distribution est à même de délivrer le message à la bonne destination dans le SP (Figure 4)

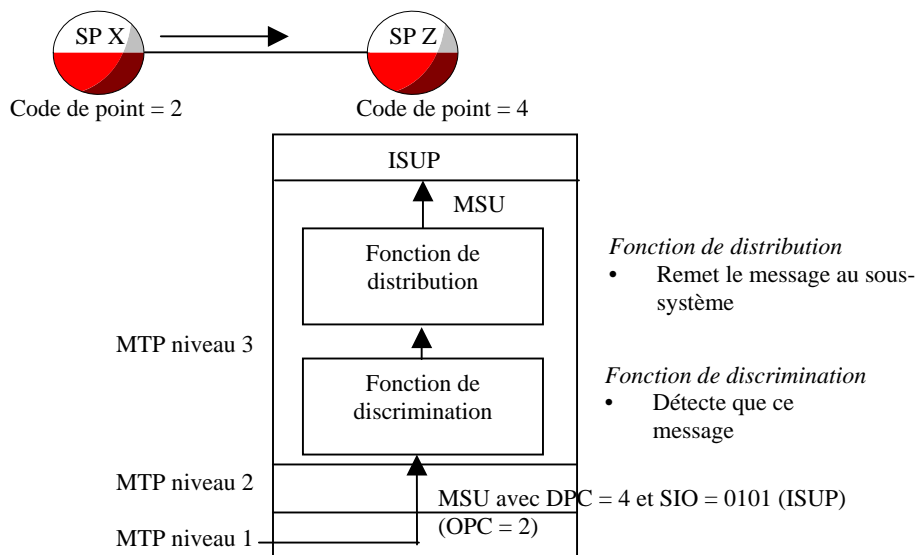


Figure 4: Fonctions de discrimination et distribution du SP Z

Si la fonction de distribution n'est pas en mesure de relayer le message car le sous-système utilisateur indiqué par le message n'existe pas, elle renvoie un message d'indisponibilité du sous-système utilisateur (UPU, User Part Unavailable) au SP émetteur.

Si la valeur du DPC est différente de celle du code de point du SP, la fonction de discrimination considère que le message n'est pas destiné à ce SP. Lorsque le SP a la fonctionnalité STP, le message doit alors être transféré à la fonction d'acheminement des messages (Figure 5).

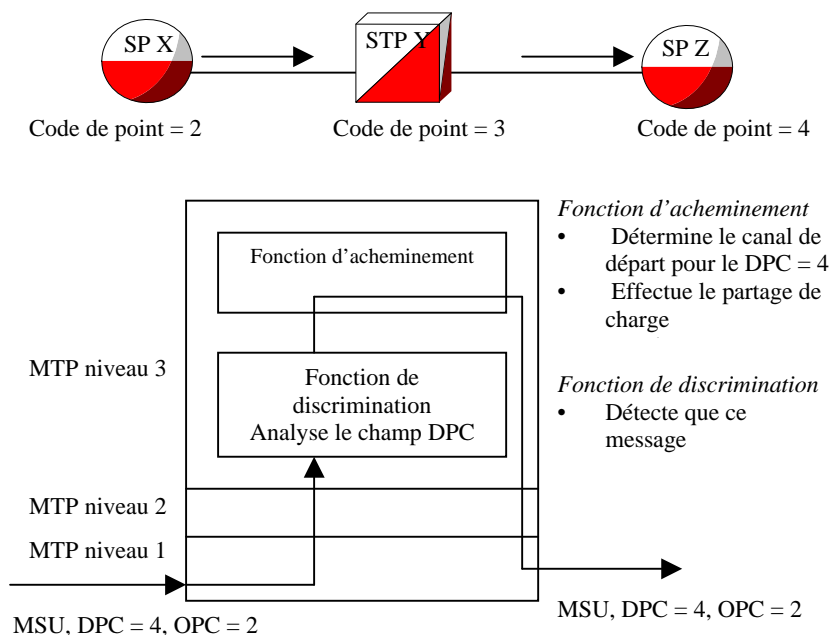


Figure 5: Fonction d'acheminement du STP Y

1.2.2 Fonction d'acheminement des messages

La fonction d'acheminement des messages dans un SP prend en charge l'émission de messages depuis ce SP. Lorsqu'un sous-système utilisateur émet un message, la fonction d'acheminement des messages doit déterminer le canal sémaphore sur lequel envoyer le message. Elle réalise par ailleurs un partage de la charge sur l'ensemble des canaux disponibles vers une destination déterminée. Le canal choisi est indiqué dans le champ

sélection des canaux sémaphores (SLS, Signaling Link Selection). La figure 6 représente la fonction d'acheminement d'un SP.

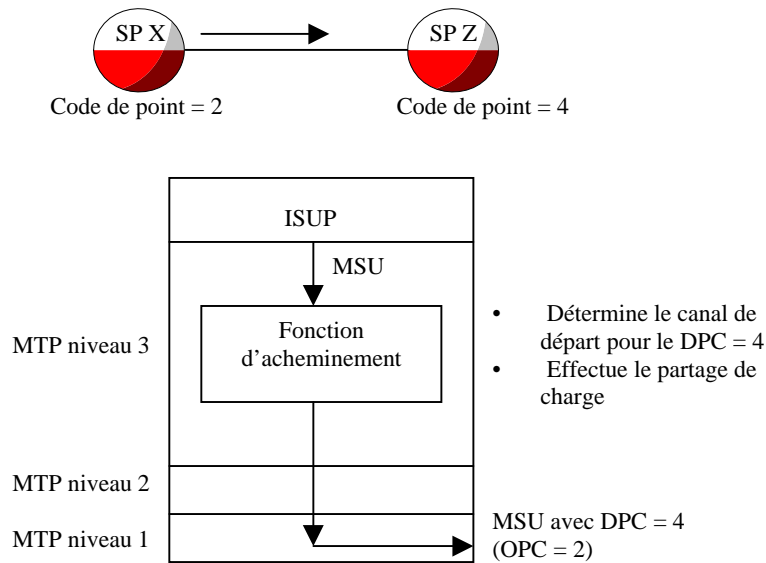


Figure 6: Fonction d'acheminement du SP X

1.3 Routage dans un réseau SS7

Le routage dans un réseau sémaphore n°7 s'appuie sur le code du point de destination (DPC) dans les messages sémaphores MTP 3. Le champ DPC est utilisé d'une des deux façons suivantes :

- La première consiste à examiner le champ DPC complet afin de déterminer la route pour le message.
- La seconde consiste à ne prendre en compte qu'une partie du champ DPC.

1.4 Partage de charge

Le but du partage de charge est de répartir le trafic sémaphore entre plusieurs canaux sémaphores afin de permettre de réaliser une distribution équitable de la charge à la couche MTP niveau 2, et ainsi éviter des congestions au niveau de certains canaux. Il existe deux types de partage de charges : partage de charge entre canaux sémaphores appartenant au même faisceau (link set) et partage de charge entre canaux sémaphores n'appartenant pas au même faisceau.

Dans la première qui est la plus simple, les quatre bits du champ SLS permettent de répartir la charge entre un maximum de 16 canaux appartenant au même faisceau. Par exemple, un message émis depuis un SP X contiendra dans son champ SLS la valeur 0000 et sera émis sur le canal 1. Dans le message suivant, le champ SLS pourra avoir la valeur 0001 et sera envoyé sur le canal 2. De cette façon, il est possible d'affecter différentes valeurs au champ SLS et ainsi répartir les messages entre les canaux d'un faisceau donné.

1.5 Gestion du réseau sémaphore

La gestion du réseau sémaphore fournit deux principales fonctions : reconfiguration en situation de défaillance, et gestion du trafic en situation de congestion.

Des défaillances peuvent se présenter sur tout élément constituant un réseau SS7 : les canaux sémaphores, les SPs et les STPs. Une route sémaphore est composée de ces éléments et la défaillance d'un des composants rend la route indisponible ce qui provoque le détournement du trafic sémaphore vers d'autres routes.

Une congestion peut apparaître sur une partie du réseau sémaphore. Il s'agit alors de réduire temporairement le trafic en l'élément encombré. Sur la base de ces considérations, la gestion du réseau sémaphore est décomposée en trois fonctions (Figure 7):

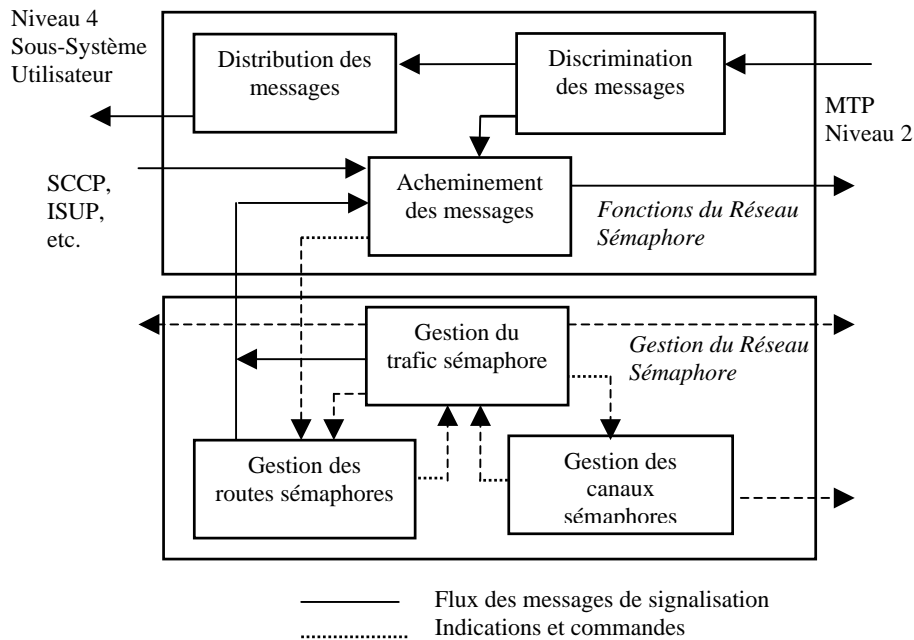


Figure 7: Fonctions du réseau sémaphore

- La fonction de gestion des canaux sémaphores (Signaling link management)
- La fonction de gestion du trafic sémaphore (Signaling traffic management)
- La fonction de gestion des routes sémaphores (Signaling route management)

1.5.1 Format des messages de gestion du réseau sémaphore

Les messages de gestion du réseau sémaphore sont acheminés sur le canal sémaphore dans des trames sémaphores de type MSU (Message Signal Unit). Le sous-champ *indicateur de service* du champ SIO de la trame contient la valeur 0000 pour indiquer qu'il s'agit de messages de gestion de la couche MTP 3.

Un octet est utilisé afin d'indiquer le type de message de gestion. D'autres octets peuvent être utilisés pour préciser le problème.

1.5.2 La fonction de gestion des canaux sémaphores

La fonction de gestion des canaux sémaphores fournit les procédures nécessaires à la gestion des canaux sémaphores rattachés à un point sémaphore donné. Ces canaux sont contrôlés individuellement.

Trois procédures sont fournies par la gestion des canaux sémaphores :

- L'activation d'un canal (Link activation)
- Le rétablissement d'un canal (Link restoration)
- La désactivation d'un canal (Link deactivation)

1.5.2.1 Activation d'un canal sémaphore

Afin qu'un canal soit activé, MTP 3 demande à MTP 2 d'exécuter une procédure d'alignement initial à chaque extrémité du canal et de positionner le canal en service. Avant que ce canal ne soit opérationnel et donc permette la circulation de trames sémaphores, la

gestion des canaux sémaphores réalise un test de canal afin de garantir l'intégrité de ce canal.

Si la procédure d'alignement échoue, il est possible de la relancer après un temporisation T17 dont la valeur peut varier entre 800 ms et 1,5 s.

1.5.2.2 Rétablissement d'un canal sémaphore

Le rétablissement d'un canal intervient à la suite de la détection d'une défaillance d'un canal sémaphore. Avant rétablissement, le trafic de ce canal est détourné sur d'autres canaux actifs en appliquant la procédure de passage sur canal de secours (changeover) décrite au paragraphe III.3.5.3.3. La procédure d'activation d'un canal sémaphore est appliquée afin de rétablir le canal défaillant. Si l'alignement initial est possible, il est suivi de la procédure de test de canal. Si la fonction d'activation se déroule normalement, le canal est alors rétabli. Le canal pourra de nouveau transporter un trafic sémaphore après l'exécution de la procédure retour sur canal sémaphore normal (changeback) présentée au paragraphe III.3.5.3.4.

1.5.2.3 Désactivation d'un canal sémaphore

Un canal sémaphore peut être désactivé à la seule condition qu'il n'achemine aucun trafic sémaphore. Avant désactivation, il est donc nécessaire de détourner le trafic sémaphore du canal à désactiver sur d'autres canaux, par une procédure de passage sur canal de secours réalisée à une des extrémités du canal.

Par ailleurs, en l'absence de défaillance, un faisceau de canaux sémaphores (link set) contient un nombre spécifié de canaux sémaphores actifs. Chaque fois que ce nombre est dépassé (par exemple, à la suite du rétablissement d'un canal sémaphore), le canal sémaphore actif ayant le degré de priorité le plus bas dans le faisceau sera automatiquement désactivé sous réserve qu'aucun trafic n'y soit acheminé.

La désactivation d'un canal sémaphore peut être réalisée manuellement ou automatiquement.

1.5.3 Les fonctions de gestion du trafic sémaphore et des routes sémaphores

1.5.3.1 Fonction de gestion du trafic sémaphore

Lorsqu'un point sémaphore devient indisponible à la suite d'une défaillance, il est nécessaire de détourner le trafic acheminé par le canal indisponible sur d'autres canaux disponibles. De même, lorsqu'une route vers une destination donnée devient indisponible, il est nécessaire de détourner le trafic sur d'autres routes vers cette destination. Le redéploiement du trafic est aussi exigé à la suite d'une désactivation d'un canal ou d'une route.

En cas d'encombrement en un point sémaphore, le trafic vers ce point doit être ralenti temporairement. Le trafic doit être détourné lors de la défaillance d'un point sémaphore et lors de son rétablissement.

La gestion du trafic sémaphore fournit un ensemble de procédures de détournement de trafic sémaphore suite à l'indisponibilité/disponibilité de canal sémaphore, l'indisponibilité/disponibilité de route sémaphore, l'indisponibilité/disponibilité de point sémaphore.

Les procédures définies sont :

- Le passage sur canal de secours (changeover)
- Le retour sur canal sémaphore normal (changeback)
- Le passage sous contrainte sur route de secours (Forced rerouting)
- Le retour sous contrôle sur route normale (Controlled rerouting)
- L'inhibition par la gestion (Management inhibiting)
- Le redémarrage d'un sous-système MTP (MTP restart)
- Le contrôle de flux du trafic sémaphore (Signaling traffic flow control)

1.5.3.2 Fonction de gestion des routes sémaphores

Le rôle de la fonction de gestion des routes sémaphores est d'assurer la disponibilité et la fiabilité des routes sémaphores entre points sémaphores.

Les procédures utilisées pour mettre en œuvre cette fonction sont :

- L'interdiction de transfert (Transfer prohibited)
- La restriction de transfert (Transfer restricted)
- L'autorisation de transfert (Transfer allowed)
- Le test d'un faisceau de routes sémaphores (Signaling route set test)
- Le test d'encombrement de faisceau de routes sémaphores (Signaling route set congestion)
- Le transfert sous contrôle

1.5.3.3 Passage sur canal de secours

La procédure de passage sur canal de secours est utilisée afin de détourner le trafic sémaphore acheminé par le canal indisponible sur le ou les canaux de secours aussi rapidement que possible, tout en évitant la perte, la duplication ou la perturbation de la séquence de messages. Les canaux vers lesquels le trafic est détourné peuvent acheminer leur propre trafic et celui-ci n'est pas interrompu par la procédure de passage sur canal sémaphore de secours.

Les différentes étapes de cette procédure sont les suivantes :

1. Lorsqu'un canal est reconnu indisponible, un point sémaphore arrête l'émission et la réception de trames sémaphores sur ce canal.
2. Le point sémaphore détermine le ou les canaux sémaphores de secours disponibles. Trois cas peuvent se présenter (Figure 8):
 1. Si un canal sémaphore actif et non bloqué, n'acheminant aucun trafic, est disponible dans le faisceau auquel appartient le canal indisponible, la procédure de passage sur canal de secours est effectuée sur ce canal. Rappelons qu'un faisceau peut contenir 8 ou 16 canaux en fonction du type des canaux.
 2. Si un ou plusieurs canaux sémaphores acheminant du trafic sont disponibles dans le faisceau auquel appartient le canal indisponible, un ou plusieurs canaux de secours peuvent être sélectionnés pour la procédure de passage sur canal de secours. En supposant que le trafic à détourner est faible, un seul canal peut alors être nécessaire ; celui sélectionné est alors celui qui a le plus haut degré de priorité.
 3. S'il n'y a aucun canal disponible dans le faisceau auquel appartient le canal indisponible, une autre route (un autre faisceau) est sélectionnée pour atteindre le point sémaphore destinataire.

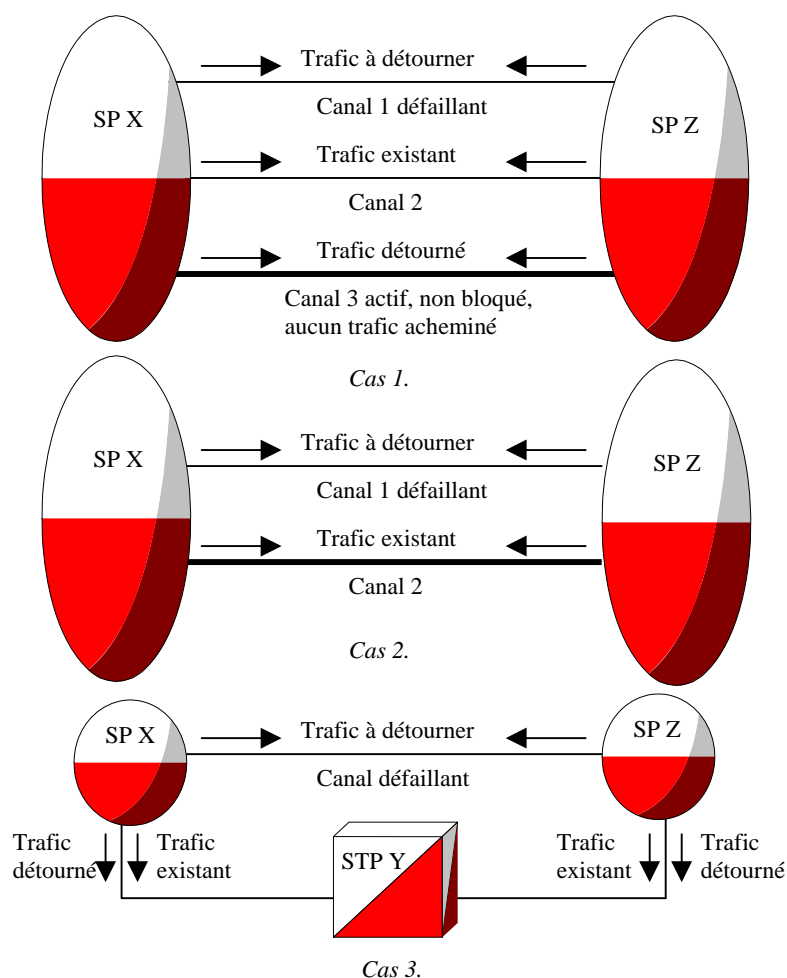


Figure 8: Scénarios de passage sur canal de secours (étape 2)

- Le point sémaphore initiant la procédure de passage sur canal sémaphore de secours émet un ordre de passage sur canal sémaphore de secours (COO, Changeover-order signal) vers le point sémaphore distant sur une route de secours déterminée par l'étape 2. Cet ordre fait l'objet d'un acquittement appelé COA (Changeover acknowledgement signal), dans un délai de temporisation T2 compris entre 700 ms et 2 s. Si aucun message COA n'est reçu pendant T2, le nouveau trafic est envoyé sur le ou les canaux sémaphores de secours. Les messages COO et COA contiennent les adresses OPC et DPC, l'identité du canal sémaphore indisponible, le signal d'ordre ou d'acquiescement, le numéro de séquence vers l'avant de la dernière trame sémaphore acceptée par le canal sémaphore indisponible. Le format du message COO est indiqué à la figure 9. Les adresses OPC et DPC ainsi que l'identité du canal indisponible sont contenues dans le champ *étiquette d'acheminement*. Le message COA a le même format avec le code du signal égal à 0001 0010.

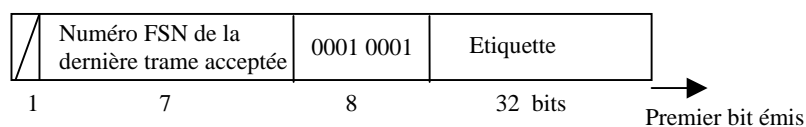


Figure 9: format du message COO

- Afin d'effectuer un passage sur canal sémaphore de secours sans perte, duplication et déséquencement de messages, il est nécessaire de mettre à jour la mémoire tampon. Dès réception d'un ordre ou d'un accusé de réception de passage sur canal de secours, la mémoire tampon de retransmission du canal sémaphore indisponible est mise à jour

aux deux extrémités d'après l'information contenue dans le message, en particulier le numéro de séquence.

5. Les trames qui suivent celle indiquée par le numéro de séquence sont retransmises sur le ou les canaux sémaphores de secours. Le trafic détourné n'est pas prioritaire par rapport au trafic acheminé par ailleurs sur le canal de secours.

L'exemple présenté à la figure 10 permet d'illustrer la procédure de passage sur canal de secours :

1. Suite à la défaillance du canal A-B, les nœuds A et B s'échangent des messages COO sur une route de secours reliant ces deux nœuds (on considère le scénario 3 illustré à la figure 8). Ces messages contiennent l'information permettant à A et B de mettre à jour leur mémoire tampon afin de retransmettre les messages perdus pendant la défaillance du canal.
2. Les deux nœuds acquittent les messages reçus par des messages COA.
3. A la suite de la réception des messages COA, le SP A et le STP B émettent leur trafic sémaphore sur la route de secours, en débutant par les messages stockés dans leur mémoire tampon en émission.

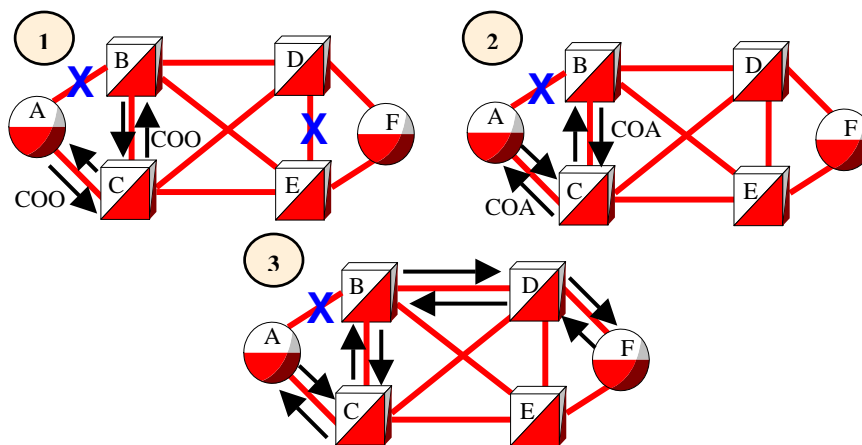


Figure 10: Passage sur canal de secours

1.5.3.4 Retour sur canal sémaphore normal

La procédure de retour sur canal sémaphore normal veille à ce que le trafic soit détourné du ou des canaux de secours sur le canal rendu disponible. Les canaux de secours continuent à acheminer leur propre trafic sémaphore.

Le retour sur canal normal est déclenché depuis un point sémaphore lorsqu'un canal est rétabli.

La première étape consiste à identifier le ou les canaux sémaphores de secours sur lesquels le trafic a été détourné suite à un passage sur canal sémaphore de secours.

La transmission du trafic est arrêtée sur le canal de secours et tous les nouveaux messages correspondant à ce trafic sont stockés dans une mémoire tampon de retour sur canal sémaphore normal. Un message de retour sur canal sémaphore normal (CBD, changeback-declaration signal) est émis sur le canal de secours pour indiquer au point sémaphore distant qu'aucune nouvelle trame se rapportant au trafic détourné ne sera reçue sur le canal de secours. Le point sémaphore distant émet un accusé de réception (CBA, changeback-acknowledgement signal). Les messages CBD et CBA contiennent les adresses OPC et DPC, l'identité du canal sémaphore normal, le signal d'ordre ou d'acquiescement.

Si le message CBA n'est pas reçu dans un délai de temporisation T4 suite à l'émission d'un message CBD, le message CBD est retransmis. Au second essai, un temporisateur T5 est armé. Si ce temporisateur expire sans réception d'un message CBA, les fonctions de

maintenance sont alertées, et le trafic sémaphore est émis sur le canal sémaphore redevenu disponible. La valeur des temporisateurs T4 et T5 est comprise entre 500 ms et 1,2 s.

L'exemple suivant permet d'illustrer les différentes étapes de la procédure de retour sur canal sémaphore normal (Figure 11):

1. Dans l'exemple précédent, les nœuds A et B ont effectué la procédure de passage sur canal de secours suite à la défaillance du canal A-B.
2. Dès que le canal A-B est rétabli, un message CBD est émis par chaque extrémité du canal, à savoir le SP A et le STP B.
3. Ces derniers acquittent la réception du message CBD par un message CBA.
4. Les nœuds A et B émettent leur trafic sémaphore sur le canal A-B redevenu disponible.

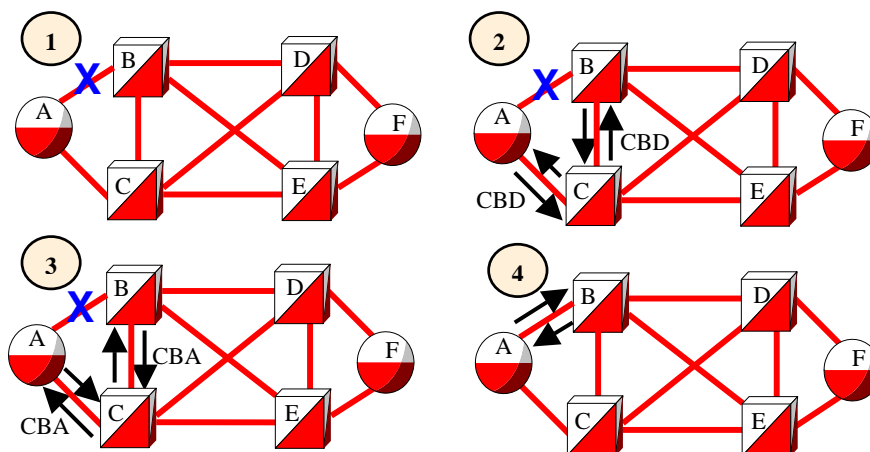


Figure 11: Retour sur canal sémaphore normal

1.5.3.5 Interdiction de transfert

Un message d'interdiction de transfert est émis par un STP pour informer un ou plusieurs SPs qu'une destination déterminée n'est plus accessible par son intermédiaire. Dès lors, ces point sémaphores ne doivent plus acheminer leurs messages pour cette destination par l'intermédiaire du STP.

L'exemple suivant illustre la procédure d'interdiction de transfert (Figure 13):

1. Suite à la défaillance des canaux D-F et D-E, le point sémaphore F n'est plus accessible par le STP D. D notifie cet événement à B et C en leur envoyant un message d'interdiction de transfert (TFP, Transfer-prohibited signal). Les messages d'interdiction de transfert sont toujours émis aux nœuds adjacents. Un message TFP (Figure 12) contient les adresses OPC et DPC (champ *étiquette d'acheminement*), le signal d'interdiction de transfert (0001 0100) et la destination vers laquelle le transfert de trafic n'est plus accessible (champ *destination*). A l'émission d'un message TFP, un temporisateur T8 est armé dont la valeur est comprise entre 800 ms et 1,2 s.

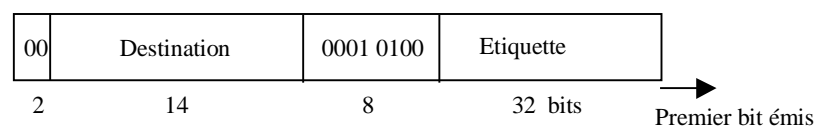


Figure 12: Format du message TFP

2. Les nœuds B et C effectuent alors la procédure de passage sous contrainte sur route de secours (forced rerouting) afin de rerouter le trafic sémaphore à destination du point sémaphore F via E.

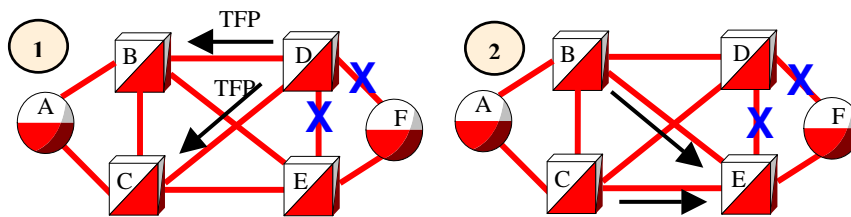


Figure 13: Interdiction de transfert

1.5.3.6 Réponse à l'interdiction de transfert : Le passage sous contrainte sur route de secours

Le point sémaphore ou le STP recevant un message TFP effectue un passage sous contrainte sur route de secours. Cette procédure appartient à la fonction de gestion du trafic sémaphore.

L'exemple suivant permet d'illustrer l'exécution de la procédure (Figure 14) :

1. Suite à la défaillance des canaux D-F et D-E, le nœud D émet des messages TFP à B et C leur indiquant qu'ils ne doivent pas router le trafic à destination du point sémaphore F via D.
2. Les nœuds B et C arrêtent immédiatement la transmission du trafic sémaphore à destination du point sémaphore F, ce trafic étant initialement acheminé sur les canaux D-F ou D-E appartenant à la route indisponible. Le trafic est stocké dans une mémoire tampon de passage sous contrainte sur route de secours (forced rerouting buffer).
3. Une route intermédiaire est déterminée à partir des règles définies par la procédure de passage sur canal de secours. Dans l'exemple proposé, les STPs B et C sélectionnent comme canaux de secours, les canaux les reliant au STP E. Le trafic sémaphore est émis sur la route de secours en commençant par le contenu de la mémoire tampon de passage sous contrainte sur route de secours.
4. Les STPs B et C émettent par la suite un message d'autorisation de transfert (TFA, Transfer-allowed signal) au nœud D afin de l'informer que les messages à destination de F doivent être acheminés via B et C.

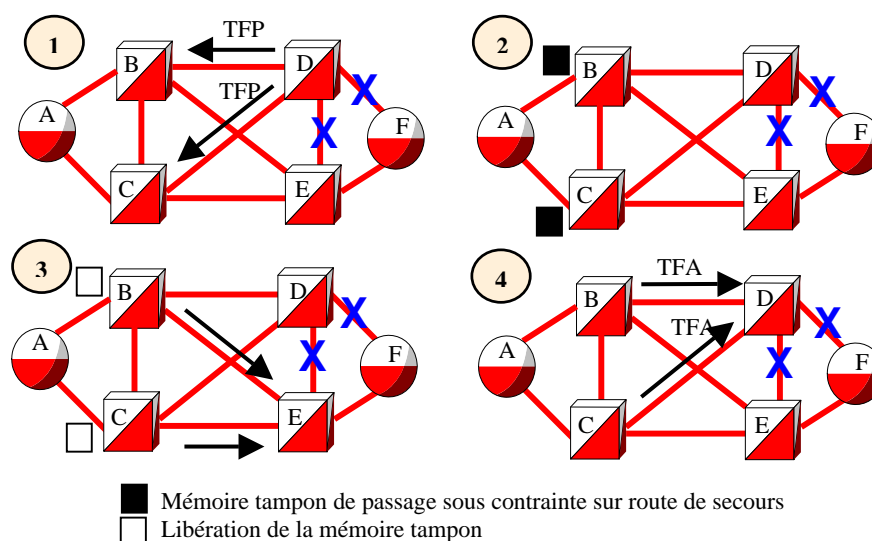


Figure 14: Passage sous contrainte sur route de secours

1.5.3.6.1 Restriction de transfert

La procédure de restriction de transfert est prescrite en tant qu'option nationale. Elle n'est pas implantée dans un réseau sémaphore n°7 international.

Cette procédure permet à un STP d'indiquer à des nœuds adjacents qu'ils ne doivent pas acheminer leurs messages vers une destination déterminée par son biais si possible.

Cette procédure peut être effectuée lorsqu'il y a congestion sur un faisceau entre le STP et le nœud destinataire. Un message TFR (transfer-restricted signal) contient les adresses OPC et DPC (champ *étiquette d'acheminement*), le signal de restriction de transfert (0011 0100) et la destination vers laquelle le transfert de trafic n'est plus souhaitable (champ *destination*) (Figure 15).

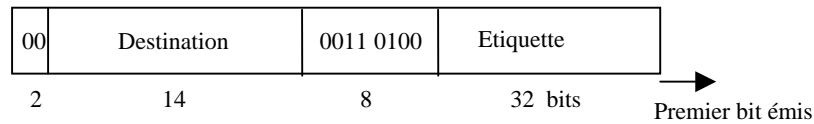


Figure 15: Format du message TFR

1. Suite à la congestion du faisceau A-B, une procédure de passage sur canal de secours est initiée entre les nœuds A et B (Figure 16). Dès lors le trafic entre A et B passe par C. Le trafic sémaphore entre les points sémaphores A et F peut emprunter la route A-C-B-D-F. La gestion du trafic sémaphore peut décider qu'il est plus efficace de passer par la route A-C-D-F.
2. Le STP B émet alors un message de restriction de transfert TFR au nœud adjacent C pour lui indiquer de rerouter si possible le trafic destiné au point sémaphore F. Dans ces conditions, C initie une procédure de retour sous contrôle sur route normale (controlled rerouting) et achemine le trafic destiné à F par D.
3. Le STP B émet aussi un message TFR à destination de D pour lui demander de rerouter si possible le trafic destiné au point sémaphore A. Le nœud D effectue une procédure de retour sous contrôle sur route normale et achemine le trafic à destination du point sémaphore A par C.
4. La nouvelle route pour les messages échangés entre A et F est donc A-C-D-F.

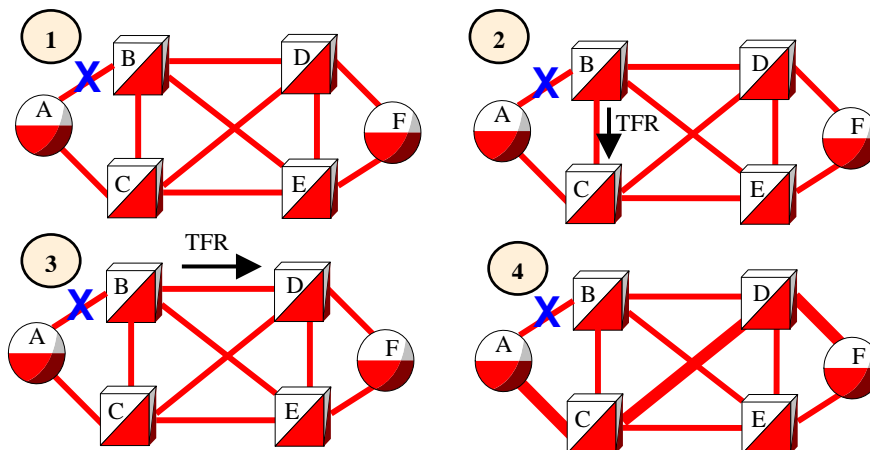


Figure 16: Restriction de transfert

1.5.3.7 Autorisation de transfert

Lorsqu'un point sémaphore précédemment inaccessible redevient accessible par un STP, ce dernier notifie les points sémaphores adjacents par des messages TFA (transfer-allowed signal). Un message TFA (Figure 17) contient les adresses OPC et DPC (champ *étiquette d'acheminement*), le signal d'autorisation de transfert (0101 0100) et la destination vers laquelle le transfert de messages est désormais possible (champ *destination*).

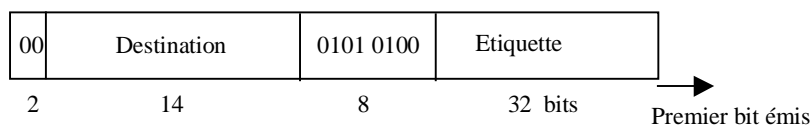


Figure 17: Format du message TFA

1. Une défaillance des canaux D-E et D-F ont conduit les nœuds B et C à détourner leur trafic à destination du point sémaphore F par le nœud E (Figure 18).
2. Suite au rétablissement du canal sémaphore D-E, le nœud D émet un message TFA à ses nœuds adjacents B et C indiquant que D est à nouveau en mesure de transférer le trafic destiné au point sémaphore F.
3. Si D est la route primaire pour l'émission du trafic de B vers F et C vers F, alors B et C effectuent un retour sous contrôle sur route normale (controlled rerouting) afin d'acheminer le trafic à destination du point sémaphore F par le nœud D.

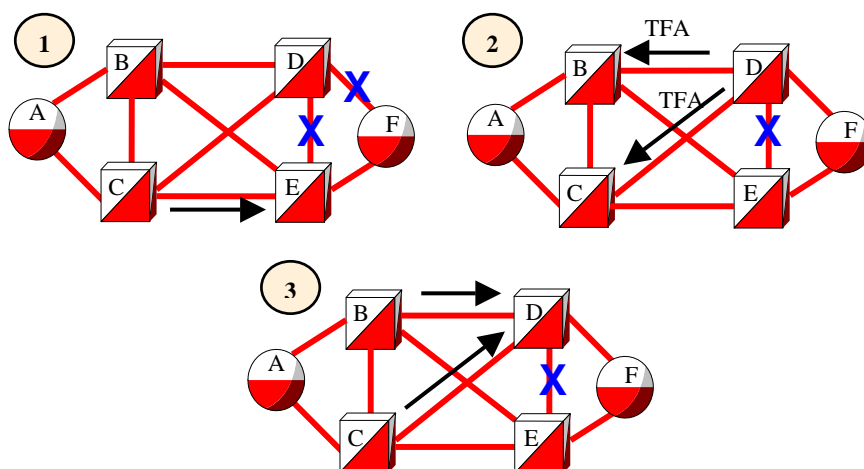


Figure 18: Autorisation de transfert

1.5.3.8 Réponse à la restriction de transfert et à l'autorisation de transfert : le retour sous contrôle sur route normale (controlled rerouting)

Un point sémaphore effectue un retour sous contrôle sur route normale suite à la réception d'un message TFA ou TFR.

Le point sémaphore arrête la transmission du trafic sémaphore concernant la destination en question et le stocke dans une mémoire tampon de retour sous contrôle sur route normale (controlled rerouting buffer). Un temporisateur T6 dont la valeur est comprise entre 500 ms et 1,2 s est armé. A l'expiration de la temporisation T6, le trafic est repris sur un canal sémaphore appartenant à la route redevenue disponible ou à la route sémaphore de secours en cas de réception d'un message TFR, en commençant par le contenu de la mémoire tampon (controlled rerouting buffer). Le délai introduit par la temporisation T6 réduit la probabilité de réception hors séquence de messages à la destination.

Considérons l'exemple suivant (Figure 19):

1. Suite à la défaillance des canaux D-F et D-E, les nœuds B et C effectuent la procédure de passage sous contrainte sur route de secours (forced rerouting) afin de détourner le trafic destiné au point sémaphore F par E.
2. Suite au rétablissement du canal D-F, le nœud D émet un message TFA aux nœud B et C afin de leur indiquer que le point sémaphore F est accessible à travers le point D. Si D est la route primaire pour le trafic sémaphore émis par B ou C et destiné au point

sémaphore F, alors la procédure de retour sous contrôle sur route normale (controlled rerouting) est effectuée par B et C.

3. La transmission du trafic sémaphore par B et C à destination de F à travers E est arrêtée ; le trafic est stocké dans une mémoire tampon (controlled rerouting buffer). Des messages TFP sont émis par B et C à destination de D pour lui indiquer de ne pas émettre du trafic sémaphore à destination de F par les nœuds B ou C. Ces messages permettent de s'assurer qu'aucune boucle n'est présente dans l'acheminement du trafic.
4. Après une temporisation T6, le trafic contenu dans les mémoires tampons des nœuds B et C est transmis sur les canaux B-D et C-D respectivement.

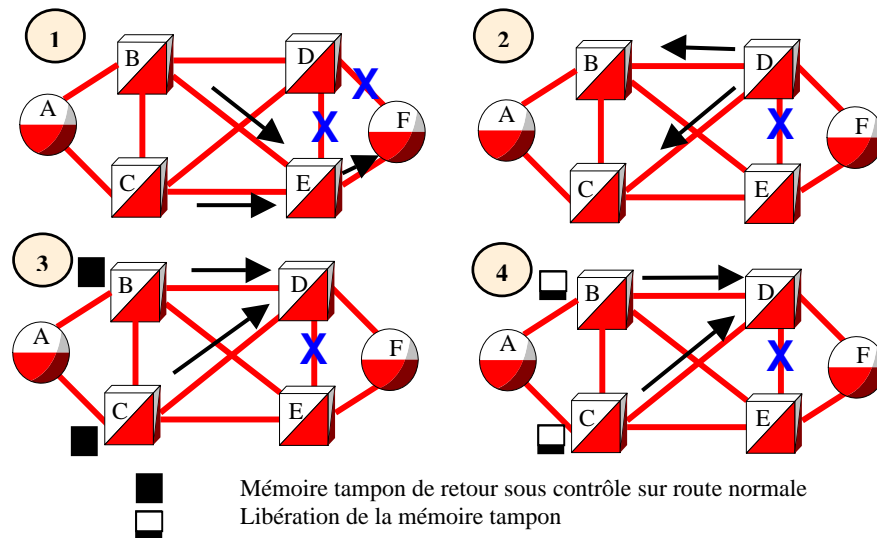


Figure 19: Retour sous contrôle sur route normale

1.5.3.9 Test d'un faisceau de routes sémaphores

La procédure de test d'un faisceau de routes sémaphores est une procédure appartenant à la fonction de gestion des routes sémaphores. Elle permet à un point sémaphore de déterminer s'il est possible d'acheminer le trafic sémaphore par l'intermédiaire d'un STP adjacent suite à la réception par ce point sémaphore d'un message TFP ou TFR. Un message de test de faisceau de routes sémaphores est appelé RSM (signaling-route-set-test message). Il contient les adresses OPC et DPC, le signal de test de faisceau de routes sémaphores, la destination dont on teste l'accessibilité et l'état actuel de la route desservant la destination soumise au test.

Le but de ce test est de connaître la fin d'une interdiction ou restriction de transfert afin de router le trafic à travers le STP interrogé.

Un message RSM est envoyé au STP après chaque période de temporisation T10 dont la valeur peut être comprise entre 30 et 60 s, jusqu'à ce qu'un message d'autorisation de transfert soit reçu, indiquant que la destination est devenue accessible.

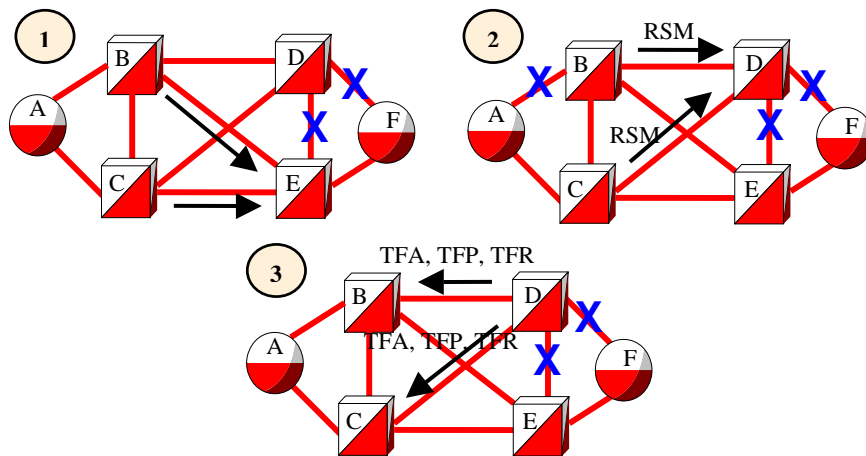


Figure 20: Test d'un faisceau de routes sémaphores

L'exemple suivant illustre la procédure (Figure 20):

1. Suite à la défaillance des canaux D-E et D-F, les nœuds B et C reroutent leur trafic à destination du point sémaphore F à travers E.
2. B et C émettent des messages RSM à D afin de connaître l'état de la route pour atteindre F en passant par D. Après chaque période de temporisation T10, un nouveau message RSM est émis jusqu'à réception d'un message TFA indiquant que la route est à nouveau disponible.
3. Le nœud D répond au message RSM par un message TFA, TFR ou TFP selon l'état de la route sémaphore en question.

1.5.3.10 Inhibition par la gestion

Si l'observation d'un canal montre trop de passages sur canal sémaphore de secours et de retour sur canal sémaphore normal dans un court laps de temps, ou si le taux d'erreur est significatif, alors l'inhibition par la gestion du canal est demandée. Le canal ne peut plus transporter de trafic sémaphore engendré par les sous-systèmes utilisateurs. Par contre, le canal sémaphore est capable d'émettre des messages de test et de maintenance. L'état du canal reste inchangé pour la couche MTP 2. Un canal sémaphore ne peut être inhibé que si cette inhibition n'engendre pas d'inaccessibilité des destinations du point sémaphore. Un canal reste inhibé jusqu'à ce qu'une action de gestion ou une fonction de routage mette fin à cette inhibition lorsqu'on détecte qu'une destination est devenue inaccessible et qu'il existe des canaux inhibés dans le faisceau de canaux sémaphores vers cette destination.

Le message d'inhibition par la gestion (MIM, management inhibit message) contient les adresses OPC et DPC, le numéro de canal à inhiber ou à rendre disponible, et le signal d'inhibition par la gestion.

1.5.3.11 Redémarrage d'un sous-système MTP

Un point sémaphore ou STP est isolé du réseau lorsque les canaux sémaphores le reliant à des nœuds adjacents deviennent indisponibles. Un point sémaphore peut aussi être isolé du réseau par des actions de maintenance. Durant la période d'isolation du nœud, l'état du réseau peut changer. Des messages d'interdiction et de restriction de transfert peuvent être émis pour certaines destinations. Puisque le nœud est isolé, il n'est pas en mesure de recevoir ces messages afin de mettre à jour sa table de routage. Dès lors que le sous-système MTP du nœud redémarre, il est nécessaire de mettre à jour cette table afin de prendre en compte l'état du réseau sémaphore. Un élément important de la procédure de redémarrage est donc l'échange d'information sur l'état du réseau entre le sous-système MTP qui redémarre et les nœuds adjacents. Afin que cette procédure soit menée à bien, l'état du réseau ne doit pas subir de modifications importantes pendant l'échange de ces informations.

Afin d'informer de l'état du réseau le nœud dont le sous-système MTP redémarre, les nœuds adjacents émettent des messages TFP ou TFR si certaines destinations sont inaccessibles ou restreintes depuis ces nœuds. Un autre message appelé autorisation de reprise du trafic (TRA, traffic restart allowed) peut aussi être émis. Un message TRA est envoyé lorsqu'un nœud adjacent a fini d'émettre les différents messages TFP et TFR au nœud dont le sous-système MTP redémarre afin d'indiquer que toutes les informations d'acheminement pertinentes ont été transférées.

Un message TRA contient les adresses OPC et DPC, ainsi que le signal d'autorisation de reprise du trafic.

1.5.3.12 Test d'encombrement de faisceau de routes sémaphores

La procédure de test d'encombrement (congestion) de faisceau de routes sémaphores est utilisée en un point sémaphore d'origine afin de mettre à jour l'état d'encombrement associé à un faisceau de routes conduisant à une destination déterminée. Le but est de déterminer s'il est possible d'acheminer vers cette destination des messages ayant un degré de priorité en cas d'encombrement supérieur à un degré donné. Cette procédure utilise un message de test d'encombrement de faisceau de routes sémaphores appelé RSR (signaling-route-set-congestion-test signal). Il contient les adresses OPC et DPC et le signal de test d'encombrement de faisceau de routes sémaphores.

Dans un prochain tutoriel sera présentée la couche d'adaptation M3UA (MTP3 User Adaptation) qui fournit les services MTP3 aux couches supérieures telles que SCCP et ISUP.

M3UA a définie par SIGTRAN (Signaling Transport over IP). M3UA est supportée par la couche de transport très fiable SCTP (cf. tutoriel SCTP EFORT) sur le réseau IP.