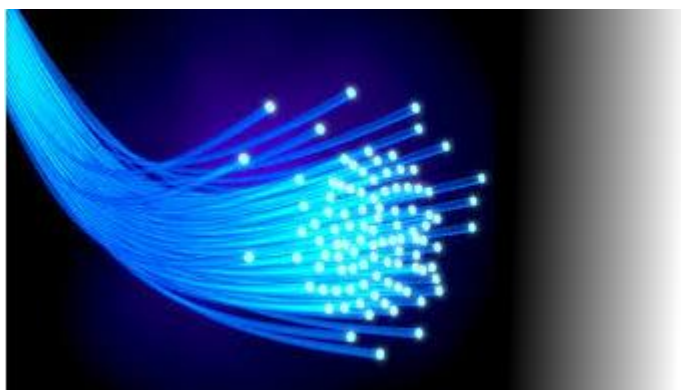




# « FIBER/LTE »

---

## Annexes

C.Perroud, D.Rossier–T3

26/01/2015

---

# Table des matières

---

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Annexe 1. Planification .....</b>                    | <b>1</b>  |
| <b>Annexe 2. Complément d'analyse : Matériel.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Annexe 3. Analyse multicritère : Matériel .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>Annexe 4. Complément d'analyse : VPN.....</b>        | <b>11</b> |
| <b>Annexe 5. Schéma d'encapsulation : LTE .....</b>     | <b>15</b> |
| <b>Annexe 6. Schéma d'encapsulation : Fibre .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>Annexe 7. Tests effectués avec Swisscom.....</b>     | <b>17</b> |
| <b>Annexe 8. Tests effectués sur l'émulation.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Annexe 9. Changement d'IP sur la ligne LTE .....</b> | <b>37</b> |
| <b>Annexe 10. Configurations des routeurs .....</b>     | <b>39</b> |
| <b>Annexe 11. Problèmes rencontrés.....</b>             | <b>49</b> |
| <b>Annexe 12. Journaux de travail.....</b>              | <b>51</b> |
| <b>Annexe 13. PV des séances.....</b>                   | <b>65</b> |
| <b>Annexe 14. Sources des Figures .....</b>             | <b>66</b> |

## Annexe 2. Complément d'analyse : Matériel

### 2.1 Netgear MBR1515

Ce modèle de l'entreprise Netgear peut remplir les fonctions de relai entre la ligne ethernet câblée et le LTE. On peut mettre une carte SIM à l'intérieur et ainsi le faire communiquer en LTE. Il est également possible de paramétrer le failover (prise en main de la connexion par le LTE en cas de problème sur la ligne principale).



Figure 1 : routeur Netgear MBR 1515

#### 2.1.1 Caractéristiques

- Service 4G
- Antennes LTE (700MHz)
- Adaptateurs Ethernet (100 Mo/s) ou Wireless (2.4 GHz)
- 1 slot pour une carte SIM

#### 2.1.2 Configuration

La configuration de ce routeur est assez basique. On configure les accès LTE via la console d'administration.

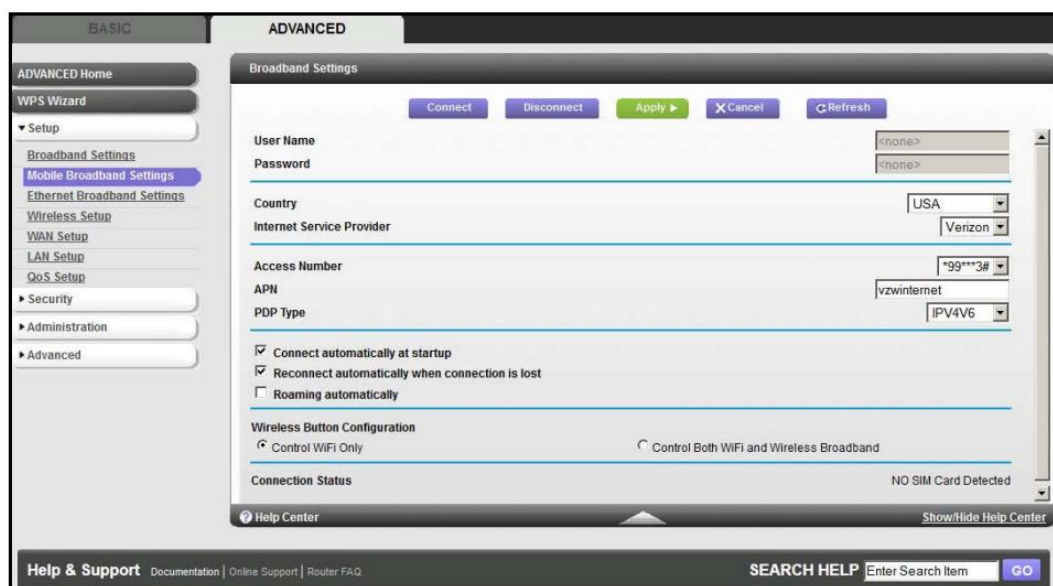


Figure 2: interface web pour la configuration du routeur

C'est un modèle qui, à l'origine, est destiné pour l'usage à domicile.

### 2.1.3 Avantages

- Simple à mettre en place
- Coûts

### 2.1.4 Inconvénients

- Pas une solution optimale pour entreprises
- Une seule carte SIM
- Pas de connexion 3G en cas d'absence du service LTE

## 2.2 D-Link DWR-921

Le D-Link DWR 921 est aussi un routeur possédant une connectique LTE pouvant être utilisée comme backup. Il possède de nombreuses caractéristiques en commun avec le Netgear MBR 1515.

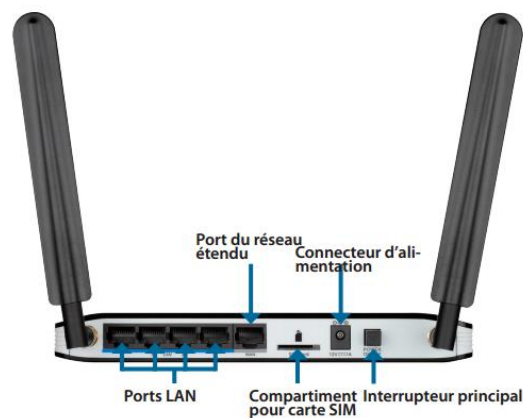


Figure 3 : D-Link DWR-921

Il possède également le moyen de passer en 3G au cas où la 4G ne serait pas disponible.

## 2.2.1 Caractéristiques techniques

### Description du matériel Panneau arrière



| Port                          | Fonction                                                                                                         |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ports de réseau local (RJ-45) | Se connecte à un périphérique réseau (par exemple, un ordinateur portable ou fixe) à l'aide d'un câble Ethernet. |
| Port de réseau étendu (RJ-45) | Se connecte à un modem DSL/câble ou à un routeur à l'aide d'un câble Ethernet.                                   |
| SIM                           | Compatible avec une carte (U)SIM standard afin d'établir une connectivité 3G/4G.                                 |
| Alimentation                  | Se connecte à l'adaptateur secteur fourni.                                                                       |
| Interrupteur principal        | Permet d'allumer et d'éteindre le périphérique.                                                                  |

Figure 4 : Caractéristiques hardware du routeur D-Link

Ce routeur est conçu pour toujours maintenir la connexion. La prise en charge des connexions bi-bandes 4G LTE et 3G permet de basculer automatiquement en 3G si (ou quand) le signal 4G LTE est trop faible, tandis que l'option de réseau étendu Ethernet xDSL/FFTH supplémentaire permet d'établir une connectivité à sécurité intégrée si votre ligne fixe ou mobile haut débit est coupée.

## 2.2.2 Configuration

La configuration est relativement proche de celle du routeur précédent. On dispose d'une interface web relativement « user friendly »

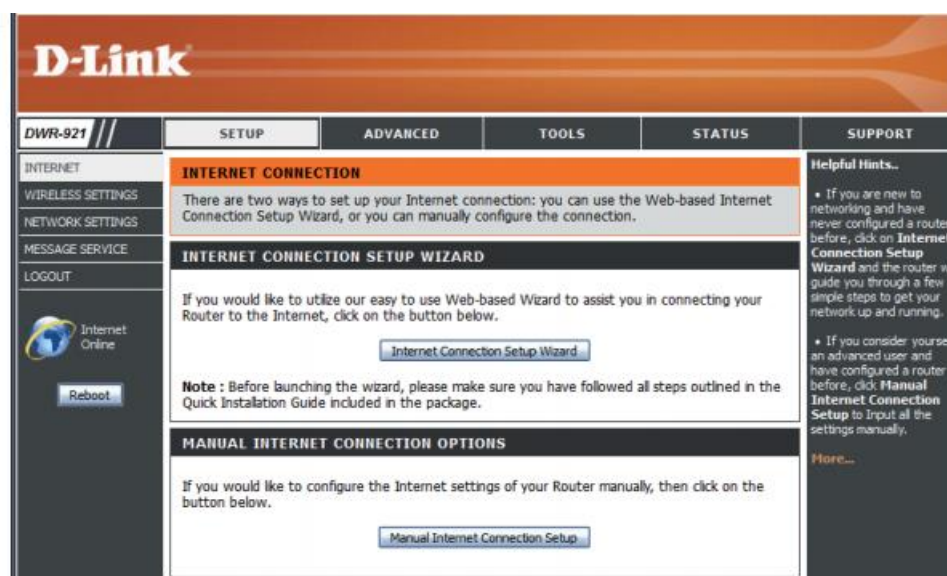


Figure 5: panneau de configuration (interface web) du routeur

### 2.2.3 Avantages

- Simple à mettre en place
- Coûts
- Déjà disponible au laboratoire

### 2.2.4 Inconvénients

- Pas une solution optimale pour entreprises
- Une seule carte SIM

## 2.3 Huawei USB Modem E3276 4G



Figure 6 : Huawei USB Modem (4getemall.com)

Ce modèle de Huawei proposé par Swisscom est une clé USB supportant la 4G / LTE. Il pourrait être utilisé comme backup à condition d'être connecté à un routeur ou un modem avec un slot pour une clé USB 4G.

### 2.3.1 Caractéristiques :

Débits : descendant jusqu'à 150 Mo/s, montant jusqu'à 50 Mo/s

Prix : 159\$

- bandes:LTE FDD: 800/900/1800/2100/2600 Mhz
- UMTS: 2100/AWS/900/1900
- GSM: 850/900/1800/1900
- LTE Cat4 DL at up to 150Mbps
- LTE UL up to 50Mbps
- External Antenna Interface, Receive Diversity. Buy Dual CRC9 Connector 4G antenna for E3276
- USB 2.0 High Speed

- interface SIM/USIM pin
- Micro SD Card Slot
- Dimensions: 92mm x 32mm x 14mm
- Weight: 30g
- OS: Windows XP/Vista/7, Linux, Mac OS.

### 2.3.2 Avantages

- Fonctionne avec toutes les technologies
- 100% compatibilité Swisscom
- Transportable facilement

### 2.3.3 Inconvénients

- Pas forcément de compatibilité avec un routeur (OS)
- Une seule carte SIM

## 2.4 EG860 CPE



Figure 7 : CPE Huawei

### 2.4.1 Caractéristiques :

WAN: LTE TDD 3GPP Release 9

Normes LAN: IEEE 802.3/802.3u

Normes WLAN: IEEE 802.11b/g/n

Fréquences :

- LTE : 1447~1467MHz
- 800M(FDD): 832-862MHz Uplink
- 791-821MHz Downlink

1 port LAN RJ45

1 slot pour carte SIM

2 antennes

Consommation: 30W

### 2.4.2 Caractéristiques software

- NAT
- IPv4
- DHCP Relay / Server

- Firewall settings : SPI, MAC, IP, URL Filtering ; Service access control, advanced security
- WLAN : WPS, WPA, WPA2

### 2.4.3 Avantages

- Routeur intégré
- Antenne externe
- Résistant à l'extérieur

### 2.4.4 Inconvénients

- Une seule carte SIM
- Compatibilité avec le réseau suisse

## 2.5 Huawei USB Modem E3272 LTE (Cat4)



Figure 8 : Sunrise Huawei USB Modem

### 2.5.1 Caractéristiques

- 150 MBit/s Download / 50 MBit/s Upload
- Chipset: HiSilicon Balong 710
- Connexion internet en 15 sec.
- Clé LTE de catégorie 4
- Prix : 109CHF

### 2.5.2 Avantages :

- Transportable et facile à mettre en place
- Coût faible

### 2.5.3 Inconvénients :

- Inadapté à l'utilisation en entreprise
- Une seule carte SIM
- Fournit uniquement une connexion LTE ; pas de possibilités de routage

## 2.6 Router avec module LTE intégré Swisscom

Swisscom a lancé récemment une solution de backup avec LTE pour les clients privés. Cependant, une solution pour les entreprises va être mise en place début 2015.

Le produit que Swisscom commercialise s'appelle « Internet Box ». Il contient un module LTE permettant d'utiliser la connexion LTE en cas de problèmes sur la connexion WAN principale.

Le fabricant de cette internet-box est une société basée en France. Il s'agit de siligence. Malheureusement, le prix n'est pas communiqué et nos mails vers cette entreprise se sont révélés infructueux dans un premier temps. Swisscom nous a ensuite contactés et des gens de Swisscom sont venus faire des tests à l'école d'ingénieurs. L'ensemble de ces tests est documenté plus tard dans la partie « tests effectués avec Swisscom ».



Figure 9 : Swisscom internet box

## 2.7 Bintec RS353jv-4G

Ce routeur est un routeur orienté professionnel équipé d'un module LTE. D'après le fabricant, il peut atteindre 100 Mb/s en download et 50 Mb/s en upload. Il peut aussi utiliser la technologie 3G au cas où celle-ci serait utilisable en lieu et place de la 4G. Il peut accueillir une carte SIM (situé en bas du châssis). Ce routeur dispose aussi de 5 ports de type GigabitEthernet.

Il est également possible de mettre en place un tunnel IPSec avec ce routeur, ce qui peut nous être utile dans ce projet.



Figure 10 : bintec RS353

Dans la documentation de ce routeur, on peut voir les largeurs de bandes utilisées par le LTE. Cela correspond aux standards.

| <b>LTE(4G) / UMTS(3G)</b>            |                                                                                                                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UMTS (3.5G) / EDGE - GPRS (2G) bands | 850/900/1800/1900/2100 MHz                                                                                         |
| Supported standards                  | Support of LTE 4G (download rate up to 100 Mbps, upload rate up to 50 Mbps), UMTS 3.5G (HSPA+), GPRS, Edge and GSM |
| LTE(4G) bands                        | 800/900/1800/2100/2600 MHz                                                                                         |

**Figure 11 : Comparaison LTE / 3G**

Après avoir contacté le fabricant, nous avons la confirmation que ce routeur fonctionne avec n'importe quel opérateur. Son désavantage réside tout de même dans son prix : environ 750 euros.

### **2.7.1 Avantages**

- Solution plus professionnelle

### **2.7.2 Désavantages**

- Une seule carte SIM par routeur
- Prix (environ 750.- par routeur)

## Annexe 3. Analyse multicritère : Matériel

Le tableau ci-dessous nous a permis de choisir quel matériel nous avons utilisé pour la connexion LTE de notre projet.

|                                   | Prix | Upload | Download | Antennes | N° SIM | Compatibilité Matériel | Techno. | Disponibilité | VPN | Config | Doc |     |
|-----------------------------------|------|--------|----------|----------|--------|------------------------|---------|---------------|-----|--------|-----|-----|
| Pondération                       | 5    | 3      | 3        | 3        | 2      | 7                      | 2       | 10            | 9   | 8      | 7   | 59  |
| Netgear MBR1515                   | 4    | 3      | 4        | 1        | 2      | 1                      | 3       | 4             | 1   | 3      | 5   | 169 |
| D-Link DWR-921                    | 5    | 3      | 4        | 1        | 2      | 1                      | 3       | 5             | 1   | 4      | 5   | 182 |
| Module LTE de Cisco               | 2    | 3      | 5        | 5        | 2      | 5                      | 1       | 5             | 5   | 5      | 5   | 250 |
| Huawei USB Modem E3276 4G         | 5    | 3      | 5        | 1        | 2      | 1                      | 1       | 1             | 1   | 1      | 3   | 107 |
| EG860 CPE                         | 3    | 3      | 5        | 5        | 2      | 1                      | 4       | 1             | 1   | 1      | 1   | 103 |
| Huawei USB Modem E3272 LTE (Cat4) | 5    | 3      | 5        | 1        | 2      | 1                      | 1       | 4             | 1   | 1      | 3   | 125 |
| bintec RS353jv-4G                 | 2    | 3      | 4        | 1        | 2      | 1                      | 3       | 3             | 1   | 5      | 5   | 145 |

**Pondération :**

| Pondération | Prix  | Upload    | Download  | Antennes | N° SIM | Compatibilité | Techno.      | Disponibilité | Support VPN  | Config   | Doc      |
|-------------|-------|-----------|-----------|----------|--------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------|----------|
| 1           | >1000 | <20Mb/s   | <20Mb/s   | Non      | -      | Non           | Aucun        | > 2 semaines  | Non          | Aucun    | Faible   |
| 2           | <800  | <50Mb/s   | <50Mb/s   |          | 1      |               | -            |               |              | Basique  |          |
| 3           | <600  | >=50Mb/s  | >=50Mb/s  |          | -      |               | Wi-Fi        | 2 semaine     | L2TP         | Moyenne  | Moyenne  |
| 4           | <400  | >=100Mb/s | >=100Mb/s |          | 2      |               | FastEthernet |               |              |          | Bonne    |
| 5           | <200  | >=150Mb/s | >=150Mb/s | Oui      | >2     | Oui           | Fiber        | 1 semaine     | IPSec / L2TP | Complète | Complète |

---

## Annexe 4. Complément d'analyse : VPN

---

Cette annexe contient une analyse un peu plus détaillée des technologies de tunnels VPN que nous avons écartées.

### 4.1 VPLS

VPLS (Virtual Private LAN Service) est un service permettant d'interconnecter plusieurs réseaux distants (WAN, MAN) connectés par un réseau de paquet (de type Internet) afin qu'ils fonctionnent de manière similaire à un seul réseau LAN. Pour ce faire, les broadcasts de type flooding, apprentissage de MAC address sont transférées à travers le réseau de paquet.

VPLS utilise les technologies MPLS, L2TP ou IPSec pour interconnecter les différents LAN. De plus, il utilise les technologies LDP (Label Distribution Protocol) ou BGP en tant que protocole de signal et de découverte automatique.

### 4.2 MPLS

MPLS (Multiprotocol label switching) est un mécanisme de transport de données de « couche 2.5 ».

Dans un réseau IP traditionnel, chaque routeur fait une recherche dans sa table de routage, ce qui engendre une indépendance totale des décisions prises par chaque routeur. MPLS a pour objectifs de réduire le nombre de recherches dans la table de routage et élimine la nécessité d'avoir un protocole de routage particulier sur chaque routeur en affectant un label (nombre) à chaque paquet et en utilisant ce nombre pour transmettre les données.

Ce label est positionné à l'entrée du réseau MPLS et est utilisé en interne pour faire le chemin vers la destination.

Il peut aussi correspondre à la destination d'un VPN de couche 3.

#### 4.2.1 Trame MPLS (avec Ethernet)

Ethernet similar



Figure 12 : Trame MPLS

#### 4.2.2 Caractéristiques

- Fonctionne quelles que soient la couche 1 et l'encapsulation de couche 2
- Utilisation d'un label de 32 bits inséré entre les en-têtes des couches 2 et 3
- Ce label ne contient aucune information correspondant au type de protocole de couche 3 transporté
- La détermination du protocole de couche 3 va être déterminée en fonction de la valeur du label

Dans la figure ci-dessous, on a l'exemple d'un réseau utilisant un « cloud » MPLS, qui va permettre de virtuellement avoir le même sous-réseau (10.1.200.4/24) des 2 côtés du tunnel.

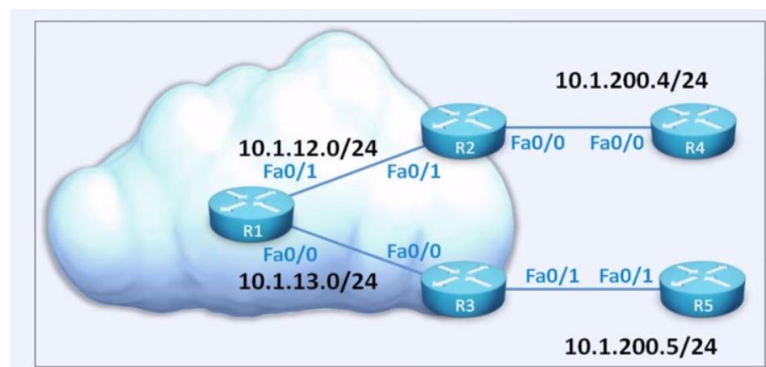


Figure 13 : Schéma d'exemple MPLS

Après avoir mis en place un tunnel de couche 2 avec MPLS, on peut observer que même en faisant un traceroute entre les ip 10.1.200.5 et 10.1.200.4, on n'aura pas les routeurs du « nuage » MPLS dans le résultat de notre traceroute. Cela montre bien que le même subnet des 2 côtés du « nuage » est bel et bien réalisable.

```

50.240.91.220 - PuTTY
R5#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R5#
R5#
R5#traceroute 10.1.200.4 sou
R5#traceroute 10.1.200.4 source lo
R5#traceroute 10.1.200.4 source loopback 0
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.1.200.4
 1 10.1.200.4 0 msec

```

Figure 14 : test de la connexion via traceroute

### 4.2.3 Format des labels MPLS

| Label | EXP   | S        | TTL |
|-------|-------|----------|-----|
| 0     | 19 20 | 22 23 24 | 31  |

| Field                           | Description                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20-bit label                    | The actual label. Values 0 to 15 are reserved.                                                                                                                                                                 |
| 3-bit experimental (EXP) field  | Undefined in the RFC. Used by Cisco to define a class of service (CoS) (IP precedence).                                                                                                                        |
| 1-bit bottom-of-stack indicator | MPLS allows multiple labels to be inserted. The bottom-of-stack bit determines if this label is the last label in the packet. If this bit is set (1), the setting indicates that this label is the last label. |
| 8-bit Time to Live (TTL) field  | Has the same purpose as the TTL field in the IP header.                                                                                                                                                        |

Figure 15 : trame MPLS

#### 4.2.4 Mécanismes de commutation

Il existe 3 mécanismes de commutation sur les plateformes Cisco :

- Process switching

Le process switching est le mécanisme le plus simple mais le plus lent. Une recherche est faite dans la table de routage et la construction d'un nouveau paquet de niveau 2 est effectuée pour chaque paquet.

- Fast switching

Le fast switching utilise une mémoire cache pour accélérer la commutation. L'en-tête de niveau 2 est conservé en cache.

- Cisco express Forwarding (CEF)

CEF est principalement utilisé pour augmenter la vitesse de commutation, réduire le coût global et les retards introduits par d'autres techniques de routage, améliorant ainsi les performances en général.

CEF est basé sur deux éléments clés: la Forwarding Information Base (FIB) et les adjacences. La FIB est similaire à la table de routage générée par de multiples protocoles de routage, maintenant que l'adresse du prochain-saut pour une route IP particulière. L'adjacence maintient les informations de couche 2 ou de commutation liées à une entrée particulière de la FIB, évitant ainsi le besoin de requêtes ARP pour chaque table lookup

#### 4.2.5 Utilisation des labels

Un routeur effectue 4 étapes pour attribuer et distribuer les labels

- Echange d'informations en utilisant l'IGP comme OSPF, IS-IS ou EIGRP
- Les labels locaux sont générés. Un unique label est affecté à chaque destination IP contenue dans la table de routage. Il est stocké dans une table appelée label information base (LIB)
- Les labels locaux sont diffusés aux routeurs voisins pour être utilisés comme label de prochain saut.
- Chaque LSR construit ses propres structures de labels.

### 4.3 Tunnel GRE

Il est possible de mettre en place un tunnel de couche 2 sur du GRE. La configuration des adresses et des paramètres de routage sont les seuls paramètres qui diffèrent entre les 2 points du tunnel GRE.

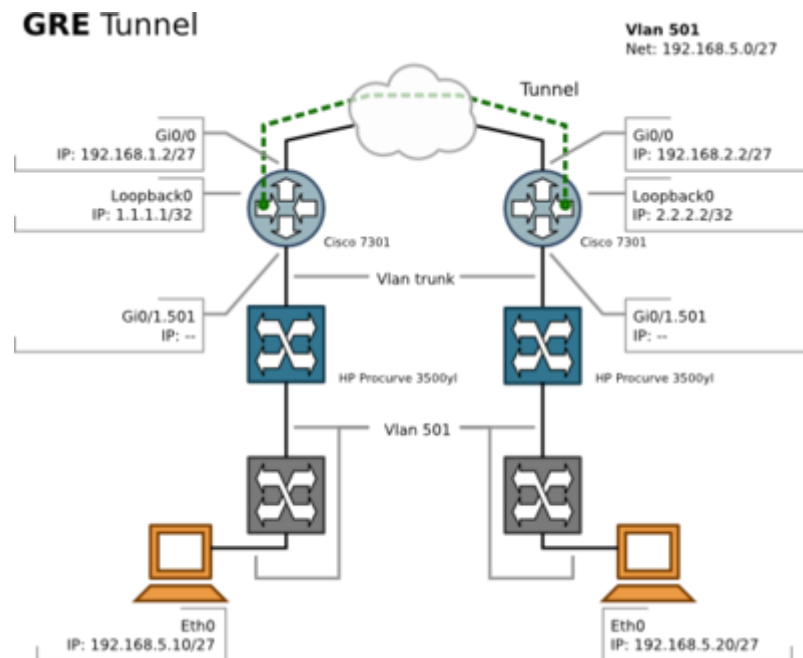


Figure 16 : Exemple de tunnel GRE / L2TP

### 4.3.1 Considérations

GRE est une technologie de layer 3 également capable d'encapsuler de l'Ethernet. Il n'encapsule cependant pas des technologies telles que CDP, STP, VTP, LLDP.

Le MTU (maximum transfert unit) maximum est fixé à 1514 en GRE. Il faut donc fragmenter les gros paquets Ethernet à l'entrée du tunnel.

### 4.3.2 Spécifications GRE

#### a) En-tête GRE

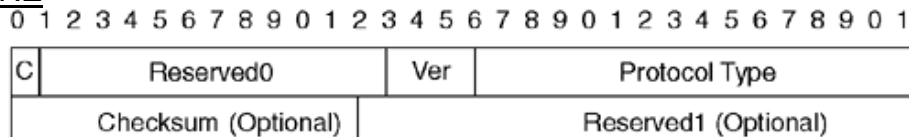
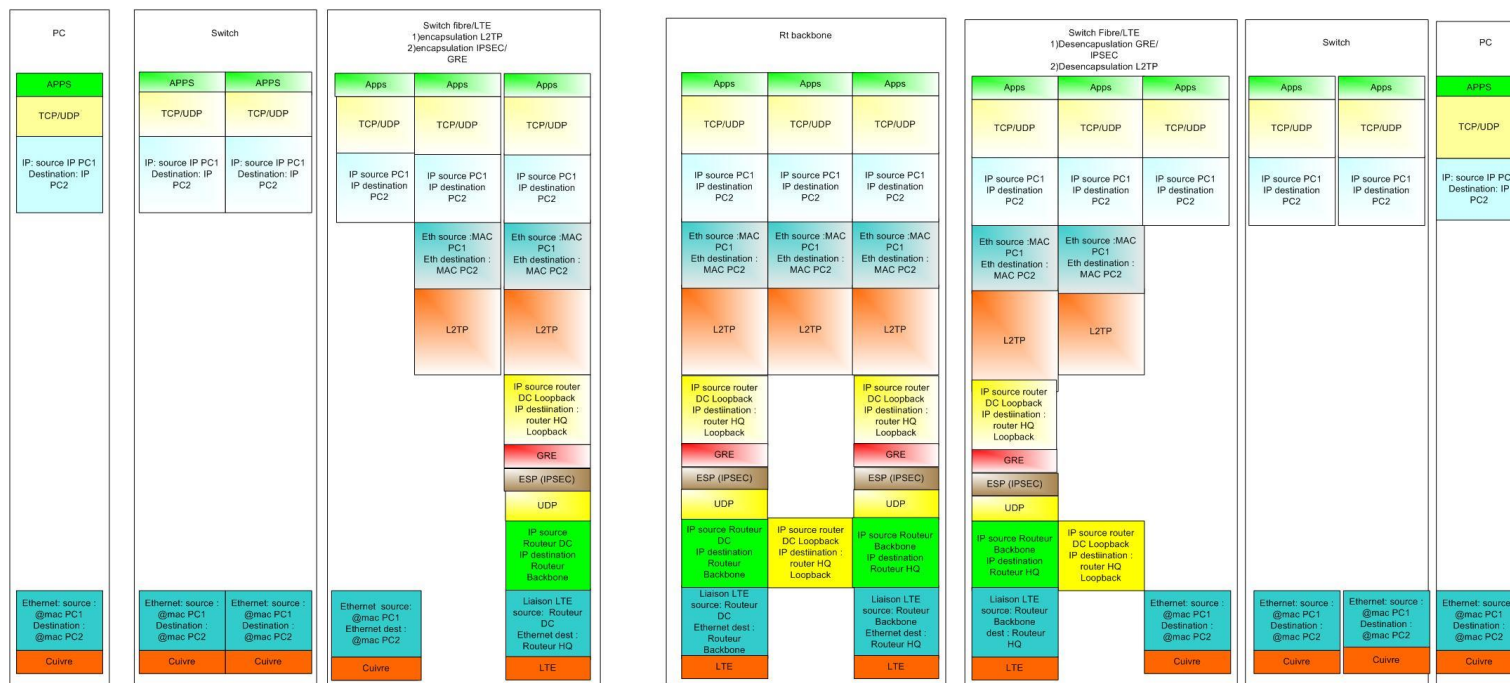
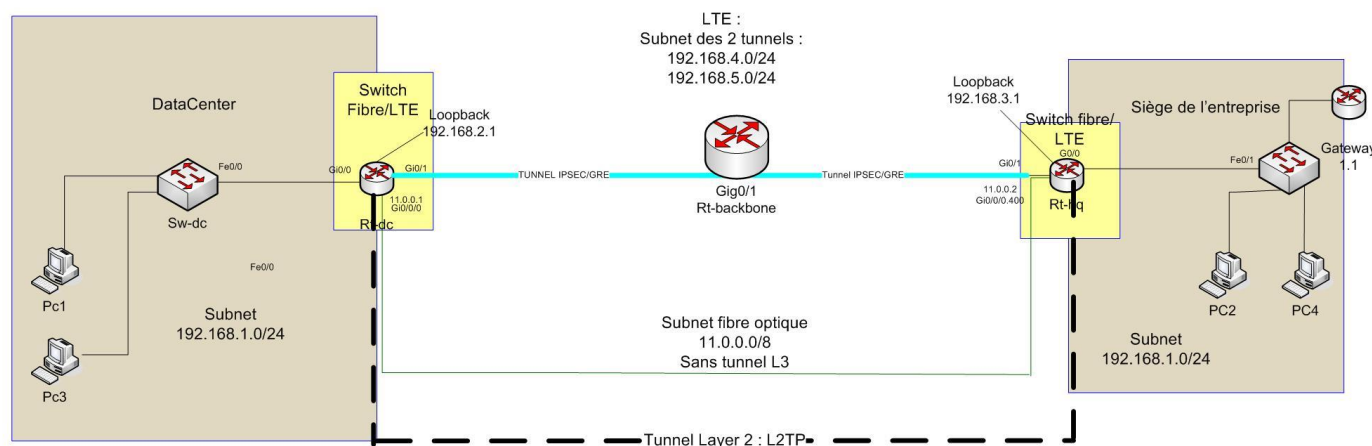


Figure 17 : En tête GRE

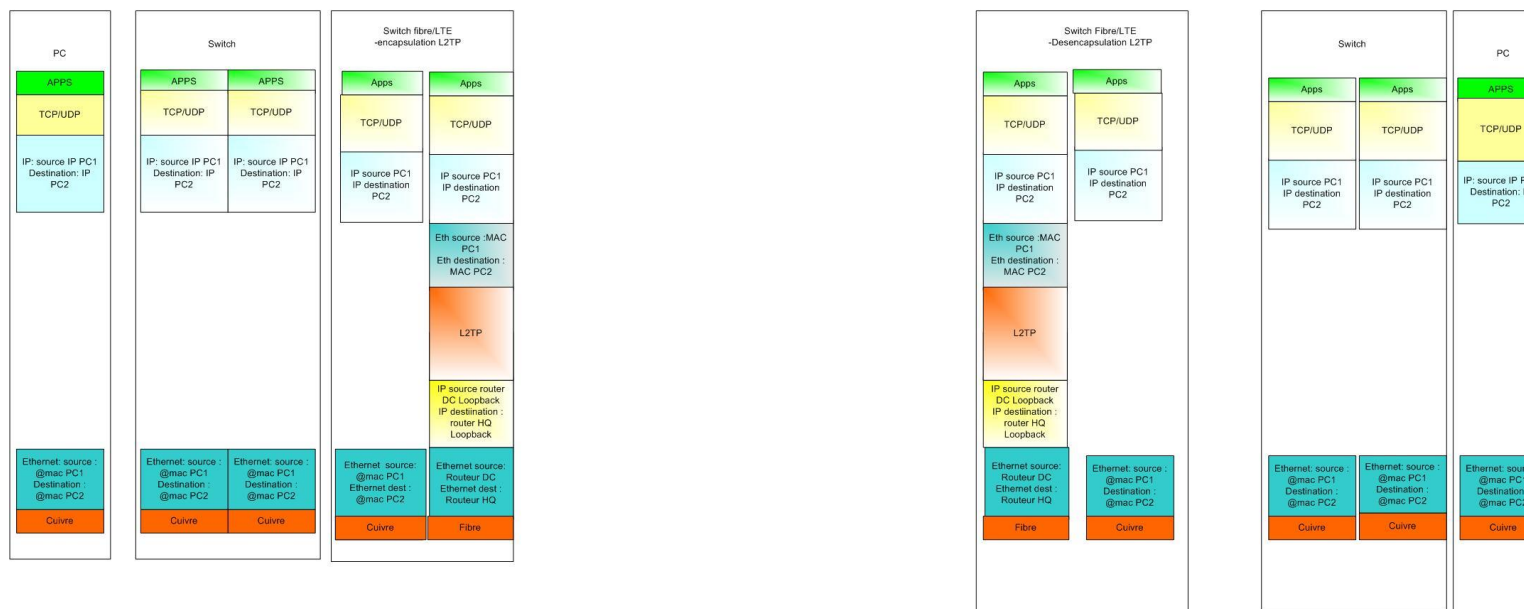
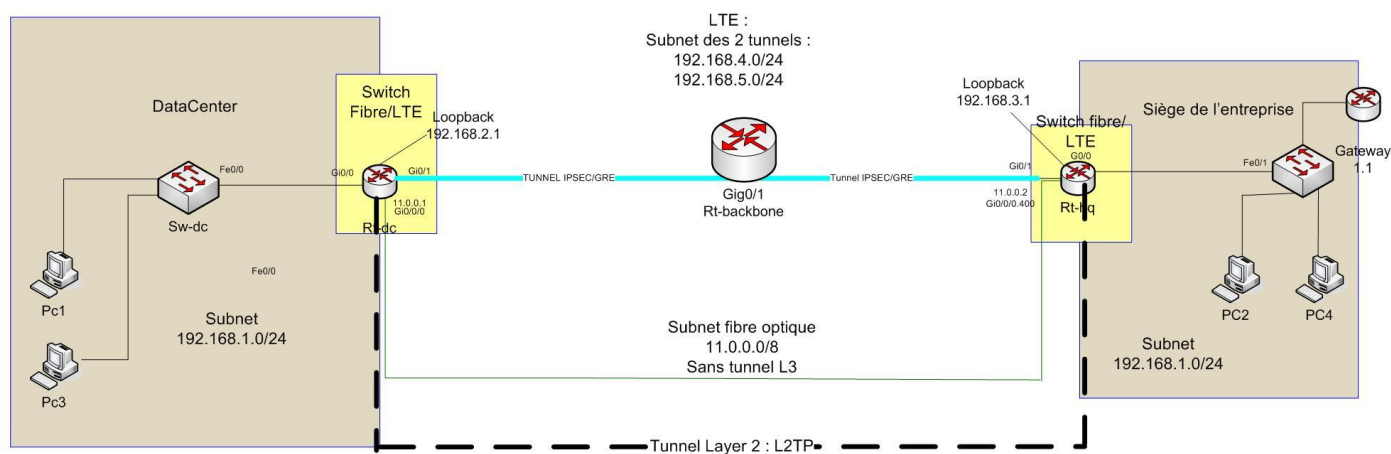
- C : Flags de contrôle (cf. RFC 1701)
- Version : Flag non utilisé, nécessitant la présence d'un 0.
- Protocol Type : Contient le type de protocole encapsulé dans le payload.
- Checksum : Hash pour garantir l'intégrité du paquet en se basant sur l'adresse IP source et le payload.

Cette implémentation du GRE se base sur la RFC 2784, remplaçant la RFC 1701.

# Annexe 5. Schéma d'encapsulation : LTE



## Annexe 6. Schéma d'encapsulation : Fibre



---

## Annexe 7. Tests effectués avec Swisscom

---

Le mercredi 12.11.2014, M.Mathys et M.Rupp, développeurs de nouveaux projets chez Swisscom, sont venus assister à une présentation du cahier des charges de notre projet. Ils nous ont ensuite montré un de leurs routeurs (Internet Box présentée précédemment). Nous avons effectué une série de tests relatifs à la ligne de backup LTE.



Figure 18 : Internet Box de Swisscom

### 7.1 Tests

#### 7.1.1 Standalone en LTE

Le premier test qui a été effectué sur ce routeur est la connexion LTE. Nous avons branché un dongle USB au routeur pour qu'il se connecte au réseau LTE.

Malheureusement, ceci n'a pas fonctionné car le routeur demande une connexion ADSL principale pour configurer sa liaison avec le provider.

#### 7.1.2 Connexion au réseau local de l'école

Cette connexion n'a pas fonctionné car l'internet BOX n'était pas capable de récupérer une adresse IP de Swisscom.

#### 7.1.3 Connexion sur le DSLAM de l'école

Là encore, l'internet BOX n'était pas capable de récupérer d'IP.

#### **7.1.4 Connexion à la ligne ADSL de l'école**

Cette façon de faire est possible, mais il faudrait débrancher une partie de l'infrastructure de l'école pour y placer notre routeur. Ceci n'était, dans le cas immédiat, pas possible.

#### **7.1.5 Essai du dongle USB sur un PC**

Le dongle USB testé au point 1 a été mis dans le PC de M.Perroud afin de le tester. Malheureusement, il semblerait qu'un problème de driver soit à l'origine du fait que le PC ne reconnait pas le dongle et ne peut donc pas accéder à Internet.

---

## Annexe 8. Tests effectués sur l'émulation

---

Cette annexe décrit les différents tests effectués sur l'infrastructure « émulation » de notre projet.

### 8.1 Mise en place du tunnel de couche 2

#### 8.1.1 Description

Nous avons d'abord testé nos deux lignes : fibre et Ethernet (qui représente « l'émulation LTE »), afin de voir si le tunnel de couche 2 (L2TP) était bien mis en place, et que nous pouvions passer par nos 2 liens.

L'objectif n'était pas encore d'utiliser un protocole de routage, c'est pour cela que nous n'avons que des routes statiques configurées dans nos 2 routeurs.

#### 8.1.2 Configuration

Voici les commandes importantes mises en place dans les routeurs pour le tunnel L2TP.

```
-----Routeur DC-----  
  
hostname rt-dc  
!  
pseudowire-class mainTunnel  
  encapsulation l2tpv3  
  ip local interface Loopback0  
  ip pmtu  
!  
interface Loopback0  
  ip address 192.168.2.1 255.255.255.0  
!  
interface Tunnel1  
  tunnel source Loopback0  
  tunnel destination 192.168.3.1  
  
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 GigabitEthernet0/1  
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 GigabitEthernet0/0/0  
  
-----Routeur HQ-----  
  
hostname rt-hq  
!  
l2tp-class mainTunnel  
!  
pseudowire-class mainTunnel  
  encapsulation l2tpv3  
  ip local interface Loopback0
```

```

ip pmtu

interface Loopback0
ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
!
interface Tunnel1
tunnel source Loopback0
tunnel destination 192.168.2.1

interface GigabitEthernet0/0
xconnect 192.168.2.1 1 encapsulation l2tpv3 pw-class mainTunnel
!
ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 GigabitEthernet0/1 1000
ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 GigabitEthernet0/0/0

```

La commande « ip pmtu » permet de forcer la lecture du MTU (maximum transfer unit) sur le chemin avant l'envoi de tout paquet. Cette méthode permet d'éviter la fragmentation sur la route.

### 8.1.2.1 Résultat du test

Le tunnel de couche 2 fonctionne correctement avec L2TP. Nous pouvons passer sans problème par les 2 chemins (fibre et Ethernet) pour accéder à l'autre côté du tunnel. Pour ce faire, nous avons débranché la fibre des deux côtés.

Cependant, aucune solution de backup n'est proprement implémentée. Si une ligne tombe, nous serons obligés de reconfigurer les 2 routeurs, car le routeur ne remarquera pas forcément que la ligne est coupée.

## 8.2 Mise en place de la carte LTE pour communiquer sur le réseau Swisscom

### 8.2.1 Fonctionnement

La figure ci-dessous permet de mieux comprendre le fonctionnement de la LTE.

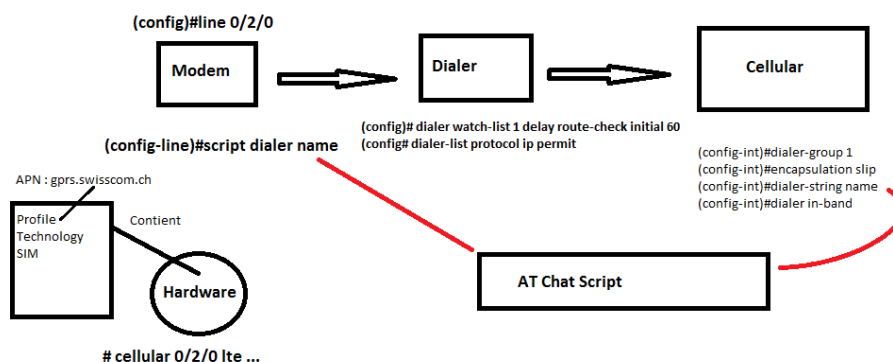


Figure 8 : Fonctionnement LTE

## 8.2.2 Configuration

Il est nécessaire de créer un profile en spécifiant le serveur de Swisscom :  
(L'information se trouve dans les téléphones Swisscom, ou sur leur site). Il est important de vérifier que la carte est bien débloquée. Nous avons eu des résultats non concluants en n'effectuant pas les deux dernières commandes.

```
#cellular 0/2/0 lte sim lock 0000
#cellular 0/2/0 lte sim unlock 0000
#reload
#cellular 0/2/0 lte profile create 1 gprs.swisscom.ch
```

Le routeur nous donne ensuite cette réponse nous indiquant que la carte est bien débloquée et le tunnel est « UP ». Un reload du routeur est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement lors de la première utilisation. À noter qu'il arrive que le profile soit refusé. Ré-entrer la commande plusieurs fois permet de résoudre le problème.

```
rt-dc#cellular 0/2/0 lte sim unlock 0000
!!!WARNING: SIM will be unlocked with pin=0000(4).
Do not enter new PIN to unlock SIM. Enter PIN that the SIM is configured with.
Call will be disconnected!!!
Are you sure you want to proceed?[confirm]
rt-dc#
rt-dc#
*Jan 23 15:08:01.546: %LINK-3-UPDOWN: Interface Cellular0/2/0, changed state to up
*Jan 23 15:08:02.546: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Cellular0/2/0, changed state to up
```

Figure 19 : SIM Unlock

Configuration du script AT. Le script AT sera appelé par le Dialer et par la line (Modem). Il est important que le nom concorde avec celui configuré sur l'interface Cellular et line ci-dessous.

```
(config)#chat-script lte "" "AT!CALL" TIMEOUT 20 "OK"
```

Configuration de la couche IP

```
(config)# interface Cellular0/2/0
ip address negotiated
encapsulation slip
dialer in-band
dialer idle-timeout 0
dialer string lte
dialer-group 1
async mode interactive
routing dynamic
```

Pour atteindre Internet, il suffit de configurer une route par défaut qui sera utilisée pour tous les sous-réseaux inconnus du routeur.

```
(config)# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 Cellular0/2/0
```

Configuration des access-list et configuration de l'interface dialer.

```
(config)#dialer watch-list 1 delay route-check initial 60
(config)#dialer watch-list 1 delay connect 1
(config)#dialer-list 1 protocol ip permit
```

Configuration de la ligne modem (établissement de la couche physique). Il est important que le nom du script soit le même que celui du AT script.

```
(config)#line 0/2/0
script dialer lte
modem InOut
no exec
transport input all
transport output all
```

Optionnel : Pour effectuer les tests

```
(config)#interface Loopback0
ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
! Configuration d'un serveur dns pour la résolution des noms
ip name-server 8.8.8.8
```

Il ne nous reste qu'à vérifier que notre connexion fonctionne :

```
#Ping 8.8.8.8
```

Grâce à cette configuration, la communication avec Internet fonctionne.

## 8.3 Gestion de liens (Fibre-Ethernet)

La configuration du test 1 a tout d'abord été reprise dans la mise en place du « switch automatique ». Nous avons activé OSPF sur le routeur et nous avons mis des distances administratives de lignes plus élevées pour la ligne de backup. Cependant, le fait de passer par un concentrateur de fibre optique nous a bloqués. En effet, ce dernier bloque les messages multicast.

Il nous a donc fallu trouver une autre solution que de passer par le concentrateur. Nous avons changé les SFP (interfaces fibres optique) et utilisé une fibre connectée « directement », sans passer par le concentrateur.

### 8.3.1 Convergence du réseau OSPF

Les équipements implémentant OSPF contrôlent régulièrement le statut de leurs voisins en envoyant et recevant des « hello packets » qui indiquent que l'équipement fonctionne toujours. Ils envoient et reçoivent aussi des « link state advertisement »(LSA) et des acquittements OSPF. Le protocole envoie des paquets et est paramétré pour recevoir des informations à des temps spécifiés.

Lorsque le lien de fibre optique est coupé, il faut que le protocole de routage agisse de la façon la plus rapide possible. Le temps de convergence OSPF dépend des timers suivants :

- Hello intervals : Les équipements envoient des paquets « hello » à intervalles régulières, c'est cet intervalle qui est paramétré ici. La configuration de base paramètre cette valeur à 10 secondes par défaut dans les routeurs CISCO.
- Poll interval : Intervalle durant lequel le routeur n'envoie pas de paquet hello en dehors du réseau « non broadcast ». Cela veut dire que toutes les « x » secondes, le routeur enverra un paquet hello en broadcast. De base, il est configuré à 120 secondes dans les routeurs CISCO.
- LSA retransmission interval : quand un routeur envoie une LSA à ses voisins, l'équipement attend de recevoir un acquittement avant un certain temps. Ce timer spécifie la valeur de ce temps en secondes. Une fois ce timer écoulé, le routeur va renvoyer la même LSA. Dans les routeurs CISCO, la valeur de ce temps est configurée automatiquement à 5 secondes.
- Dead interval : si un routeur ne reçoit pas de paquet hello avant ce temps, il considérera que la route n'est plus accessible et recalculera son arbre SPF. Par défaut, il est configuré à 40 secondes dans les routeurs CISCO.
- Transit delay : avant qu'un LSA soit propagé hors de l'interface, le routeur doit incrémenter l'âge du packet. Ce delay indique le temps estimé pour transmettre un LSA sur l'interface. Par défaut, il est configuré à 1 seconde.

### 8.3.2 Champs paramétrables dans le routeur Cisco

```
Router(config-router)# timers pacing flood 50
```

Chaque interface utilisant OSPF possède une liste avec les LSA qui doivent être émis. Cette commande configure le temps d'attente de nouvelles LSA pour les ajouter dans un seul « update packet ».

```
Router(config-router)# timers pacing retransmission 100
```

Ce timer paramètre le temps à attendre avant d'envoyer des LSA qui ne sont pas acquittées.

```
timers throttle spf spf-start spf-hold spf-max-wait
```

Ce timer paramètre les temps d'attente de l'algorithme SPF. Lorsqu'une LSA arrive sur le routeur, il va attendre spf-start (en millisecondes) avant de lancer l'algorithme. Si une autre LSA arrive durant le temps « spf-hold », le timer va être doublé. Si une autre LSA vient encore, il en sera de même. Le timer spf-max-wait nous assure que l'algorithme de calcul ne se déclenchera pas plus tard. C'est une valeur limite.

timers lsa arrival milliseconds

Définit combien de temps attendre avant d'accepter la même LSA.

### 8.3.3 Temps total de convergence OSPF

Pour estimer le temps total de convergence OSPF, nous nous basons sur cette formule:

*Temps de convergence = temps de détection d'erreur + Temps de propagation + temps de mise à jour de l'arbre SPF + temps de mise à jour des tables de routage du réseau*

#### 8.3.3.1 Tableau des résultats (en secondes)

| <u>Hello timer</u> | <u>Dead Timer</u> | <u>LSA retransmission interval</u> | <u>Temps de convergence</u> |
|--------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1                  | 4                 | 1                                  | 8                           |
| 0.25               | 1                 | 0.1                                | 2                           |
| 10                 | 40                | 5                                  | 50                          |

La configuration la plus optimale possède un temps de convergence d'environ 2 secondes. Etant donné que les dead intervals ne peuvent pas être configurés au-dessous d'une seconde, nous ne pouvons pas descendre le temps de convergence au-dessous de 2 secondes.

Pour mettre en illustration nos résultats, nous avons utilisé l'outil jperf, qui est un très bon outil pour mesurer la bande passante en fonction du temps et des événements sur le réseau. La figure ci-dessous montre le temps de convergence lorsque nous mettons les paramètres de la première ligne du tableau ci-dessus dans le routeur. Nous voyons que la bande passante est de 0Kb/s durant 8 secondes.

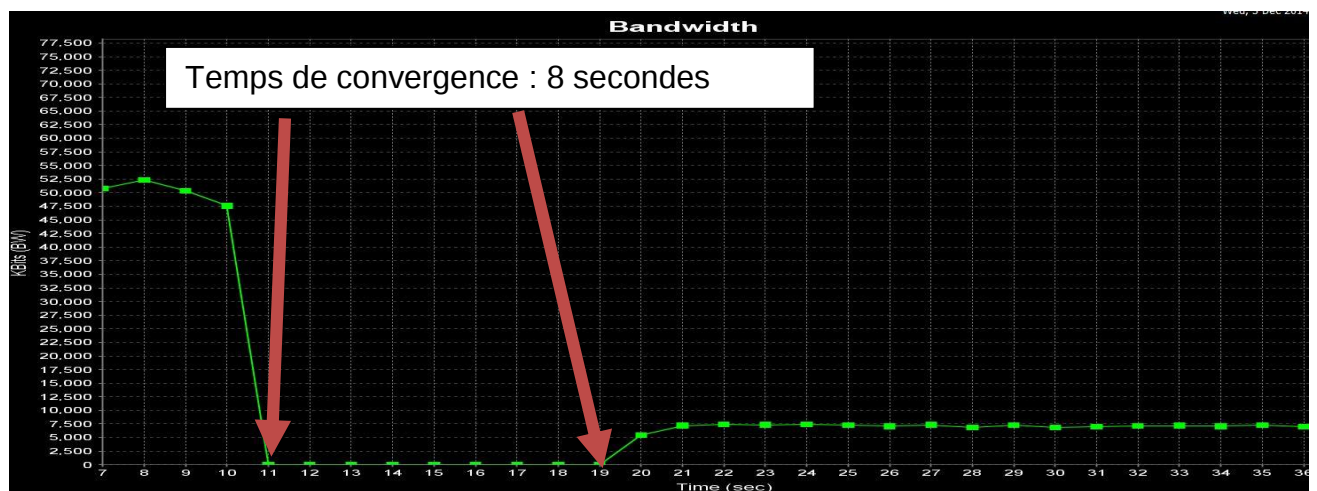


Figure 45 : Test avec 4 secondes de dead-timer

Temps de convergence : 1.5 seconde

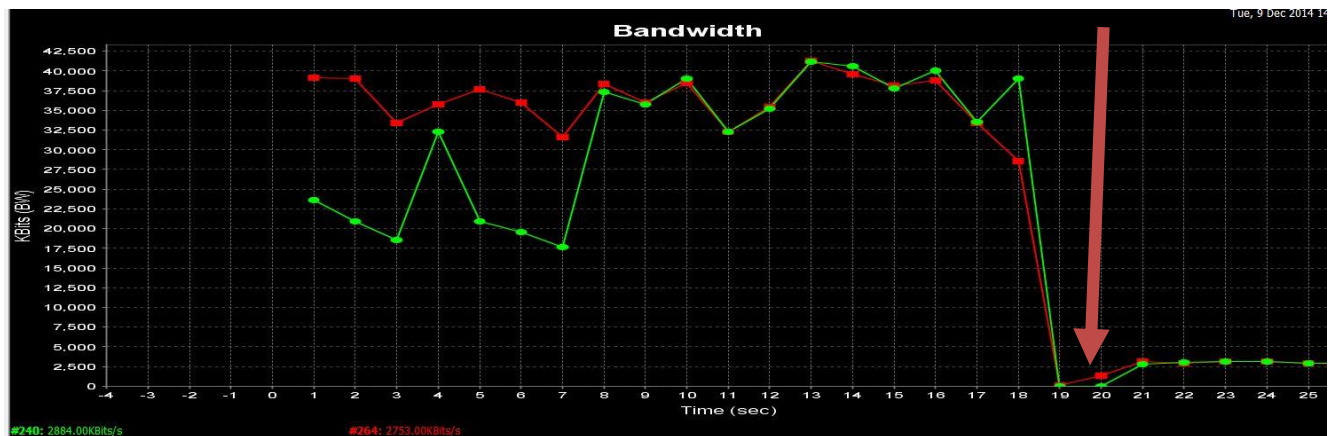


Figure 46 : Test avec 4 hello-paquets par seconde, une seconde de dead-timer

La figure ci-dessus montre l'évolution des débits lors d'une coupure de la fibre et d'un switch sur une ligne Ethernet à 10Mo/s. On voit que le temps de convergence est de 2 secondes. La courbe en vert représente la bande passante envoyée sur le serveur (trafic dans un sens), et la courbe en rouge représente ce même trafic dans l'autre sens (depuis le serveur jperf jusqu'au client).

## 8.4 « Relay-LTE » permettant de communiquer sur la ligne de « simulation LTE ».

### 8.4.1 Infrastructure LTE de Swisscom

Pour bien comprendre l'utilité de ce test, il faut tout d'abord s'attarder sur l'infrastructure LTE de Swisscom :

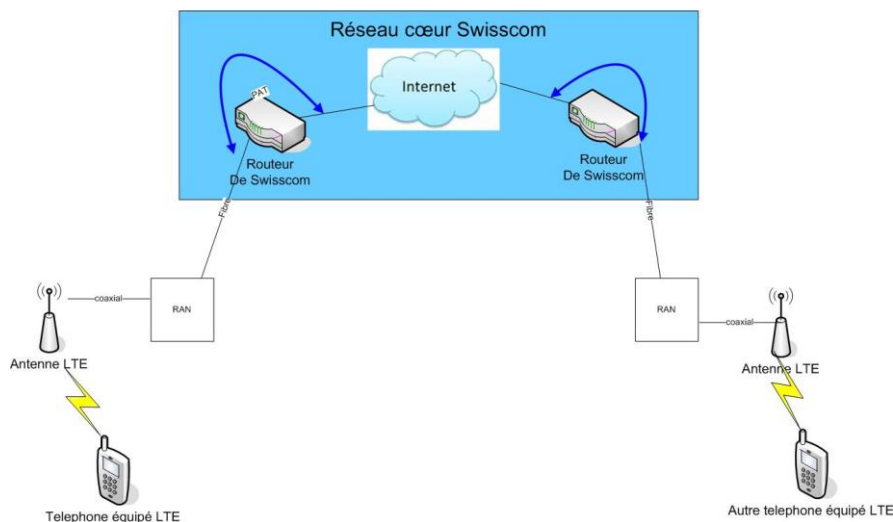


Figure 47 : Schéma simplifié de l'infrastructure LTE de Swisscom

Lorsque deux équipements équipés de cartes LTE (téléphones portables, routeurs...) envoient des données, ils ne peuvent pas s'envoyer des données directement de l'un à l'autre. Une translation de type « NAT/PAT » est utilisée dans les routeurs de Swisscom. Cela permet à l'opérateur de distribuer des adresses dans

des ranges privées d'adresses. Les routeurs faisant la translation d'adresses sont également configurés de façon à assurer un maximum de sécurité aux utilisateurs, ce qui empêche toute communication directe.

Une solution facilement envisageable étant donnée l'infrastructure de l'Ecole d'ingénieurs est de mettre un routeur sur le backbone (donc sur internet) de l'école, avec une adresse publique officielle. Ce routeur va faire office d'intermédiaire et router nos données dans 2 tunnels de couche 3 respectifs, comme montré dans le schéma ci-dessous :

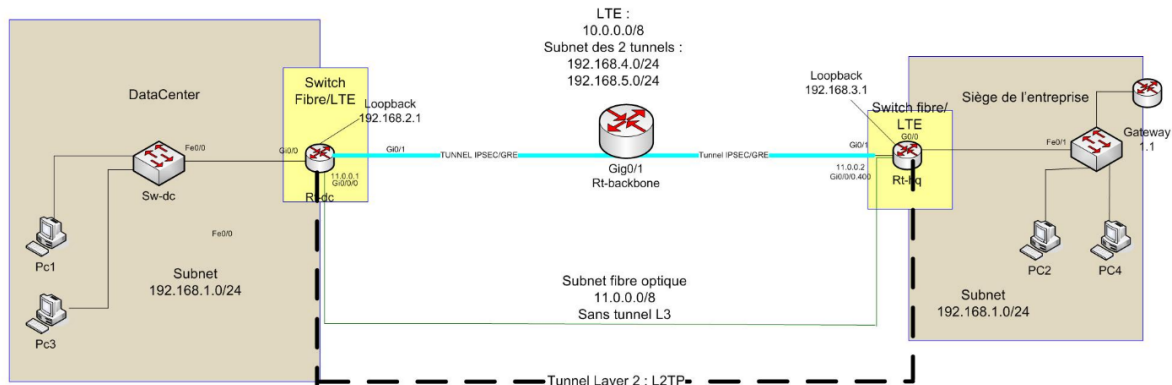


Figure 48 : Infrastructure avec routeur intermédiaire faisant office de relai pour la ligne de backup

## 8.4.2 Extraits importants de configuration

Dans cette configuration, nous avons directement mis en place un tunnel GRE encapsulé dans IPSEC, afin de garantir un certain niveau de sécurité en encryptant les données.

### 8.4.2.1 Routeur relai-lte

```
crypto isakmp policy 20
encr 3des
authentication pre-share
crypto isakmp key IT-SECURITY address 12.0.0.1
crypto isakmp key IT-SECURITY address 12.0.0.2
!
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS-TUN esp-3des esp-sha-hmac
mode transport
crypto map combined local-address GigabitEthernet0/1
crypto map combined 1 ipsec-isakmp
set peer 12.0.0.1
set transform-set EIF-TRANS-TUN
match address IPSEC-GRE-DC
crypto map combined 2 ipsec-isakmp
set peer 12.0.0.2
set transform-set EIF-TRANS-TUN
match address IPSEC-GRE-HQ
!
!
```

```
ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 Tunnel1
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 Tunnel0
!
ip access-list extended IPSEC-GRE-DC
 permit gre host 12.0.0.3 host 12.0.0.1
 deny ip any any
ip access-list extended IPSEC-GRE-HQ
 permit gre host 12.0.0.3 host 12.0.0.2
 deny ip any any
interface Tunnel0
 ip address 192.168.4.1 255.255.255.0
 tunnel source 12.0.0.3
 tunnel destination 12.0.0.2
!
interface Tunnel1
 ip address 192.168.5.1 255.255.255.0
 tunnel source 12.0.0.3
 tunnel destination 12.0.0.1
!
ip access-list extended IPSEC-GRE-DC
 permit gre host 12.0.0.3 host 12.0.0.1
ip access-list extended IPSEC-GRE-HQ
 permit gre host 12.0.0.3 host 12.0.0.2
```

#### **8.4.2.2 Routeur Datacenter**

```
crypto isakmp policy 10
 encr 3des
 authentication pre-share
crypto isakmp key IT-SECURITY address 12.0.0.3
!
!
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS esp-3des esp-sha-hmac
 mode transport!
crypto map EIF-MAP 10 ipsec-isakmp
 set peer 12.0.0.3
 set transform-set EIF-TRANS
 match address IPSEC-GRE
!
interface Tunnel1
 ip address 192.168.5.2 255.255.255.0
 tunnel source GigabitEthernet0/1
 tunnel destination 12.0.0.3
!
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 Tunnel1 112
!
ip access-list extended IPSEC-GRE
 permit gre any host 12.0.0.3
!
```

### 8.4.2.3 Routeur Headquarter

```
crypto isakmp key IT-SECURITY address 12.0.0.3
!
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS esp-3des esp-sha-hmac
mode transport
crypto map EIF-MAP 10 ipsec-isakmp
set peer 12.0.0.3
set transform-set EIF-TRANS
match address IPSEC-GRE
!
interface Tunnel1
ip address 192.168.4.2 255.255.255.0
tunnel source GigabitEthernet0/1
tunnel destination 12.0.0.3

ip access-list extended IPSEC-GRE
permit gre host 12.0.0.2 host 12.0.0.3
permit ip host 192.168.4.2 host 192.168.4.1
permit gre any host 12.0.0.3
```

## 8.5 Problème rencontré : access-lists pour les tunnels de couche 3

Lorsque l'on établit un tunnel de couche 3 (GRE/IPSEC dans notre cas), nous devons spécifier une access-list afin de définir si le trafic peut entrer dans le tunnel ou non. Nous avons fait l'erreur de dire que l'adresse qui devait recevoir les paquets envoyés dans le tunnel serait l'adresse de destination avant l'encapsulation dans le tunnel IPSEC/GRE. Or, la seule adresse importante à autoriser comme destination est celle de la sortie du tunnel.

### 8.5.1 Solution à ce problème :

Dans cette situation, il est indispensable de bien documenter les diverses encapsulations de façon à bien savoir quelle IP on acceptera dans le tunnel ou non.

### 8.5.2 Résultats du test

Le test a été concluant. Grâce à cette configuration, nous avons pu établir un tunnel GRE/IPSEC entre nos 2 routeurs, en passant par un routeur qui fait office de backbone. La figure ci-dessous montre le premier essai que nous avons effectué, en n'utilisant pas IPSEC. La seconde figure nous montre le même trafic encrypté.

| No. | Time        | Source      | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|-------------|-------------|-------------|----------|--------|------|
| 1   | 0.000000000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 154    |      |
| 2   | 0.000232000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 154    |      |
| 3   | 0.129423000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 154    |      |
| 4   | 0.129682000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 154    |      |
| 5   | 0.539654000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 255    |      |
| 6   | 0.540001000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 255    |      |
| 7   | 0.595414000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 237    |      |
| 8   | 0.595417000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 237    |      |
| 9   | 0.624349000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 122    |      |
| 10  | 0.624572000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 122    |      |
| 11  | 0.625009000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0x8e36   | 122    |      |
| 12  | 0.625237000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0x8e36   | 122    |      |
| 13  | 0.657054000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 136    |      |
| 14  | 0.657237000 | 192.168.3.1 | 192.168.2.1 | 0xe185   | 136    |      |
| 15  | 0.657754000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0x8e36   | 136    |      |
| 16  | 0.657951000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0x8e36   | 136    |      |
| 17  | 0.741409000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0x99c1   | 130    |      |
| 18  | 0.741597000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0x99c1   | 130    |      |
| 19  | 0.741768000 | 192.168.2.1 | 192.168.3.1 | 0xff41   | 136    |      |

|                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frame 1: 154 bytes on wire (1232 bits), 154 bytes captured (1232 bits) on interface 0               |
| Ethernet II, Src: c0:8c:60:5d:48:f1 (c0:8c:60:5d:48:f1), Dst: c0:8c:60:5d:4e:d9 (c0:8c:60:5d:4e:d9) |
| Internet Protocol Version 4, Src: 12.0.0.2 (12.0.0.2), Dst: 12.0.0.3 (12.0.0.3)                     |
| <b>Generic Routing Encapsulation (IP)</b>                                                           |
| Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.3.1 (192.168.3.1), Dst: 192.168.2.1 (192.168.2.1)         |
| Layer 2 Tunneling Protocol version 3                                                                |
| Default L2-Specific Sublayer                                                                        |
| Cisco HDLC                                                                                          |
| Data (80 bytes)                                                                                     |

Figure 49: Trafic L2TP encapsulé dans GRE

Il reste cependant un aspect n'ayant pas été testé. Il s'agit de traverser un NAT/PAT avec un tunnel GRE puis IPSEC.

## 8.6 Établir un tunnel de type GRE à travers un NAT/PAT

### 8.6.1 But du test

Le but de ce test est de savoir s'il est possible de traverser un NAT/PAT avec un tunnel GRE. Nous savons que nous devons traverser un NAT/PAT d'une manière ou d'une autre dans notre infrastructure finale, lorsque nous passerons par le LTE.

### 8.6.2 Schéma global

Afin de bien voir les tests mis en place, nous allons nous baser sur ce schéma de l'infrastructure de l'EIA-FR. Nous allons utiliser cette infrastructure afin d'être le plus proche possible de la réalité. Les seuls aspects qui changeront entre ce test et la mise en place finale seront des aspects purement liés au hardware : nous passerons par les ondes LTE au lieu de passer par un câble Ethernet.

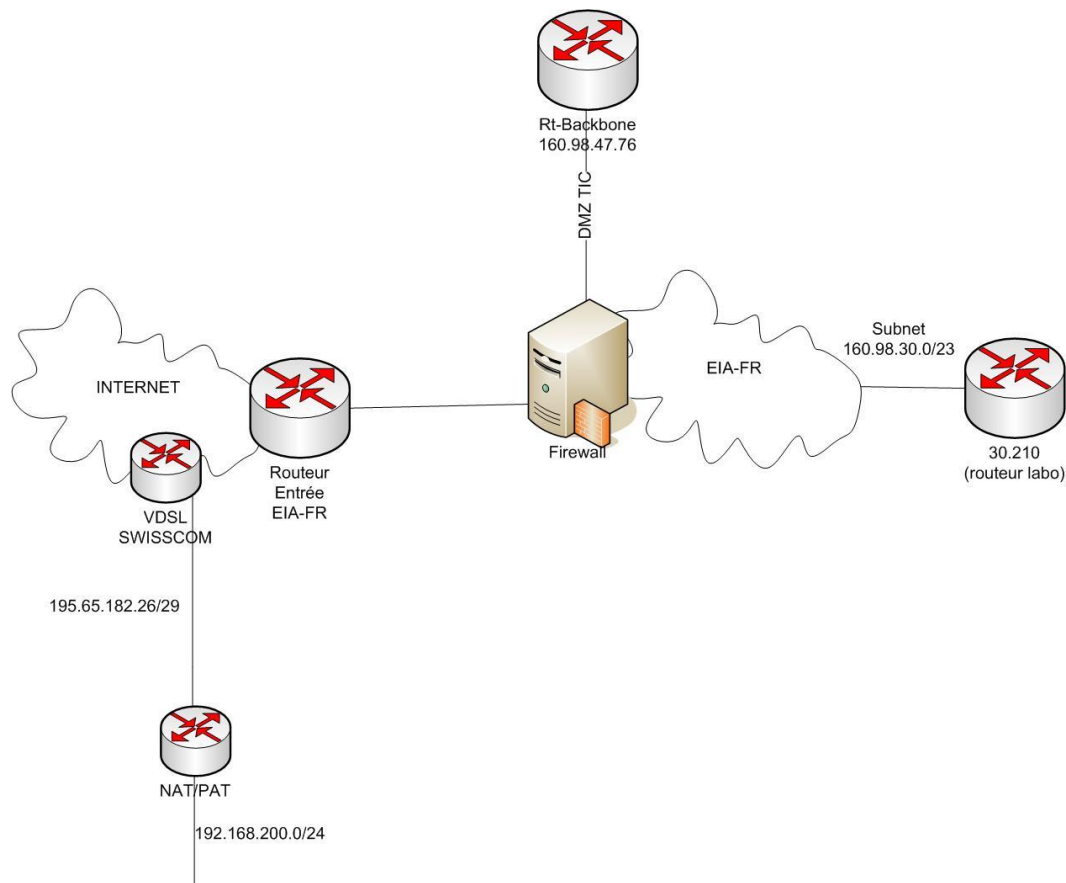


Figure 50 : Schéma d'implémentation

### 8.6.3 Test 1 : Sans NAT/PAT depuis le réseau de l'école

Nous allons tout d'abord vérifier que le firewall de l'école d'ingénieurs laisse passer les messages GRE lorsque le tunnel est tiré depuis l'intérieur du réseau (routeur labo 160.98.30.210) vers la DMZ (routeur backbone 160.98.47.76).

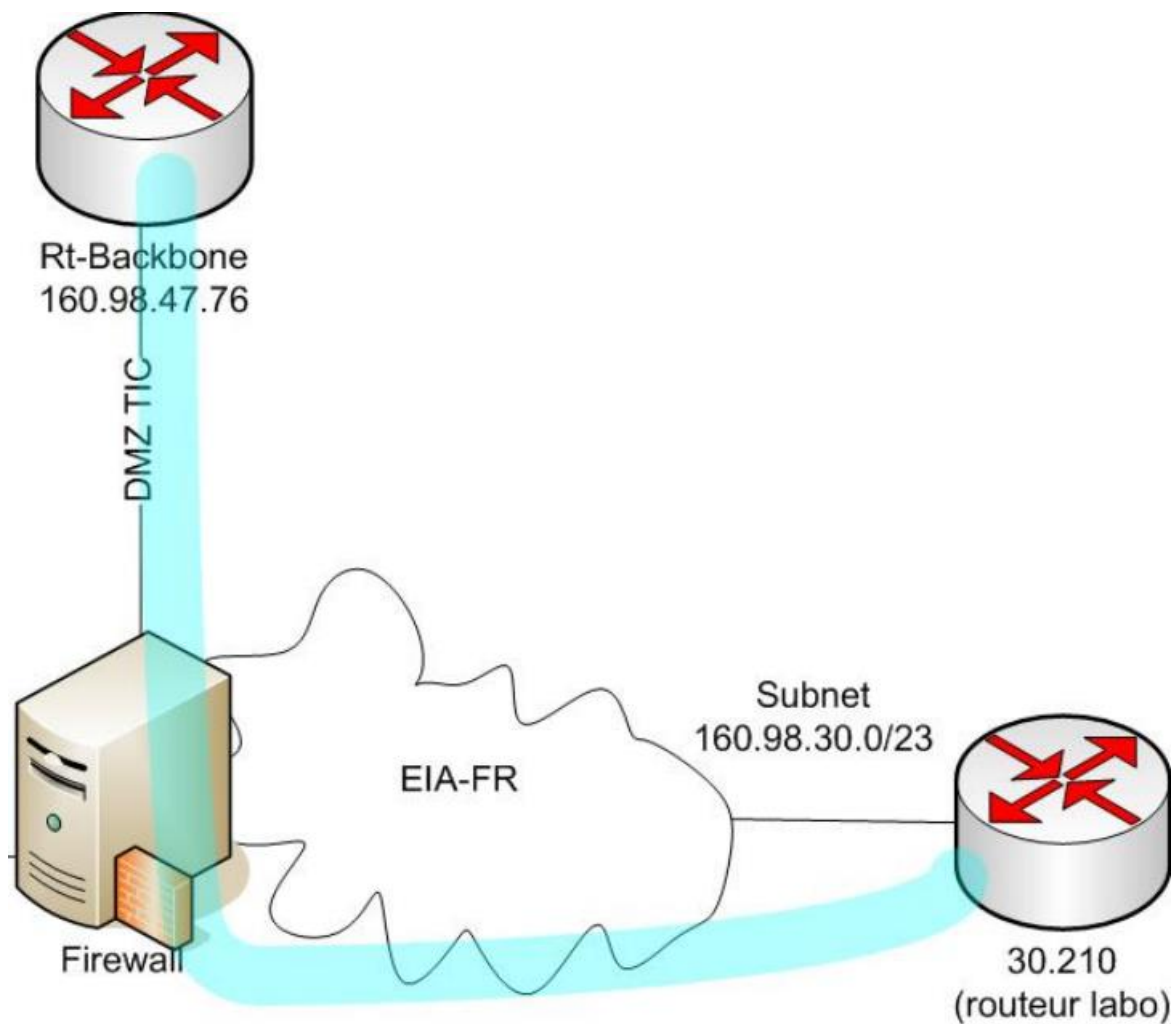


Figure 201: Tunnel GRE depuis le réseau interne

#### 8.6.4 Résultat du test

Cette mise en place fonctionne. Nous pouvons encapsuler nos paquets dans GRE et ils sont envoyés dans le tunnel. Ce résultat nous permet de dire que le firewall est configuré de façon à ne pas filtrer les messages GRE depuis le réseau interne.

### 8.7 GRE à travers un NAT/PAT

Nous allons effectuer le même test, mais en tirant un tunnel entre un client Swisscom (câblé) et notre routeur. Le tout passant par un NAT/PAT.

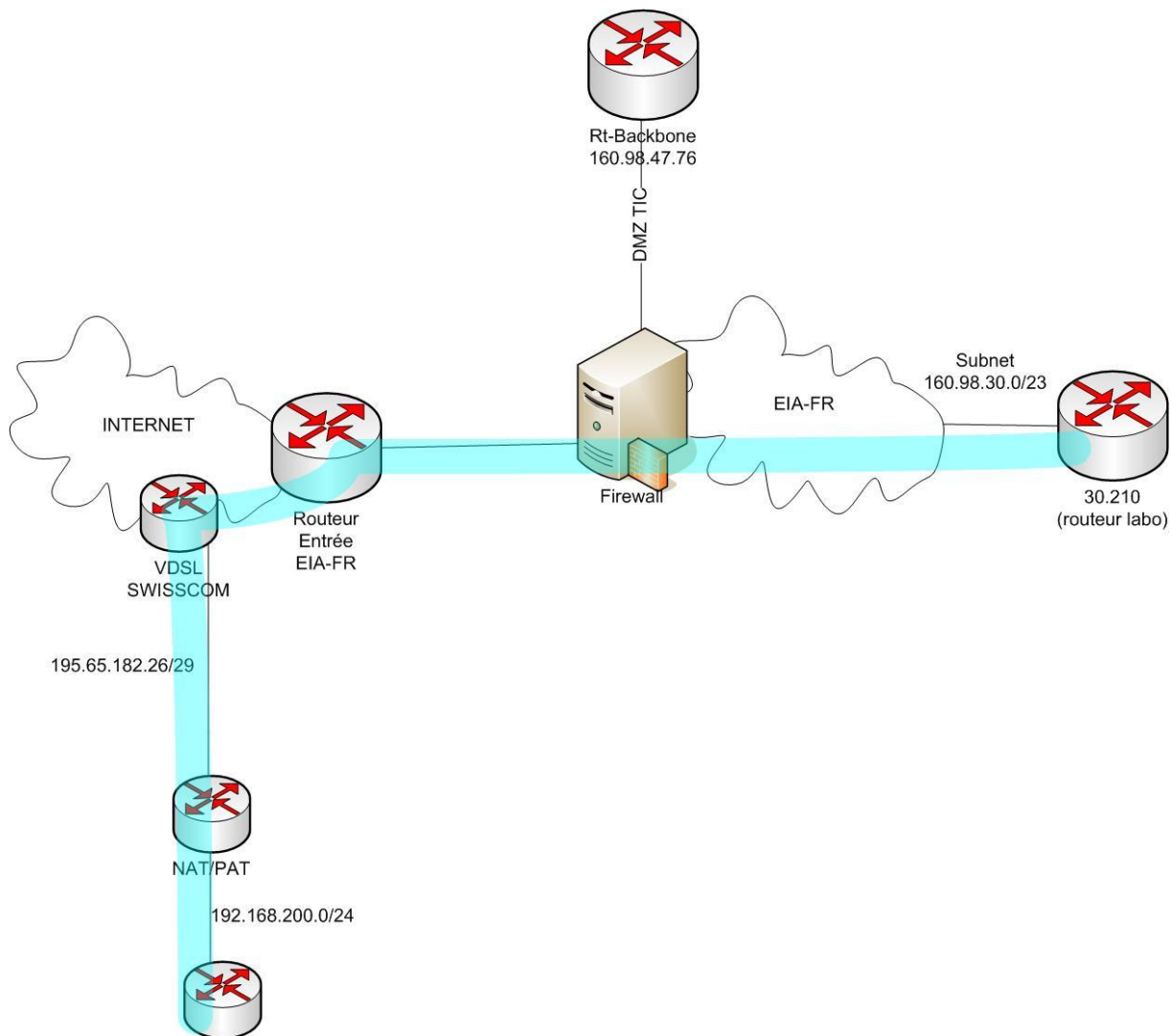


Figure 52 : Tunnel GRE sur la DMZ derrière un NAT

### 8.7.1 Résultats du test :

Lorsque nous mettons en place cette infrastructure, le tunnel GRE ne fonctionne pas. Cela nous met sur la voie sur 2 suppositions :

- Les routeurs d'entrée de l'école bloquent les messages GRE venant de l'extérieur
- Le tunnel GRE ne peut pas passer à travers un NAT

### 8.7.2 Test 4.3 : même test mais depuis un routeur placé sur Internet

Nous allons faire exactement le même test, mais en outrepassant l'aspect NAT/PAT. Nous allons tirer notre tunnel depuis un second routeur ayant une adresse publique officielle, afin de traverser les routeurs d'entrée de l'école sans passer par un équipement faisant du NAT/PAT. Cela va nous permettre de « cibler » le problème et de déterminer si c'est le NAT/PAT ou les access-lists sur les routeurs de l'école qui posent problème aux tunnels GRE.

### 8.7.3 Schéma :

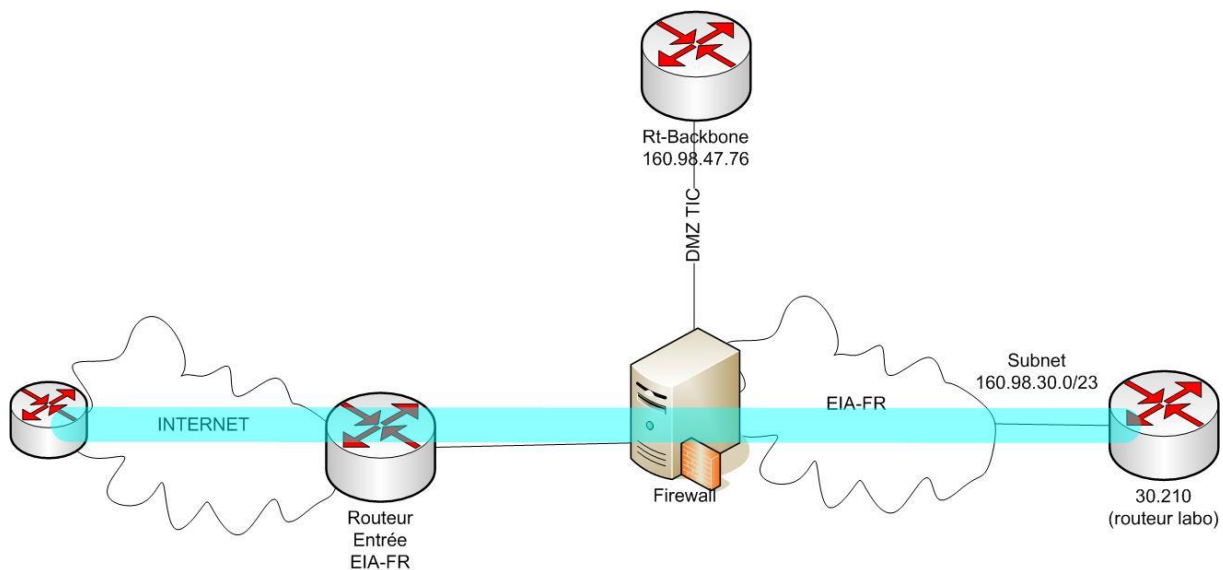


Figure 53: Tunnel GRE avec adresse IP publique

### 8.7.4 Résultats du test :

Lorsque nous mettons en place le tunnel GRE, celui-ci fonctionne.

Cela veut donc dire que les tunnels GRE ne peuvent pas passer le NAT/PAT de chez Swisscom.

En effet, le NAT/PAT transforme les ports UDP et TCP de la couche réseau. GRE se trouvant directement au-dessus d'IP, il n'est pas affecté par le NAT et n'est pas transmis au-delà du routeur NAT/PAT.

### 8.7.5 Solution pour corriger ces problèmes

La solution se situe au niveau de la couche « transport ». En effet, si nous pouvons imposer du TCP ou de l'UDP comme protocole de transport, cela fonctionnerait. C'est exactement ce que fait le protocole **IPSEC**. Lorsqu'on encapsule du trafic dans IPSEC et qu'un NAT/PAT doit être traversé, IPSEC encapsule automatiquement le trafic dans UDP. IPSEC n'est donc dès à présent plus une option, mais une nécessité dans ce projet.

## 8.8 IPSec depuis adresse IP publique fixe

Afin de vérifier nos configurations, nous avons décidé de tout d'abord établir un tunnel IPSec depuis l'adresse IP publique fixe. Le résultat a été positif sans problèmes.

## 8.9 IPSec derrière un NAT/PAT

Dans un deuxième temps, nous avons établi un tunnel depuis notre routeur, situé derrière un NAT/PAT. Un nouveau problème est survenu. En effet, lorsque le protocole ISAKMP se trouve derrière un NAT, il utilise le port UDP 4500 au lieu du

port UDP 500. Ce dernier n'était pas ouvert dans le Firewall de la DMZ, où se trouvait notre routeur de test.

Lorsque le port UDP 4500 a été débloqué, nous avons pu établir un tunnel IPSec entre nos deux routeurs.

## **8.10IPSec over LTE**

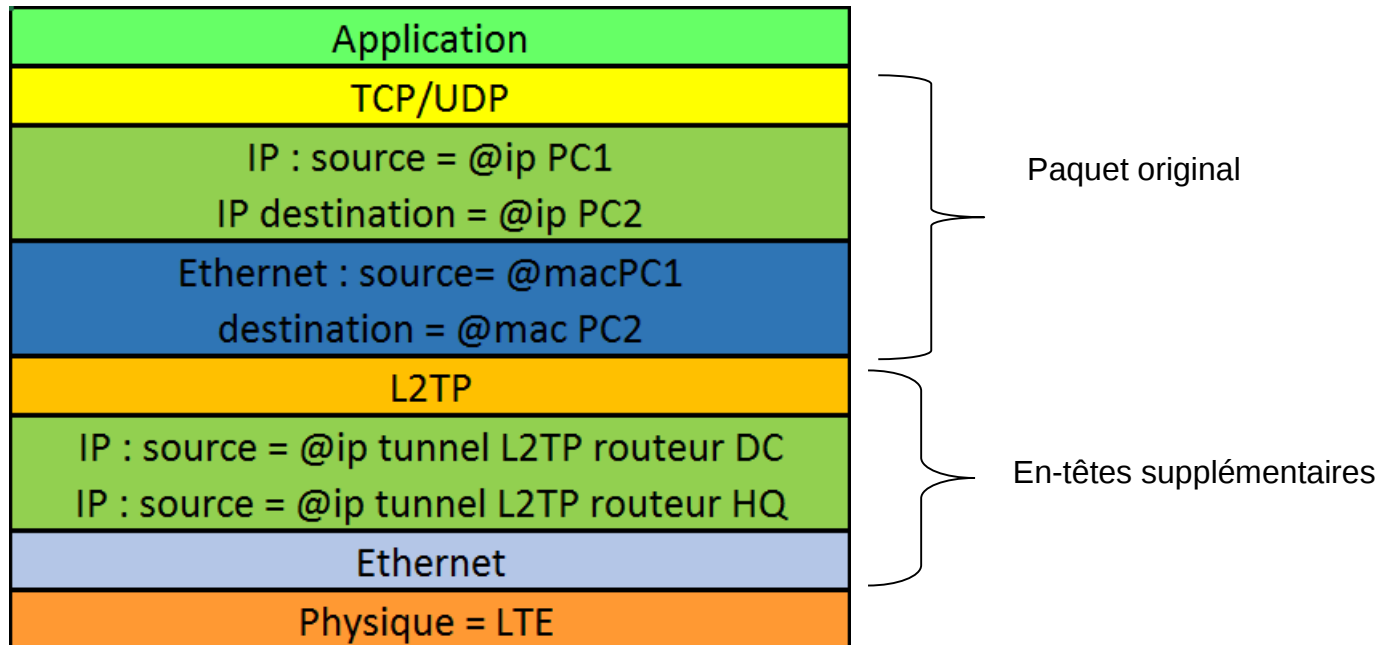
Une fois le dernier test effectué, nous avons pu établir la même configuration sur la ligne LTE. En effet, la solution LTE a la même topologie logique qu'un routeur se trouvant derrière un NAT/PAT.

Il nous a suffi de récupérer l'adresse IP publique de nos deux routeurs et d'établir des tunnels IPSec VPN vers chacun d'entre eux.

La configuration de routage étant déjà en place (comme expliqué lors du premier test IPSec avec l'émulation d'internet sur un seul hub), le tunnel L2TP était immédiatement disponible.

## 8.11 Différences de charge entre un paquet émis sur la fibre ou en LTE

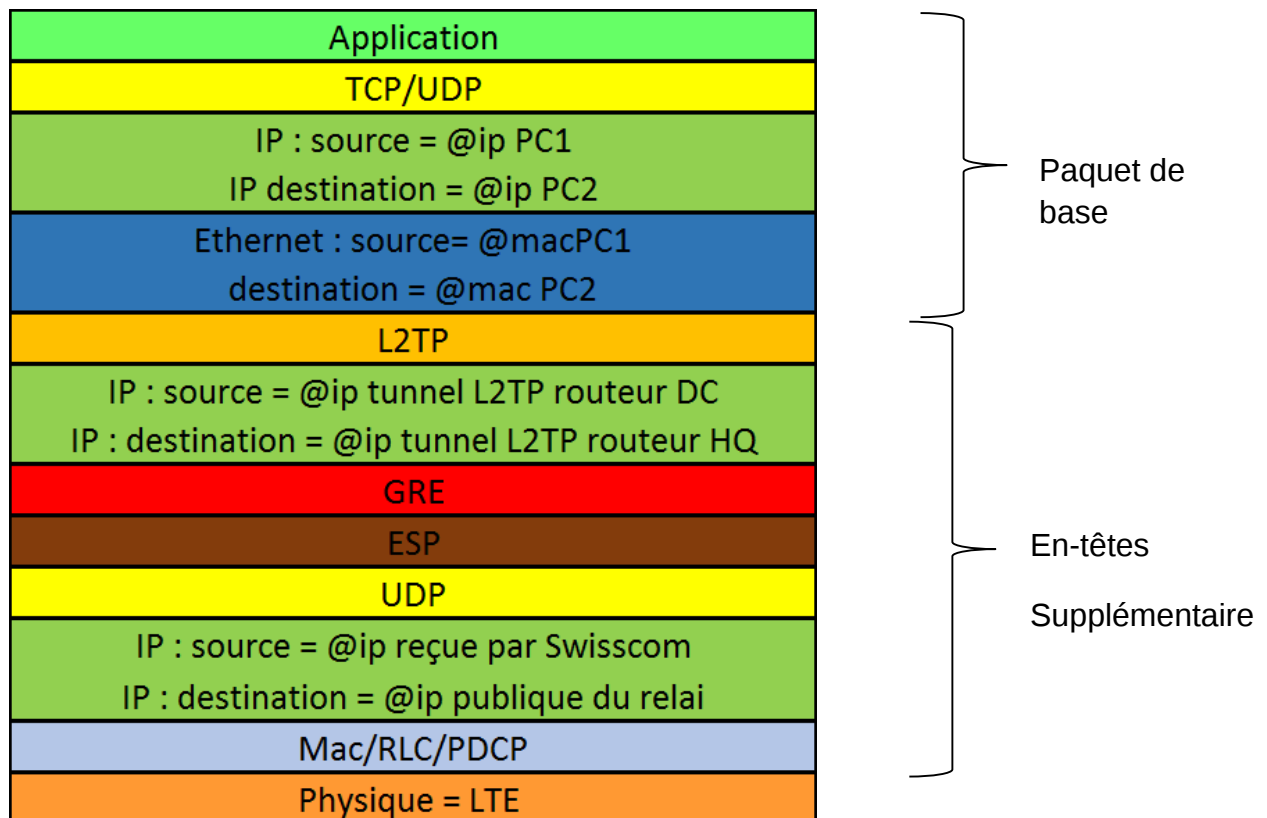
Le paquet émis sur la fibre optique est proche de celui-ci :



### 8.11.1 Calcul des en-têtes supplémentaire lorsqu'on utilise la fibre optique

Les données qui seront mises en plus dans la charge utile sont les en-têtes L2TP, un en-tête IP et un en-tête Ethernet ce qui équivaut à un total de 16 bytes (L2TP) + 20 bytes (IP) + 16 bytes (Ethernet) = **52 bytes** de charge utile d'application en moins.

Le paquet qui est émis en LTE est structuré comme il suit :



### 8.11.2 Calcul de la charge utile supplémentaire :

Nous avons un en-tête L2tp, deux en-têtes IP, un en-tête GRE et un en-tête IPSEC (ESP/AH), un en-tête UDP, ainsi qu'un en-tête MAC/RLC/PDCP

Le total de la charge utile supplémentaire fait  $16 \text{ (L2TP)} + 20 \text{ (IP)} + 10 \text{ (GRE)} + 18 \text{ (IPSEC)} + 8 \text{ (UDP)} + 20 \text{ (IP)} + 6 \text{ (MAC/RLC/PDCP)} = \underline{\underline{98 \text{ bytes}}}$

---

## Annexe 9. Changement d'IP sur la ligne LTE

---

Lorsque les interfaces LTE reçoivent de nouvelles adresses IP de la part de Swisscom, il est important de bien reconfigurer les 3 routeurs. Ces commandes doivent être lancées à chaque démarrage de routeur et attribution de nouvelle adresse publique.

### 9.1 Récupération des adresses IP

Méthode à suivre pour changer les adresses IP des interfaces loopback1 et adaptation des adresses des tunnels sur les routeurs.

Les anciennes adresses publiques des routeurs peuvent être trouvées en effectuant la commande « show ip int brief » sur chacun des routeurs. L'adresse correspond à la Loopback1. Remplacer les adresses suivantes dans les différents fichiers de configuration.

```
routeur-dc : xxx.xxx.xxx.xxx  
routeur-hq : yyy.yyy.yyy.yyy  
ancienne adresse dc : oldc.oldc.oldc  
ancienne hq : oldhq.oldhq.oldhq
```

Établir une connexion telnet sur le port 80

```
telnet whatismyv6.com www
```

Envoyer une requête http GET au serveur

```
GET / HTTP 1/1  
User-Agent: Firefox  
Host: whatismyv6.com
```

Note : Il faut effectuer deux retours à la ligne pour envoyer la requête.

La petite application HTML (codée en Javascript) disponible sur le CD permet de générer automatiquement les configurations à appliquer sur les différents routeurs.

### 9.2 Routeur DataCenter

```
conf t  
interface Loopback1  
ip address xxx.xxx.xxx.xxx 255.255.255.255  
  
ip access-list extended IPSEC-GRE  
no permit gre host oldc.oldc.oldc host 160.98.47.75  
permit gre host xxx.xxx.xxx.xxx host 160.98.47.75  
end  
write
```

## 9.3 Routeur HeadQuarter

```
conf t
interface Loopback1
 ip address yyy.yyy.yyy.yyy 255.255.255.255

ip access-list extended IPSEC-GRE
no permit gre host xxx.xxx.xxx.xxx host 160.98.47.75
permit gre host yyy.yyy.yyy.yyy host 160.98.47.75

end
write
```

## 9.4 Routeur Relay LTE

sur le routeur relay-lte : attention : mot de passe "cisco"

```
crypto isakmp key IT-SECURITY address yyy.yyy.yyy.yyy
crypto isakmp key IT-SECURITY address xxx.xxx.xxx.xxx

crypto map combined 1 ipsec-isakmp
no set peer oldc.oldc.oldc.oldc
set peer xxx.xxx.xxx.xxx
crypto map combined 2 ipsec-isakmp
no set peer oldhq.oldhq.oldhq.oldhq
set peer yyy.yyy.yyy.yyy

int tun0
tunn desti yyy.yyy.yyy.yyy

int tun1
tunn desti xxx.xxx.xxx.xxx

ip access-list extended IPSEC-GRE-DC
no permit gre host 160.98.47.75 host oldc.oldc.oldc.oldc
permit gre host 160.98.47.75 host xxx.xxx.xxx.xxx

ip access-list extended IPSEC-GRE-HQ
no permit gre host 160.98.47.75 host oldhq.oldhq.oldhq.oldhq
permit gre host 160.98.47.75 host yyy.yyy.yyy.yyy
```

## 9.5 Effacer les anciennes clés de session

```
! Clear crypto
clear crypto isakmp
clear crypto sa
```

---

## Annexe 10. Configurations des routeurs

---

### 10.1Routeur DataCenter

```
hostname rt_dc
ip name-server 8.8.8.8
l2tp-class mainTunnel
no ipv6 cef
multilink bundle-name authenticated
!
!
chat-script lte "" "AT!CALL" TIMEOUT 20 "OK"
!
!
license udi pid CISCO2901/K9 sn FCZ1737C48A
license accept end user agreement
license boot module c2900 technology-package securityk9
license boot module c2900 technology-package datak9
!
!
controller Cellular 0/2
!
controller VDSL 0/1/0
!
pseudowire-class mainTunnel
encapsulation l2tpv3
ip local interface Loopback0
ip pmtu
!
!
!
crypto isakmp policy 10
  encr 3des
  authentication pre-share
crypto isakmp key IT-SECURITY address 160.98.47.75
crypto isakmp nat keepalive 3600
!
!
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS esp-3des esp-sha-hmac
  mode transport
!
!
!
crypto map EIF-MAP 10 ipsec-isakmp
  set peer 160.98.47.75
  set transform-set EIF-TRANS
  match address IPSEC-GRE
!
!
```

```
!  
!  
!  
interface Loopback0  
ip address 192.168.2.1 255.255.255.0  
ip nat inside  
ip virtual-reassembly in  
!  
interface Loopback1  
ip address 178.197.229.69 255.255.255.255  
!  
interface Tunnel1  
ip address 192.168.5.2 255.255.255.0  
tunnel source Loopback1  
tunnel destination 160.98.47.75  
!  
interface Embedded-Service-Engine0/0  
no ip address  
shutdown  
!  
interface GigabitEthernet0/0  
no ip address  
duplex auto  
speed auto  
xconnect 192.168.3.1 1 encapsulation l2tpv3 pw-class mainTunnel  
!  
interface GigabitEthernet0/1  
ip address 12.0.0.1 255.0.0.0  
duplex auto  
speed auto  
!  
interface GigabitEthernet0/0/0  
ip address 11.0.0.1 255.0.0.0  
ip ospf dead-interval minimal hello-multiplier 4  
!  
interface ATM0/1/0  
no ip address  
shutdown  
no atm ilmi-keepalive  
!  
interface Ethernet0/1/0  
no ip address  
shutdown  
!  
interface Cellular0/2/0  
ip address negotiated  
ip nat outside  
ip virtual-reassembly in max-reassemblies 64  
encapsulation slip  
dialer in-band
```

```
dialer idle-timeout 0
dialer string lte
dialer-group 1
async mode interactive
crypto map EIF-MAP
routing dynamic
!
!
router ospf 1
timers throttle spf 30 100 100
timers lsa arrival 100
timers pacing flood 5
timers pacing retransmission 5
passive-interface Cellular0/2/0
network 11.0.0.0 0.255.255.255 area 0
network 12.0.0.0 0.255.255.255 area 0
network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.5.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip nat inside source list 10 interface Cellular0/2/0 overload
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 Cellular0/2/0
!
ip access-list extended IPSEC-GRE
 permit gre host 178.197.229.69 host 160.98.47.75
!
dialer watch-list 1 delay route-check initial 60
dialer watch-list 1 delay connect 1
dialer-list 1 protocol ip permit
!
control-plane
!
line con 0
line aux 0
line 2
 no activation-character
 no exec
 transport preferred none
 transport output pad telnet rlogin lapb-ta mop udptn v120 ssh
 stopbits 1
line 0/2/0
 script dialer lte
 modem InOut
 no exec
 transport input all
 transport output all
```

```
rxspeed 100000000
txspeed 50000000
line vty 0 4
login
transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
!
end
```

## 10.2Routeur HeadQuarter

```
hostname rt_hq
!
ip name-server 8.8.8.8
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
chat-script lte "" "AT!CALL" TIMEOUT 20 "OK"
!
license udi pid CISCO2901/K9 sn FCZ1737C48S
license accept end user agreement
license boot module c2900 technology-package securityk9
license boot module c2900 technology-package datak9
!
redundancy
!
controller Cellular 0/2
!
controller VDSL 0/1/0
!
pseudowire-class mainTunnel
encapsulation l2tpv3
ip local interface Loopback0
ip pmtu
!
crypto isakmp policy 10
encr 3des
authentication pre-share
crypto isakmp key IT-SECURITY address 160.98.47.75
!
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS esp-3des esp-sha-hmac
mode transport
!
crypto map EIF-MAP 10 ipsec-isakmp
set peer 160.98.47.75
set transform-set EIF-TRANS
match address IPSEC-GRE
!
interface Loopback0
```

```
ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
!
interface Loopback1
ip address 178.197.236.44 255.255.255.255
!
interface Tunnel1
ip address 192.168.4.2 255.255.255.0
tunnel source Loopback1
tunnel destination 160.98.47.75
!
interface Embedded-Service-Engine0/0
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
xconnect 192.168.2.1 1 encapsulation l2tpv3 pw-class mainTunnel
!
interface GigabitEthernet0/1
ip address 12.0.0.2 255.0.0.0
duplex auto
speed auto
!
interface GigabitEthernet0/0/0
ip address 11.0.0.2 255.0.0.0
ip ospf dead-interval minimal hello-multiplier 4
ip ospf 1 area 0
!
interface ATM0/1/0
no ip address
shutdown
no atm ilmi-keepalive
!
interface Ethernet0/1/0
no ip address
shutdown
!
interface Cellular0/2/0
ip address negotiated
ip nat outside
ip virtual-reassembly in max-reassemblies 64
encapsulation slip
dialer in-band
dialer idle-timeout 0
dialer string lte
dialer-group 1
async mode interactive
crypto map EIF-MAP
```

```
routing dynamic
!
router ospf 1
timers throttle spf 30 100 100
timers lsa arrival 100
timers pacing flood 5
passive-interface Cellular0/2/0
network 11.0.0.0 0.255.255.255 area 0
network 12.0.0.0 0.255.255.255 area 0
network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
ip nat inside source list 10 interface Cellular0/2/0 overload
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 Cellular0/2/0
!
ip access-list extended IPSEC-GRE
permit gre host 178.197.236.234 host 160.98.47.75
permit gre host 178.197.227.246 host 160.98.47.75
permit gre host 178.197.236.44 host 160.98.47.75
!
access-list 10 permit 192.168.3.0 0.0.0.255
dialer watch-list 1 delay route-check initial 60
dialer watch-list 1 delay connect 1
dialer-list 1 protocol ip permit
!
control-plane
!
line con 0
line aux 0
line 2
no activation-character
no exec
transport preferred none
transport output pad telnet rlogin lapb-ta mop udptn v120 ssh
stopbits 1
line 0/2/0
script dialer lte
modem InOut
no exec
transport input all
transport output all
rxspeed 100000000
txspeed 50000000
line vty 0 4
login
```

```
transport input all
!
scheduler allocate 20000 1000
!
End
```

## 10.3Relay-lte

```
!
hostname relay-lte
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
!
enable password cisco
!
aaa new-model

!
aaa session-id common
!
ip cef
!
!
no ip domain lookup
ip domain name lte.edu.hefr.ch
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
license udi pid CISCO2901/K9 sn FCZ1737C48J
!
!
username david password 0 s3cur3
!
redundancy
!
!
!
!
!
controller VDSL 0/1/0
!
ip ssh time-out 60
ip ssh version 2
!
```

```
!  
crypto isakmp policy 1  
  encr 3des  
  authentication pre-share  
!  
crypto isakmp policy 2  
  encr 3des  
  authentication pre-share  
!  
crypto isakmp policy 10  
  encr 3des  
  authentication pre-share  
!  
crypto isakmp policy 20  
  encr 3des  
  authentication pre-share  
crypto isakmp key IT-SECURITY address 12.0.0.1  
crypto isakmp key IT-SECURITY address 12.0.0.2  
crypto isakmp key IT-SECURITY address 178.197.227.246  
crypto isakmp key IT-SECURITY address 178.197.236.4  
crypto isakmp nat keepalive 60  
!  
!  
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS-TUN esp-3des esp-sha-hmac  
  mode transport  
crypto ipsec transform-set EIF-TRANS esp-3des esp-sha-hmac  
  mode transport  
!  
!  
!  
crypto map EIF-MAP 10 ipsec-isakmp  
  set peer 195.65.182.26  
  set transform-set EIF-TRANS  
  match address IPSEC-GRE  
!  
crypto map combined local-address GigabitEthernet0/1  
crypto map combined 1 ipsec-isakmp  
  set peer 178.197.236.4  
  set transform-set EIF-TRANS-TUN  
  match address IPSEC-GRE-DC  
crypto map combined 2 ipsec-isakmp  
  set peer 178.197.227.246  
  set transform-set EIF-TRANS-TUN  
  match address IPSEC-GRE-HQ  
!  
!  
!  
!  
!  
interface Tunnel0
```

```
description tunnel-to-hq
ip address 192.168.4.1 255.255.255.0
tunnel source GigabitEthernet0/1
tunnel destination 178.197.227.246
!
interface Tunnel1
description tunnel-to-dc
ip address 192.168.5.1 255.255.255.0
tunnel source GigabitEthernet0/1
tunnel destination 178.197.236.4
!

interface Embedded-Service-Engine0/0
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
shutdown
duplex auto
speed auto
!
interface GigabitEthernet0/1
ip address 160.98.47.75 255.255.255.0
duplex auto
speed auto
crypto map combined
!
interface ATM0/1/0
no ip address
shutdown
no atm ilmi-keepalive
!
interface Ethernet0/1/0
no ip address
shutdown
!
interface Serial0/2/0
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
!
interface Serial0/2/1
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
!
!
router eigrp 1
network 192.168.6.0
```

```
!  
router ospf 1  
 network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0  
 network 192.168.5.0 0.0.0.255 area 0  
!  
ip forward-protocol nd  
!  
no ip http server  
no ip http secure-server  
!  
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 160.98.47.1  
ip route 192.168.2.0 255.255.255.0 Tunnel1  
ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 Tunnel0  
!  
ip access-list extended IPSEC-GRE  
 permit gre host 160.98.47.75 any  
ip access-list extended IPSEC-GRE-DC  
 permit gre host 160.98.47.75 host 178.197.236.4  
ip access-list extended IPSEC-GRE-HQ  
 permit gre host 160.98.47.75 host 178.197.227.246  
!  
!  
!  
!  
!  
control-plane  
!  
!  
!  
line con 0  
line aux 0  
line 2  
 no activation-character  
 no exec  
 transport preferred none  
 transport output pad telnet rlogin lapb-ta mop udptn v120 ssh  
 stopbits 1  
line vty 0 4  
 password cisco  
 transport input ssh  
!  
scheduler allocate 20000 1000  
!  
end
```

## Annexe 11. Problèmes rencontrés

### 11.1 Accès à certains sites Internet

Le principal problème que nous avons rencontré est le fait que certains sites Internet étaient inaccessibles depuis les postes faisant partie du datacenter (la passerelle vers le réseau LAN de l'Ecole d'ingénieurs étant, dans notre test, sur la partie headquarter).

La figure ci-dessous montre les machines concernées.

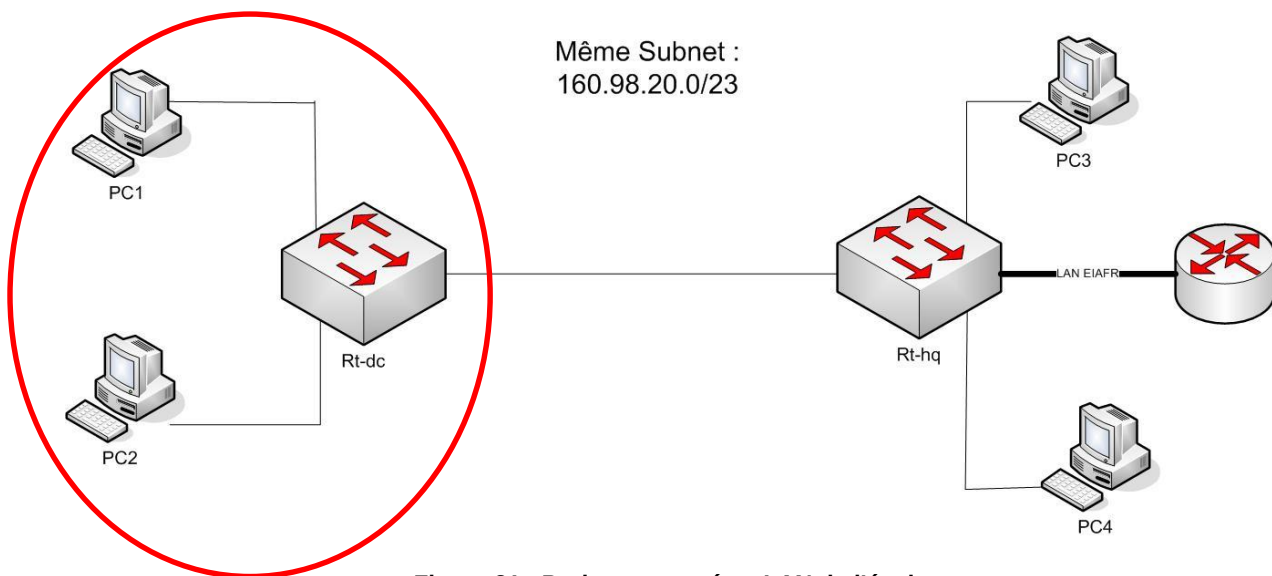


Figure 21 : Projet connecté au LAN de l'école

Suite à quelques investigations et recherches, nous avons remarqué que seuls les sites en HTTPS étaient inaccessibles. Nous avons donc décidé d'utiliser le logiciel Wireshark pour détecter d'éventuels problèmes.

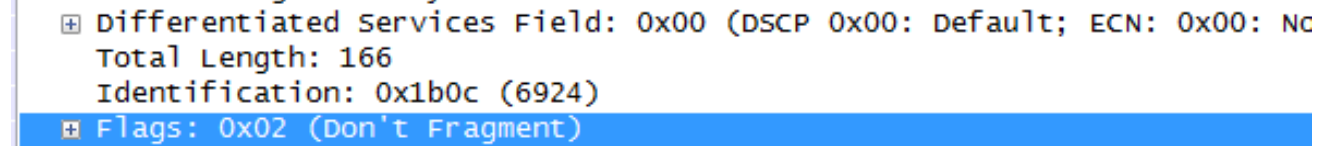
Le résultat de cette analyse Wireshark nous a montré que le handshake TLS (technologie utilisée pour authentifier un serveur) ne se termine jamais. En effet, le serveur indique au client les algorithmes de cryptage qu'il utilise (dans le message « server hello ») et le client lui envoie un message indiquant au serveur qu'il va crypter ces données avec les informations contenues dans le message « server hello ». Dès lors, le serveur ne répond plus.

|      |            |                 |                 |         |                                                                             |
|------|------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 3433 | 739.434400 | 173.194.113.233 | 160.98.31.188   | TLSv1.2 | 273 client hello                                                            |
| 5457 | 739.466142 | 173.194.113.233 | 160.98.31.188   | TCP     | 1106 [TCP Previous segment not captured] [TCP segment of a reassembled PDU] |
| 5459 | 739.466362 | 173.194.113.233 | 160.98.31.188   | TLSv1.2 | 1484 [TCP Out-Of-Order] Server Hello                                        |
| 5463 | 739.480845 | 160.98.31.188   | 173.194.113.233 | TLSv1.2 | 180 client Key Exchange, Change Cipher Spec, Hello Request, Hello Request   |

Figure 22 : Capture TLS

### 11.1.1 Solution

Le serveur ne répond pas car il ne reçoit jamais les informations du client (PC localisé dans la partie datacenter). Ceci est dû au fait que le paquet que le client envoie n'est pas fragmenté (dans l'en-tête IP, le flag « don't fragment » est à 1).



```
+ Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: No  
  Total Length: 166  
  Identification: 0x1b0c (6924)  
+ Flags: 0x02 (Don't Fragment)
```

La solution est donc de modifier le MTU du client de façon à pouvoir contenir dans son paquet les bytes supplémentaires générés par les en-têtes ajoutés. On utilise la commande suivante pour modifier le MTU de la carte réseau :

```
netsh interface ipv4 set subinterface "Local Area Connection" mtu=1400  
store=persistent
```

Lorsque l'on met un mtu de 1400 (100 bytes de moins que le standard Ethernet à 1500), on est certains de pouvoir contenir les en-têtes ajoutés à la fois sur la ligne de fibre optique, mais aussi sur la ligne de backup LTE.

## Annexe 12. Journaux de travail

### 12.1 David Rossier

| Date       | Travail effectué                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Temps d'exécution en heures |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 22.09.2014 | - Séance avec M Robadey et Wagen : établissement du contexte.                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0.5                         |
| 24.09.2014 | - Recherche sur swisscom (abonnements LTE)<br>- Séance avec M.Robadey :<br>- Etablissement du schéma de contexte<br>- Rappel des dates et du contenu du cahier des charges<br>- Recherche de router LTE / Prix<br>- Prise de contact avec Swisscom (par l'intermédiaire de l'assistance) pour obtenir des informations sur leurs offres | 1<br>1<br><br>1<br>1<br>1   |
| 28.09.2014 | - Planification et recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                           |
| 30.09.2014 | - Planification + draft cahier des charges                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                           |
| 01.10.2014 | - Préparation de la séance<br>- Séance avec M.Wagen et M.Robaday<br>- Rédaction du PV<br>- Correction de la planification                                                                                                                                                                                                               | 1<br>1<br>1<br>1            |
| 03.10.2014 | - Correction de la planification<br>- Révision cahier des charges<br>- Recherche                                                                                                                                                                                                                                                        | 1<br>1<br>1                 |
| 06.10.2014 | - Préparation de la séance 003 et recherches diverses                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1                           |
| 07.10.2014 | - Recherche vivo (LTE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1                           |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 11.10.2014 | - Recherche technologies Swisscom                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1 |
| 14.10.2014 | - Définition pondération analyse multicritère                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2 |
|            | - Recherche LTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 |
| 16.10.2014 | - Recherche sur les technologies VPN layer 2<br><a href="https://wiki.metroethernetforum.com/display/CESG/">https://wiki.metroethernetforum.com/display/CESG/</a><br>Informations intéressantes trouvées sur le site metroethernetforum.com                                                                    | 2 |
| 17.10.2014 | - Mise en forme de l'analyse préliminaire                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1 |
| 22.10.2014 | Séance<br>Recherche VPLS et documentation<br><a href="http://tools.ietf.org/html/rfc4761">http://tools.ietf.org/html/rfc4761</a><br><a href="http://tools.ietf.org/html/rfc4762">http://tools.ietf.org/html/rfc4762</a><br><a href="http://tools.ietf.org/html/rfc4447">http://tools.ietf.org/html/rfc4447</a> | 3 |
| 26.10.2014 | Préparation présentation cahier des charges                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2 |
| 29.10.2014 | Présentation du cahier des charges<br>Petite séance pour le choix du matériel                                                                                                                                                                                                                                  | 3 |
| 05.11.2014 | Début de la conception<br>Séance 007<br>Début de la configuration de la maquette                                                                                                                                                                                                                               | 3 |
| 07.11.2014 | Mise en place d'une première version du tunnel GRE non fonctionnel : Les requêtes ARP ne fonctionnent pas.                                                                                                                                                                                                     | 3 |
| 09.11.2014 | Essais de configurations Avec bridge-group : Problème : Pas de communication entre les deux PC (site A vers site B)                                                                                                                                                                                            | 2 |
| 10.11.2014 | Discussion avec M.Buntschu et M.Gaillet pour la mise en place du tunnel (Possibilités, problématique)                                                                                                                                                                                                          | 2 |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|            | Résultat : Schéma 1.                                                                                                                                                                                                                                                          |   |
| 11.11.2014 | Essais sur le tunnel GRE (Problème : version IOS non compatible ; Trop récente).<br><br>Essais de mise en place d'un tunnel L2TP. (Activation du package data sur l'ios du routeur nécessaire)                                                                                | 5 |
| 12.11.2014 | Séance avec M.Rupp et M.Mathys<br><br>Présentation du projet, discussions sur les technologies à utiliser, présentation des routeurs swisscom.                                                                                                                                | 4 |
| 19.11.2014 | Séance : Nécessité de faire des schémas plus précis au niveau des couches.<br><br>LTE : Recherches de commandes pour la configuration<br><a href="http://www.cisco.com/go/4g">http://www.cisco.com/go/4g</a>                                                                  | 4 |
| 21.11.2014 | Test 1 : LTE Configuration de l'interface LTE avec succès (Avec l'aide de M.Buntschu) Configuration :<br>config_lte_working.txt<br><br>Rédaction de la documentation (documentation_lte.pdf)                                                                                  | 5 |
| 24.11.2014 | Préparation du fichier config_test_david.txt à tester sur les routeurs (tunnel l2tp sans bridge-group)                                                                                                                                                                        | 1 |
| 25.11.2014 | Test 2 : Mise en place de la configuration « config_test_david.txt » sur les routeurs. Fonctionnel avec des routes IP statiques.<br><br>Essai avec OSPF : Problème de multicast sur la fibre<br><br>Essai des modules SFP : Problème de communication entre les deux routeurs | 4 |
| 26.11.2014 | Séance 009 : Séance puis rédaction du PV de la séance<br><br>Essais d'un module SFP double non-cisco : Problème, non reconnu par l'appareil                                                                                                                                   | 3 |
| 28.11.2014 | Mise en place de l'infrastructure dans un rack pour libérer la place et faire de l'ordre dans le câblage.                                                                                                                                                                     | 4 |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|            | Ajout de la deuxième carte LTE, test d'un SFP double CISCO. Après discussion avec F.Buntschu, il a trouvé des modules Cisco. Celui-ci est fonctionnel et compatible avec notre architecture                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |
| 02.12.2014 | <p>Mise en place de la carte SIM (récupérée chez P. Gaillet) et configuration fonctionnel vers internet.</p> <p>Modification de la documentation de configuration LTE pour y ajouter la partie de lock/unlock SIM.</p> <p>Recherche sur possibilité de VPN over LTE :<br/> <a href="http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/CVD/Aug2013/CVD-VPNRemoteSiteOver3G4GDesignGuide-AUG13.pdf">http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/CVD/Aug2013/CVD-VPNRemoteSiteOver3G4GDesignGuide-AUG13.pdf</a><br/> <a href="http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/SBA/August2012/Cisco_SBA_BN_VPNRemoteSiteOver3G4G_DeploymentGuide-Aug2012.pdf">http://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/SBA/August2012/Cisco_SBA_BN_VPNRemoteSiteOver3G4G_DeploymentGuide-Aug2012.pdf</a><br/> <a href="http://www.infotecs.biz/solutions/lte.php">http://www.infotecs.biz/solutions/lte.php</a></p> <p>Contact avec le chat Online Swisscom : Hors de leur support, redirigé vers le support payant d'informaticiens :<br/> <a href="https://www.swisscom.ch/fr/clients-prives/plus/myservice/details.html">https://www.swisscom.ch/fr/clients-prives/plus/myservice/details.html</a></p> <p>Essais d'établir un VPN GRE sur les adresses privées et publiques de Swisscom : Non fonctionnel.</p> <p>Discussion avec M.Wagen : F.Buntschu nous mettra à disposition un routeur sur le backbone en intermédiaire entre les deux routeurs sur le lien LTE.</p> | 4 |
| 05.12.2014 | Création d'un exemple de configuration pour la mise en place d'un routeur sur le backbone.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2 |
| 09.12.2014 | <p>Mise en commun des deux exemples de configuration.</p> <p>Discussion avec M.Buntschu de ses recherches (NHRP) et étude des exemples.<br/> <a href="https://www.fir3net.com/Routers/Cisco/dmvpn-tutorial.html">https://www.fir3net.com/Routers/Cisco/dmvpn-tutorial.html</a><br/> <a href="http://roycormier.net/2012/01/16/howto-configure-a-gre-tunnel-with-a-dynamic-ip-address/">http://roycormier.net/2012/01/16/howto-configure-a-gre-tunnel-with-a-dynamic-ip-address/</a></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4 |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|            | <a href="http://sourceforge.net/projects/opennhp/?source=navbar">http://sourceforge.net/projects/opennhp/?source=navbar</a><br>Recherche et documentation sur les couches inférieures de la fibre et du LTE.<br>Test de la configuration avec un lien vers un routeur « intermédiaire » sur le backbone. |   |
| 10.12.2014 | Séance, rédaction du PV ; Rédaction d'une configuration de tests pour un VPN IPSec avec un routeur simulant le backbone.<br>Démonstration de la première implémentation avec un downtime d'environ 2 secondes.                                                                                           | 4 |
| 12.12.2014 | M.Buntschu nous a fourni une machine virtuelle Linux sur le backbone.<br>Recherche de documentation sur Quagga ; Ne gère pas IPSec (Quagga fait du routage)<br>Recherche d'un outil Linux pour IPSec => Racoon<br>Recherche de documentation et d'exemples sur Racoon                                    | 4 |
| 15.12.2014 | Configuration GRE over IPSec (Fonctionnelle) avec un routeur de test pour une simulation du backbone.                                                                                                                                                                                                    | 2 |
| 16.12.2014 | Configuration GRE over IPSec Working<br>Recherche de documentation sur Racoon<br>Documentation Problèmes / Solutions                                                                                                                                                                                     | 4 |
| 19.12.2014 | Tests du GRE à l'aide de M.Buntschu (VPN depuis plusieurs endroits de l'infrastructure vers le routeur dans la DMZ).<br>Problème de communication vient du NAT.                                                                                                                                          | 3 |
| 22.12.2014 | Test de l'IPSec through NAT. Après plusieurs tests et tentatives de debug, nous avons remarqué que le Firewall bloquait le port 4500 (utilisé pour le NAT traversal).<br>Documentation des tests.                                                                                                        | 6 |

|            |                                                                                                                                                                                                                              |   |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 23.12.2014 | Test fonctionnel de communication LTE-LTE à travers IPSec.                                                                                                                                                                   | 4 |
| 03.01.2015 | Test de performance sur l'infrastructure :<br><br>VoIP (OK)<br><br>Transfert de fichier (Trop lent)<br><br>Ping<br><br>Correction de la configuration pour prendre en compte la nouvelle IP et mise en place d'OSPF sur LTE. | 4 |
| 06.01.2015 | PV séance 12 et invitation séance 13.<br><br>Tests avec nouvelle carte SIM (unlimited)<br><br>Débit réel : proche des 355ko/s                                                                                                | 3 |
| 07.01.2015 | Séance 13 : Démonstration de la solution<br><br>Tests de performance supplémentaires (LTE)                                                                                                                                   | 4 |
| 09.01.2015 | Changement des routeurs avec le groupe Jérôme / Fréd.<br><br>Problème : l'information de la technologie préférée utilisée par les cartes LTE est enregistrée dans la carte.                                                  | 4 |
| 14.01.2015 | Séance 14 : Discussion charge d'en tête<br><br>Souhait de M.Wagen : Tests Ethernet / LTE / Fibre des charge-utile supplémentaires sur le médium (savoir si le paquet est fragmenté).                                         | 4 |
| 19.01.2015 | Finition documentation LTE<br><br>Rédaction PV et invitation.<br><br>Discussion Séance 15 : Contenu des annexes / documentation avec M.Perroud.                                                                              | 3 |
| 20.01.2015 | Documentation, tests Ethernet + Fibre + LTE<br><br>Résultat : Problème de port Ethernet qui coupe après environ 15minutes.                                                                                                   | 4 |

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                     | Capture de paquets, étude des entêtes et de la fragmentation IP.                                                                                                                                                                                                                    |                     |
| 21.01.2015          | <p>Séance 15 : Discussion charge d'entête et fragmentation.</p> <p>Discussion documentation (Contenu)</p> <p>Bien réfléchir au contenu de notre document et aux annexes.</p> <p>Mise en forme de la documentation (Titres / Listes à puce)</p> <p>Présentation : Schéma exemple</p> | 4                   |
| 22.01.2015          | <p>Présentation : Correction</p> <p>Documentation : Rassemblement de tous les fichiers Annexe et mise en forme.</p>                                                                                                                                                                 | 4                   |
| 23.01.2015          | Documentation finale                                                                                                                                                                                                                                                                | 4                   |
| 24.01.2015          | Documentation finale                                                                                                                                                                                                                                                                | 4                   |
| 25.01.2015          | Documentation finale                                                                                                                                                                                                                                                                | 6                   |
| 26.01.2015          | Finition Documentation et rendu                                                                                                                                                                                                                                                     | 6                   |
| <b><u>Total</u></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b><u>163.5</u></b> |

## 12.2 Christophe Perroud

| Date              | Travail effectué                                              | Temps d'exécution en heures |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>22.09.2014</b> | -Séance avec MM Robadey et Wagen : établissement du contexte. | 0.5                         |
|                   | -Création du modèle de documentation                          | 0.5                         |
|                   | -Création du journal de travail                               | 0.5                         |

|                   |                                                                                                                                                                                                 |                        |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|                   |                                                                                                                                                                                                 |                        |
| <b>23.09.2014</b> | -recherches sur les diverses solutions d'équipements avec un backup LTE                                                                                                                         | 1                      |
| <b>24.09.2014</b> | -Séance avec M.Robadey :<br>-Etablissement du schéma de contexte<br>-Contacts avec Swisscom pour connaître leur matériel<br>-Etablissement d'une liste d'objectifs et début de la documentation | 0.5<br>0.5<br>0.5<br>1 |
| <b>26.09.2014</b> | -Recherches d'équipements disponibles sur internet                                                                                                                                              | 1                      |
| <b>30.09.2014</b> | -Cahier des charges<br>-Planning<br>-Recherches sur internet                                                                                                                                    | 2<br>0.5<br>1          |
| <b>01.10.2014</b> | -Séance avec MM Robadey et Wagen<br>-Correction du cahier des charges<br>-Séance information LTE avec M.Wagen<br>-Recherches d'informations sur le matériel (début de l'analyse)                | 0.5<br>1<br>0.3<br>1   |
| <b>03.10.2014</b> | -Recherche d'info sur les couts fibre optique en Suisse<br>-Début de l'analyse                                                                                                                  | 1<br>1                 |
| <b>05.10.2014</b> | -Rédaction analyse<br>-Recherches diverses (matériel, fibres optiques, LTE...)                                                                                                                  | 1<br>2                 |
| <b>07.10.2014</b> | -Rédaction analyse                                                                                                                                                                              | 1                      |
| <b>08.10.2014</b> | -Séance                                                                                                                                                                                         | 1                      |

|                   |                                                                                                               |      |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                   | -Correction cahier des charges                                                                                | 1    |
|                   | -Analyse : recherches et rédaction                                                                            | 2    |
|                   | -Rédaction du PV                                                                                              | 0.5  |
| <b>10.10.2014</b> | -Analyse : Fibre optique                                                                                      | 2.5  |
|                   | -Analyse : LTE                                                                                                | 2.5  |
| <b>13.10.2014</b> | -Analyse : Solutions Dlink et Cisco                                                                           | 2    |
| <b>14.10.2014</b> | -Analyse : Solutions Cisco                                                                                    | 2    |
|                   | -Contacts avec bindec                                                                                         | 1    |
| <b>15.10.2014</b> | -Séance avec MM Robadey et Wagen                                                                              | 1    |
|                   | -Rédaction du PV                                                                                              | 0.5  |
|                   | -Légère modification du cahier des charges                                                                    | 0.5  |
|                   | -Documentation sur le routeur Dlink 3/4G                                                                      | 2    |
|                   | -Recherches d'informations sur les tunnels couche 2                                                           | 2    |
|                   | -Bref entretien avec M.Buntchu pour la commande des modules Cisco                                             | 0.25 |
| <b>16.10.2014</b> | -Recherches sur les moyens de tunneling VPN                                                                   | 3    |
|                   | -Mail à MM Wagen et Robadey concernant le IPsec avec GRE                                                      |      |
| <b>20.10.2014</b> | -Analyse MPLS, L2TP, IPSEC                                                                                    | 3    |
|                   | -Réponse de M.Wagen : il vaut mieux encapsuler directement la couche 2 (donc concentration sur MPLS et L2TP ) |      |
| <b>21.10.2014</b> | -Recherches et documentation de L2TPv3                                                                        | 1    |
|                   | -Recherches de moyen de configuration des tunnels                                                             | 1    |
|                   | -Mail à M.Buntschu pour savoir s'il a reçu un feedback au niveau des prix des modules LTE de cisco.           |      |

|                   |                                                                                                                                          |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>22.10.2014</b> | -Recherches et documentation L2TPv3                                                                                                      | 1   |
|                   | -Analyse : tableau multi-critères                                                                                                        | 1   |
| <b>26.10.2014</b> | Documentation de l'analyse L2TPv3                                                                                                        | 2   |
| <b>28.10.2014</b> | Documentation analyse MPLS                                                                                                               | 2   |
|                   | Préparation présentation intermédiaire                                                                                                   | 1   |
| <b>29.10.2014</b> | Présentation intermédiaire                                                                                                               | 1   |
|                   | Séance feedback de MM Robadey et Wagen                                                                                                   |     |
| <b>01.11.2014</b> | Documentation : fin de la matière concernant l'analyse                                                                                   | 2   |
| <b>05.11.2014</b> | Début de la conception                                                                                                                   | 2   |
|                   | Entretien avec MM Robadey et Wagen                                                                                                       | 0.5 |
|                   | Début de la configuration de la maquette pour la présentation                                                                            | 1   |
| <b>07.11.2014</b> | Mise en place du tunnel GRE avec M Rossier, mise en place de la solution de backup. Problème : les broadcasts en général ne passent pas. | 3   |
|                   | Conception : plans d'adressages et plan physique de la maquette                                                                          | 1   |
| <b>10.11.2014</b> | Préparation de l'invitation et de la séance du 12.11                                                                                     | 0.2 |
|                   | Entretien avec M Buntchu pour la mise en place du tunnel + backup                                                                        | 1   |
| <b>11.11.2014</b> | Essais de mise en place du tunnel GRE (sans succès à cause de la version ios trop récente)                                               | 5   |
|                   | Puis Essais de mise en place tunnel L2TP (pas tout à fait terminé, mais déjà plus encourageant grâce au package data) ajouté à l'IOS     |     |
| <b>12.11.2014</b> | Séance avec M Rupp et M Mathys                                                                                                           | 3.5 |
|                   | -présentation de notre projet                                                                                                            |     |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                   | -discussions autour des mises en place<br>-présentation des routeurs Swisscom<br>-Des solutions correspondant plus à notre use case vont être testées au labo Swisscom : ils nous tiennent au courant.<br>Nous allons mettre en place le tunnel dès que possible                                                       |             |
| <b>14.11.2014</b> | Réception des 2 modules LTE et discussion théorique avec M Robadey concernant les infrastructures fibres                                                                                                                                                                                                               | 0.5         |
| <b>15.11.2014</b> | -Préparation d'un document pour bien mettre « uniformément/à plat » la configuration des 2 routeurs<br>-Recherches sur internet pour établir un 2 <sup>ème</sup> xconnect : impossible à faire mais on peut essayer avec des virtual forwarding interface (VFI)<br>-Mise à jour de la doc de mise en place des configs | 1<br>1<br>1 |
| <b>19.11.2014</b> | -Mise en place du tunnel layer 2 sur une seule fibre optique : fonctionnel.                                                                                                                                                                                                                                            | 4           |
| <b>21.11.2014</b> | -Mise en place de la seconde ligne (simulation LTE) avec routes statiques (sans OSPF) : fonctionnel avec un temps de relais de 10 secondes environ.<br>-Problème : la ligne « secondaire » est considérée comme la principale                                                                                          | 3           |
| <b>25.11.2014</b> | -Suppression du bridge virtuel (nous n'aurons pas de gateway sur un des 2 routeurs, donc inutile), mise en place d'OSPF : problème : les messages hello ne transitent pas par la fibre.<br>-Nous avons donc décidé de ne pas passer par le concentrateur                                                               | 3           |
| <b>28.11.2014</b> | -Essais sans le concentrateur : pas de succès car le routeur ne reconnaît pas le SFP<br>-Changements de SFP : la ligne est up !                                                                                                                                                                                        | 2<br>1      |

|                   |                                                                                                                                                           |     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>02.12.2014</b> | -Mise en place de OSPF : ok                                                                                                                               | 1   |
|                   | -Mise en place de timers plus courts pour les Hello packets : switch en 8 secondes avec des hello timer de 0.2 seconde et un dead intervalle de 1 seconde | 2   |
|                   | -Documentation des tests                                                                                                                                  | 0.5 |
| <b>03.12.2014</b> | -Séance avec M.Wagen                                                                                                                                      | 2   |
|                   | Un routeur sera mis en place sur le backbone pour communiquer dans la ligne LTE.                                                                          |     |
|                   | -Documentation (schemas)                                                                                                                                  | 1   |
|                   | -Documentation des différentes infrastructures possibles                                                                                                  | 0.5 |
| <b>06.12.2014</b> | -Documentation sur les moyens de diminuer le temps dans OSPF                                                                                              | 2   |
|                   | -Implémentation sur les routeurs : convergence en 2 secondes                                                                                              | 2   |
| <b>09.12.2014</b> | -Préparation de la configuration pour les 2 tunnels de couche 3 sur le routeur backbone avec M.Rossier                                                    | 2   |
| <b>10.12.2014</b> | Séance avec MM Wagen et Robadey , petite démonstration                                                                                                    | 4   |
|                   | Mail à M. Mathys                                                                                                                                          | 0.5 |
| <b>12.12.2014</b> | Documentation des tests sur la maquette                                                                                                                   | 1   |
|                   | Mise en place tunnel I3                                                                                                                                   | 1   |
| <b>15.12.2014</b> | Mise en place des 2 tunnels GRE/IPSEC                                                                                                                     | 1   |
|                   | Discussion avec M.Wagen concernant le schema d'encapsulation                                                                                              | 1   |

|                   |                                                                                                                                                                                                                            |            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>16.12.2014</b> | Fin de la mise en place des 2 tunnels GRE/IPSEC sur la maquette<br><br>Documentation tests maquette                                                                                                                        | 2          |
| <b>17.12.2014</b> | Séance avec MM Wagen et Robadey                                                                                                                                                                                            | 2          |
| <b>19.12.2014</b> | Séance « tests dans le laboratoire avec M.Buntschu » : nous avons vu que les tunnels GRE ne passent pas les NAT/PAT de swisscom et effectué des tests en mettant en place des tunnels GRE depuis divers endroits du réseau | 3          |
| <b>22.12.2014</b> | Essais avec IPSEC : réussi mais souci au niveau du firewall : mail a M .Betrison et Buntschu pour autoriser.<br><br>Avancée de la documentation                                                                            | 3          |
| <b>23.12.2014</b> | Autorisation faite pour le routeur. Essai avec M.Rossier : fonctionnel                                                                                                                                                     | 2          |
| <b>26.12.2014</b> | Documentation                                                                                                                                                                                                              | 2          |
| <b>03.01.2015</b> | Tests sur l'infrastructure : VOIP et transfert important de fichier<br><br>Mail à M. Schär pour une autre carte SIM avec un meilleur forfait<br><br>Documentation                                                          | 3<br><br>1 |
| <b>06.01.2015</b> | Tests et documentation de tests                                                                                                                                                                                            | 2          |
| <b>07.01.2015</b> | Séance avec MM Robadey et Wagen<br><br>Tests et documentation                                                                                                                                                              | 1<br><br>2 |
| <b>09.01.2015</b> | Documentation                                                                                                                                                                                                              | 2          |
| <b>13.01.2015</b> | Changements des routeurs avec M.Delèze<br><br>Souci avec une carte LTE . Solution : il faut savoir que le choix entre LTE,UMTS ou Edge est enregistré dans la carte                                                        | 5          |

|                     |                                                                                                                                                                                              |                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>14.01.2014</b>   | Séance avec MM Robadey et Wagen. Il faudra tester la segmentation sur Ethernet et LTE                                                                                                        | 2                    |
|                     | Documentation des tests et documentation finale                                                                                                                                              | 3                    |
| <b>16.01.2014</b>   | Documentation finale                                                                                                                                                                         | 3                    |
| <b>19.01.2015</b>   | Documentation                                                                                                                                                                                | 1                    |
| <b>21 .01.2015</b>  | Séance avec MM Wagen et Robadey concernant la fin du projet et la documentation : il faut répartir une partie de la documentation en annexes et faire la présentation le plus vite possible. | 1                    |
|                     | Séance de mise au point sur la configuration du projet avec M Wagen en vue de la présentation aux masters.                                                                                   | 1.5                  |
|                     | Documentation                                                                                                                                                                                | 3                    |
| <b>22.01.2015</b>   | Documentation                                                                                                                                                                                | 3                    |
| <b>23.01.2015</b>   | Documentation                                                                                                                                                                                | 4                    |
| <b><u>Total</u></b> |                                                                                                                                                                                              | <b><u>163.75</u></b> |

---

## **Annexe 13. PV des séances**

---

Tous les PV des séances sont disponibles sur le DVD du projet.

---

## Annexe 14. Sources des Figures

---

Figure 1 : [http://www.downloads.netgear.com/files/GDC/MBR1515/MBR1515-100NAS\\_UM\\_30Nov12.pdf](http://www.downloads.netgear.com/files/GDC/MBR1515/MBR1515-100NAS_UM_30Nov12.pdf)

Figure 2 : [http://www.downloads.netgear.com/files/GDC/MBR1515/MBR1515-100NAS\\_UM\\_30Nov12.pdf](http://www.downloads.netgear.com/files/GDC/MBR1515/MBR1515-100NAS_UM_30Nov12.pdf)

Figure 3 : <http://www.4gltemall.com/huawei-e3276-4g-lte-surfstick.html>

Figure 4 : [http://www.dlink.com/-/media/Consumer\\_Products/DWR/DWR%20921/Datasheet/DEU\\_DWR\\_921\\_Datasheet\\_EN\\_20130118.pdf](http://www.dlink.com/-/media/Consumer_Products/DWR/DWR%20921/Datasheet/DEU_DWR_921_Datasheet_EN_20130118.pdf)

Figure 5 : <https://www.youtube.com/watch?v=ID7Rw7K7nvU>

Figure 6 : [http://www.dlink.com/-/media/Consumer\\_Products/DWR/DWR%20921/Datasheet/DEU\\_DWR\\_921\\_Datasheet\\_EN\\_20130118.pdf](http://www.dlink.com/-/media/Consumer_Products/DWR/DWR%20921/Datasheet/DEU_DWR_921_Datasheet_EN_20130118.pdf)

Figure 7 : <http://enterprise.huawei.com/en/products/wireless/elte-broadband-trunking/terminal/hw-278009.htm>

Figure 8 : [http://internet.sunrise.ch/eshop-images/000000000000014716\\_BIGPICTURE.png](http://internet.sunrise.ch/eshop-images/000000000000014716_BIGPICTURE.png)

Figure 9 : [http://www.res2.scsstatic.ch/fr/business/pme/aide/loesung/geraet-und-seineanschluesse/\\_jcr\\_content/par/textimage/image.600.png/1391421453628.png](http://www.res2.scsstatic.ch/fr/business/pme/aide/loesung/geraet-und-seineanschluesse/_jcr_content/par/textimage/image.600.png/1391421453628.png)

Figure 10 : [http://pim.bintec-elmeg.com/download/produkte/products-bintec-elmeg-gmbh/bintec\\_data/png/bintec--RS353j-Product-front--\\_mid.png](http://pim.bintec-elmeg.com/download/produkte/products-bintec-elmeg-gmbh/bintec_data/png/bintec--RS353j-Product-front--_mid.png)

Figure 11 : [http://pim.bintec-elmeg.com/download/produkte/products-bintec-elmeg-gmbh/bintec\\_data/png/bintec--RS353j-Product-front--\\_mid.png](http://pim.bintec-elmeg.com/download/produkte/products-bintec-elmeg-gmbh/bintec_data/png/bintec--RS353j-Product-front--_mid.png)

Figure 12 : [http://etutorials.org/shared/images/tutorials/tutorial\\_172/02fig06.gif](http://etutorials.org/shared/images/tutorials/tutorial_172/02fig06.gif)

Figure 13 : <https://www.youtube.com/watch?v=Q2VjzxdN6VA>

Figure 14 : <http://www.nolot.eu/Download/Cours/reseaux/m2pro/WAN0809/MPLS.pdf>

Figure 15 : [http://www.dlink.com/-/media/Consumer\\_Products/DWR/DWR%20921/Datasheet/DEU\\_DWR\\_921\\_Datasheet\\_EN\\_20130118.pdf](http://www.dlink.com/-/media/Consumer_Products/DWR/DWR%20921/Datasheet/DEU_DWR_921_Datasheet_EN_20130118.pdf)

Figure 16 : [http://archive.openflow.org/wk/index.php/Tunneling\\_-\\_GRE/L2TP](http://archive.openflow.org/wk/index.php/Tunneling_-_GRE/L2TP)

Figure 17 : <http://book.soundonair.ru/cisco/images/1587050250/graphics/11fig02.gif>