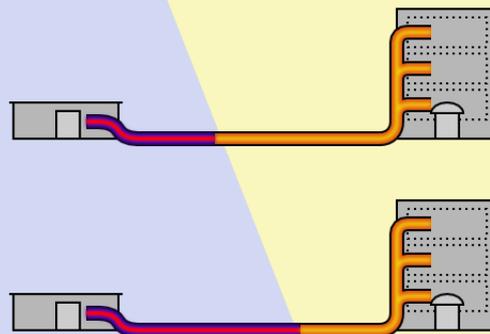




# Dimensionnement du réseau Métro-Accès du Futur

## Projet de Semestre 5



---

<b>Titre du projet</b>	Dimensionnement du réseau Métro-Accès du Futur	
<b>Filière</b>	Télécommunications orientation Réseaux et Sécurité	
<b>Professeurs</b>	Jacques Robadey Patrick Gaillet	<a href="mailto:jacques.robadey@hefr.ch">jacques.robadey@hefr.ch</a> <a href="mailto:patrick.gaillet@hefr.ch">patrick.gaillet@hefr.ch</a>
<b>Etudiants</b>	Loïc Gremaud Romain Froidevaux	<a href="mailto:loic.gremaud@edu.hefr.ch">loic.gremaud@edu.hefr.ch</a> <a href="mailto:romain.froidevaux@edu.hefr.ch">romain.froidevaux@edu.hefr.ch</a>
<b>Classe</b>	T3	
<b>Date</b>	05.02.2015	
<b>Version</b>	1.1	

---

---

# Historique du document

---

Version	Auteurs	Description des modifications	Date
0.1	Loïc Gremaud Romain Froidevaux	Création du document	05.11.2014
1.0	Loïc Gremaud Romain Froidevaux	Publication du document	25.01.2014
1.1	Loïc Gremaud Romain Froidevaux	Adaptation selon le débriefing final	05.02.2014

---

# Résumé

---

Les réseaux d'accès des opérateurs sont de plus en plus utilisés de nos jours. En effet, la quantité de données transportées s'accroît de manière exponentielle et cette tendance va continuer à la hausse ces prochaines années avec l'arrivée de nouveaux services basés sur Internet tels que la Voix sur IP, la Télévision HD à la demande et l'Internet des objets.

Le réseau se doit d'être robuste pour faire face à cette évolution tant en terme de bande passante nécessaire qu'en nombre d'objets à garder en permanence connectés.

Dans ce sens, les entreprises de télécommunications développent activement leurs réseaux Métro-Accès pour faire face à ce nouveau challenge. Chaque opérateur dispose actuellement de topologies et de technologies différentes, les dimensionnements futurs qui en découlent seront forcément différents.

Durant ce projet, les technologies d'accès du futur ont été étudiées pour comprendre leurs fonctionnements et connaître leurs limitations respectives. Celles-ci ont ensuite été analysées afin d'être intégrées dans les différents scénarios de dimensionnement qui correspondent aux différents types d'opérateurs présents sur le marché des télécommunications.

Ces scénarios ont été simulés grâce à un calculateur développé au cours du projet. Universel, il modélise l'architecture d'un fournisseur d'accès selon un principe de briques modulaires représentant les différents éléments du réseau. Il permet de simuler un nombre infini de topologies différentes et ainsi pouvoir comparer et trouver lesquelles des technologies sont les plus rentables pour des cas bien précis.

Finalement une matrice contenant les résultats a été établie afin de proposer les technologies émergentes les plus adéquates et économiques pour chacune des topologies en place actuellement chez les opérateurs.

Le projet ayant été pensé pour être étendu par la suite (*Dimensionnement du réseau Core-Métro du futur*), ce rapport contient pour chacun des choix effectués une justification et recense les difficultés rencontrées. De futurs travaux sur le sujet pourront encore être envisagés du fait des nombreuses possibilités d'innovations et d'améliorations.

# Abstract

---

Access networks of telecommunications providers are increasingly used today. Indeed, the amount of data transmitted increases exponentially and this trend will continue in the coming years with the arrival of new Internet-based services like the Voice over IP, the HDTV on demand and the Internet of everything.

The network must be robust to deal with this development both in terms of bandwidth required and number of objects having to be constantly connected.

In this sense, telecommunication companies are actively developing their Metro-Access networks to cope with this new challenge. Each provider has currently different topologies and technologies; future dimensioning's will inevitably be differently.

During this project, the future access technologies were analyzed to understand how they work and known their limits. These were then analyzed in order to be integrated into various design scenarios that correspond to different kind of providers in the telecommunications market.

These scenarios were simulated using a calculator developed during the project. Universal, it models the architecture of a service provider according to a principle of modular bricks representing various network components. It can simulate an infinite number of different topologies and is able to compare and find out which technologies are the most profitable in specific cases.

Finally a matrix containing the results was established to provide the most appropriate and economical emerging technologies for each of the topologies currently in place among providers.

The project was thought to be extended (*Core-Metro network dimensioning*), this report contains for each choices a justification and identifies the difficulties met. Future works on the topic may still be considered due to many opportunities of innovations and improvements.

---

# Table des matières

---

<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>9</b>
1.1	Déroulement projet.....	9
<b>2</b>	<b>Cahier des charges</b> .....	<b>11</b>
2.1	Objectifs .....	11
2.2	Définition des cas d'étude .....	11
2.3	Complément d'informations.....	12
2.3.1	Analyse des architectures Métro-Accès d'aujourd'hui .....	12
2.3.2	Simulateur des coûts en fonction des différents scénarios .....	13
2.3.3	Proposition des solutions les plus adéquates pour chacun des scénarios .....	13
2.4	Organisation.....	13
2.4.1	Gestion des documents.....	13
2.4.2	Répartition des tâches.....	13
2.4.3	Planification .....	13
<b>3</b>	<b>Analyse</b> .....	<b>15</b>
3.1	Technologies d'accès.....	15
3.1.1	DSL.....	15
3.1.2	CATV .....	21
3.1.3	PLC.....	28
3.1.4	Fibre optique.....	32
3.1.5	Synthèse des technologies .....	37
3.2	Dimensionnement du Métro .....	38
3.2.1	Metro Ethernet.....	38
3.2.2	Qualité de Service (QoS) .....	40
3.3	Evolution de la demande.....	43
3.3.1	Bande passante.....	43
3.3.2	Démographie .....	49
<b>4</b>	<b>Spécifications</b> .....	<b>51</b>
4.1	Concept de briques .....	51
4.1.1	Types de briques.....	51
4.2	Définition des entrées/sorties .....	52
4.2.1	Données d'entrée .....	53
4.2.2	Données de sortie .....	54
4.3	Limites du simulateur .....	55

4.3.1	Coût .....	55
4.3.2	Résultats .....	55
4.4	Choix du logiciel .....	55
4.4.1	Définition des critères .....	55
4.4.2	Tableau multicritères .....	56
4.5	Conclusion.....	56
<b>5</b>	<b>Analyse complémentaire .....</b>	<b>57</b>
5.1	Coûts .....	57
5.1.1	CATV .....	57
5.1.2	DSL.....	57
5.1.3	PLC.....	57
5.1.4	FTTX.....	58
5.1.5	Autres .....	58
5.1.6	Recommandations OFCOM .....	59
5.2	Calcul de l'infrastructure des lieux types .....	59
5.2.1	Ville de Bâle.....	59
5.2.2	Village de La Roche.....	60
5.3	Conclusion.....	60
<b>6</b>	<b>Conception .....</b>	<b>61</b>
6.1	Modélisation .....	61
6.1.1	Représentation du modèle relationnel.....	61
6.1.2	Transposition du modèle sur Excel .....	61
6.2	Logique métier .....	62
6.2.1	Calculs intermédiaires .....	62
6.2.2	Calculs de sections.....	64
6.3	Logique applicative .....	64
6.3.1	Compatibilité inter-briques.....	64
6.3.2	Interface d'ajout de compatibilité .....	65
6.3.3	Remplissage des Combobox.....	65
6.3.4	Graphique d'optimisation de la distance d'accès .....	66
6.4	Logiciel .....	67
6.4.1	Compatibilité .....	67
6.4.2	Licence .....	67
6.5	Conclusion.....	67
<b>7</b>	<b>Tests et vérification .....</b>	<b>69</b>
7.1	Validation du simulateur .....	69
7.1.1	Liste de tests.....	69
7.1.2	Résultat des tests .....	69

7.2	Validation des résultats .....	69
7.2.1	Littérature .....	70
7.2.2	Personnes de contact.....	71
7.3	Conclusion .....	71
<b>8</b>	<b>Simulation .....</b>	<b>73</b>
8.1	Simulation .....	73
8.1.1	Déroulement.....	73
8.1.2	Bâle – Ville.....	75
8.1.3	La Roche – Campagne .....	83
8.2	Matrice de résultats.....	92
8.3	Synthèse des simulations .....	92
<b>9</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>93</b>
9.1	Débriefing.....	93
9.2	Difficultés rencontrées.....	93
9.3	Perspectives futures.....	94
9.4	Conclusion personnelle de notre binôme .....	94
9.5	Remerciements .....	95
9.6	Contenu du CD .....	96
9.7	Déclaration d’honneur .....	96
<b>10</b>	<b>Références .....</b>	<b>97</b>
10.1	Analyse .....	97
10.1.1	Technologie d'accès.....	97
10.1.2	Dimensionnement du Métro .....	99
10.1.3	Evolution de la demande .....	100
10.2	Analyse complémentaire .....	102
10.2.1	Coûts .....	102
10.3	Tests et vérification .....	102
<b>11</b>	<b>Annexes.....</b>	<b>103</b>
<b>12</b>	<b>Table des illustrations .....</b>	<b>105</b>
<b>13</b>	<b>Lexique .....</b>	<b>107</b>



# 1 Introduction

La quantité de données transportées par les opérateurs ne cesse de croître et va s'accroître encore durant ces prochaines années de par la demande de plus en plus importante des clients au niveau du volume de transfert. Dans ce sens, les entreprises actives dans les télécoms (*Swisscom, Cablecom et les entreprises électriques*) développent massivement leur réseau Métro-Accès pour y faire face. Chacune de ces entreprises possède des réseaux de type très différents, ce qui implique que leur dimensionnement sera également très différent.

Ce projet aura pour but d'analyser les technologies et topologies actuellement mises en place et d'en étudier le dimensionnement du réseau Métro-Accès de demain pour chacune des entreprises dans des cas bien précis pour les différents scénarios établis.

## 1.1 Déroulement projet

Ce projet a été divisé en plusieurs phases, chacune de ces phases correspondent à un chapitre de ce rapport.

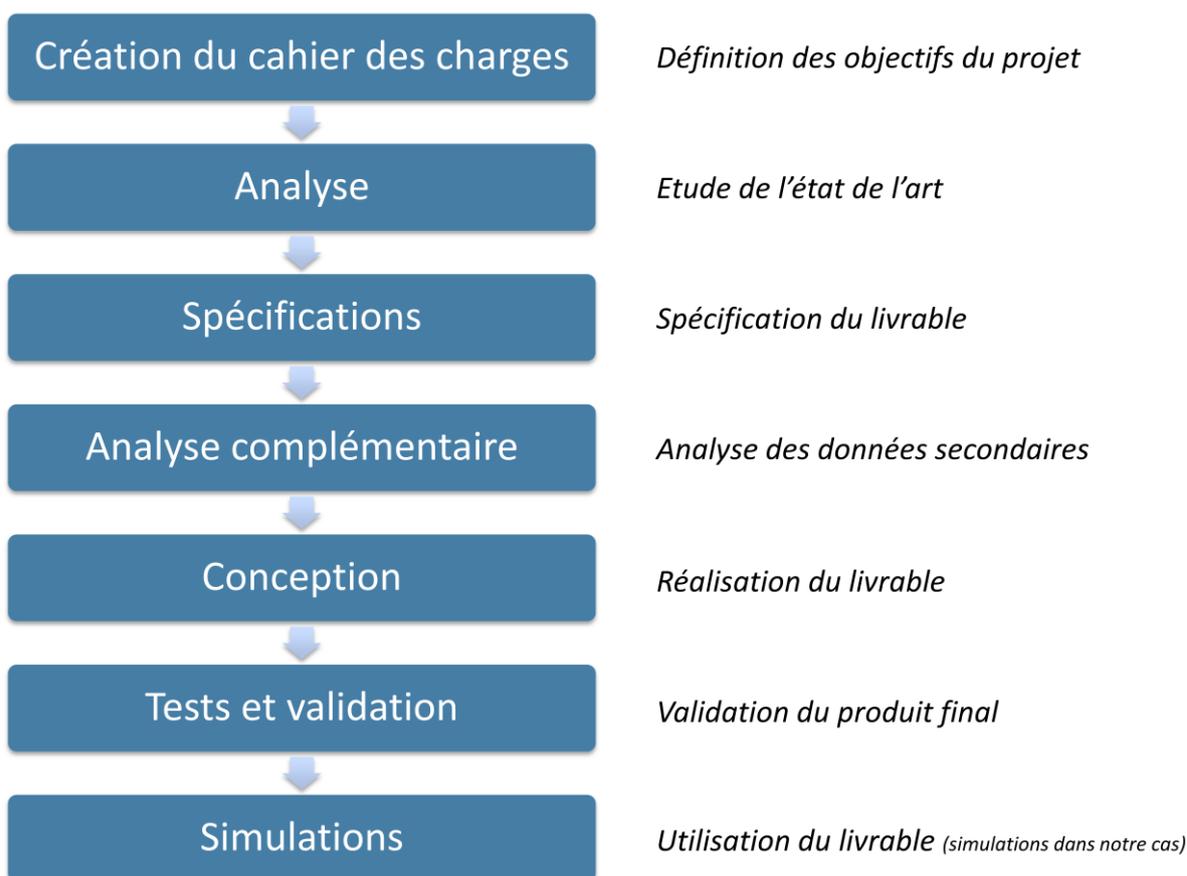


Figure 1: Déroulement du projet



## 2 Cahier des charges

Le cahier des charges a pour but de fixer le cadre et les objectifs du projet sur la base de la donnée reçue. Il contient une planification détaillée, une liste des tâches, une dénomination des éléments d'un réseau Métro-Accès ainsi qu'une matrice de cas d'études devant être complétées à la fin du travail.

### 2.1 Objectifs

Afin de mener le projet dans des directions bien précises, nous avons formulé 3 objectifs :

1. Énumérer et documenter les différentes technologies et architectures Métro, Accès et In-House actuellement déployées par les opérateurs principaux ainsi que de leurs évolutions futures selon les 6 cas définis (Cf. *point 2.2*) et en calculer la capacité.
2. Créer un simulateur pour calculer les coûts du déploiement d'un réseau Métro, Accès et In-House du futur selon les différentes technologies et architectures étudiées.
3. Comparer les différentes technologies et architectures à l'aide du simulateur, dans les 6 cas (Cf. *point 2.2*). Pour chacun d'eux, une solution « idéale » sera proposée.

Les technologies mobiles et sans-fil ne seront pas abordées dans ce projet.

### 2.2 Définition des cas d'étude

Afin de réaliser les différentes analyses, une matrice de 6 cas (*Figure 1*) nous est proposée. Il s'agira de travailler sur les topologies, technologies et mediums utilisés pour chacune des trois parties des cas.

	Réseau de télédistribution coaxial				Réseau téléphonique cuivré				Greenfield Tubes vides			
Ville												
Campagne												
	Métro	Feeder	Drop	In-house	Métro	Feeder	Drop	In-house	Métro	Feeder	Drop	In-house

Figure 2 : Matrice des cas d'analyse

Afin d'avoir une dénomination commune pour les différents opérateurs, ce sont les termes ci-dessus qui vont être employés. En voici leur définition sous forme d'un schéma :

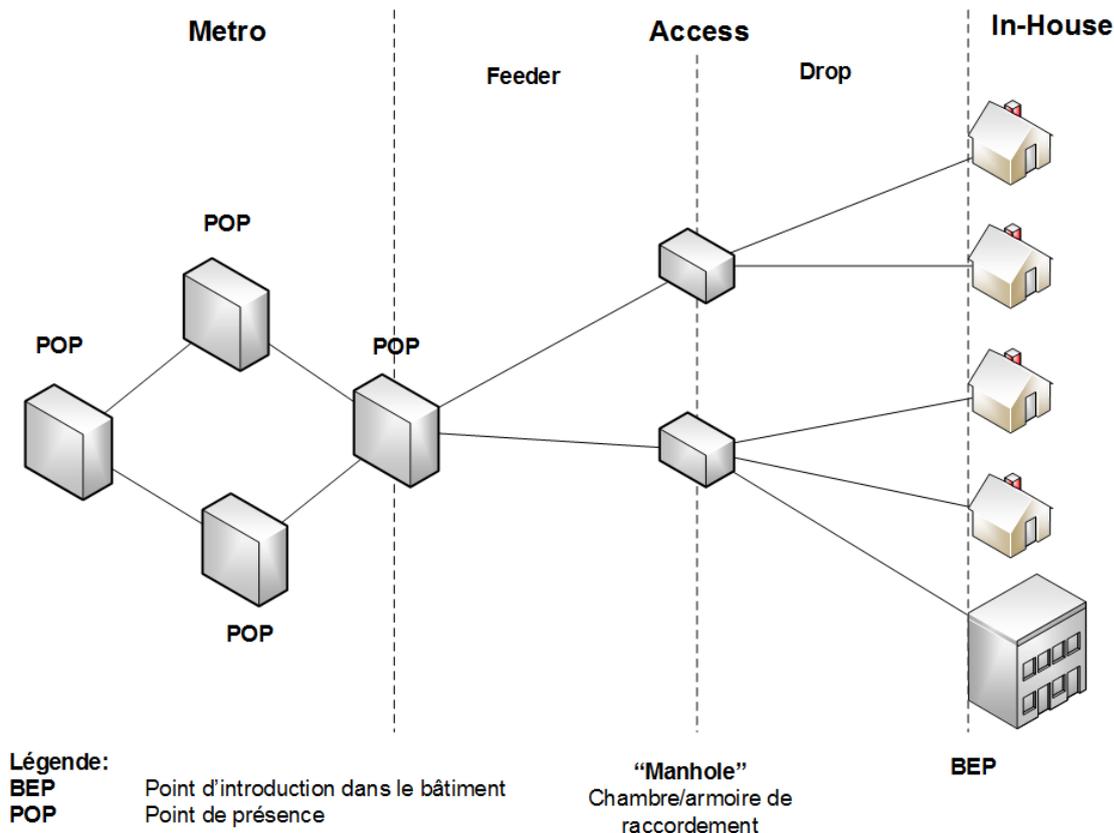


Figure 3 : Schématisation des termes utilisés

## 2.3 Complément d'informations

### 2.3.1 Analyse des architectures Métro-Access d'aujourd'hui

Dans le cadre de cette analyse, nous étudierons tout d'abord les différentes architectures des réseaux d'opérateurs.

De plus, nous décrivons les technologies suivantes :

- xDSL *Technologie d'accès utilisée aujourd'hui par entre-autre Swisscom et Sunrise*
- DOCSIS *Technologie déployée par UPC Cablecom et Net+ pour l'accès également*
- FWDM *Multiplexage utilisé par beaucoup d'opérateurs dans les réseaux backbone*
- MPLS *Mécanisme d'acheminement des trames de très haute performance, nous allons nous intéresser en particulier sur la QoS*
- Ethernet *Technologie de transport des données du réseau Métro sur Ethernet*
- PLC *Technologie d'accès utilisée pour transmettre des données par le réseau électrique*

Ensuite, nous étudierons les technologies et architectures émergentes ou novatrices dans les réseaux Métro-Accès modernes, dont :

- GPON *Architecture de réseau optique passif*
- G.fast *Evolution du DSL, promettant d'importantes évolutions des débits*
- DOCSIS 3.1 *Evolution des débits par rapport aux versions actuelles*
- FTTx *Fibre optique au plus près du client*

### **2.3.2 Simulateur des coûts en fonction des différents scénarios**

Nous réaliserons un simulateur nous permettant de calculer les coûts d'adaptation des réseaux actuels en réseaux du futur selon différentes technologies et architectures disponibles. Les coûts d'implémentation et d'adaptation seront calculés de manière élaborée, alors que les coûts d'exploitation seront donnés de manière qualitative.

### **2.3.3 Proposition des solutions les plus adéquates pour chacun des scénarios**

Grâce au simulateur, nous serons à même de trouver les solutions les plus adéquates pour le dimensionnement du réseau Métro-Accès du futur pour chacun des 6 cas, en tenant compte des différents critères (prix, évolutivité, complexité, etc...).

## **2.4 Organisation**

---

### **2.4.1 Gestion des documents**

Tous les rendus de documents (rapports, invitations aux séances, procès-verbaux, etc...) seront déposés sur la Forge de l'école, consultable à l'adresse suivante :

<https://forge.tic.eia-fr.ch/projects/dimensionnement-du-reseau-metro-acces-du-futur>

### **2.4.2 Répartition des tâches**

La répartition des tâches détaillées est disponible dans l'annexe 2.

### **2.4.3 Planification**

Afin de mener à bien notre projet et d'avoir une vision globale du temps à notre disposition, nous avons réalisé une planification détaillée des tâches à réaliser. Chacun est responsable de planifier son travail afin qu'il puisse respecter les délais fixés dans la planification. Une marge de sécurité a été prévue pour certains jalons en cas de soucis.

La planification du projet est disponible dans l'annexe 3.



---

## 3 Analyse

---

Cette analyse de l'état de l'art, va nous permettre d'approfondir nos connaissances et de découvrir l'évolution des topologies et technologies dans le but de pouvoir dimensionner le réseau Métro-Accès du futur.

Nous avons décomposé notre analyse en trois parties.

Dans la première, nous allons étudier les différentes technologies d'accès qui pourraient être utilisées dans les réseaux d'aujourd'hui et de demain.

Dans la seconde, nous aborderons les bases du dimensionnement du réseau Métro.

Et en dernier, nous allons estimer comment va évoluer la demande pour 2025.

### 3.1 Technologies d'accès

---

#### 3.1.1 DSL

Le DSL est une famille de technologie d'accès qui permet d'utiliser les lignes de raccordement téléphonique, respectivement de paires de fil en cuivre, afin d'y transporter des données.

Cette technologie a évolué de manière à pouvoir utiliser au maximum les lignes existantes qui étaient prévues à la base uniquement pour le téléphone analogique. Comme le téléphone était déjà présent dans tous les ménages et entreprises, elle a permis de faire d'importantes économies.

##### 3.1.1.1 Médium

Le médium est la partie la plus critique, car c'est lui qui va imposer de par ses caractéristiques, une limite pour le débit maximal sur une ligne.

##### Perturbations électromagnétiques

Des autres lignes de tous types ou des équipements électriques, voir même des phénomènes naturels, à proximité peuvent générer des perturbations électromagnétiques. Que ces perturbations surviennent continuellement ou brièvement, elles peuvent perturber les fréquences utilisées par le DSL. Les fréquences perturbées ne pourront donc pas ou être mal exploitées ce qui a un impact direct sur le débit ainsi que la qualité de la transmission de données (risque de perte de données).

Voici quelques exemples d'éléments perturbateurs :

- Les lignes électriques des trains ainsi que les moteurs de locomotives
- Émetteurs radio
- Les lignes DSL ou d'une autre technologie qui suivent le même chemin dans un tube ou conduit
- Les appareils électroménagers et particulièrement les fours à micro-ondes lors de leurs utilisations

##### Affaiblissement

L'affaiblissement est une perte de puissance qui est lié au conducteur métallique utilisé dans le câble ainsi qu'au diamètre de celui-ci. Un câble en cuivre aura moins d'affaiblissement qu'un en aluminium et un câble avec un plus grand diamètre aura un affaiblissement plus faible.

L'affaiblissement est également dépendant de la fréquence, respectivement à sa racine carrée. Et il augmente également si l'on augmente la température du conducteur.

## Diaphonie

La diaphonie est une interférence entre deux paires, celle-ci génère du bruit sur un signal qui est engendré par la présence d'un second signal à proximité. Ce phénomène est provoqué par l'induction électromagnétique entre deux paires.

Il existe plusieurs types de diaphonie, voici les deux principales :

- Paradiaphonie, NEXT : Elle est mesurée à la même extrémité d'où le signal perturbateur est émis, au sein d'un même câble
- Télédiaphonie, FEXT : Elle est mesurée à l'autre extrémité d'où le signal perturbateur est émis, au sein d'un même câble

On peut également avoir de la diaphonie entre câbles et elle se produit avec toutes les combinaisons possibles entre les paires.

La diaphonie peut être diminuée en augmentant le blindage entre les différentes paires. En torsadant les paires, le phénomène s'auto-annule en partie et par conséquent diminue la diaphonie ressentie.

## Réflexion

Des réflexions peuvent créer du bruit sur un signal et peuvent même le rendre inutilisable. Ces réflexions peuvent être causées par :

- Une raponse (épissure) entre deux câbles
- Changement de câble avec des impédances caractéristiques différentes
- Défaut dans le câble (câble abîmé)
- Des terminaisons sur les équipements avec des impédances différentes

## Influences climatiques

Les influences climatiques peuvent avoir de l'influence sur la qualité de transmission. Comme nous l'avons vu plus haut la température joue un rôle pour l'affaiblissement. L'humidité peut augmenter le risque de perturbations électromagnétiques et de diaphonie et va donc réduire la performance des isolants. En effet, l'air qui est présent partout est un excellent isolant tandis que l'eau est généralement conductrice.

## Conclusion

Tous ces paramètres sont quasiment tous dépendants de la longueur de la ligne, c'est pourquoi plus la ligne est courte plus le débit pourra être élevé.

Pour avoir une bonne ligne pour le DSL, il faudrait :

- Une ligne très courte (<100m)
- Une ligne construite d'une pièce avec un seul câble
- Un câble avec un diamètre de 0.5 à 0.8 mm
- Une paire torsadée en cuivre et bien isolé
- Aucune autre ligne à proximité

Il faut savoir que ces caractéristiques sont aussi valables pour les autres médiums de transmission métallique.

### 3.1.1.2 Types de DSL

Il existe deux types de DSL, le DSL symétrique et le DSL asymétrique. Ce premier permet d'avoir des débits symétriques, c'est-à-dire que le débit upstream est le même que celui du downstream. Le second fournit un débit dit asymétrique. Dans ce cas, le débit downstream est généralement plus important que l'upstream. Auparavant, les entreprises optaient pour une solution symétrique, car l'upstream est important pour fournir des services accessibles depuis l'extérieur. Aujourd'hui, les entreprises ont tendance à utiliser les nouvelles technologies DSL asymétriques qui peuvent être adaptées de manière à offrir un meilleur upstream.

Il existe également des variantes propriétaires de certains constructeurs mais elles ne vont pas être abordées.

Liste des principales technologies DSL par type :

Symétrique	Asymétrique
- HDSL	- ADSL
- SDSL	- ADSL2
	- ADSL2+
	- VDSL
	- VDSL2
	- G.fast

Tableau 1: Technologies DSL par type

### 3.1.1.3 Caractéristiques

Ce sont les caractéristiques importantes du DSL pour ce projet qui vont être traitées.

Voici une liste des principales technologies DSL avec quelques caractéristiques :

Nom	Norme ITU	Down. [Mbit/s]	Up. [Mbit/s]	Distance <sup>1</sup> [m]	Approuvé ITU	Swisscom
HDSL	G.991.1	2	2	7'000	10.1998	Oui <sup>3</sup>
SDSL	G.991.2	2.2	2.2	2'500	12.2003	Oui <sup>3</sup>
ADSL	G.992.1	8	1	5'400	06.1999	Oui <sup>3</sup>
ADSL2	G.992.3	10	1	3'000	07.2002	Non
ADSL2+	G.992.5	25	1.2	2'000	05.2003	Oui <sup>2</sup>
VDSL	G.993.1	55.2	6	300	06.2004	Oui <sup>3</sup>
VDSL2	G.993.2	100 <sup>4</sup>		300	01.2005	Oui
VDSL2 vectoring	G.993.5	120 <sup>4</sup>		300	04.2010	Pour 2015
G.fast Phase 1	G.9700	1'000 <sup>4</sup>		250	04.2014	Prévu
G.fast Phase 2	-	1'250 <sup>4</sup>		100	-	-
Bell Labs XG-FAST <sup>5</sup>	-	1'000	1'000	70	-	-

Tableau 2: Caractéristiques des technologies DSL

### Remarques

- Distance à partir de laquelle la technologie commence à montrer son efficacité.
- L'ADSL2+ a été déployé par Swisscom en parallèle avec le VDSL pour permettre de migrer les lignes ADSL qui n'étaient pas compatibles avec le VDSL ou pas facilement adaptables.
- Ces technologies tendent à disparaître chez Swisscom au profit de celles qui sont plus récentes.
- Débit global maximal partagé entre l'upstream et le downstream que l'opérateur peut configurer.
- En laboratoire, avec reproduction des conditions réelles de distance et de qualité de cuivre.

Comme on peut le remarquer dans le tableau ci-dessus, il y a des technologies qui sont plus intéressantes que d'autres, c'est pourquoi elles vont être détaillées plus bas.

### 3.1.1.4 ADSL2+

L'ADSL2+ peut offrir un bon débit pour les distances les plus longues.

Il existe également pour les longues distances la variante RE-ADSL2 (ITU G.992.5 Annex L) qui permet un léger gain de débit à partir de 4 kms et d'avoir une portée plus longue. Le débit reste relativement faible pour être intéressante dans le futur.

Voici un tableau représentatif du débit downstream en fonction de la distance :

Distance [km]	Downstream [Mbit/s]
0.5	24
1	23
1.5	20.5
2	16.5
2.5	12.5
3	8.5
3.5	6
4	4
4.5	2
5	1.5

Tableau 3: ADSL2+ - Débits en fonction de la distance

### 3.1.1.5 VDSL2

Le VDSL2 a certainement encore de l'avenir avec les débits qui peuvent être atteints. Le VDSL2 a été conçu pour supporter les services Triple Play avec des flux TV en HD. L'opérateur peut désormais configurer de plusieurs manières donc il va répartir les débits de downstream et d'upstream.

Voici un tableau représentatif du débit downstream en fonction de la distance :

Distance [m]	Downstream [Mbit/s]
100	80
200	80
300	76
400	69
500	60
600	51
700	43
800	35
900	31
1'000	28
1'500	21
2'000	16.5
3'000	8.7

Tableau 4: VDSL2 - Débits en fonction de la distance

Ils existent 8 profils VDSL2 qui définissent à la fois la puissance, la bande de fréquence de transmission ainsi que les débits théoriques de downstream.

	8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
<b>Fréquence [MHz]</b>	8.5	8.5	8.5	12	12	12	17.7	30
<b>Puissance [dBm]</b>	+17.5	+20.5	+11.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5
<b>Down. [Mbit/s]</b>	50	50	50	50	68	68	100	200
<b>Swisscom</b>	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui

Tableau 5: Profils VDSL2

### 3.1.1.6 G.fast

Le G.fast est un nouveau standard permettant d'atteindre des débits encore plus élevés que ces prédécesseurs.

La première phase de ce standard a été récemment publiée (avril 2014) par conséquent, il n'existe à ce jour que des équipements de tests qui l'implémentent. Les premiers équipements qui pourront être utilisés à des fins de production apparaîtront d'ici mi-2015.

Voici un tableau représentatif du débit cumulé du downstream et d'upstream en fonction de la distance :

Distance [m]	Débit cumulé (up. + down.) [Mbit/s]
70	1'000
100	800
200	200
250	150

Tableau 6: G.fast - Débits en fonctions de la distance

Une deuxième phase du standard G.fast va bientôt être publiée (espérée en décembre 2014) et celle-ci étant la bande de fréquence à 212 MHz contre les 106 MHz auparavant.

Ci-dessous, on peut voir le débit binaire disponible par un canal d'une fréquence en MHz. Avec l'extension à 212 MHz, on peut voir qu'un meilleur débit peut être exploité pour autant que le medium le permette.

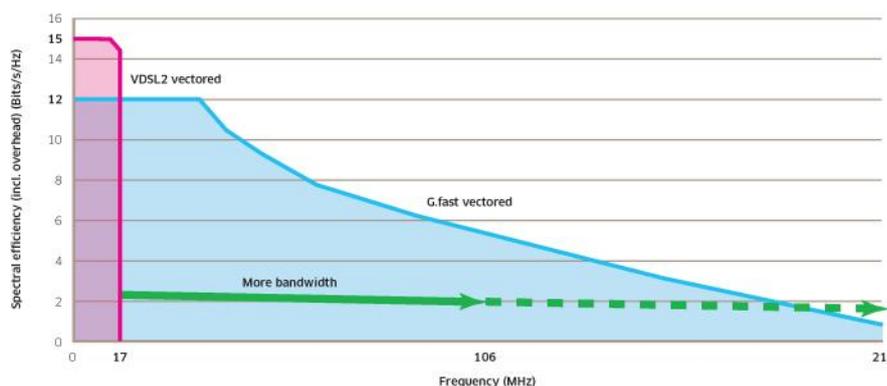


Figure 4: G.fast débit binaire par fréquence [DSL13]

### 3.1.1.7 Bonding

Le bonding permet d'agréger plusieurs lignes DSL afin d'obtenir une plus grande bande passante. Le bonding est généralement utilisé par les entreprises, car celles-ci sont déjà connectées avec plusieurs paires.

Ce principe est applicable sur quasiment tous les types de DSL. Il est standardisé par l'UIT dans le groupe de publications G.998.X.

Il faut savoir que les paires qui utilisent le bonding se perturbent entre elles, c'est pourquoi il ne sera pas possible d'obtenir la totalité du débit que chacune d'elles peuvent fournir.

### 3.1.1.8 Vectoring

Le vectoring est une technologie qui permet de diminuer la diaphonie entre les différentes paires afin d'obtenir des débits proches d'une ligne toute seule. Le vectoring a commencé à être massivement déployé chez les opérateurs afin d'augmenter les débits sur les lignes sans le besoin de les changer ou les raccourcir.

Le G.fast peut être employé sans le vectoring ce qui serait absurde étant donné que cette technologie a fait ses preuves et sera déjà disponible lors du déploiement.

Sur le diagramme ci-dessous, on peut voir le gain que peut apporter le vectoring avec le G.fast.

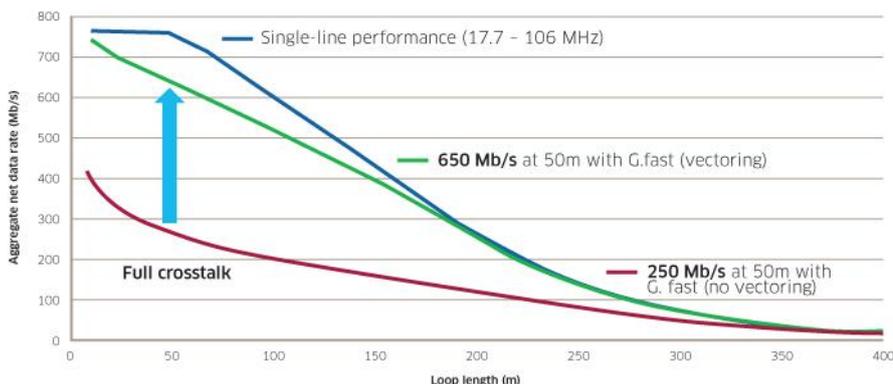


Figure 5: G.fast - Vectoring [DSL13]

### 3.1.1.9 Architectures

L'architecture d'un réseau d'accès en DSL est relativement simple, car elle est constituée de deux équipements clés, le DSLAM et le CPE.

Le DSLAM permet le multiplexage entre la ligne de l'opérateur (Feeder) vers les lignes DSL des abonnés (Drop). Le DSLAM est généralement relié au POP avec une ou plusieurs fibres optiques qui les séparent de plusieurs kilomètres.

Les paires utilisées pour le DSL peuvent être amenées d'un même gros câble puis sont séparées jusqu'au CPE de l'abonné. Le CPE n'est rien d'autre qu'un modem ou routeur DSL.

Le câble à l'extérieur des bâtiments appartient généralement à l'opérateur tandis qu'à l'intérieur celui-ci est au propriétaire.

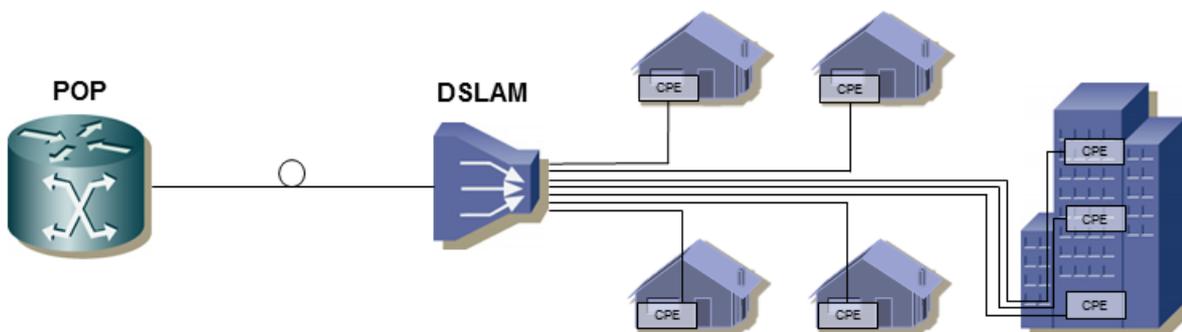


Figure 6: Architecture DSL

Pour faire évoluer cette architecture, il suffit de rajouter des DSLAM plus petit et de les rapprocher au maximum du CPE. Le DSLAM peut être placé dans un village, dans un quartier, dans une rue jusque dans un bâtiment. Tout ce qui concerne la façon dont le DSLAM est relié au POP sera traité dans la partie fibre optique.

### 3.1.1.10 Conclusion

Il existe plusieurs standards qui peuvent être utilisés pour le DSL mais il n'est pas possible de connaître à l'avance les débits que ceux-ci peuvent fournir. En effet, les débits peuvent être différents selon la ligne et l'équipement que l'on utilise.

Le G.fast n'étant prévu que pour les distances courtes (<250m), il faudra donc opter pour le VDSL2 pour les distances moyennes (250m à 2'000m) et de l'ADSL2+ au-delà. Il faut bien regarder la différence d'échelle que l'on a entre les deux diagrammes.

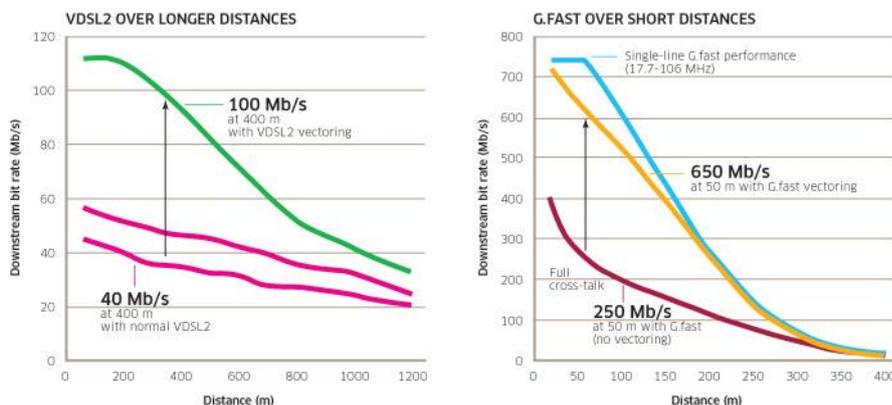


Figure 7: VDSL2 vs G.fast - Débits en fonction de la distance [DSL14]

### 3.1.2 CATV

Le câble coaxial a été inventé dans les années 1880, initialement dans le but de pouvoir transporter de l'audio et de la vidéo. Il a été jusqu'il y a une dizaine d'années, massivement déployé par les câblo-opérateurs en Suisse dans le but unique de fournir les programmes télévisuels aux ménages. Aujourd'hui, son utilité s'est nettement enrichie avec l'arrivée du protocole DOCSIS permettant le transport d'Internet au travers de ce même medium, tout en cohabitant avec la transmission des canaux de télévision.

En termes de chiffres, on estime aujourd'hui à plus de 560 millions le nombre d'abonnés au câble dans le monde. Principalement en Europe de l'Ouest (*180 millions*), en Amérique du Nord et au Canada (*80 millions*) et en Asie (*300 millions*). En Suisse même, les statistiques de 2010 révèlent que 23% des ménages ayant une connexion Internet font usage du câble, contre 70% pour le dernier kilomètre de Swisscom. Les 7% restants utilisant d'autres technologies moins répandues, comme le PLC, le satellite ou le mobile par exemple.

### 3.1.2.1 Medium

Le médium utilisé pour transmettre l'Internet dans la topologie CATV n'est autre qu'un câble coaxial. Il s'agit de deux conducteurs concentriques de diamètres différents, isolés par un manteau en plastique à l'extérieur et du généralement en polyéthylène à l'intérieur.

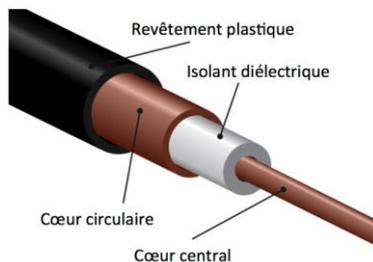


Figure 8: Câble coaxial:

Il en existe une multitude de variantes, avec des diamètres différents. En règle générale, ceux utilisés à l'intérieur des ménages sont constitués d'un diamètre extérieur variant entre 6 et 12 mm. Ceux utilisés à l'extérieur et généralement enterrés, possèdent un diamètre supérieur d'environ 12 à 22 mm.

Comme présenté dans la figure ci-dessus, le cœur du câble est normalement constitué de cuivre massif. Cependant il en existe des variantes avec de l'aluminium cuivré, moins chers mais au détriment des caractéristiques électriques faisant la force du câble coaxial en cuivre.

De par sa conception, l'atténuation linéique du câble coaxial est inversement proportionnelle à son diamètre. De ce fait, plus le diamètre est important, meilleures sont les caractéristiques de transmissions. Naturellement, ces gros câbles sont plus chers et plus difficiles à manipuler.

Second avantage lié à ses caractéristiques, la diaphonie quasi-nulle entre les deux conducteurs. En effet, de par sa géométrie le câble fait lui-même office de cage de Faraday.

Ces excellentes propriétés ont naturellement une influence notable sur les débits en fonction de la distance, comme le montre la figure ci-après en comparant de manière légèrement caricaturée le CATV avec les technologies DSL utilisant une paire métallique traditionnelle.

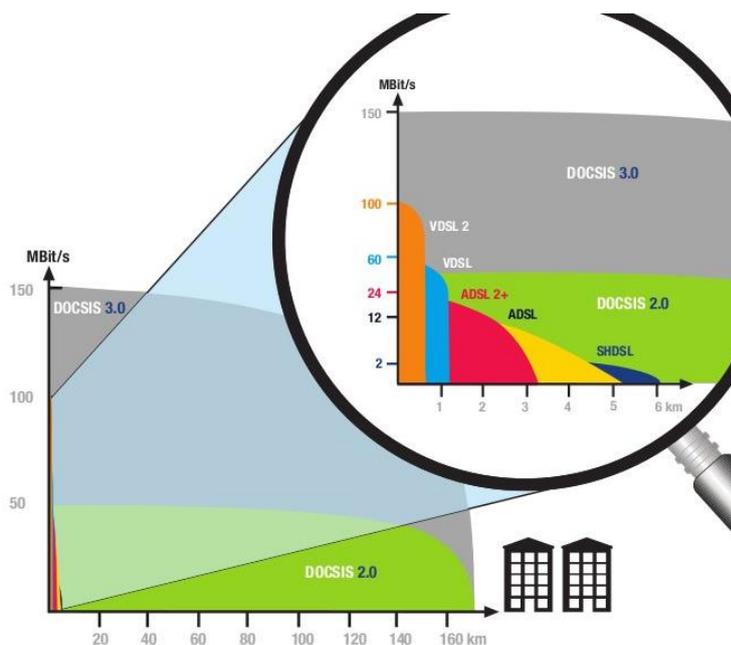


Figure 9: DOCSIS - Débits en fonction de la distance [CATV9]

### 3.1.2.2 Architecture unidirectionnelle

Le réseau CATV fut initialement déployé pour la distribution des canaux de télévision. De ce fait, il est entièrement unidirectionnel et composé des éléments suivants :

- La station de tête est la source d'émission des programmes télévisés sur différentes fréquences en parallèle.
- L'amplificateur est un système actif permettant d'amplifier le signal reçu pour compenser l'atténuation
- Le câble tronc est directement connecté à la station de tête en direction des différents concentrateurs. C'est ce type de liaisons qui est équipée de câbles à gros diamètres, pouvant atteindre plusieurs centimètres et donc transporter un signal sur une distance importante avec une atténuation moindre.
- Les branches des arbres connectent les concentrateurs aux différentes dérivations. Le diamètre du câble est moindre.
- Les dérivations sont les connexions vers les ménages, bénéficiant du plus petit diamètre de câble.
- Les ménages quant à eux possèdent une télévision avec un tuner afin de filtrer une des fréquences émises par la station de tête selon la chaîne que le client souhaite regarder.

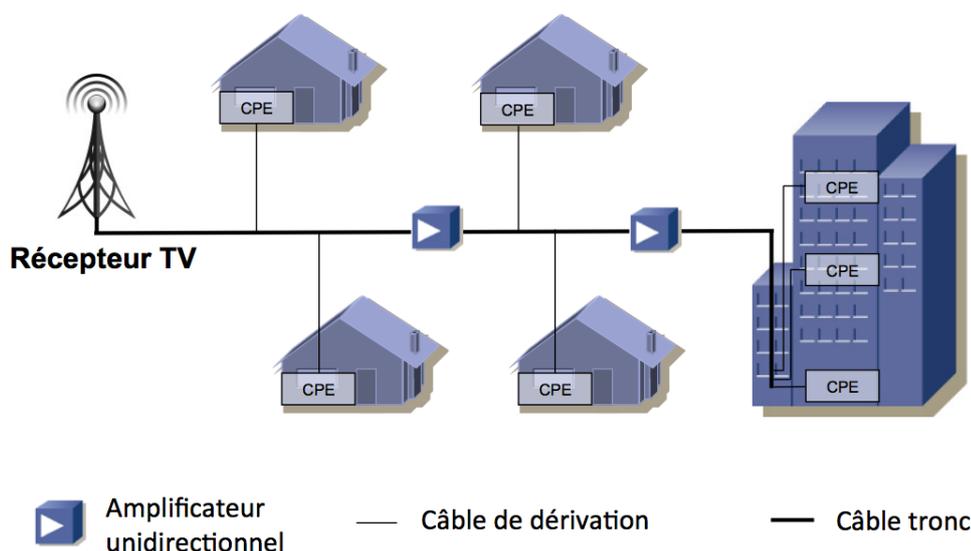


Figure 10: Architecture CATV unidirectionnelle

Dans la pratique, ce type de réseau d'accès peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. Il n'est cependant pas possible de chaîner indéfiniment des amplificateurs, ceux-ci étant une source de bruit non négligeable. On limite donc dans la mesure du possible leur nombre à 3.

### 3.1.2.3 Architecture bidirectionnelle

Depuis les années 2000 avec l'arrivée de l'Internet par câble en Suisse, les câblo-opérateurs ont dû faire face à un nouveau défi : Transformer leur réseau unidirectionnel en réseau bidirectionnel afin de pouvoir envoyer des données depuis les ménages en plus d'en recevoir.

Ainsi, les amplificateurs sont devenus bidirectionnels dans le but de pouvoir amplifier les fréquences du flux montant des clients vers la station de tête, qui est ainsi devenue un CMTS.

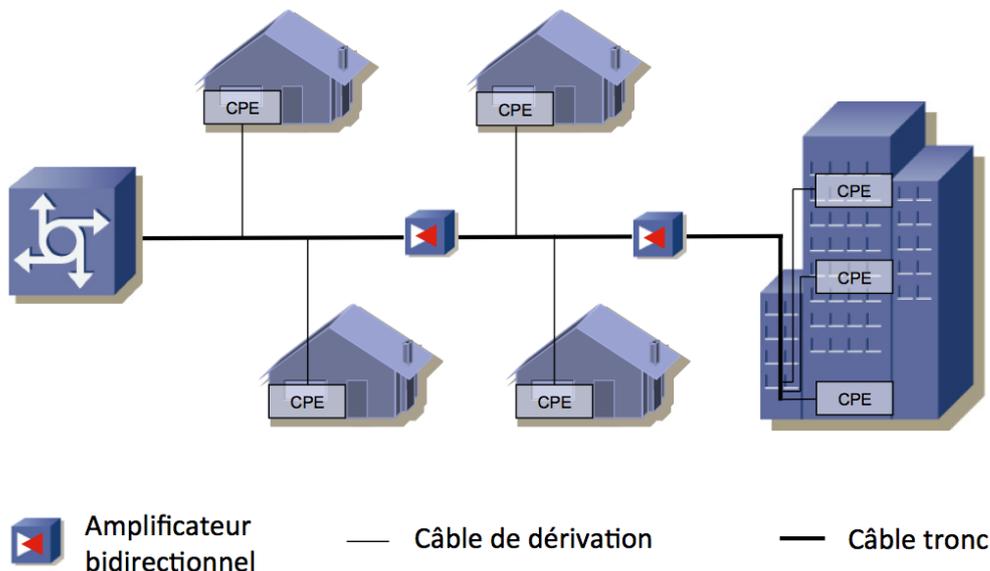


Figure 11: Architecture CATV bidirectionnelle

Cette architecture fonctionnait très bien jusqu'il y a encore quelques années, mais peine à croître aujourd'hui :

- De par sa conception, tous les clients sont connectés sur un même bus. La bande passante est donc partagée entre tous, bien que bridée au niveau du modem DOCSIS. Avec l'augmentation des débits commerciaux pour les clients finaux, il devient pratiquement impossible de fournir un débit suffisant en tête de réseau pour assurer une bande passante correcte à tous les utilisateurs lors des plages à forte consommation.
- De plus, le coefficient linéique d'atténuation croissant proportionnellement à la fréquence logarithmique, il devient plus que nécessaire de raccourcir au maximum les distances des câbles coaxiaux.

De ce constat, une nouvelle architecture est mise en place. C'est celle-ci qui est utilisée aujourd'hui dans le réseau des opérateurs suisses tels qu'UPC Cablecom et Net+ FR.

Dénommée HFC, elle consiste à connecter le réseau Métro avec de la fibre optique pour se rapprocher le plus possible du client final (*jusqu'au Feeder inclus*). Ce n'est que pour les derniers mètres (*quartier ou groupe d'habitations*) que l'on utilise le câblage coaxial. Ces différents réseaux coaxiaux drops sont appelés **Ilots DOCSIS**. Le but de garder une taille raisonnable (*environ 50 aujourd'hui en bonne pratique*), afin de garantir une bande passante correcte pour chaque utilisateur aux heures de fortes consommations.

De part cette distance coaxiale moindre, il est désormais possible de monter plus haut en fréquences dans les câbles (*commerciallement jusqu'à 1GHz*) permettant d'offrir des débits plus élevés.

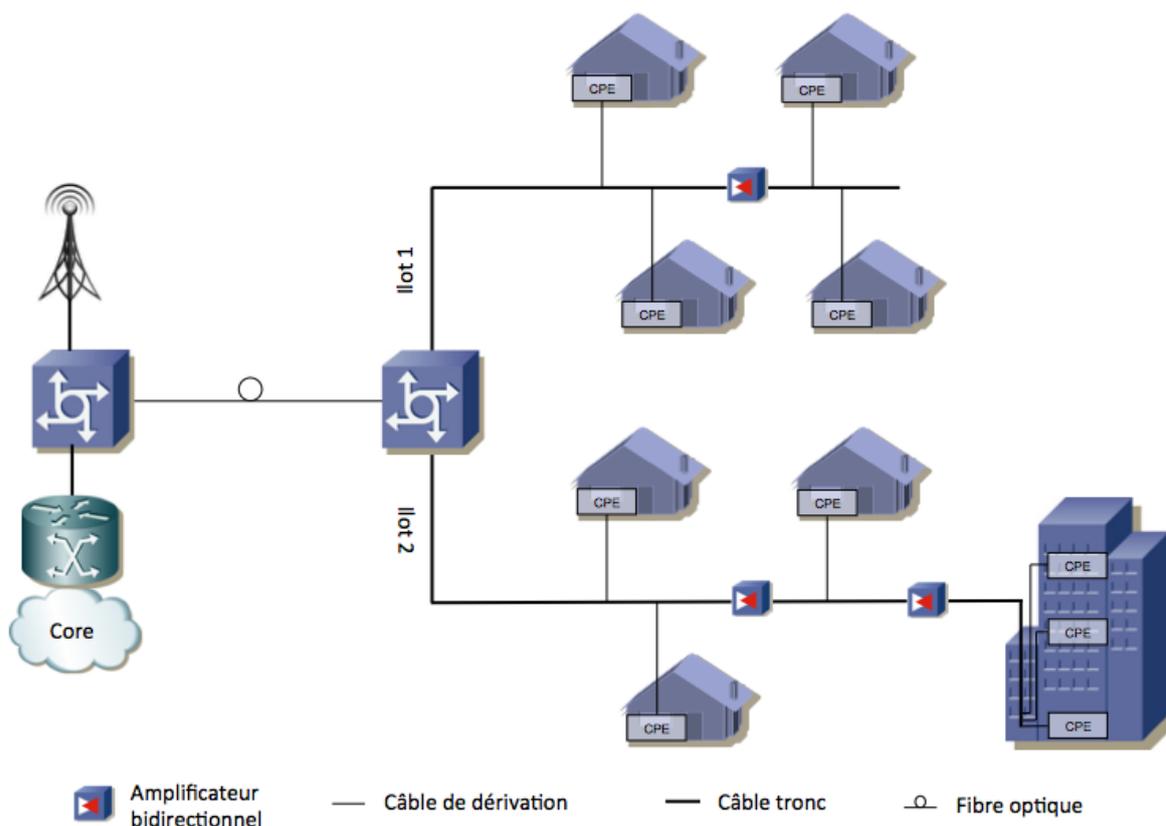


Figure 12: Architecture HFC

### 3.1.2.4 DOCSIS

DOCSIS est un standard de télécommunications international décrivant le multiplexage, la transmission, la gestion des priorités et l'optimisation des flux d'une connexion de données à haut débit sur le réseau CATV habituel. Ce standard s'applique donc sur les couches 1 et 2 du modèle OSI. Une déclinaison européenne nommée EuroDOCSIS a été mise en œuvre pour répondre aux exigences de l'allocation des fréquences et au système de codage d'images européen PAL.

Normalisées par l'ITU, plusieurs normes DOCSIS se sont succédées avec des évolutions de débits à la clé. Actuellement, les principaux câblo-opérateurs du pays utilisent le standard DOCSIS 3.0. Une norme DOCSIS 3.1, reçue officiellement par l'ITU en octobre 2013 est actuellement en phase de tests pour une disponibilité commerciale prévue au plus tôt fin 2016. Théoriquement, elle devrait apporter un débit multiplié par 25 par rapport au DOCSIS 3.0 en flux descendant. Cependant, encore peu d'implémentations pratiques arrivent aujourd'hui à le démontrer sur des distances raisonnables.

Standard	Norme ITU	DOCSIS		EuroDOCSIS	
		Débit ascendant brut/net [Mbit/s]	Débit descendant brut/net [Mbit/s]	Débit ascendant brut/net [Mbit/s]	Débit descendant brut/net [Mbit/s]
DOCSIS 1	J.112	10.24/9	42.88/38	10.24/9	55.62/50
DOCSIS 2	J.122	30.72/27	42.88/38	30.72/27	55.62/50
DOCSIS 3.0	J.222	4x30.72/108	8x42.88/304	4x30.72/108	8x55.62/400
DOCSIS 3.1	<i>En cours d'élaboration. Débits jusqu'à 10Gbps/1Gbps.</i>				

Tableau 7: Comparaison des débits DOCSIS

Comme indiqué en introduction, le réseau CATV était initialement prévu pour la télédistribution. L'ajout de la transmission de données sur ce même medium a nécessité la délimitation précise des fréquences, par bandes de 8 MHz. Ainsi, pour le standard EuroDOCSIS, la segmentation a été effectuée comme suit :

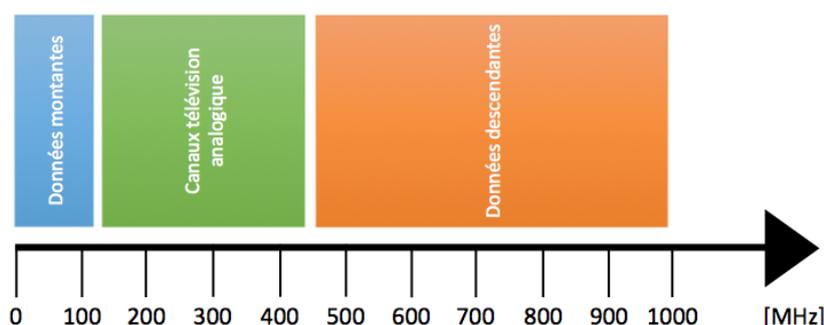


Figure 13: Allocation des fréquences sur le spectre du câble coaxial

Fréquence [MHz]	Utilisation
47 à 68	Upstream de données
87.5 à 108	Upstream de données ( <i>anciennement Radio FM</i> )
111 à 446	Télévision analogique
470 à 1000	Downstream de données

Tableau 8: Définition des fréquences

Afin de pouvoir augmenter toujours plus les débits sans forcément monter en fréquences, les câblo-opérateurs doivent obtenir davantage de bandes fréquentielles pour le transport des données. C'est pour ceci que la télévision analogique est peu à peu reléguée au profil du numérique, libérant ainsi une grande plage sans nécessiter de nouveau matériel côté client final.

Avec la nouvelle norme DOCSIS 3.1, le principe de modulation fréquentielle change totalement. Il n'est plus question de séparation de la télévision et des données par canaux. L'ensemble des fréquences du câble coaxial (*soit environ 1 GHz actuellement*) est dédié entièrement au flux IP, grâce à la modulation adaptative OFDM. Dans cette optique, la télévision sera transmise de manière entièrement numérique ; le client devra ainsi posséder une Set Top Box lui permettant d'afficher ces flux vidéo sur sa télévision, par le même principe que le produit actuel Swisscom TV. Cette évolution tend à rapprocher l'utilisation du câble coaxial de manière semblable aux deux paires de cuivre des opérateurs téléphoniques, avec une vision IP totale, sur laquelle les services de base seront transmis, comme la VoIP et l'IPTV.

### 3.1.2.5 Conclusion

De par ses excellentes propriétés, le réseau coaxial couplé à de la fibre optique formant la topologie HFC dessine des perspectives très intéressantes pour le futur.

D'une part, il est largement déployé en Suisse pour la télévision ; d'après les dernières statistiques, 93% de la population possède un raccordement au câble dans son ménage. Ainsi, les coûts de mise à niveau en infrastructure seront relativement faibles dans le domaine pour ces prochaines années et l'ajout de nouveaux clients est rendu très simple grâce à la topologie d'accès en bus.

D'autre part, pour faire face à l'augmentation des débits, l'expansion progressive du HFC permettra de créer des îlots DOCSIS plus petit afin de garantir un meilleur débit aux clients finaux sur ce marché en forte augmentation. Parallèlement, la réduction de la distance entre le client final et le convertisseur optique/coax permettra d'implémenter la future norme DOCSIS 3.1 en évitant les problèmes liés à la distance.

### 3.1.3 PLC

Le PLC est apparu dans les années 1930 sur la base d'une idée très simple et prometteuse : Utiliser le câblage électrique interne à un bâtiment comme vecteur de transmission multimédia. Puis vers la fin des années 90 suite à la libéralisation du marché du courant électrique, les fournisseurs d'électricité ont montré leur intérêt pour utiliser leur réseau cuivré à basse tension afin de fournir les clients en connexion Internet, tel que le font les opérateurs téléphoniques.

Il s'agit d'un marché à très haut potentiel grâce à un taux de pénétration du câble électrique très proche de 100% dans les pays développés.

#### 3.1.3.1 Medium

Le médium de transmission utilisé par les fournisseurs d'électricité pour transporter le multimédia n'est autre que le câble de cuivre ou d'aluminium utilisé pour le transport de l'énergie. Celui-ci a été conçu pour son utilisation première, soit l'acheminement de l'énergie électrique, dont les fréquences ne sont que de l'ordre de 50 Hz. Sont ensuite réservées les fréquences entre 3 et 95 kHz pour le fournisseur d'électricité (*relevé automatique des compteurs, applications SmartGrid, etc...*). S'en suivent les fréquences entre 95 et 148.5 Hz, réservées aux installations PLC privées, dans le cadre d'un réseau LAN.

Ainsi, pour le transport des données à haut débit en tant que fournisseur d'accès, il s'agit d'utiliser des hautes fréquences, situées entre 1 et 30 MHz.

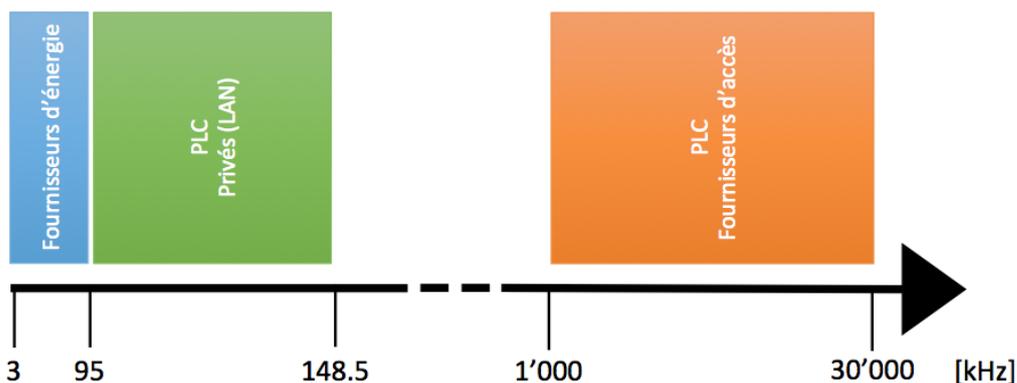


Figure 14: Allocation des fréquences sur le spectre du câble électrique basse tension

Malheureusement, les anciens câbles utilisant du PVC comme composant diélectrique présentent une très forte atténuation linéique, et ce croissant proportionnellement à la fréquence. Cela rend leur utilisation très difficile sur plus de 150 m, distance rapidement atteinte avec ce type de câblage électrique.

Les câbles plus récents utilisant un composant diélectrique en Polyéthylène présentent de meilleures caractéristiques d'atténuation linéique et sont mieux adaptés à l'utilisation du PLC sur des distances supérieures à 150 m.

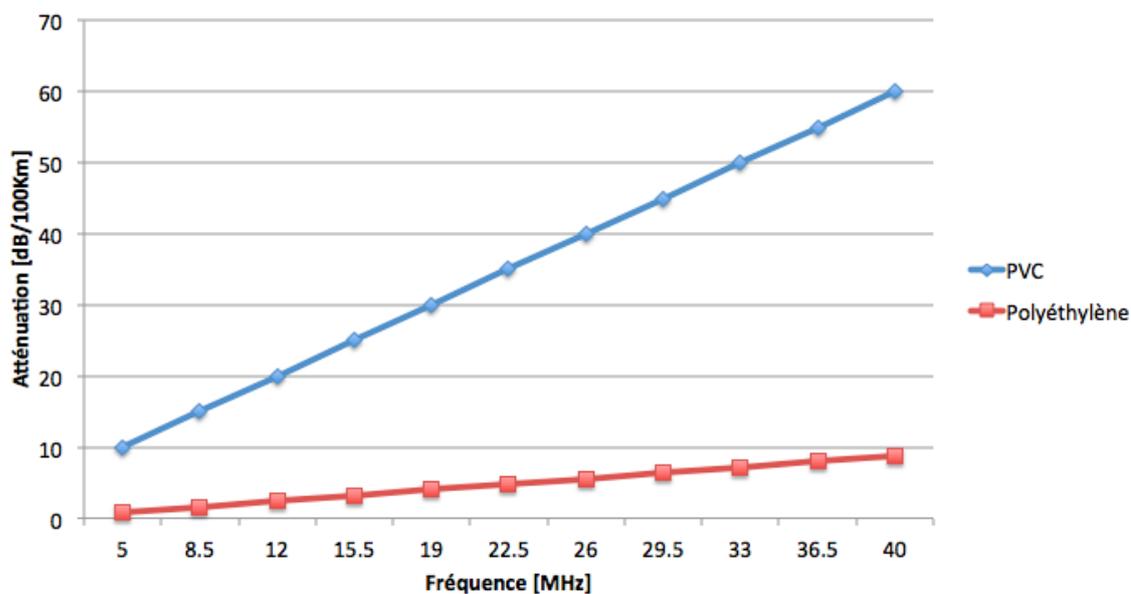


Figure 15: Atténuation linéique en fonction de la fréquence sur les câbles électriques [PLC1]

En plus de la qualité du câble utilisé, la qualité de la ligne peut être fortement dégradée par le bruit impulsionnel, principalement en zone industrielle, généré par la mise en route ou l'arrêt de machines à forte consommation ou de moteurs électriques.

Il n'est donc pas simple de transporter des données à haut débit sur ce type de réseau.

### 3.1.3.2 Architecture

Afin d’amener le flux de données au client, le fournisseur d’électricité utilise son infrastructure à basse tension. Ainsi un réseau de type Métro, généralement réalisé en fibre optique, interconnecte ces stations transformatrices desquelles est modulé le flux de données sur le réseau électrique.

A l’arrivée chez le client final, le compteur électrique (*comme tous les transformateurs*) coupe les hautes fréquences. Ainsi, l’utilisation d’un coupleur est nécessaire, afin de réinjecter les fréquences de données dans le réseau domestique, et inversement pour le flux montant.

En queue de réseau, un modem connecté sur la prise électrique du client permet de transformer le signal reçu afin qu’il puisse être retransmis sur un câble à paires torsadées, communément utilisé dans le réseau LAN. A noter également qu’il est possible de connecter plusieurs modems par foyer, évitant de devoir tirer des câbles ou mettre en place un Wireless LAN pour connecter des appareils dispersés dans différentes pièces du logement.

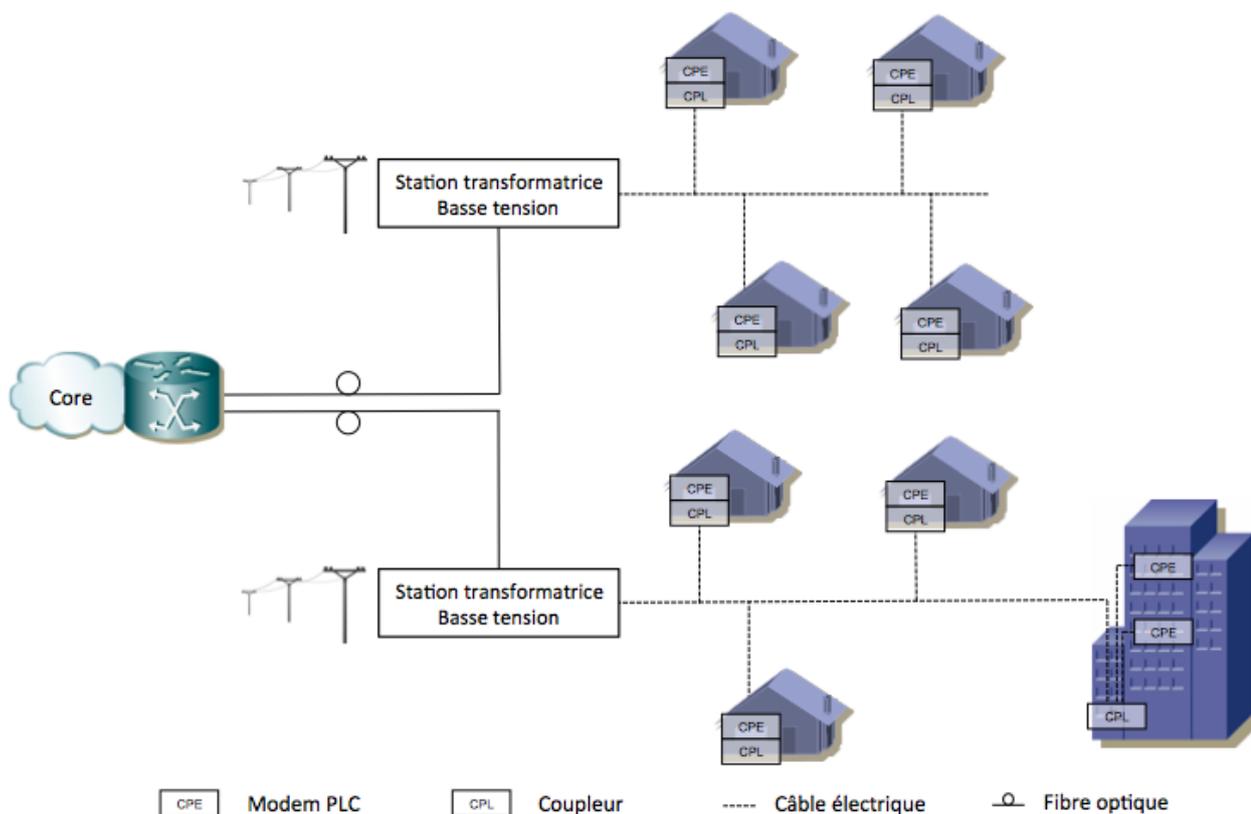


Figure 16: Architecture réseau PLC basse-tension

De par son architecture en bus, le réseau PLC est très semblable à la topologie CATV. Ainsi, tous les clients connectés à la même station transformatrice basse tension partagent le même débit.

Les modems des clients réalisent alors un chiffrement (*généralement AES-128*) des données afin de garantir la confidentialité des échanges, ainsi qu’une modulation temporelle pour gérer les accès au médium partagé. Une autre variante de modulation, OFDM, est utilisée dans les réseaux PLC modernes bénéficiant ainsi d’une bonne optimisation des performances vis-à-vis des nombreuses perturbations de la ligne.

### 3.1.3.3 G3-PLC

Une faiblesse du PLC est certainement le manque de normes officielles en vigueur. Ainsi, chaque fournisseur utilise une implémentation propre à un fabricant de matériel.

C'est de ce constat qu'est né fin 2011 l'alliance G3-PLC composée de plusieurs fabricants et opérateurs électriques visant à uniformiser les différentes variantes du protocole et promouvoir son utilisation.

Ainsi début 2014 sur la base des normes PLC les plus populaires (*IEEE9001, IEEE1905, ITU G.9972*), est née la première norme de l'ITU soumise par le groupe G3-PLC décrivant la modulation orthogonale à division de fréquences sur les réseaux PLC (*G.9903*).

Ces prochaines années, le PLC est amené à devenir normalisé et ainsi beaucoup plus facilement implémentable dans les réseaux des fournisseurs électriques.

### 3.1.3.4 Débits

La limite des débits est aujourd'hui dictée par la limitation de la plage fréquentielle utilisable dans les câbles électriques.

L'utilisation de la modulation adaptative OFDM permet d'atteindre théoriquement 500 Mbps sur une distance de 150 mètres. "Cependant, les principales vitesses annoncées commercialement sont de généralement 85 et 200 Mbps, qui reviennent en pratique à des vitesses situées entre 20 et 50 Mbps respectivement 50 et 100 Mbps" [*PLC1*].

De par la création du consortium G3-PLC, les attentes sont grandes d'atteindre le débit de 500 Mbps dans les 5 prochaines années afin de rester en concurrence avec les autres fournisseurs d'accès.

Le débit est cependant suffisant pour d'autres applications telles que la télémétrie.

### 3.1.3.5 Conclusion

Les normes PLC propriétaires actuelles atteignent leurs limites. La concurrence du monde des télécommunications est tellement forte en termes de débit que sans adaptation rapide, l'accès à Internet par PLC risque de ne pas progresser. De plus, sans une demande de plusieurs clients finaux, l'installation de l'infrastructure dans une station transformatrice basse tension peut difficilement être rentabilisée, d'où la réticence des fournisseurs d'électricité à déployer massivement cette technologie.

Ce type d'accès est cependant très développé dans des pays tels que la Chine, le Japon et Singapour, qui comptent une population extrêmement condensée. Le PLC permet ainsi de distribuer une connexion Internet à moindre frais sans réaliser d'onéreux travaux de génie civil, les liaisons électriques étant principalement aériennes. En Suisse par contre, l'OFCOM n'autorise que l'exploitation du PLC sur les lignes souterraines (*80% des lignes basses tensions*).

La solution reste toutefois très intéressante pour les réseaux domestiques ; elle permet d'atteindre aujourd'hui facilement 500 Mbps dans un LAN sans devoir tirer de câblage onéreux ou installer de Wireless LAN.

## 3.1.4 Fibre optique

La fibre optique existe déjà depuis plus de 30 ans. Elle a longtemps été réservée pour les infrastructures haut de gamme et les transmissions sur de très longues distances. Avec l'augmentation significative du besoin en termes de débit, elle a fait son apparition dans les réseaux d'accès alors qu'auparavant elle était réservée pour le Core et le Métro.

### 3.1.4.1 Medium

Nous allons étudier certaines caractéristiques de la fibre optique.

#### Modes

Il existe 3 types principaux de fibres optiques qui ont chacune des caractéristiques et des domaines d'application différents. Ces types de fibres se distinguent par le diamètre de leur cœur et de la longueur d'onde utilisée.

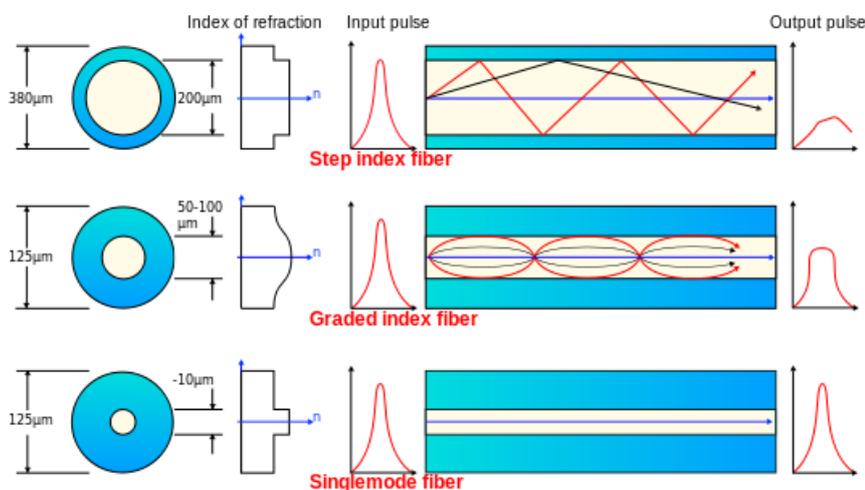


Figure 17: Type de fibres optiques [FO5]

#### Fibre monomode

C'est dans la fibre monomode (singlemode) que l'on trouve un cœur avec le diamètre le plus petit. C'est avec une fibre monomode que l'on a le moins de perte avec des longs câbles (plusieurs Kms).

Les équipements et la fibre coûtent plus chers à produire.

#### Fibre multimodes

La première fibre inventée était multimodes (step index fiber), car elle est plus facile de la produire avec son cœur plus grand. Elle était utilisée pour des courtes distances (< 1 km) mais n'est quasiment plus utilisée aujourd'hui.

#### Fibre multimodes à gradient d'indice

La fibre à gradient d'indice (graded index fiber) a été conçue de manière à diminuer les problèmes d'atténuation et de dispersion chromatique que l'on a avec la fibre multimodes normale. Elle est également employée pour les courtes distances et permet des débits supérieurs à son prédécesseur.

Pour ce type de fibre, ce sont à la fois la fibre elle-même et les équipements optiques qui coûtent moins chers à produire que l'équivalent pour la monomode.

## Conclusion

Récemment, la fibre monomode était réservée pour les longues distances mais elle est devenue de plus en plus abordable et possède des caractéristiques impressionnantes, c'est pourquoi elles s'imposent comme le nouveau standard pour les réseaux d'accès.

Cependant, la fibre multimodes a toujours sa place au sein des réseaux locaux.

Les fibres monomodes permettent d'atteindre des débits plus grands et possèdent un avenir garanti.

### 3.1.4.2 Types

Il existe 3 grands types de réseaux optiques :

- Réseau optique actif
- Réseau optique passif
- Réseau optique avec commutation automatique

Ces trois types peuvent être interconnectés de manière à former un réseau hybride.

### 3.1.4.3 AON

Dans ce type de réseau, il n'y a que des éléments optiques actifs.

Ces équipements actifs devront transformer les signaux optiques en signaux électriques afin d'y effectuer un traitement et finalement refaire l'inverse afin de renvoyer des signaux optiques.

C'est une connexion point à point qui se fait entre deux équipements, par conséquent pour chaque connexion, il faut une ligne dédiée.

#### Avantages

- Le signal est régénéré et on pourra couvrir une plus grande distance
- Un traitement de niveau supérieur à la couche physique peut être effectué (routage, switching,...)
- Meilleure sécurité, car c'est une connexion point à point
- Meilleure bande passante, car la fibre peut être entièrement exploitée
- Il est facile de faire évoluer le réseau, car seulement deux éléments sont impactés lors d'un changement

#### Désavantages

- Les équipements nécessitent une alimentation électrique
- Ils peuvent tomber en panne
- Ils sont plus chers à l'achat et à l'exploitation

#### Technologies

Dans le tableau ci-dessous, on peut voir les caractéristiques des principales technologies AON pour l'accès.

Nom	Norme IEEE	Down [Gb/s]	Up [Gb/s]	Publié IEEE
<b>10BaseF</b>	802.3j	0.01	0.01	1993
<b>100BaseF</b>	802.3u	0.1	0.1	1995
<b>1000BaseF</b>	802.3z	1	1	1998
<b>10GBaseF</b>	802.3ae	10	10	2002
<b>40GBaseF</b>	802.3bg	40	40	2011
<b>100GBaseF</b>	802.3bj	100	100	2014
<b>non connu</b>	802.3bs	400	400	~2017

Tableau 9: Technologies AON

### 3.1.4.4 PON

Les réseaux optiques passifs permettent d'interconnecter deux ou plusieurs équipements optiques actifs par l'intermédiaire d'équipement passif.

Avec des équipements passifs, ce sont uniquement des traitements optiques qui sont effectués, sans conversion électrique.

C'est une connexion point à multipoint qui se fait au travers d'une ligne partagée jusqu'à un splitter optique passif, POS qui sépare la ligne vers les différents usagers.

#### Avantages

- Les équipements ne nécessitent pas d'alimentation électrique
- Ils ne peuvent pas tomber en panne
- Ils sont moins chers à l'achat et ne nécessite pas d'entretien

#### Désavantages

- Sécurité faible car le signal est propagé sur les fibres des autres usagers (risque d'espionnage)
- La bande passante est partagée entre les usagers
- Pour les longues distances, il faut amplifier le signal de manière passive ou régénérer le signal avec un répéteur actif

#### Technologies

Dans le tableau ci-dessous, on peut voir les caractéristiques des principales technologies PON pour l'accès.

Nom	Norme ITU	Down [Gb/s]	Up [Gb/s]	Approuvé ITU
<b>GPON</b>	G.984.x	2.5	1.25	03.2008
<b>XG-GPON</b>	G.987	10	2.5	06.2012
<b>NG-PON2</b>	G.989.1	40	10	03.2013

Tableau 10: Technologies PON

### 3.1.4.5 ASON

Les réseaux optiques avec commutation automatique ont une architecture différente des autres types. Ce type de réseau est encore peu connu et risque d'être difficile à être déployé. Il fonctionne sur deux niveaux.

Le Control Plane qui possède son propre réseau et va influencer les matrices de commutation avec un protocole dérivé du MPLS appelé GMPLS ou d'autres. C'est en sorte un réseau qui gère le réseau optique.

Le Transport Plane est le réseau optique qui fonctionne de manière similaire à un réseau optique passif mais il est possible d'influencer la direction, et la longueur d'onde d'un signal sans transformation électrique. On peut s'imaginer des miroirs et des prismes qui sont réglables de manière automatique dans le switch optique.

#### Avantages

- Les équipements optiques nécessitent peu d'électricité et le réseau de contrôle moins qu'un réseau AON
- La latence est très faible car la commutation ne nécessite pas de conversion électrique
- Le signal est généré qu'une seule fois jusqu'à sa destination

## Désavantages

- Il faut un deuxième réseau pour le faire fonctionner
- Ce type de réseau est encore expérimental
- Ce type de réseau n'est pas prévu pour l'accès mais pour le cœur et le Métro
- On ne connaît pas le coût d'entretien mais il peut être très élevé
- Le taux de panne peut être élevé
- Pour les longues distances, il faut amplifier le signal de manière passive ou régénérer le signal avec un répéteur actif

### 3.1.4.6 Architecture

Nous allons montrer les différentes architectures possibles sur un réseau fibre optique. Les distances entre les éléments peuvent varier en fonction des besoins et vont également se nommer différemment voir plus bas avec les FTTx.

#### AON P2P

Il faut une fibre pour chaque client. Au début, les fibres passent au travers d'un même tube puis se séparent.

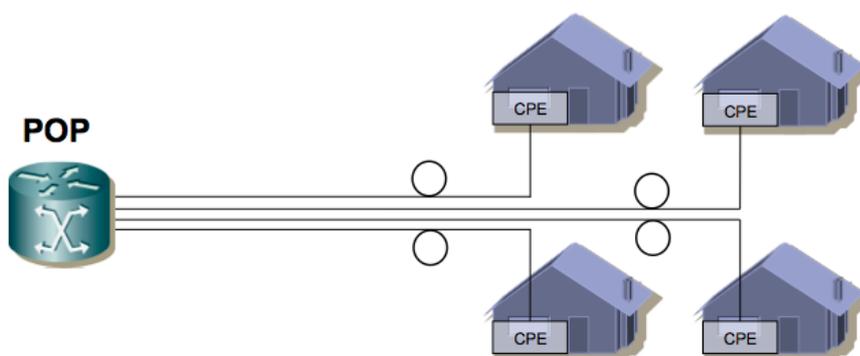


Figure 18: Architecture AON P2P

Cette architecture est coûteuse mais permet d'avoir un débit maximal jusqu'au POP. Elle est généralement mise en place pour les clients qui sont proches du POP ou les entreprises.

#### AON

Une ou plusieurs fibres partent du POP jusqu'à un switch optique. Depuis le switch optique nous avons une architecture P2P. Il est nécessaire d'avoir un endroit adapté pour poser le switch optique.

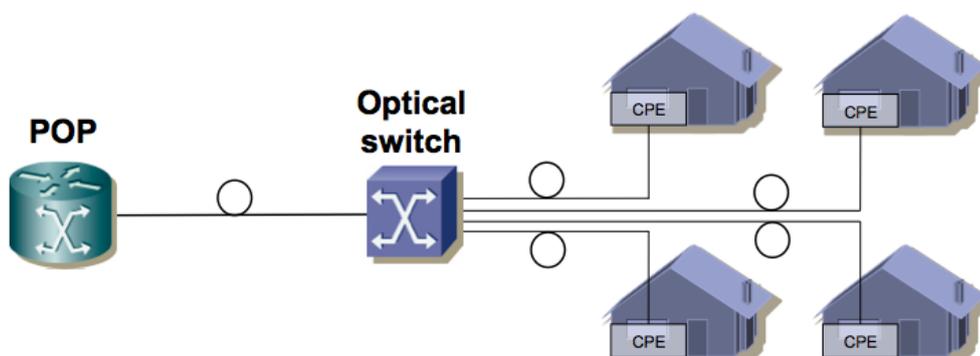


Figure 19: Architecture AON

Cette architecture peut être intéressante lorsque nous voulons mettre en place un réseau fibre et que nous avons déjà un élément actif comme un DSLAM car la fibre entre le POP et ce dernier peut ne pas être compatible avec les technologies de type PON.

## PON

Une fibre part du POP pour arriver sur un splitter optique passif. Depuis le splitter, il y a une architecture P2P. Pour que cette topologie soit possible, il faut faire du multiplexage par longueur d'onde et/ou temporelle.

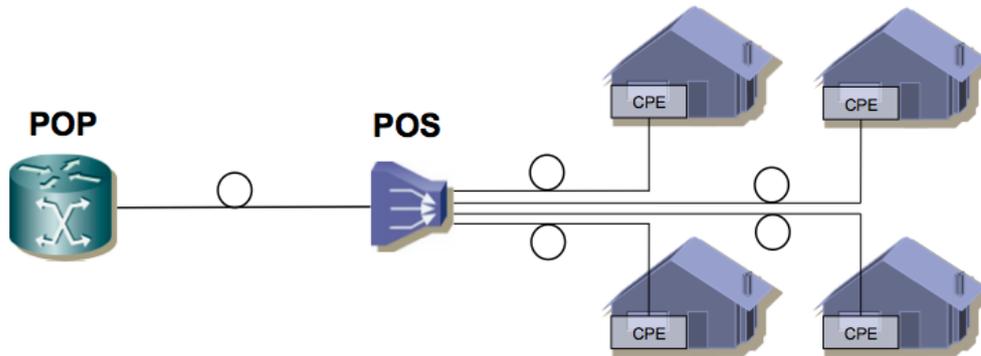


Figure 20: Architecture PON

Les clients doivent se partager la capacité comme s'ils travaillaient sur la même fibre. Cette architecture est la moins coûteuse et est généralement utilisée lorsqu'on désire partir sur une nouvelle base.

## FTTx

Il existe des termes qui déterminent la portée de notre réseau de fibre optique, FTTx, car le réseau fibre optique peut également être mêlé avec d'autres technologies. La tendance est que l'on approche petit à petit la fibre des bâtiments.

Voici donc la liste de ces termes avec leur signification [FO4]:

- FTTN : Fiber To The Neighbourhood (Fibre jusqu'au quartier)
- FTTC : Fiber To The Curb (Fibre jusqu'au trottoir)
- FTTS : Fiber To The Street (Fibre jusqu'à la rue - bâtiment)
- FTTN : Fiber To The Node (Fibre jusqu'au répartiteur), généralement pour relier un DSLAM
- FTTB : Fiber To The Building (Fibre jusqu'au bâtiment)
- FTTCab : Fiber To The Cab (Fibre jusqu'au sous-répartiteur)
- FTTP : Fiber To The Premises (Fibre jusqu'aux locaux - entreprises)
- FTTH : Fiber To The Home (Fibre jusqu'au domicile)
- FTTO : Fiber To The Office (Fibre jusqu'au bureau - entreprises)
- FTTLA : Fiber To The Last Amplifier (Fibre jusqu'au dernier amplificateur)

Ce qui va changer essentiellement est la longueur du Feeder et la longueur du Drop.

### 3.1.4.7 Conclusion

La solution que l'on va choisir pour faire évoluer notre réseau dépend énormément de l'existant. Car il est possible que les fibres qui sont déjà mises en place ne soient pas compatibles avec la technologie désirée. Nous avons pu également le voir avec les différentes architectures.

La fibre optique est une technologie qui ne cesse de se développer et va sûrement un jour arriver directement dans tous les bâtiments.

### 3.1.5 Synthèse des technologies

Le dimensionnement du réseau Métro-Accès du futur sera très différent d'un opérateur à un autre, chacun utilisant une technologie, une topologie et un médium particulier.

Ci-dessous, nous avons réalisé une matrice des différentes technologies d'accès analysées dans cette présente documentation, afin de pouvoir visualiser leur importance vis-à-vis de leur évolutivité potentielle.

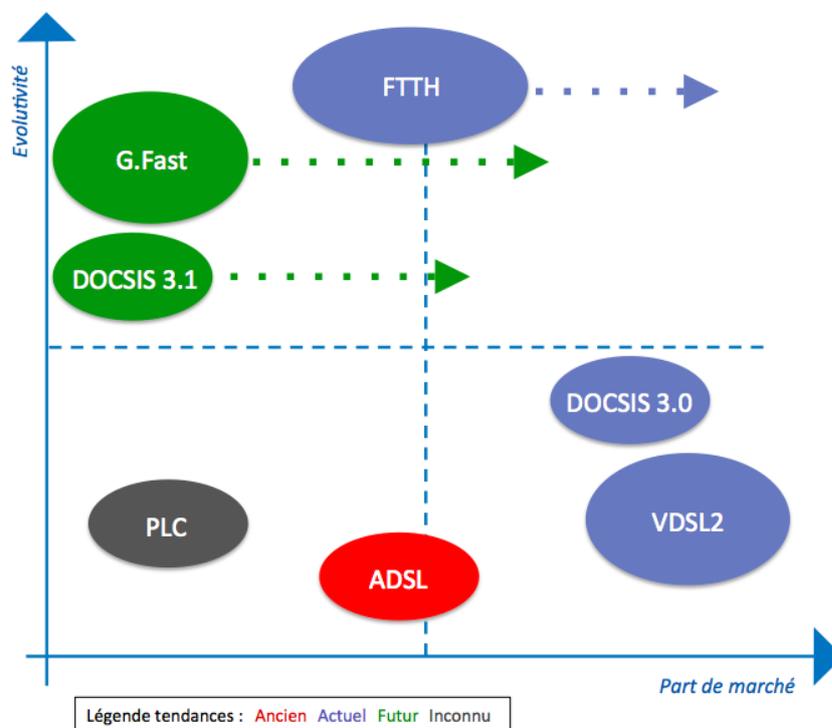


Figure 21: Matrice BCG montrant l'évolution des technologies d'accès

Au premier coup d'œil, on distingue clairement le VDSL2 et DOCSIS 3.0 avec la plus grande part de marché. Pour ces deux technologies, on peut penser que le G.fast respectivement le DOCSIS 3.1 les remplaceront massivement d'ici 2025.

La technologie émergente FTTH de par son incroyable évolutivité, va très certainement prendre une place importante dans le marché de l'accès Internet. Nous y voyons le futur dans cette technologie, qui sera utilisée à très long terme par tous les fournisseurs d'accès. C'est en ce sens que pour le canton de Fribourg, FTTH-FR propose de tirer des lignes optiques jusque dans les logements.

En perte de vitesse et remplacé depuis quelques années maintenant, l'ADSL et son évolution ADSL2+ perd de plus en plus de part de marché et va progressivement décroître encore.

Notre grande inconnue réside dans le PLC. Cette technologie pourrait être très prometteuse mais manque cruellement de structures et de normes. Cependant au vu de la concurrence très féroce entre les différents fournisseurs, nous ne miserions que très peu sur cette technologie, bien que le consortium G3-PLC va tenter d'atteindre l'objectif de 500 Mbps d'ici fin 2015.

## 3.2 Dimensionnement du Métro

---

### 3.2.1 Metro Ethernet

#### 3.2.1.1 Introduction

L'Ethernet est le protocole dominant aujourd'hui dans le transport et l'adressage des trames dans au sein d'un réseau LAN. Cependant, côté client il s'arrête au point de démarcation avec l'opérateur, qui encapsule ensuite les paquets dans d'autres protocoles de couche 2 comme PPP ou HDLC par exemple. Pourquoi donc ne pas prolonger cette limite en créant un réseau Métro-Accès basé entièrement sur Ethernet pour y connecter les clients ? C'est de cette question qu'est née la technologie Metro Ethernet.

#### 3.2.1.2 Points forts d'Ethernet

Le protocole Ethernet, standardisé pour la première fois en 1983, a bénéficié de nombreuses améliorations jusqu'à aujourd'hui, le rendant ainsi très performant et robuste. Voici ci-dessous une liste de ses principaux points forts :

- Prix de l'interface physique RJ-45 très peu cher comparé aux autres standards opérateurs tels que le SONET ou SDH
- Facilité d'interconnexion avec les LANs des clients, utilisant déjà le protocole Ethernet
- Simplicité du protocole lui permettant de s'adapter très facilement aux nouvelles demandes du marché, notamment en termes de débits

C'est dans ce sens qu'en 2001, est formé le MEF (*Metro Ethernet Forum*), qui a pour objectif d'apporter la simplicité et les faibles coûts d'Ethernet aux réseaux WAN, autant la partie Core que Métro et Accès.

#### 3.2.1.3 Problématique de l'existant

Le frein majeur dans le développement du Metro Ethernet pour les particuliers est que jusqu'il y a quelques années encore, les opérateurs téléphoniques et les opérateurs de télédistribution ne tiraient qu'une paire de deux fils de cuivre respectivement un câble coaxial comme medium de transmission. Une adaptation complète du réseau actuel vers une topologie en Metro Ethernet pour connecter les clients impliquerait de retirer pour chaque client un câble à paires torsadées de catégorie élevée afin d'assurer les débits corrects. Cette possibilité a donc vite été reléguée par les opérateurs au profil de la fibre optique, garantissant une bien meilleure évolutivité dans les débits. Le Metro Ethernet est cependant disponible pour les entreprises, lesquelles investissent plus facilement dans le tirage de nouvelles lignes en fonction de leurs besoins.

#### 3.2.1.4 Problématique de l'Ethernet pur dans un MAN

Comme indiqué en introduction, le protocole Ethernet a été développé pour les réseaux locaux. De ce fait, son utilisation dans les réseaux de grandes tailles peut poser les problèmes suivants :

- Evolutivité : La séparation des flux en couche 2 avec Ethernet est réalisée à l'aide des VLANs. Or, le champ permettant le tag ne contient que 12 bits, soit 4096 possibilités. Bien que la norme IEEE 802.1ad permette le stacking de VLANs, celle-ci n'est de loin pas adoptée par tous les fabricants et peut conduire à un rejet de la trame pour cause de longueur excessive.
- Redondance : Au niveau Ethernet, ce point est assuré par le Spanning Tree, bénéficiant d'un temps de convergence proche de 50ms selon les implémentations. Or, ce protocole n'est pas optimisé pour être appliqué sur un réseau de taille comparable au WAN.

C'est de par ces quelques exemples que les opérateurs ne mettent donc pas en application des topologies telles que le Metro Ethernet pur.

### 3.2.1.5 Améliorations de l'Ethernet pour le WAN

L'Ethernet pur n'étant pas une solution optimale pour le réseau Métro-Accès, le groupe de travail MEF a défini une nouvelle norme : Carrier Ethernet.

Ainsi, il ne s'agit plus de transporter les services directement sur Ethernet mais de transporter l'Ethernet lui-même sur d'autres technologies de couche 2 comme par exemple :

- Ethernet over SDH/SONET : Encapsulation de trames Ethernet pour l'envoi au travers d'un réseau SDH/SONET, bénéficiant ainsi des puissantes fonctionnalités de gestion des trames. Cependant cette technologie de transmission synchrone pour l'agrégation de multiples flux est très adaptée à la partie Core-Métro du réseau mais ne l'est absolument pas pour l'accès. Elle nécessiterait du matériel très coûteux du côté des clients et n'en tirerait aucun avantage au vu du faible volume de trafic généré par un seul client.
- Ethernet over MPLS : Transport de la trame Ethernet sur un réseau MPLS en lui rajoutant un en-tête de ce protocole en couche 2.



Figure 22: Trame Ethernet avec label MPLS

C'est la technique majoritairement utilisée aujourd'hui en Suisse pour les réseaux Core-Métro des opérateurs. Grâce au mécanisme Fast ReRoute du MPLS, il est possible de faire converger un réseau de taille très importante en moins de 50ms. Cependant, pour atteindre cette performance, les coûts doivent être très précisément calculés pour chaque nœud et cela serait très compliqué à réaliser pour chaque client final. Cette technologie est donc réservée pour le Core des réseaux et éventuellement le Métro pour l'agrégation de centraux à très haute densité de clients.

- Ethernet over DOCSIS : Encapsulation de la trame Ethernet dans le protocole de couche 2 utilisé par DOCSIS afin d'utiliser le câble coaxial dans la partie accès des réseaux CATV. C'est cette technique qui est actuellement utilisée par le fournisseur UPC Cablecom sur la partie accès Feeder et Drop du réseau.

### 3.2.1.6 Conclusion

Ethernet est le protocole de couche 2 utilisé dans la quasi-totalité des réseaux LANs actuels. De par ses nombreuses améliorations, il est aujourd'hui très performant, fiable et évolutif pour ce type de réseau. Il est d'autre part très utilisé dans les réseaux backhaul IP au niveau du Core et du Métro encapsulé dans du MPLS ou SONET/SDH afin d'agrèger les différents flux et les transporter sur de très hautes bandes passantes tout en garantissant une convergence du réseau rapide en cas de rupture d'un nœud.

Au niveau des opérateurs téléphoniques ayant une paire de 2 fils de cuivre, l'implémentation actuelle avec un DSLAM implique une authentification du client. Et ce point n'est pas pris en compte par Ethernet. C'est pour cela que ces opérateurs utilisent encore aujourd'hui le protocole de couche 2 PPP, incluant une authentification CHAP sur le plan de contrôle LCP. Contrairement aux fournisseurs d'accès de type coaxial, qui ne nécessitent pas une authentification en couche 2 mais sur la base de l'adresse MAC du modem CATV et donc peuvent se contenter d'encapsuler l'Ethernet dans le DOCSIS.

En ce sens, on pourrait voir ces prochaines années l'avancement du Metro Ethernet jusque dans les parties Feeder de l'accès au travers du MPLS avec l'arrivée de la fibre optique dans les foyers. Pour la partie Drop par contre, le MPLS n'a que peu d'intérêt et l'utilisation d'un protocole de type Point à Point ou Ethernet est toujours conseillé.

## 3.2.2 Qualité de Service (QoS)

La qualité de service permet de répondre à certains besoins spécifiques en termes de bande passante, délai et bien d'autres paramètres.

Sans l'application de la QoS, le réseau ne peut fournir aucune garantie que les données soient délivrées comme prévu. Un abonné devrait pouvoir en tout temps avoir accès aux services que l'opérateur lui offre. C'est pourquoi son application est essentielle dans les réseaux Métro accès.

### 3.2.2.1 Critères

La qualité de service peut être appliquée sur un ou plusieurs critères dont voici les plus importants :

Débit :	La bande passante qui peut être attribuée à un service
Délai :	Le temps que met un paquet pour arriver à destination
Gigue :	La variation de délai pendant la transmission de plusieurs paquets
Perte :	Destruction de paquet en cours de route qui peut être due à une surcharge sur le réseau
Déséquencement :	Les paquets n'arrivent pas dans le même ordre qu'ils ont été émis

On peut donc définir des règles en fonction des applications et/ou des clients pour que la qualité soit assurée suivant certains critères.

Il existe trois termes couramment employés pour définir les trois principaux niveaux de qualité de service :

Best effort :	On ne fait aucune différence entre les services et ne fournit aucune garantie. Dans ce cas, aucune règle de QoS n'est appliquée.
Differentiated Service :	Chaque application possède ses propres règles de priorité par rapport aux autres mais aucune garantie n'est fournie.
Guaranteed Service	Des ressources ont été réservées sur le réseau pour certaines applications et peuvent être garantie. Les ressources ne peuvent donc pas être employées par une autre application lorsqu'elles sont inutilisées.

Il existe des technologies permettant d'implémenter la QoS mais peu d'entre elles peuvent offrir le Guaranteed Service.

### 3.2.2.2 Services

Il existe des services qui sont plus ou moins sensibles à la qualité de transmission.

Pour un utilisateur privé les besoins ne sont pas les mêmes que pour une entreprise. Voici donc un tableau montrant les besoins de qualité de service pour une offre tripleplay pour un particulier.

Application	Disponibilité	Temps	Perte
Internet	Bas	Bas	Négatif
Téléphonie	Haut	Critique	Bas
Télévision	Important	Important	Important

Tableau 11: Sensibilité des applications

#### Définition des termes

**La disponibilité :** Signifie que lorsque l'abonné veut utiliser le service, il puisse y avoir accès. Pour cela, il faut que la transmission fonctionne et que la bande passante nécessaire soit disponible (*A ne pas confondre avec le taux de disponibilité*).

**Temps :** Les paquets doivent arriver rapidement et ce délai doit très peu varier

**Perte :** Les paquets doivent pouvoir arriver à destination sans être perdus

Pour une entreprise, nous devrions pouvoir assurer une meilleure disponibilité en leur réservant une certaine bande passante et leur assurer un meilleur délai pour leurs applications en temps réels.

### 3.2.2.3 Technologies

Dans un réseau d'accès d'opérateur, nous pouvons avoir les protocoles suivants dans la couche OSI 2 :

- Ethernet
- Ethernet avec 802.1Q
- PPP
- MPLS
- ATM (tend à disparaître)

La QoS peut également être mis en place sur les couches OSI supérieures mais peu de réseau d'accès vont au-delà de la couche 2. Nous allons donc traiter uniquement des mécanismes permettant de gérer au mieux les goulets d'étranglement dans les réseaux d'accès.

#### Ethernet

Le protocole Ethernet n'a pas été prévu pour faire de la QoS. Cependant, il est quand même possible de définir des règles de QoS en fonction des MAC adresses. Nous pouvons donc distribuer des débits équitablement entre les clients, leur attribuer des priorités différentes ou leur réserver des bandes passantes.

#### Ethernet avec 802.1Q

Dans certains réseaux d'accès, il est possible d'avoir des trames qui possèdent un tag de VLAN 802.1Q. Dans ce tag, il y a un champ dans lequel 3 bits peuvent être utilisés pour indiquer une priorité.

C'est dans le standard 802.1p que l'on trouve la définition des différentes classes de priorités en fonction de la valeur de ses bits. Ce standard a pour avantage d'être géré directement par les switches.

Priorité	Valeur	Type de trafic	Description
<b>0 (basse)</b>	0x1	Background	Trafic non sensible au délai et aux pertes. (P2P)
<b>1</b>	0x2	Spare	Trafic standard avec une priorité plus faible qui permet d'économiser des ressources. (transfert FTP)
<b>2</b>	0x0	Best effort	Trafic normal sans priorité définie (par défaut). (web)
<b>3</b>	0x3	Excellent Effort	Trafic non critique mais sensible aux pertes. (applications d'entreprise)
<b>4</b>	0x4	Controlled Load	Trafic non critique mais sensible aux pertes nécessitant un délai plus faible. (streaming multimédia)
<b>5</b>	0x5	Video	Trafic nécessitant une latence < 100 ms. (visioconférence)
<b>6</b>	0x6	Voice	Trafic nécessitant une latence < 10 ms. (téléphonie)
<b>7 (haute)</b>	0x7	Network Control	Trafic critique sensible au délai et aux pertes qui est nécessaire au bon fonctionnement du réseau. (paquet OSPF)

Tableau 12: Classe de priorité 802.1p

Une trame peut être marquée directement à sa sortie du CPE ou au prochain équipement.

## DiffServ

DiffServ est une architecture réseau qui est actuellement l'implémentation la plus populaire chez les fournisseurs d'accès. Il spécifie comment identifier et traiter le trafic pour faire de la QoS. Il a été documenté dans une multitude de RFC. Il est utilisé principalement avec le protocole IP (RFC 2475) et une adaptation existe pour le MPLS (RFC3270).

DiffServ est relativement complexe, c'est pourquoi nous allons seulement expliquer ce qu'il permet de faire.

Les paquets ou trames qui auront au préalable été identifiés et classifiés selon notre stratégie de QoS. Voici ce que l'on peut faire :

- Réserver une portion définie ou variable de bande passante pour chaque type de trafic.
- Définir la stratégie de suppression des trames lorsque le réseau devient congestionné ou qu'il ne peut pas assurer un délai suffisamment court.
- Définir la priorité des trames dans les files d'attente par rapport à d'autres.

### 3.2.2.4 Conclusion

La qualité de service permet de faire face à des pics de trafic pour pouvoir assurer les services essentiels. Il est important de la mettre en place afin de pouvoir faire des économies. Nous avons donc un réseau qui doit pouvoir au minimum assurer la charge de trafic habituel.

## 3.3 Evolution de la demande

### 3.3.1 Bande passante

Afin de pouvoir dimensionner correctement un réseau Métro-Accès, il est important de pouvoir connaître les besoins des utilisateurs en termes de bande passante.

#### 3.3.1.1 Débits des applications

Voici une liste des applications avec leurs débits respectifs à titre indicatif :

Application	Downstream	Upstream
TV SD	4.5 Mbit/s	64 kbit/s
TV HD	10 Mbit/s	64 kbit/s
TV HD 3D	20 Mbit/s	128 kbit/s
TV UHD 4K	60 Mbit/s	512 kbit/s
TV UHD 8K	200 Mbit/s	1 Mbit/s
VoD SD	3 Mbit/s	128 kbit/s
VoD HD	5 Mbit/s	128 kbit/s
VoD UHD 4K	25 Mbit/s	256 kbit/s
VoD UHD 8K	100 Mbit/s	1 Mbit/s
Vidéoconférence	0.5 Mbit/s	0.5 Mbit/s
Vidéoconférence SD	2 Mbit/s	2 Mbit/s
Vidéoconférence HD	4 Mbit/s	4 Mbit/s
Vidéoconférence UHD 4K	15 Mbit/s	15 Mbit/s
Téléphonie (VoIP)	64 kbit/s	64 kbit/s
Téléphonie (VoIP) HQ	80 kbit/s	80 kbit/s
Jeux vidéo (2014)	384 kbit/s	384 kbit/s à 2 Mbit/s
Interconnexion de réseaux informatiques (2014)	10 à 100 Mbit/s	10 à 100 Mbit/s
Internet (audio/vidéo, 2014)	2 Mbit/s	1 Mbit/s
Internet (audio/vidéo, 2025)	20 Mbit/s	10 Mbit/s
Accès internet minimum (2014)	384 kbit/s	64 kbit/s
Accès internet minimum (2025)	2 Mbit/s	1 Mbit/s

Tableau 13: Débits des applications

### Tendance

De nos jours, ce sont les services de streaming vidéo comme Youtube et Netflix qui sont les plus grands consommateurs de bande passante. C'est également ces services qui deviennent de plus en plus utilisés et qui ont tendance à offrir toujours des résolutions plus hautes.

D'autres services comme le stockage dans le Cloud demandent énormément de bande passante et commencent à être utilisés massivement. Le souci majeur avec ce genre de service est qu'il faut un grand débit pour qu'il soit agréable à être utilisé. Il va engendrer de fort pic de consommation mais il a l'avantage de ne pas utiliser un débit constant.

#### 3.3.1.2 Statistique

Nous allons vous présenter quelques statistiques qui nous ont permis de déterminer les proportions des différents types de clients privés et d'entreprises.

### Equipement TIC

Il est intéressant de connaître les équipements informatiques et de télécommunication que les ménages et la population utilisent. Dans le diagramme ci-dessous, vous pouvez voir que les équipements voient leur progression stagner à partir de 90% et qu'en 4 années à peine, la nouvelle génération de TV s'est imposée à plus de 70%.

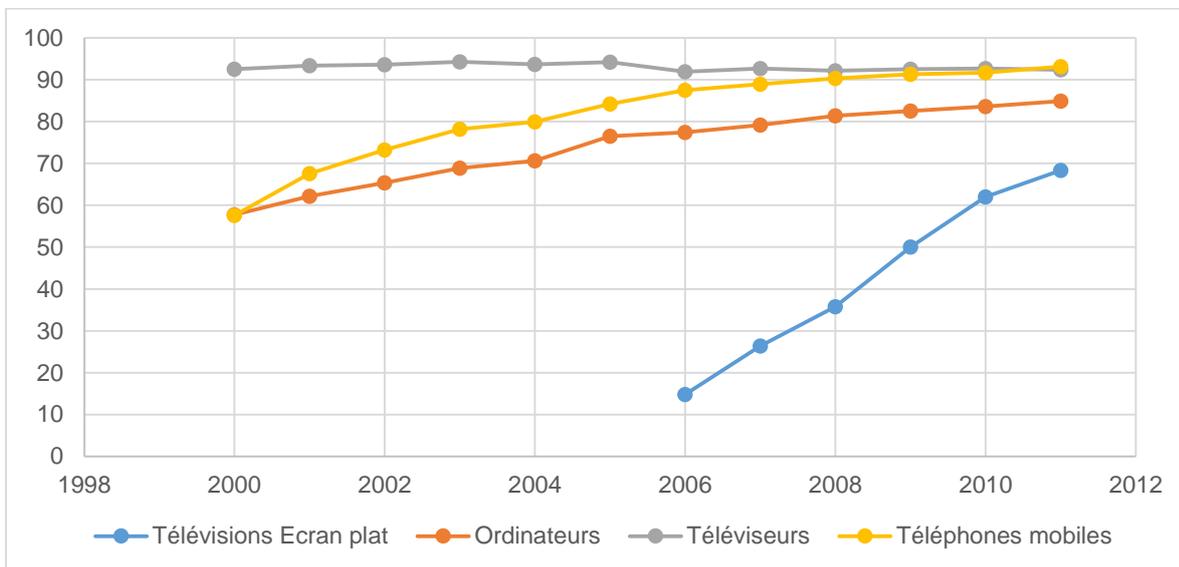


Figure 23: Progression des équipements TIC dans les ménages suisses, en 2011 [ED5]

Dans le diagramme ci-dessous, nous avons le nombre de biens que possède un ménage. Plus de la moitié des ménages détiennent plus d'un ordinateur, généralement un fixe et un portable. Tandis qu'il est moins fréquent d'avoir plus d'une télévision.

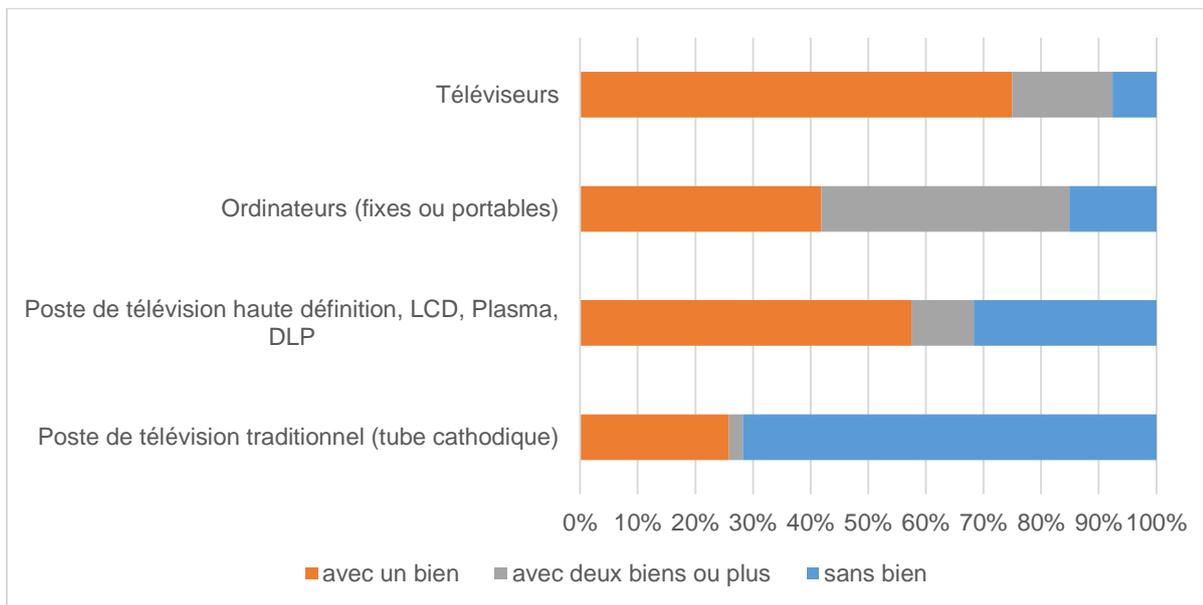


Figure 24: Nombre d'équipements TIC dans les ménages suisses en 2011 [ED5]

### Internet

"Le nombre d'abonné à des connexions internet haut débit a progressé très rapidement entre 1999 et 2007" [ED7]. Voici donc un graphique permettant de se rendre compte de cette progression. A noter qu'entre 2011 et 2012, nous avons eu 2% d'augmentation.

Le terme haut débit est employé pour toutes les connexions utilisant des technologies larges bandes, c'est-à-dire presque la totalité des connexions que l'on a aujourd'hui.

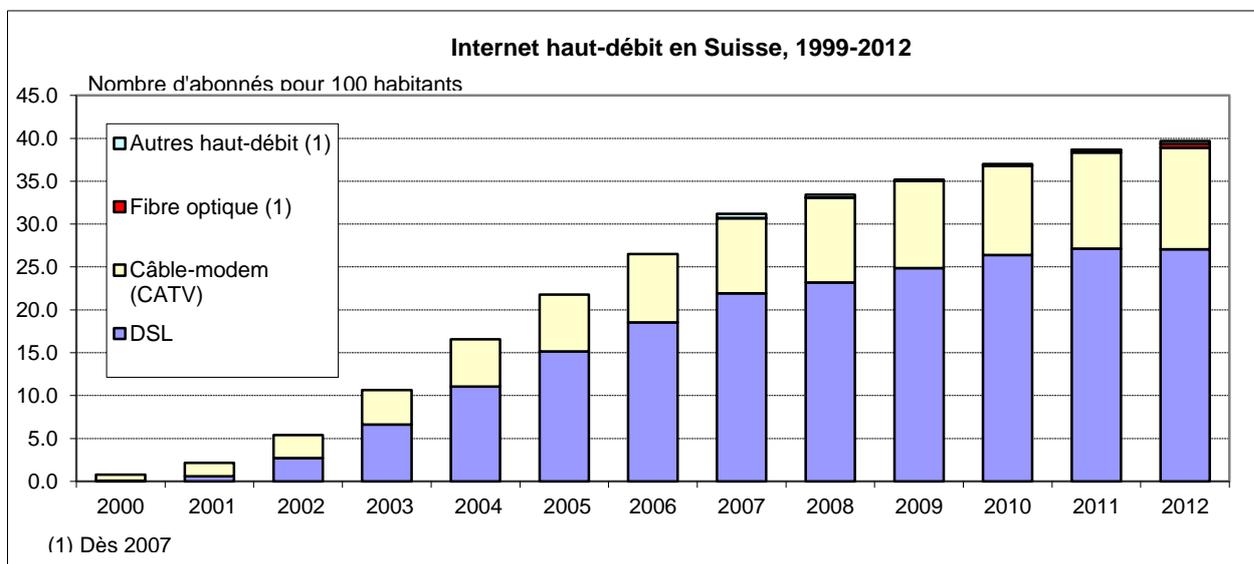


Figure 25: Internet haut-débit en Suisse, 1999-2012 [ED7]

### Entreprises

Il est important de connaître quelles sont les types d'infrastructures que possèdent actuellement les entreprises. Nous avons donc le graphique ci-dessous, qui nous montre le pourcentage des entreprises qui utilisent chacune des technologies.

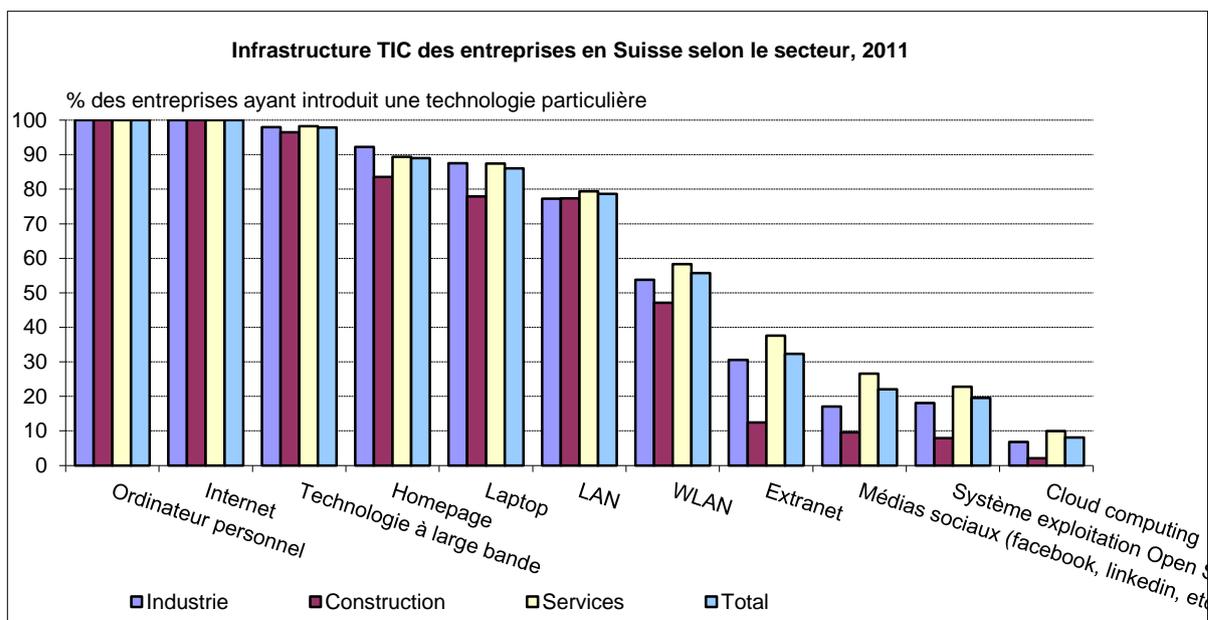


Figure 26: Infrastructure TIC des entreprises en Suisse selon le Secteur, 2011 [ED8]

Nous avons également eu besoin de déterminer la grandeur des différentes entreprises car les besoins dépendent également de leur taille.

Taille des entreprises en équiv. plein temps	Entreprises	
	Nombre	%
Microentreprises (0 à < 10 emp.)	514'736	92.3
Petites entreprises (10 à <50 emp.)	34'940	6.3
Moyennes entreprises (50 à <250 emp.)	6'897	1.2
<b>PME (jusqu'à &lt;250 emp.)</b>	<b>556'573</b>	<b>99.8</b>
<b>Grandes entreprises (250 emp. et +)</b>	<b>1'256</b>	<b>0.2</b>
<b>Total</b>	<b>557'829</b>	<b>100</b>

Tableau 14: Entreprise selon leur taille, 2012 [ED9]

### 3.3.1.3 Clients Privés

Nous allons considérer trois types de clients privés.

#### Client A

Un ménage qui utilise le réseau essentiellement pour la télévision et la téléphonie et utilise sa connexion internet uniquement avec une tablette ou un smartphone. Il possède 1 télévision et opte pour la définition par défaut qui est fourni par l'opérateur.

C'est donc l'offre minimale de l'opérateur qui va être choisie par ce client.

#### Client B

Un ménage qui utilise le réseau pour la télévision, la téléphonie et internet. Il possède 1 à 2 télévisions dont une qui est assez récente (définition actuelle sur le marché). L'accès internet est utilisé quotidiennement pour consulter des e-mails, des pages web, regarder des vidéos en streaming et utiliser quelques services dans le Cloud.

C'est donc l'offre de base que propose l'opérateur qui va être choisie par ce client.

#### Client C

Un ménage particulièrement exigeant et avant-gardiste. Il possède 2 télévisions récentes et regarde des chaînes avec la meilleure définition proposée. Il utilise énormément les services de stockage et de streaming dans le cloud.

C'est donc l'offre plus avancée qui va être choisie par ce client.

### Conclusion

C'est en observant encore les statistiques que nous avons défini de manière approximatif le pourcentage de chaque type de clients. Nous avons tenu compte que les futurs clients sont habitués aux nouvelles technologies.

Type de client	2014	2025
Client A	15%	10%
Client B	65%	50%
Client C	20%	40%

Tableau 15: Estimation des proportions pour chaque type de client privé

### 3.3.1.4 Clients Business

Nous allons considérer trois types d'entreprises, en y recensant leurs besoins pour simplifier le cas. Nous ne considérerons pas les entreprises qui nécessitent une offre sur mesure pour héberger un datacenter. Nous nous focaliserons uniquement sur les PME ou des succursales de grandes entreprises.

#### Entreprise A

L'entreprise possède :

- Plusieurs téléphones mais tous utilisent le même numéro
- Eventuellement une télévision
- 1 à 20 ordinateurs qui nécessitent une connexion internet

L'entreprise utilise internet pour consulter des e-mails, des pages web, regarder des vidéos en streaming et utiliser quelques services dans le Cloud. La connexion internet n'est pas essentielle au fonctionnement de l'entreprise.

#### Entreprise B

L'entreprise possède :

- 3 à 5 téléphones qui utilisent chacun des numéros différents
- Une télévision
- 5 à 50 ordinateurs qui nécessitent une connexion internet

L'entreprise utilise internet tout comme l'entreprise A mais des services sont hébergés dans le Cloud. La connexion internet est donc essentielle au fonctionnement de celle-ci.

Les services dans le Cloud sont les suivants :

- Sauvegarde des données qui peut se faire la nuit
- Messagerie qui est utilisée intensivement
- Applications en ligne qui doivent être assez réactives

#### Entreprise C

L'entreprise possède :

- 5 à 100 téléphones qui utilisent chacun des numéros différents, il faudra compter au maximum 20 appels simultanés
- Deux télévisions
- 50 à 200 ordinateurs qui nécessitent une connexion internet

Pour internet, l'entreprise a les mêmes exigences que l'entreprise B avec les services dans le Cloud suivant en plus:

- Réplication de données (petit volume) en temps réel avec une succursale ou un datacenter
- VoIP sur plusieurs sites
- Vidéoconférence
- Hébergement de données pour une succursale et les employés en déplacement

## Conclusion

Nous avons effectué le même travail qu'avec les clients particuliers pour sortir quelques estimations. Nous n'avons pas séparé la ville et la campagne car proportionnellement, il n'y a quasiment pas de différences.

Type de client	2014	2025
Entreprise A	72%	64%
Entreprise B	4%	8%
Entreprise C	3%	5%
Sans connexion pro	20%	21%
Connexion sur mesure	1%	2%

Tableau 16: Estimation des proportions pour chaque type d'entreprise

### 3.3.1.5 Conclusion

Nous avons estimé les connexions internet qu'il nous faudrait au minimum pour chaque type de client en 2025 et pour les services nous avons repris ce que nous avons mis dans leur description respective. Les débits mentionnés dans le tableau ci-dessous sont les débits que notre réseau d'accès doit pouvoir assurer même lors de fortes charges et les débits qui vont être proposés en moyenne.

Type de client	Service	Débit à assurer [Mbit/s]	Débit maximum [Mbit/s]
<b>Client A</b>	1 x TV HD 1 x Téléphone VoIP 1 x Internet bas débit	20 down 2 up	100 down 20 up
<b>Client B</b>	1 x TV HD 1 x TV UHD 4K 1 x Téléphone VoIP 1 x Internet haut débit	150 down 15 up	300 down 60 up
<b>Client C</b>	1 x TV UHD 4K 1 x TV UHD 8K 1 x Téléphone VoIP 1 x Internet haut débit	300 down 30 up	600 down 120 up
<b>Entreprise A</b>	1 x TV HD 1 x Téléphonie VoIP 1 x Internet haut débit	40 down 5 up	80 down 10 up
<b>Entreprise B</b>	1 x TV UHD 4K 5 x Téléphones VoIP 1 x Internet haut débit	200 down 100 up	400 down 200 up
<b>Entreprise C</b>	2 x TV UHD 4K 20 x Téléphones VoIP 2 x Vidéoconférence HD 1 x Internet haut débit	500 down 500 up	1000 down 1000 up

Tableau 17: Type de client avec leur débit

## 3.3.2 Démographie

### 3.3.2.1 Introduction

Les données démographiques suisses sont importantes dans le cadre de notre projet ; le simulateur devant s'adapter aux différents scénarios (*villes et campagnes*).

Ainsi, dans le cadre de cette analyse une étude des statistiques moyennes en Suisse est réalisée afin d'avoir une vue d'ensemble du pays. En pensant à la validation de notre simulateur, deux lieux types sont choisis et serviront de base de validation vis-à-vis de la pertinence des résultats calculés par notre simulateur.

### 3.3.2.2 Statistiques suisses générales

Le site web de l'Office Fédéral de la Statistique est une immense base de données, gérée par la Confédération. Ce sera donc la référence pour toutes nos statistiques du pays. Afin de pouvoir comparer le dimensionnement du réseau Métro-Accès actuel face à celui du futur, les recherches ont été réalisées pour les années 2013 (*actuel*) et 2025 (*futur*).

Les données sont les suivantes :

	2013	2025	%
<b>Nombre d'habitants [mio hab.]</b>	8.13	8.27	1.69
<b>Densité d'habitants [hab./km<sup>2</sup>]</b>	196.92	200.32	
<b>Superficie [km<sup>2</sup>]</b>	41'284		
<b>Nombre d'habitants par logement [hab./log.]</b>	2.3	2.9	20.68
<b>Nombre de logements [mio log.]</b>	3.53	3.76	6.11
<b>Nombre de bâtiments [mio bat.]</b>	1.68	1.81	7.18
<b>Nombre de logements par bâtiments [mio log./bat.]</b>	2.10	2.07	-1.44 (*)

Tableau 18: Evolution démographique statistique de la Suisse

(\*) Cette statistique de la Confédération est basée sur une extrapolation des 10 dernières années et ne prend pas en compte le fait que certaines communes pourraient faire face à une pénurie de zones à bâtir.

### 3.3.2.3 Ville de référence

Afin de pouvoir faire valider le simulateur, il a fallu sélectionner une ville type de Suisse. Ainsi, Bâle a été choisie pour ses caractéristiques démographiques correspondant aux statistiques moyennes des grandes villes suisses. De plus, il s'agit d'une agglomération bénéficiant des dernières technologies d'accès Internet de par sa troisième position dans le classement des plus grandes villes de Suisse en termes de nombre d'habitants.

Ainsi, les données démographiques de la ville sont les suivantes :

	2013	2025	%
<b>Nombre d'habitants [hab.]</b>	173'894	181'680	4.28
<b>Densité d'habitants [hab. /km<sup>2</sup>]</b>	6'950	7'261	
<b>Superficie [km<sup>2</sup>]</b>	25.02		
<b>Nombre d'habitants par logement [hab./log.]</b>	1.82	1.86	2.15
<b>Nombre de logements [log.]</b>	95'725	97'500	1.82
<b>Nombre de bâtiments [bat.]</b>	18'672	19'000	1.72
<b>Nombre de logements par bâtiments [log./bat.]</b>	5.12	5.13	0.19

Tableau 19: Evolution démographique statistique de la ville de Bâle (BS)

### 3.3.2.4 Village de référence

Toujours dans le but de pouvoir valider le simulateur, le village type de La Roche dans le canton de Fribourg a été choisi. Celui-ci à l'avantage d'être raccordé au réseau téléphonique haut débit actuel de Swisscom ainsi qu'au réseau de télédistribution via le partenaire Gruyère Energie.

Les caractéristiques démographiques de ce village sont les suivants :

	2013	2025	%
<b>Nombre d'habitants [hab.]</b>	1552	1750	11.31
<b>Densité d'habitants [hab./km<sup>2</sup>]</b>	64.5	72.5	
<b>Superficie [km<sup>2</sup>]</b>	24.12		
<b>Nombre d'habitants par logement [hab./log.]</b>	2.2	2.2	0
<b>Nombre de logements [log.]</b>	700	788	11.16
<b>Nombre de bâtiments [bat.]</b>	530	575	7.82
<b>Nombre de logements par bâtiments [log./bat.]</b>	1.32	1.37	3.64

Tableau 20: Evolution démographique statistique du village de La Roche (FR)

### 3.3.2.5 Conclusion

Ces différentes études permettent d'estimer précisément l'évolution de la démographie entre ville et campagne pour ces deux lieux types. Il faut également tenir compte du fait qu'il s'agit de moyennes, et que d'autres villes comme Fribourg par exemple, aura un taux de croissance bien plus élevé.

Dans l'analyse complémentaire ces données seront utilisées afin d'estimer l'infrastructure actuelle de Swisscom et son évolution pour 2025, et ce pour les deux lieux cités.

# 4 Spécifications

Ce chapitre de spécifications a pour but de décrire le fonctionnement et le comportement du simulateur de coûts du dimensionnement du réseau Métro-Accès du futur. Il est également question de définir les données en entrée afin de pouvoir générer correctement les différentes sorties.

## 4.1 Concept de briques

Chaque fournisseur d'accès possédant une architecture actuelle particulière, le dimensionnement du futur sera également propre à chacun. Ainsi, nous avons décidé de partir sur un concept de briques afin de rendre le simulateur le plus modulable possible.

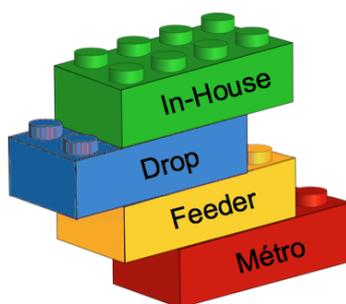


Figure 27: Concept de briques

Chaque section disposera d'une série de briques différentes, correspondantes aux technologies disponibles. Ainsi, les multiples combinaisons possibles permettront un grand nombre de comparaisons.

### 4.1.1 Types de briques

Pour chacune des parties du réseau, nous avons différentes briques possibles :

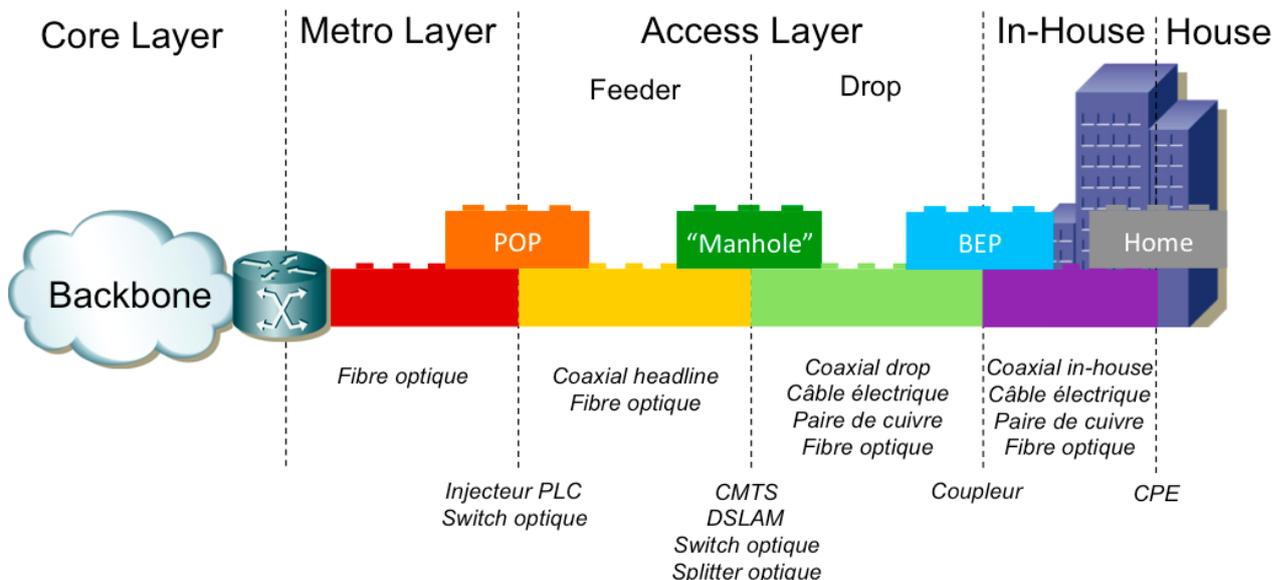


Figure 28: Positionnement des différentes briques dans les sections

Les briques se divisent en deux grandes catégories:

<b>Briques de transmission</b>	Elles se situent dans une section bien précise ; on y trouve le médium de transmission et d'éventuels équipements présents sur la ligne ( <i>comme des amplificateurs par exemple</i> ). Il peut y avoir plusieurs fois la même brique dans différentes sections du modèle. Le coût d'une brique de transmission va dépendre de sa longueur.
<b>Briques d'interconnexion</b>	Elles se situent entre deux sections voisines et permettent de faire le pont entre deux briques de transmission. On y trouve des équipements qui permettent généralement d'interconnecter une brique de la section supérieure à plusieurs briques de la section inférieure.

## 4.2 Définition des entrées/sorties

L'utilisateur du simulateur devra entrer un certain nombre d'informations, décrites dans le schéma suivant :

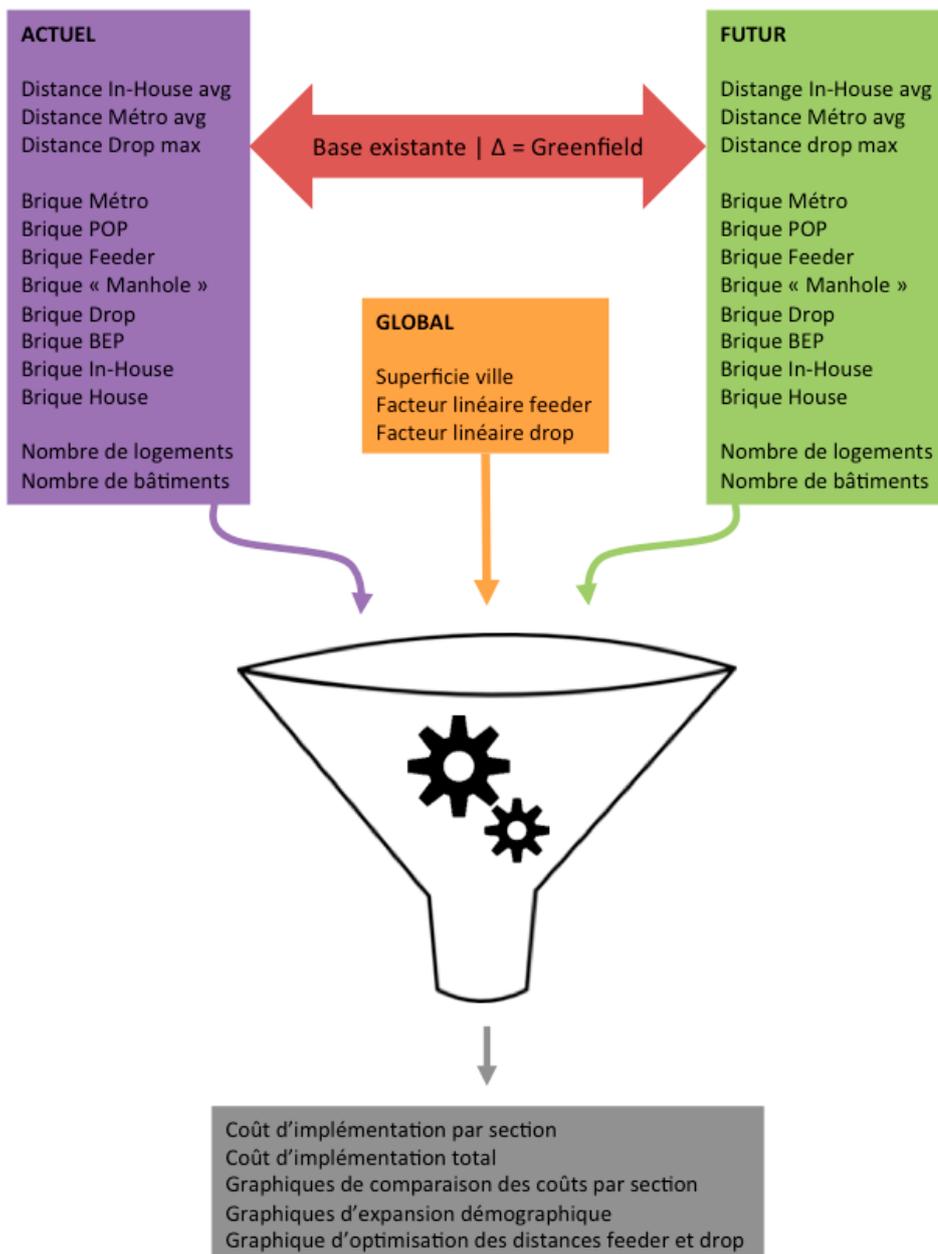


Figure 29: Schéma des entrées/sorties du simulateur

Une gestion de la base existante installée est nécessaire, certaines briques pouvant être réutilisés d'une technologie actuelle à une autre future.

Concernant la démographie nous partons du principe que pour le delta entre l'actuel et le futur, aucune infrastructure Drop et in-house n'existe. Cependant, ces nouvelles installations se connecteront sur la future infrastructure Feeder prévue.

## 4.2.1 Données d'entrée

Ce sont les données qui seront fournies en entrée du simulateur, afin d'être traitées pour générer les sorties.

### 4.2.1.1 Démographie

Dans les données démographiques, la superficie de la ville et le nombre de bâtiments respectivement de logements sont essentiels afin de pouvoir calculer le nombre de raccordements nécessaires.

#### Global

Ce sont les données qui ne changent pas avec le temps.

Donnée	Description
Zone	Nom de la zone, village ou ville sur laquelle est basée la simulation.
Superficie	Superficie en Km <sup>2</sup> de la zone
Nombre de CO	Nombre de Central Office (emplacement où se trouve un POP) dans la zone.
Facteur linéaire Drop	Facteur qui va servir à multiplier la distance à vol d'oiseaux pour obtenir la distance estimée du Drop. Ce facteur dépend de la façon dont les câbles sont placés.
Facteur linéaire Feeder	Idem que le facteur linéaire du Drop mais qui s'applique au Feeder.
Distance moyenne de l'In-House	Distance moyenne de câblage dans un bâtiment.

#### Actuel et prévision future

Ce sont des données qui vont être saisies deux fois, la première pour la date de départ de la simulation et la seconde pour les prévisions futures.

Donnée	Description
Année	Année pour le résultat de la simulation
Logements	Nombre de logements dans la zone
Bâtiments	Nombre de bâtiments dans la zone
Distance du Métro	Distance moyenne du prochain POP dans le réseau Métro
Distance Drop max	Distance du Drop pour le logement le plus éloigné

### 4.2.1.2 Bande passante

Comme décrit auparavant dans l'analyse nous allons définir des types de clients et définir leurs besoins en bande passante ainsi que leur proportion envisagée pour le futur. Ces informations seront uniquement à titre indicatif, la vérification finale étant faite manuellement.

Donnée	Description
Nom	Nom du client type
Description	Description de ce client type
Proportion	Proportion envisagée pour ce type de client
Upstream	Débit upstream minimum nécessaire
Downstream	Débit downstream minimum nécessaire

### 4.2.1.3 Briques

Il faudra au préalable estimer les différents coûts et caractéristiques de chaque brique avant de pouvoir les décrire dans le système.

#### Transmission

Donnée	Description
Nom	Nom de la brique
Description	Description de la brique
Existant	La quantité déjà présente dans la zone. Il n'y aura pas de coût de mise en place pour celles-ci.
Coût d'installation	Coût unique de d'installation en Fr.
Coût longueur	Coût kilométrique en Fr.

#### Interconnexion

Donnée	Description
Nom	Nom de la brique
Description	Description de la brique
Coût d'installation	Coût unique d'installation en Fr.
Nombre de ports	Nombre de briques de transmission côté accès que l'on peut interconnecter
Downstream	Débit downstream par lien côté Métro

#### Compatibilité

Une table de correspondance sera établie afin de lister les compatibilités entre deux briques adjacentes.

## 4.2.2 Données de sortie

Le simulateur retournera essentiellement les coûts d'implémentation et d'exploitation des technologies choisies, mais également des graphiques.

#### Coûts

Nous aurons à chaque fois le coût de mise en place et le coût d'exploitation en Fr.

Donnée	Description
Coût par bâtiment	Coûts par bâtiment en comprenant l'accès et le Métro.
Coût par logement	Coût par logement dans un bâtiment en comprenant l'accès et le Métro.
Métro	Coût total du réseau Métro
Accès	Coût total du réseau d'Accès
Drop	Coût total du réseau Drop
Feeder	Coût total du réseau Feeder
Métro-Accès	Coût total de tout le réseau
In-House	Coût total du réseau In-House
Home	Coût total du réseau Home

## 4.3 Limites du simulateur

D'après ces spécifications, découlent des limites. Dans le contexte de ce projet, il a fallu faire des choix pour atteindre les objectifs dans les temps.

### 4.3.1 Coût

Le simulateur ne prend pas en compte les coûts d'exploitation des technologies architectures proposées.

En matière d'évolutivité, nous pourrions réutiliser des briques de la technologie actuelle pour les besoins futurs s'il y a des compatibilités. Cependant, le simulateur ne sera capable que de garder la brique actuelle ou de la changer. La mise à jour du matériel actuel n'est pas prise en compte.

### 4.3.2 Résultats

Nous obtiendrons des résultats pour une topologie et technologie donnée en entrée. Cependant les calculs étant basés sur un modèle mathématique de moyennage, les résultats perdront en précision plus l'aire de simulation sera grande et diversifiée en terme de densité.

## 4.4 Choix du logiciel

Le simulateur pourrait être réalisé sur plusieurs plateformes différentes. Afin de faire le meilleur compromis entre tous les facteurs, une analyse multicritères a été réalisée.

### 4.4.1 Définition des critères

01	Modularité de la plateforme offerte pour le remplissage de tous les points du cahier des charges.
02	Aisance de prise en main de la plateforme, du point de vue du concepteur.
03	Aisance de prise en main de la plateforme, du point de vue de l'utilisateur final qui utilisera le simulateur.
04	Compatibilité de la plateforme sur les environnements standards des différents systèmes d'exploitation.
05	Selon nos connaissances, temps de prise en main de la plateforme.
06	Possibilité de réaliser des calculs mathématiques standards de manière simple, afin de pouvoir calculer les différentes valeurs de retour.
07	Possibilité de pouvoir générer simplement des graphiques clairs et lisibles de différentes valeurs.
08	Stockage de données référentielles ( <i>coûts, valeurs de base, etc...</i> ) afin de pouvoir les utiliser aisément dans le calculateur. Celles-ci doivent pouvoir être facilement modifiables.
09	Communauté de la plateforme active, mettant à disposition des ressources et des exemples.
10	Possibilité de porter aisément le simulateur fini d'une machine à une autre.
11	Facilité d'installation finale du simulateur vis-à-vis de la plateforme ( <i>dépendances, DLL, etc...</i> ).
12	Qualité de l'aide mise à disposition de la part du fabricant, concernant la plateforme elle-même.

## 4.4.2 Tableau multicritères

Critères et éléments de décision	Pond.	Application web		Microsoft Excel		Application Java		Matlab	
		Pts.	Val.	Pts.	Val.	Pts.	Val.	Pts.	Val.
01 Modularité de conception	8	9	72	6	48	9	72	5	40
02 Facilité de prise en main (concepteur)	5	7	35	10	50	5	25	5	25
03 Facilité de prise en main (utilisateur)	8	7	56	9	72	7	56	3	24
04 Compatibilité utilisateur	9	9	81	9	81	8	72	6	54
05 Temps nécessaire à la conception	9	2	18	8	72	2	18	2	18
06 Disponibilité fonctions mathématiques	9	6	54	9	81	6	54	10	90
07 Possibilité génération de graphiques	7	5	35	10	70	5	35	10	70
08 Stockage de données référentielles	7	9	63	7	49	9	63	8	56
09 Ressources communautaires	5	8	40	8	40	8	40	4	20
10 Portabilité	9	9	81	9	81	8	72	3	27
11 Facilité d'installation	4	9	36	6	24	9	36	4	16
12 Aide fabricant	4	8	32	7	28	6	24	6	24
<b>TOTAL</b>			<b>603</b>		<b>696</b>		<b>567</b>		<b>464</b>

## 4.5 Conclusion

De par cette spécification, nous avons une vision fonctionnelle claire du simulateur, ainsi que des paramètres d'entrée/sortie.

Nous sommes également conscients des limites que le modèle impliquera aux résultats.

# 5 Analyse complémentaire

Cette seconde analyse va nous permettre d'obtenir toutes les informations techniques ou nécessaires à la réalisation de notre simulateur selon la documentation de Spécification établie.

La première partie consistera à trouver les coûts des différents éléments présents dans les briques afin de constituer la base de données des valeurs de référence.

Dans un deuxième temps, une estimation la plus précise possible d'une topologie dans les deux lieux types sera réalisée afin de constituer nos valeurs de référence pour la phase de validation du simulateur.

## 5.1 Coûts

Pour chacune des différentes technologies et topologies étudiées dans le document d'analyse, nous avons ressorti le matériel (actif et passif confondu), puis chiffré sa valeur par référence ou estimation.

### 5.1.1 CATV

Matériel/Travail	Unité	Prix [CHF]
Câble coaxial distribution (12-25mm)	km	2'000.-
Câble coaxial raccordement (6-12 mm)	km	1'000.-
Ampli bidirectionnel DOCSIS 3.0	ampli	200.-
Ampli bidirectionnel DOCSIS 3.1	ampli	300.-
CMTS DOCSIS	châssis	5'000.-
CMTS DOCSIS 3.1, lien îlot	port	300.-
Modem DOCSIS 3.1	modem	150.-

### 5.1.2 DSL

Matériel/Travail	Unité	Prix [CHF]
Mini DSLAM G.fast, lien	port	150.-
Modem G.fast	modem	150.-

### 5.1.3 PLC

Matériel/Travail	Unité	Prix [CHF]
Modem PLC	modem	150.-
Coupleur	coupleur	75.-
Injecteur PLC	injecteur	300.-

## 5.1.4 FTTX

Matériel/Travail	Unité	Prix [CHF]
Câble de 4 FO SM Indoor	km	1'210.-
Câble de 4 FO SM Outdoor	km	820.-
Câble de 8 FO SM Outdoor	km	1'490.-
Câble de 12 FO SM Outdoor	km	2'590.-
Câble de 48 FO SM Outdoor	km	3'720.-
Câble de 96 FO SM Outdoor	km	4'590.-
Câble de 216 FO SM Outdoor	km	13'160.-
Câble de 288 FO SM Outdoor	km	17'000.-
Câble de 432 FO SM Outdoor	km	21'490.-
Câble de 576 FO SM Outdoor	km	31'870.-
Pose du BEP FTTH	bâtiment	1'500.-
PON Splitter 1:64	splitter	20.-
Switch Chassis	châssis	5'000.-
Switch, lien 10G	port	600.-
Switch, lien 40G	port	2'000.-
Switch, lien 100G	port	5'000.-
Switch, lien accès 1G	port	100.-
Switch, lien PON	port	400.-
Switch 24 ports 1G	switch	4'500.-
Switch 48 ports 1G	switch	8'500.-
Modem FTTH	modem	150.-
Modem PON	modem	200.-
Raccordement d'une fibre (matériel de raccordement + travail)	fibre	20.-

## 5.1.5 Autres

Matériel/Travail	Unité	Prix [CHF]
Inventaire des fibres	fibre	10.-
Tirage de ligne Drop	km	5'000.-
Tirage de ligne Feeder	km	7'500.-

### 5.1.5.1 Coût de la fibre optique avec génie civil

Pour le calcul du coût de la fibre optique, nous nous sommes basés sur le prix du marché pour la location de fibre qui est aux alentours de 20 centimes le mètre par année.

Dans ce prix tout est compris, le matériel, les travaux d'installation et de génie civil ainsi que les frais d'administration et d'exploitation.

Le problème est qu'à partir de ce prix, il nous faut connaître combien coûte le kilomètre à l'investissement. Les acquéreurs ont le droit d'exploitation des fibres qu'ils ont installées pendant 30 ans mais en général les sociétés cherchent à amortir leur investissement en 17 ans [COU11] tout en gagnant des intérêts.

C'est pourquoi nous n'allons pas compter les frais de génie civil et nous nous baserons sur les prix d'un revendeur de fibres optiques national. Les coûts d'installation (*tirage, soufflage et frais de travail compris*) ont été estimés avec nos professeurs selon leurs expériences professionnelles.

## 5.1.6 Recommandations OFCOM

Dans le marché libéralisé de la fibre optique, l'Office Fédéral de la Communication a édité un dossier contenant les directives techniques des installations FTTH de couche 1 à l'intérieur des bâtiments afin de réguler et d'optimiser les différents déploiements. Ce document très complet traite bon nombre de points tels que la qualité minimale de la fibre, les couleurs autorisées, etc..., qui ne nous concernent pas directement dans ce travail.

Cependant, un point important est à relever et à prendre en compte pour le dimensionnement : 4 fibres par ménage doivent impérativement être tirées. Ainsi, dans le plan de déploiement national de Swisscom en partenariat avec d'autres fournisseurs d'accès, la répartition se fait ainsi :

1. Appartient à Swisscom
2. Peut-être louée par un fournisseur d'accès
3. Réserve
4. Réserve

Ensuite, dans le BEP seule 2 fibres sont raccordées (*soudées*) au Manhole, les deux autres étant laissées enroulées pour une éventuelle utilisation future.

Entre le POP et les Manholes, respectivement au niveau du Feeder, il faut toujours doubler le nombre de fibres afin qu'elles puissent être utilisées par un autre opérateur.

## 5.2 Calcul de l'infrastructure des lieux types

Cette seconde partie est une estimation de deux types de réseaux, l'un dans une ville (Bâle) et l'autre dans une campagne (La Roche). Celle-ci nous servira de base pour vérifier la pertinence face à la réalité des valeurs calculées par notre simulateur.

### 5.2.1 Ville de Bâle

Pour la ville de Bâle, nous avons choisi d'estimer le réseau VDSL actuellement en place par l'opérateur national Swisscom.

$$\text{Nombre de logements moyen par central} : \frac{95'725 \text{ logements}}{12 \text{ centraux}} = \underline{7'977 \text{ logements /central}}$$

$$\text{Superficie moyenne par central} : \frac{25.02 \text{ km}^2}{12 \text{ centraux}} = \underline{2.09 \text{ km}^2/\text{central}}$$

$$\text{Distance moyenne entre un central et un manhole} = \sqrt{\frac{2.09}{\pi}} * 1.75 = \underline{1.42 \text{ km}}$$

$$\text{Nombre de DSLAMS à 48 ports nécessaires} = \frac{95'725 \text{ logements}}{48 \text{ ports}} = \underline{1'994.27 \text{ DSLAMS}}$$

$$\text{Nombre de modems} = \text{nombre de logements} = \underline{95'725 \text{ modems}}$$

## 5.2.2 Village de La Roche

Pour le village de La Roche, nous avons choisi d'estimer le réseau FTTH tel qu'il serait en place par le projet FTTH-FR.

$$\text{Distance moyenne entre le central optique et un logement} = \sqrt{\frac{24.12}{\pi}} * 1.75 = \underline{4.84 \text{ km}}$$

$$\text{Distance estimée entre le central optique et le réseau Core} = \underline{20 \text{ km}}$$

$$\text{Nombre de switchs optiques 48 ports} = \frac{700 \text{ logements}}{48 \text{ ports}} = \underline{14.5 \text{ switchs}}$$

$$\text{Distance câblage (optique) total} = 700 * 4.84 + 20 = \underline{3'408 \text{ km}}$$

## 5.3 Conclusion

Grâce à cette étape, nous avons toutes les données de référence en main pour commencer la conception du simulateur.

Cette phase d'analyse complémentaire nous a permis de renseigner les informations techniques manquantes et décrites dans les spécifications après la première phase d'analyse.

# 6 Conception

Ce chapitre de conception nous permet de décrire le développement du simulateur en mettant en avant les démarches et les idées utilisées. Cela permettra à une personne externe de pouvoir reprendre le développement en vue d'y ajouter des fonctionnalités plus ciblées pour de nouveaux cas d'utilisation.

## 6.1 Modélisation

Avant de penser au processus d'implémentation de notre simulateur, nous avons représenté nos données sous forme d'un modèle relationnel. Ainsi, cette image *idéale* des données va nous permettre de mieux imaginer sa transposition sur Excel.

### 6.1.1 Représentation du modèle relationnel

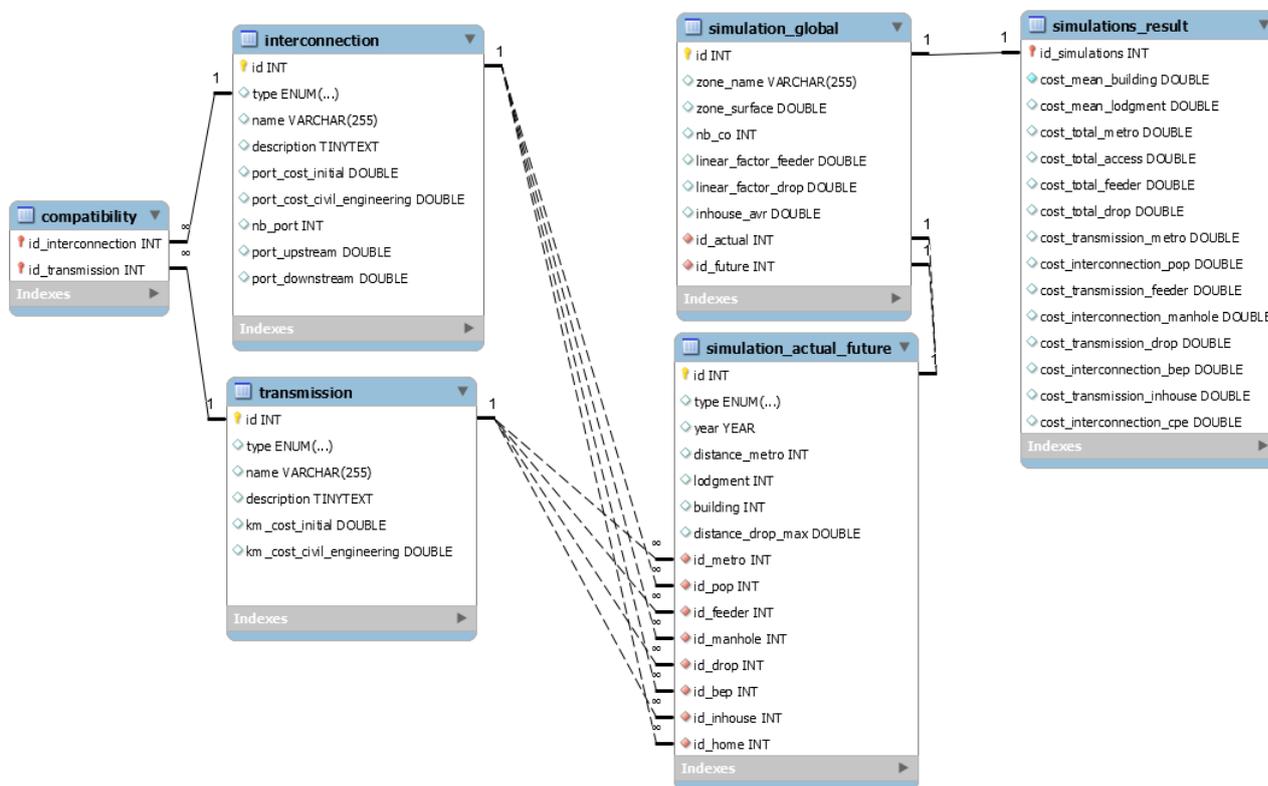


Figure 30 : Modèle relationnel de données

### 6.1.2 Transposition du modèle sur Excel

De cette représentation relationnelle idéale, nous avons pu adapter le modèle pour Excel. Ainsi, une *table* correspond à un *tableau* dans Excel.

Afin de garantir la compatibilité inter-briques des saisies de l'utilisateur dans les données de référence, nous avons choisi de créer un tableau sous Excel, corrélant les identifiants des briques compatibles. Cette tâche étant une source d'erreur, il a été décidé de créer un assistant graphique en VBA pour l'ajout d'une nouvelle entrée. Cet outil sera décrit plus amplement au point traitant de la Logique Applicative.

## 6.2 Logique métier

### 6.2.1 Calculs intermédiaires

Afin de pouvoir calculer les différents coûts décrits dans la documentation de spécification, nous avons établi ci-dessous les calculs intermédiaires nécessaires pour y parvenir :

- $NbPopAct = \frac{nbManholeEltAct}{portPerUnit}$
- $NbPopFut = \frac{nbManholeEltFut}{portPerUnit}$
- $CostPop = (ActPop == FutPop) ? (NbPopFut - NbPopAct) * TotalInitCost : NbPopFut * TotalInitCost$
- $NbLodgPerCOAct = \frac{ActLodgment}{NbCO}$
- $NbLodgPerCOFut = \frac{FutLodgment}{NbCO}$
- $SurfacePerCO = \frac{Surface}{NbCO}$
- $DistanceCOToLodg = \sqrt{\frac{SurfacePerCO}{\pi}} * LinearFactorFeeder$
- $CostMetro = (ActMetro == FutMetro) ? (DstMetroFut - DstMetroAct) * TotalKmCost : DstMetroFut * TotalKmCost$
- $DstFeedAct = DistCentrLodg * NbManhAct$
- $DstFeedFut = DistCentrLodg * NbManhFut$
- $CostFeeder = (ActFeed == FutFeed) ? (DstFeedFut - DstFeedAct) * TotalKmCost : DstFeedFut * TotalKmCost$
- $TotalDstDropAct = DstDropAct * NbLodgAct$
- $TotalDstDropFut = DstDropFut * NbLodgFut$
- $CostDrop = (ActDrop == FutDrop) ? (DstDropFut - DstDropAct) * TotalKmCost : DstDropFut * TotalKmCost$
- $DstInhAct = InhouseAverage * NbLodgAct$
- $DstInhFut = InhouseAverage * NbLodgFut$
- $CostInhouse = (ActInh == FutInh) ? (DstInhFut - DstInhAct) * TotalKmCost : DstInhFut * TotalKmCost$
- $SurfaceManhAct = \pi * DstDropAct^2$
- $SurfaceManhFut = \pi * DstDropFut^2$
- $NbManhLocAct = \frac{Surface}{SurfaceManhAct}$

- $NbManhLocFut = \frac{Surface}{SurfaceManhFut}$
- $NbManhEltAct = \frac{ActLodgment}{\frac{NbManhLocAct}{PortsPerUnit}} * NbManhLocAct$
- $NbManhEltFut = \frac{ActLodgment}{\frac{NbManhLocFut}{PortsPerUnit}} * NbManhLocFut$
- $CostManhole = (ActManh == FutManh) ?$   
 $(NbManhEltFut - NbManhEltAct) * (CostPerPort * PortsPerUnit) + (NbManhEltFut -$   
 $NbManhEltAct) * InstallationCosts :$   
 $NbManhEltFut * (CostPerPort * PortsPerUnit) + NbManhEltFut * InstallationCosts$
- $NbBEPAct = NbBuildAct$
- $NbBEPFut = NbBuildFut$
- $NbHomeAct = NbLodgAct$
- $NbHomeFut = NbLodgFut$
- $CostBEP = (ActBEP == FutBEP) ? (NbBuildFut - NbBuildAct) * TotalInitCost$   
 $: NbBuildFut * TotalInitCost$
- $CostHome = (ActHome == FutHome) ? (NbLodgFut - NbLodgAct) * TotalInitCost$   
 $: NbLodgFut * TotalInitCost$
- $LodgPerBuildAct = \frac{NbLodgAct}{NbBuildAct}$
- $LodgPerBuildFut = \frac{NbLodgFut}{NbBuildFut}$
- $NbManhPerCOAct = \frac{NbManhLocAct}{NbCO}$
- $NbManhPerCOFut = \frac{NbManhLocFut}{NbCO}$
- $NbLodgPerManhAct = \frac{NbLodgAct}{NbManhLocAct}$
- $NbLodgPerManhFut = \frac{NbLodgFut}{NbManhLocFut}$
- $NbBuildPerManhAct = \frac{NbBuildAct}{NbManhLocAct}$
- $NbBuildPerManhFut = \frac{NbBuildFut}{NbManhLocFut}$

## 6.2.2 Calculs de sections

Finalement, nous avons pu réunir ces différents calculs intermédiaires pour parvenir aux calculs de sections suivants :

- $Metro = CostMetro$
- $Feeder = CostFeeder + CostPOP$
- $Drop = CostDrop + CostManhole$
- $Access = Feeder + Drop$
- $Inhouse = CostInhouse + CostBEP$
- $House = CostHome$
- $TOTAL = Metro + Access + Inhouse + House$
- $Building = \frac{Metro+Access}{NbBuildFut}$
- $Lodgment = \frac{TOTAL}{NbLodgFut}$
- $InHousePerLodg = \frac{Inhouse}{NbLodgFut}$
- $HousePerLodg = \frac{House}{NbLodgFut}$

### Légende de notation

$if(a==b) x=y else x=z; \rightarrow x = (a==b) ? y : z$

## 6.3 Logique applicative

### 6.3.1 Compatibilité inter-briques

La compatibilité entre les différentes briques de références et sections est vérifiée à l'aide d'une formule Excel :

```
=IF(ISNA(MATCH(brick1&" ";"&brick2;TableCompatibility[Lookup];0));"NOK";"OK")
```

Ainsi, cette formule retourne **OK** ou **NOK** dans la cellule au dessous de la jonction entre deux briques, selon que l'association est présente ou pas dans la table de compatibilité (*Onglet Compatibility*).



Figure 31 : Exemple de compatibilité entre 2 briques

Comme défini dans la documentation de spécification, il ne s'agit que d'une vérification de compatibilité. Il appartient à l'utilisateur du simulateur de choisir des entités compatibles afin d'assurer la cohérence des résultats retournés.

## 6.3.2 Interface d'ajout de compatibilité

Afin de rendre l'ajout d'une compatibilité inter-brique aisée pour l'utilisateur, une interface graphique a été développée en VBA. En pressant sur le bouton **Add** de l'onglet **Compatibility**, la personne n'a plus qu'à renseigner les champs demandés (*les listes déroulantes sont remplies de manière automatique avec uniquement les résultats possibles selon la sélection précédente*).

Figure 32 : Assistant d'ajout d'une compatibilité

À la validation, l'interface graphique va automatiquement ajouter une nouvelle entrée dans le tableau.

Transmission ID	Transmission Type	Transmission Name	Interconnection ID	Interconnection Type	Interconnection Name	Lookup
2	Metro	Optical fiber	1	POP	PLC injector	2;1
2	Metro	Optical fiber	2	POP	Optical Switch 48 ports	2;2

Figure 33 : Exemple d'entrée de compatibilité inter-briques

Pour supprimer une compatibilité inter-briques, il suffit de supprimer directement la ligne relative dans le tableau.

Le code VBA et l'interface graphique relative sont disponibles dans la classe `UserFormCompatibility` du fichier Excel.

## 6.3.3 Remplissage des Combobox

Dans la feuille **Input**, le remplissage des listes déroulantes s'effectue de manière dynamique selon les informations entrées dans les onglets **Transmission** et **Interconnection** pour chacune des briques.

Cette opération de remplissage est effectuée à l'aide d'une fonction VBA appelée lors du clic sur le bouton **Refresh** de la feuille **Input**.

Présente dans la classe **SheetInput**, le code de la fonction `UpdateCombobox()` opère de la manière suivante :

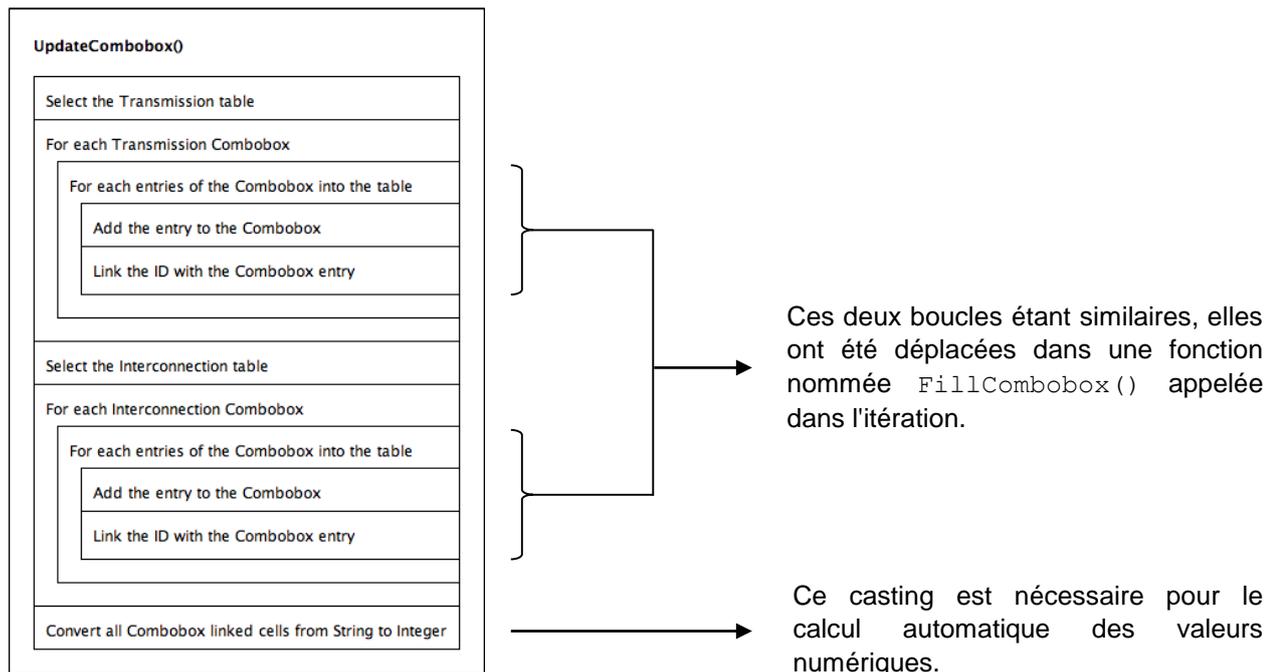


Figure 34 : Structogramme de la fonction

### 6.3.4 Graphique d'optimisation de la distance d'accès

Le but du graphique d'optimisation des distances Feeder/Drop est d'afficher visuellement l'influence de ces dernières sur le coût global du Métro-Accès pour ainsi trouver les valeurs idéales. Une macro VBA a donc été développée afin de remplir un tableau des différentes valeurs selon les distances choisies :

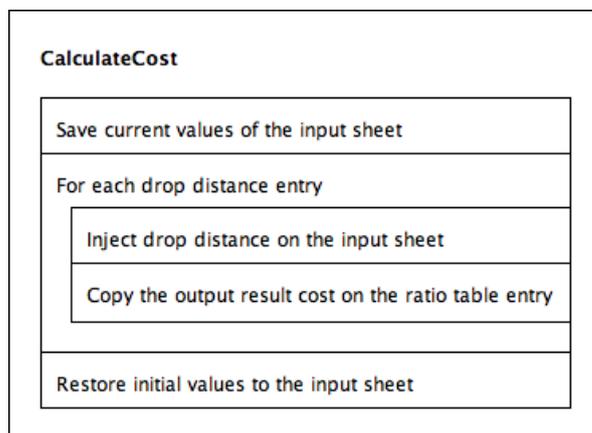


Figure 35 : Structogramme de la fonction `CalculateCost()`

Sur le graphique de sortie, généré à partir des valeurs retournées par la macro dans le tableau, la distance optimale est indiquée à l'aide d'une barre verticale rouge.

---

## 6.4 Logiciel

---

### 6.4.1 Compatibilité

La pleine compatibilité du simulateur est garantie pour la configuration logicielle suivante :

OS :	Microsoft Windows 7 SP1 à 8.1
Office :	Excel 2013 SP1
.NET :	Framework VB.NET 4.0

OS X n'est pas compatible avec le simulateur, la version Mac d'Excel ne prenant pas en charge les Combobox de type ActiveX. *Un workaround consisterait à entrer manuellement les ID des briques dans les cellules liées aux listes déroulantes.*

Pour les versions Windows ayant des problèmes avec les macros VBA, celles-ci ont été pensées de sorte qu'elles ne soient pas essentielles au but premier du simulateur. Il est donc possible de l'utiliser, mais de manière moins agréable (*pas d'assistant d'ajout des compatibilités, affichage des ID au lieu des noms pour la sélection des briques, etc...*).

### 6.4.2 Licence

Comme tous logiciels, il est important de définir une licence afin que l'utilisateur puisse connaître les conditions d'utilisation et de redistribution. Nous avons donc opté pour la licence MIT qui est très souple et permettra au projet d'être adapté et réutilisé à volonté.

---

## 6.5 Conclusion

---

Comme décrit dans ce chapitre, le simulateur utilise des outils propriétaires à Excel. Les fonctionnalités simples sont implémentées à l'aide de formules et les opérations nécessitant un traitement des données de plus haut niveau sont gérées par des macros VBA. Cette approche confère une plus grande évolutivité au simulateur et une grande facilité d'adaptation par des personnes tierces pour l'implémentation de nouvelles fonctionnalités.



# 7 Tests et vérification

Ce chapitre de tests et vérification nous permet de décrire et valider à la fois le bon fonctionnement du simulateur ainsi que les résultats produits par celui-ci. Les tests nous aident à corriger notre simulateur jusqu'à obtenir le résultat désiré.

## 7.1 Validation du simulateur

Nous avons tout d'abord préparé une liste de tests afin de vérifier le bon fonctionnement de notre simulateur sur Excel. Puis nous avons effectué tous les tests, corrigé les problèmes et recommencé en modifiant à chaque fois la version de notre simulateur.

### 7.1.1 Liste de tests

Nous avons élaboré une liste de tests que vous trouverez en annexe 4. Les tests ont été effectués sur l'environnement décrit dans le rapport de conception.

La majorité de ces tests sont basés sur les calculs détaillés dans le chapitre de conception. Les tests ont été séparés par feuille de calcul.

### 7.1.2 Résultat des tests

Nous avons commencé à faire des tests à partir de la version BETA 2 de notre simulateur.

Version	Notes
<b>BETA 2</b>	Tous les tests ont été effectués et quelques modifications sont nécessaires.
<b>BETA 3</b>	Correction des erreurs de la BETA 2. Ajout de fonctionnalité: - Diagramme pour calculer les coûts en fonction de la distance Feeder/Drop Tous les tests ont passé.
<b>BETA 4</b>	Ajout de fonctionnalité: - Les calculs ne sont plus basés sur le ratio de distance Feeder/Drop mais sur une distance maximale du Drop. - Le diagramme avec la fonction des coûts a également été adapté et des informations ont été ajoutées comme le nombre de logement par Manhole et par bâtiment. Tous les tests ont passés.
<b>V1.0</b>	Modification de mise en page sur les feuilles "Input" et "Output". Tous les tests ont passés.

Tableau 21: Notes de tests sur les versions

Le simulateur est prêt à être utilisé pour réaliser les simulations nécessaires à la poursuite du projet.

## 7.2 Validation des résultats

Ce sous-chapitre vise à valider les résultats obtenus par le simulateur. Pour cela, nous devons avoir quelques sources pour comparer les résultats obtenus.

## 7.2.1 Littérature

Nous avons trouvé un ouvrage qui nous fourni certains coûts. Voici quelques informations qui pourraient être utiles pour vérifier les simulations.

Il est dit que si le POP se trouve à 2 Kms du BEP le coût est de tout de façon moins cher avec du AON, de même pour le PON lorsqu'il y plus de 10 Kms entre le POP et le BEP.

Voici ce que nous avons déduit pour le coût de l'accès pour un CO avec 10'000 raccordements :

	Section Drop	Section Feeder	Section Access
AON	Fr. 119'000	Fr. 51'000	Fr. 170'000
PON	Fr. 110'000	Fr. 49'000	Fr. 159'000

Tableau 22: Coût calculé et déduit selon l'ouvrage [TEV1]

### Remarques

Les coûts sont calculés avec des technologies relativement anciennes qui fonctionnent à 100 Mbps et ils ne comprennent pas le POP.

AON Switchs de 75 ports placés au niveau du "Manhole".

PON Utilise deux splitters, le premier 1:8 et le deuxième 1:4, ce qui fait 1 fibre partant du POP pour 32 raccordements.

Nous avons également pu calculer les proportions par rapport au coût total des différentes sections. Il faut savoir que la source n'est pas toute récente car on parle de migration de l'ADSL vers les différentes technologies du moment, cependant pour les technologies actuelles, ces proportions ne devraient pas changer énormément.

Technologie	Total	POP	Section Feeder	Section Drop	Section In-House
VDSL	100%	3%	6%	26%	65%
AON	100%	1%	12%	57%	30%
P2P	100%	4%	13%	55%	28%
PON	100%	5%	5%	52%	38%

Tableau 23: Proportion des coûts pour chaque section [TEV2]

Technologie	Total	POP	Section Feeder	Section Drop	Section In-House
VDSL	100%	100%	100%	100%	100%
AON	264%	88%	528%	579%	122%
P2P	274%	365%	594%	580%	118%
PON	282%	470%	235%	564%	165%

Tableau 24: Proportion des coûts pour chaque technologie par rapport au VDSL [TEV2]

Nous avons également des données plus récentes qui proviennent d'une étude de British Telecom. Dans le FTTC c'est le G.fast qui va être mis en place pour utiliser les paires de cuivre existantes.

	Total	Génie civil	CPE	In-House + BEP	Manhole	Equipements
<b>FTTH</b>	100%	62%	6%	25%	5%	2%
<b>FTTC</b>	100%	56%	11%	existant	3%	30%

Tableau 25: Proportion des coûts [TEV3]

	Total	Génie civil	CPE	In-House + BEP	Manhole	Equipements
<b>FTTH</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>FTTC</b>	42%	38%	77%	existant	25%	630%

Tableau 26: Proportion des coûts par rapport au FTTH [TEV3]

## 7.2.2 Personnes de contact

Afin de vérifier si les données sont en rapport avec la réalité, nous avons la possibilité de présenter les résultats à des personnes ayant de l'expérience dans le milieu afin de nous donner un retour.

## 7.3 Conclusion

Pour cette partie du projet, nous avons pu valider le bon fonctionnement du simulateur. En ce qui concerne les résultats mêmes, nous avons défini ce qu'il faudra tenir en compte afin de savoir si le résultat s'approche de la réalité ou non car ce sont les données renseignées dans le simulateur qui vont influencer ces résultats. La validation sera donc faite de manière plus subjective et accompagnera chacune des simulations.



# 8 Simulation

C'est dans cette partie que nous allons utiliser le simulateur pour y faire les simulations de ville et de campagne pour les 6 scénarios suivants :

Type de Drop initial	Situation initiale	Situation future simulée
Cuivre	VDSL	G.fast
Cuivre	VDSL	Fibre optique P2P
Câble	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1
Câble	DOCSIS 3.0	Fibre optique P2P
Greenfield	Tubes vides	Fibre optique P2P
Greenfield	Tubes vides	Fibre optique PON

Tableau 27: Situations à simuler

## 8.1 Simulation

### 8.1.1 Déroulement

Ce sous-chapitre vise à présenter dans l'ordre, les étapes à réaliser pour chaque simulation. Certaines manipulations pourront être passées lorsque la situation de départ est la même.

#### 8.1.1.1 Saisies des données démographiques et géographiques

Il faut saisir les cases contenant les informations sur la zone à simuler.

	Data	Unit		Actual	Future
Zone name	Basel VDSL to FTTH P2P		Year	2013	2025
Surface	25.02	km2	Lodgment	95 725	97 500
Nb. Central Offices	10	CO	Building	18 672	19 000
Linear factor feeder	1.5		Distance drop max	0.350 km	0.140 km
Linear factor drop	2		Distance metro	100 km	100 km
In-house average	0.02	km			

Tableau 28: Feuille "Input" - Cases à renseigner

Ensuite, adapter la **Distance Drop max** par la suite afin d'obtenir un meilleur coût de manière à ce que cette distance corresponde aux contraintes techniques (*p.ex. : nombre de bâtiments ou logements par Manhole*).

#### 8.1.1.2 Renseignement de la base de données

Remplir la base de données avec toutes les briques nécessaires à la simulation.

S'assurer que les briques soient compatibles avec l'architecture choisie et les facteurs de concentration (logements par briques, bande passante, bâtiments par briques, ...).

Pour vous rendre compte de ce choix, il faut voir plus bas ce qui a été fait pour nos simulations.

#### 8.1.1.3 Sélection des briques

A ce moment-là vous pouvez sélectionner les briques dans la feuille **Input**. Il ne faut pas oublier d'utiliser le bouton **Refresh** avant et après cette opération afin d'avoir de valeurs correctes pour les calculs.

### 8.1.1.4 Contrôle et adaptation

A ce stade, vous pouvez consulter les résultats dans la feuille de sortie **Output**. Il est important de contrôler si les résultats sont cohérents avec les briques choisies. Vous pouvez sans problème recommencer les autres étapes s'il vous manque des briques ou/et que vous voulez en sélectionner d'autres.

#### Distance Drop max

Si le nombre de bâtiments ou logement par *Manhole* n'est pas cohérent pour vos briques ou que vous désirez optimiser les coûts en changeant la distance du Drop maximum, vous pouvez générer une table de correspondance et un graphique qui se trouve dans la feuille de diagramme **Cost Distance Drop** à l'aide du bouton **Calculate cost**.

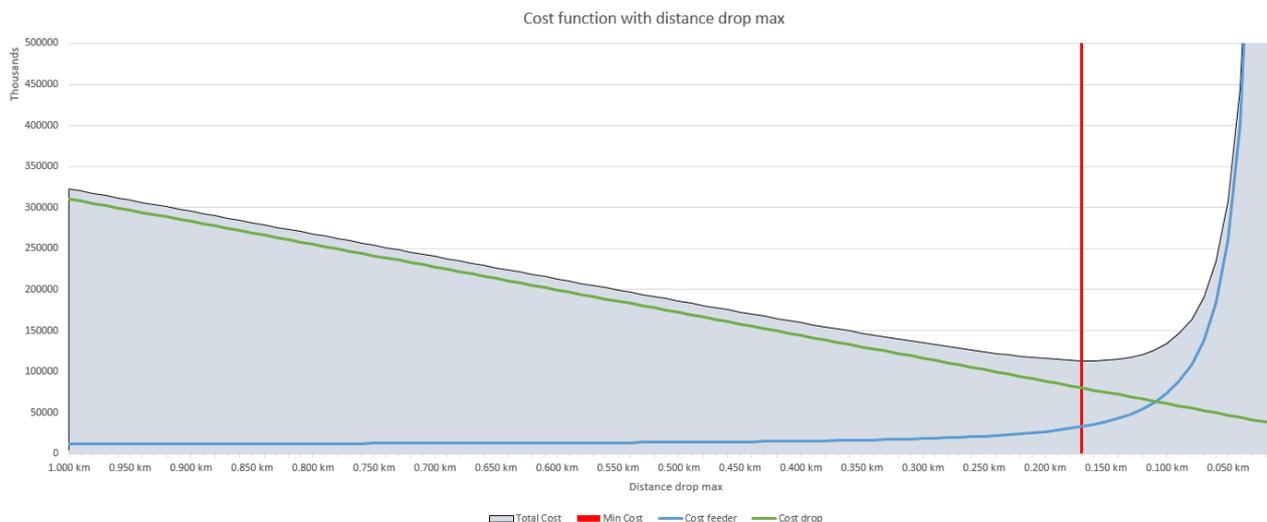


Figure 36: Diagramme du coût en fonction de la distance maximum du Drop

Distance drop max	Nb lodgments per manhole	Nb buildings per manhole
1.000 km	12187.50	2375.00
0.990 km	10833.33	2111.11
0.980 km	10833.33	2111.11
0.970 km	10833.33	2111.11
0.960 km	10833.33	2111.11
0.950 km	10833.33	2111.11
0.940 km	9750.00	1900.00
0.930 km	9750.00	1900.00
0.920 km	9750.00	1900.00
0.910 km	9750.00	1900.00
0.900 km	9750.00	1900.00
0.890 km	8863.64	1727.27
0.880 km	8863.64	1727.27
0.870 km	8863.64	1727.27

Figure 37: Table de correspondance

#### Bande passante

Il faut s'assurer que les briques fournissent suffisamment de bande passante par rapport au nombre de logements qui y sont raccordés. Ce rapport qui est la bande passante disponible en fonction de la bande passante vendue aux clients, doit être de 1:100 selon les pratiques des opérateurs. On part du principe que tous nos clients ont un débit commercial de 600 Mbit/s en downstream pour 2025.

Si ce débit ne peut pas être assuré, il faudra faire des changements de briques ou de distance Drop max.

## 8.1.2 Bâle – Ville

### Choix

Choix	Explication
Distance du Métro	Nous avons fixé à 10 kms la distance du Métro car il faut compter les liens entre nos 10 POP et nous partons du principe qu'un routeur du Core se trouve déjà à Bâle
Démographie	Aucun changement n'est à faire selon les données que l'on a à disposition.
Facteur linéaire	C'est en comparant avec la réalité que l'on a pu déterminer un facteur de 1.5 pour le Feeder et de 2 pour le Drop.
Taux de pénétration à 100%	Comme Bâle est une ville dense, nous allons effectuer la migration pour tous les logements.

### Démographie

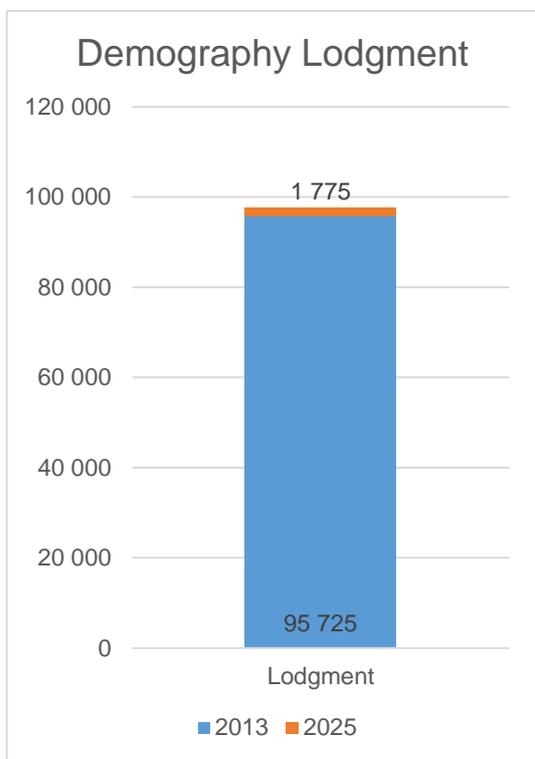


Figure 38: Diagramme sur le nombre de logements à Bâle

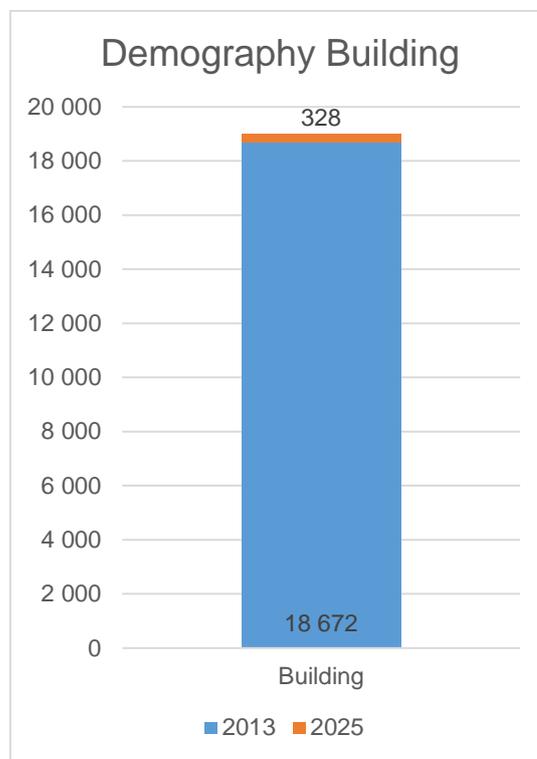


Figure 39: Diagramme sur le nombre de bâtiments à Bâle

### 8.1.2.1 VDSL vers G.fast

#### Choix

Choix	Explication
Distance du Drop	La distance maximale pour le G.fast étant de 110m en phase 2, celle-ci a été fixée à 100m au maximum. Cela implique 797 Manholes au total.
Nombre de Manholes par CO	La distance du Drop implique 80 Manholes par CO. Un switch POP de 96 ports est donc nécessaire.
Débits nécessaires	Pour assurer les 600 Mbps aux clients finaux, nous avons prévu des switch POP avec 2 liens 40G, ports d'accès 10G pour les clients. Les DSLAMs sont passés également de 1500 clients pour le VDSL à 48 clients pour le G.fast.

#### Résultats

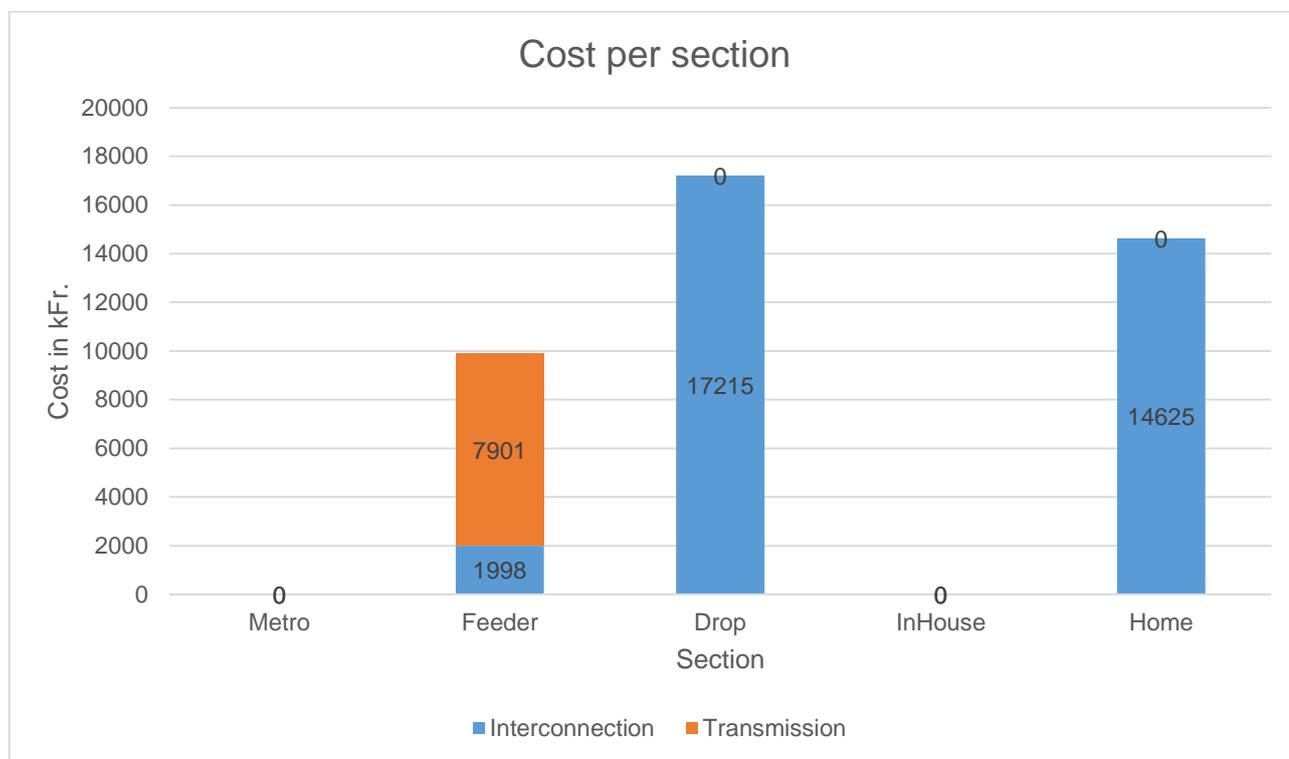


Figure 40: Coût par section - Migration VDSL vers G.fast à Bâle

### 8.1.2.2 VDSL vers Fibre optique P2P

#### Choix

Choix	Explication
Câble de 48 fibres pour le Drop	Il y a 6 ( <i>arrondi supérieur de 5.13</i> ) logements par bâtiment. Selon l'OFCOM, il faut, au niveau du Drop, 4 fibres par logement et 1 fibre pour le bâtiment, ce qui fait 25 fibres par bâtiment.
Deux manchons pour 24 câbles au "Manhole"	Dans un "Manhole", on peut mettre maximum 2 manchons. Avec un manchon on peut raccorder 24 bâtiments, respectivement 144 logements (24*6).
Câble de 576 fibres pour le Feeder	<p>Avec 24 bâtiments par <i>Manhole</i>, il y a une distance du Drop maximum de 100 m et avec 48 bâtiments, il y a 140m.</p> <p>Pour le Feeder, il faut selon l'OFCOM, 2 fibres par logement. Avec un manchon, il faut 288 fibres et avec deux manchons 576 fibres.</p> <p>Avec deux manchons le coût est moins cher et nous avons une ville dense.</p>

#### Résultat

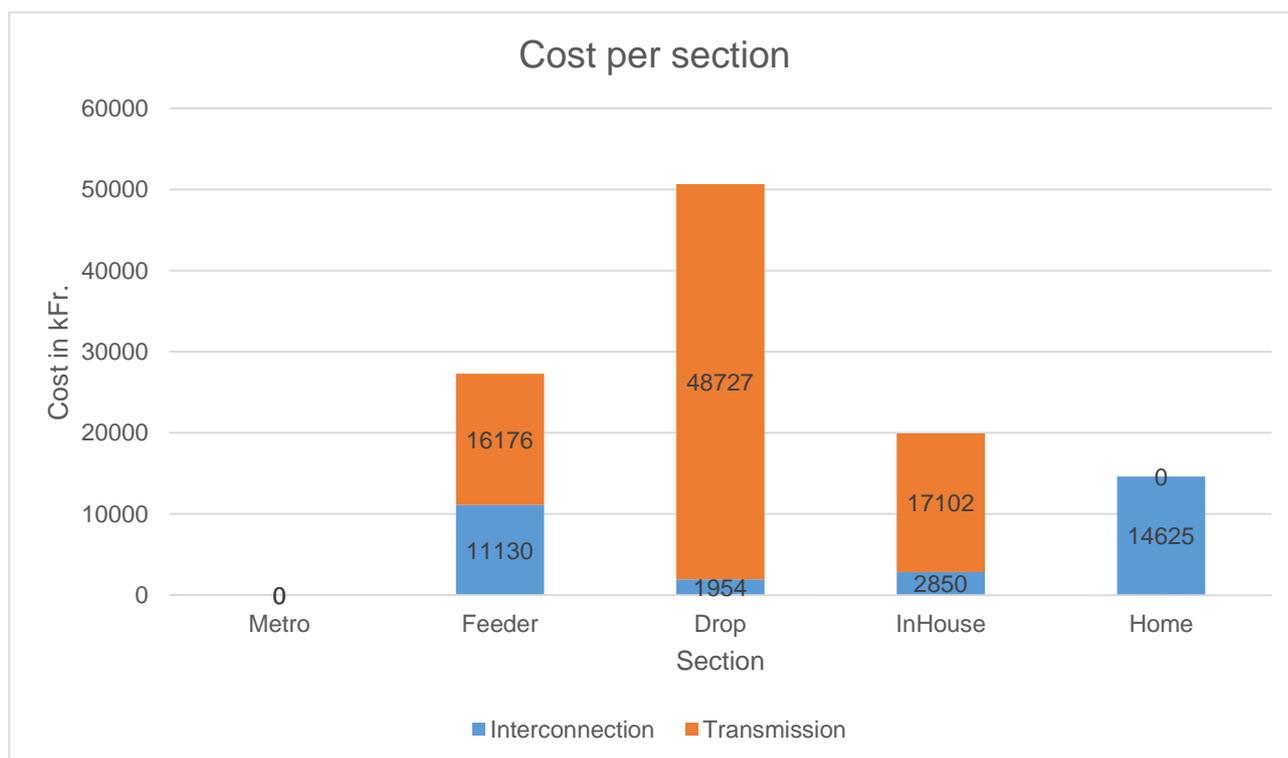


Figure 41: Coût par section - Migration du VDSL vers FTTH P2P à Bâle

### 8.1.2.3 DOCSIS 3.0 vers DOCSIS 3.1

#### Choix

Choix	Explication
Distance CMTS - logements	Actuellement, il y a 480 logements par CMTS de 48 îlots. Le médium étant partagé, il est nécessaire de réduire d'un facteur 2 ce nombre par îlots pour DOCSIS 3.1. Ainsi, la distance entre un CMTS est un logement est passée de 630 m à 440 m.
Nombre de ports pour switch POP	Avec un total de 23 Manholes par CO actuellement, un switch de 24 ports est suffisant. En DOCSIS 3.1 avec l'augmentation du nombre de Manholes, le passage à un switch à 96 ports est nécessaire.

#### Résultat

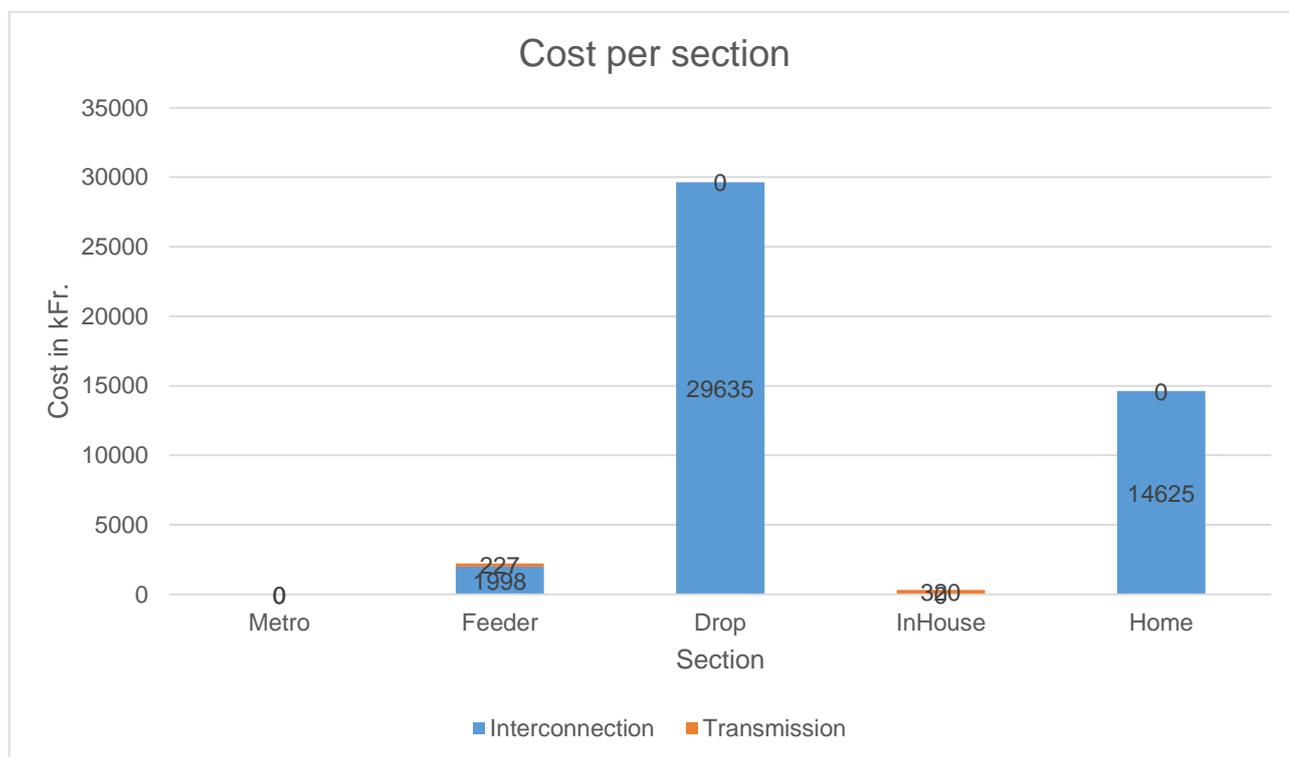


Figure 42: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers le DOCSIS 3.1 à Bâle

### 8.1.2.4 DOCSIS 3.0 vers Fibre optique P2P

#### Choix

Choix	Explication
Distance du Drop	Actuellement, le CMTS est à 630m des logements. Avec la fibre optique, l'optimal en terme de coûts se situe à 140m de distance.
Fibre optique Feeder	Cette distance nous permet d'utiliser des câbles optiques à 576 fibres pour le Feeder.
Switch optique POP	L'agrégation de ces câbles à 576 fibres nécessite un switch optique sous forme de châssis, pouvant accueillir 1500 clients.
Garantie du débit	Pour garantir le débit minimal de 600Mbps par utilisateur, il est nécessaire de connecter les switch POPs au Métro à l'aide de deux liens à 40G.

#### Résultat

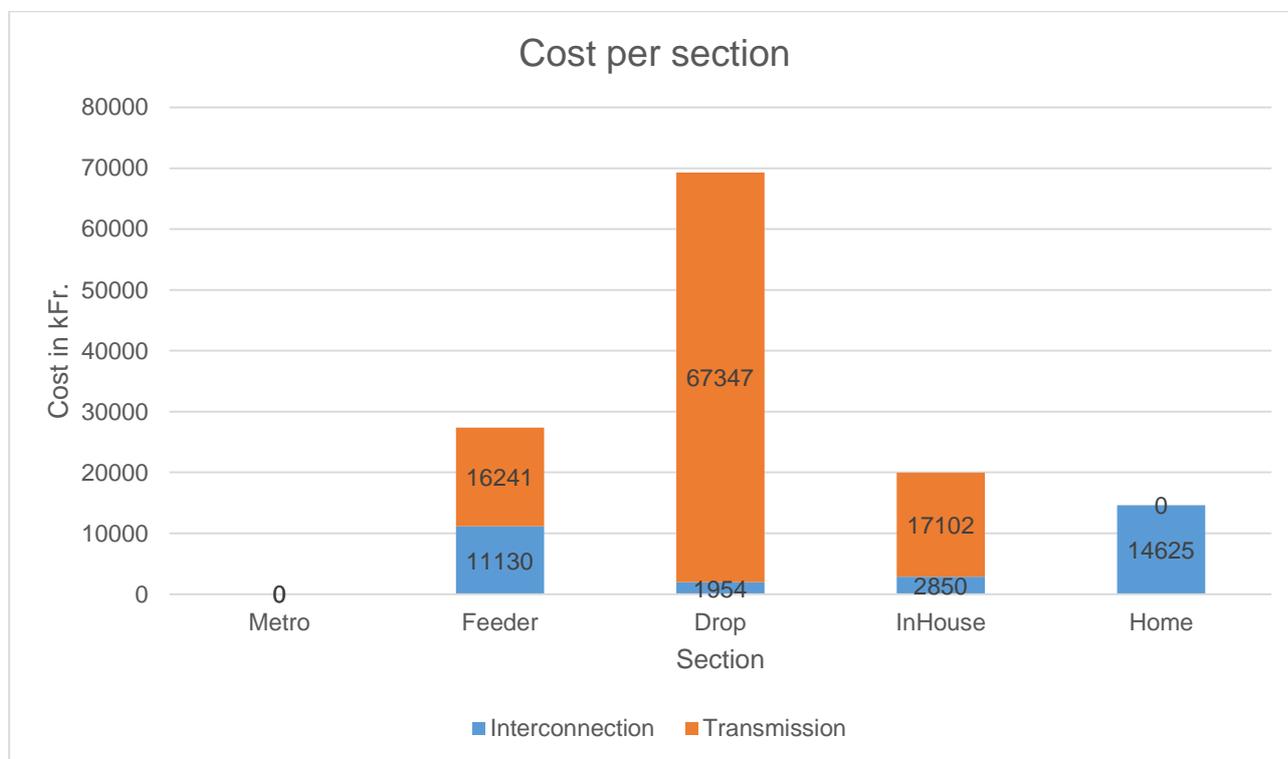


Figure 43: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers FTTH P2P à Bâle

### 8.1.2.5 Tubes vides vers Fibre optique P2P

Il y a deux simulations qui ont été effectuées, la première tient en compte les directives de l'OFCOM et la seconde ne prend pas en compte celles-ci.

#### Choix

Choix	Explication
Distance du Drop	Selon les simulations précédentes pour la Fibre Optique P2P, nous sommes repartis avec la distance de Drop optimale de 140m (pour 24 bâtiments par Manholes).
Fibre optique Drop	Un câble optique de 48 fibres a été utilisé pour le Drop. Ceci nous permet de respecter les prescriptions de l'OFCOM en offrant 4 fibres par logements. En ne respectant pas les directives, nous avons choisi un câble minimal à 12 fibres.

#### Résultats

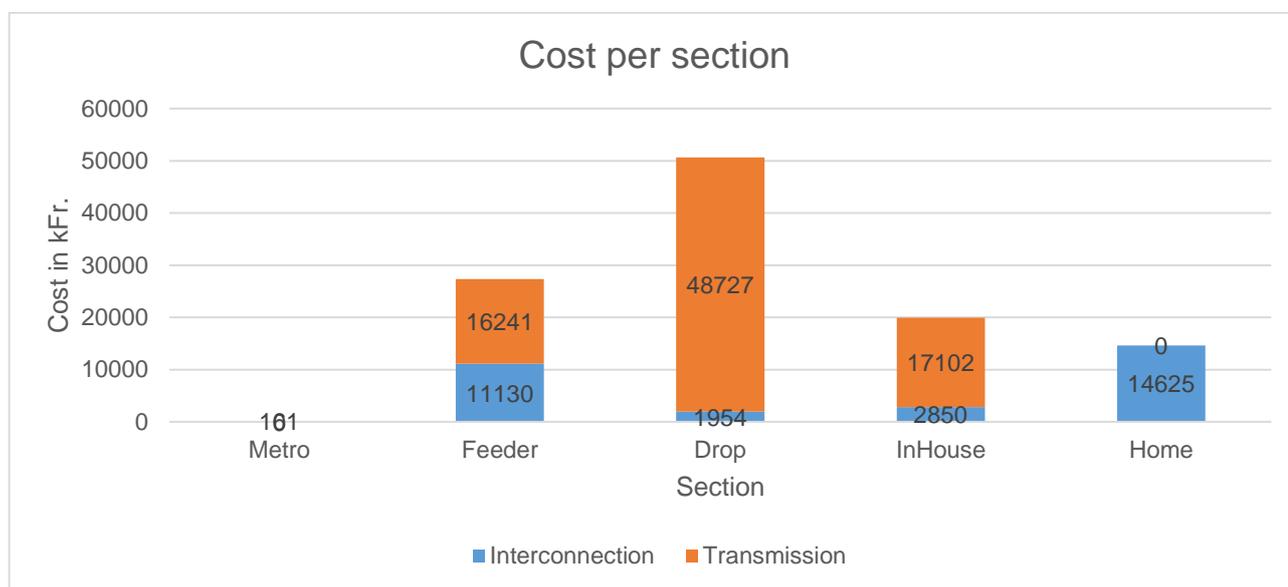


Figure 44: Coût par section – Migration de tubes vides vers FTTH P2P à Bâle, avec OFCOM

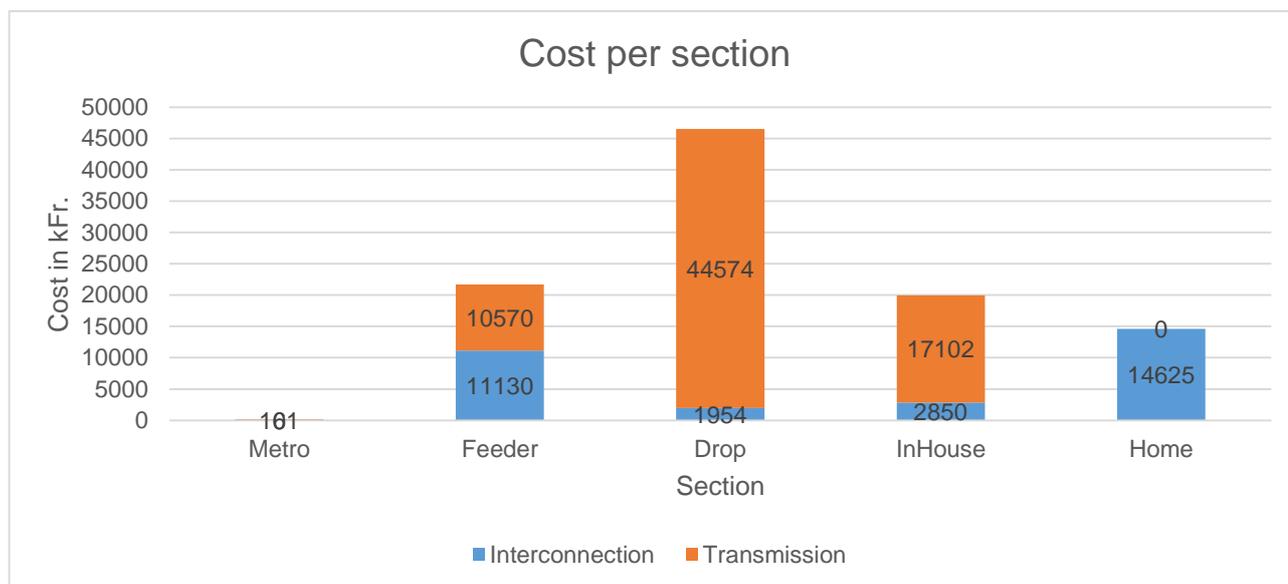


Figure 45: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH P2P à Bâle, sans OFCOM

### 8.1.2.6 Tubes vides vers Fibre optique PON

Il y a également deux simulations qui ont été effectuées, la première tient en compte les directives de l'OFCOM et la seconde ne prend pas en compte celles-ci.

#### Choix

Choix	Explication
Distance du Drop	D'après notre graphique d'optimisation des distances, le Drop idéal est de 100m dans le cas du PON en respectant les directives de l'OFCOM et de 120m sans les respecter.
Choix du splitter	Pour s'approcher le plus possible de l'infrastructure G.fast, nous avons choisi de mettre des splitters 1:64 dans les Manhole.
Fibres optiques du Feeder	Par le principe du splitter, seules deux fibres optiques sont nécessaires pour le Feeder (1 en ne respectant pas les directives).
Switch optique POP	Pour desservir les splitters, un switch optique PON de 48 ports est suffisant (31 Manholes par CO à connecter).

#### Résultats

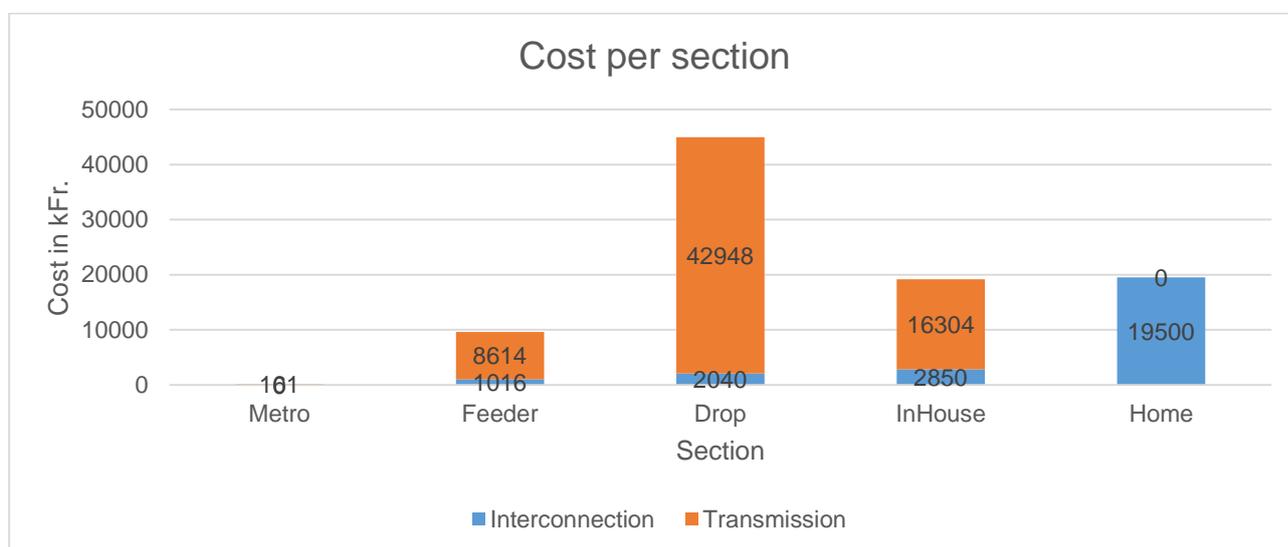


Figure 46: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à Bâle, avec OFCOM

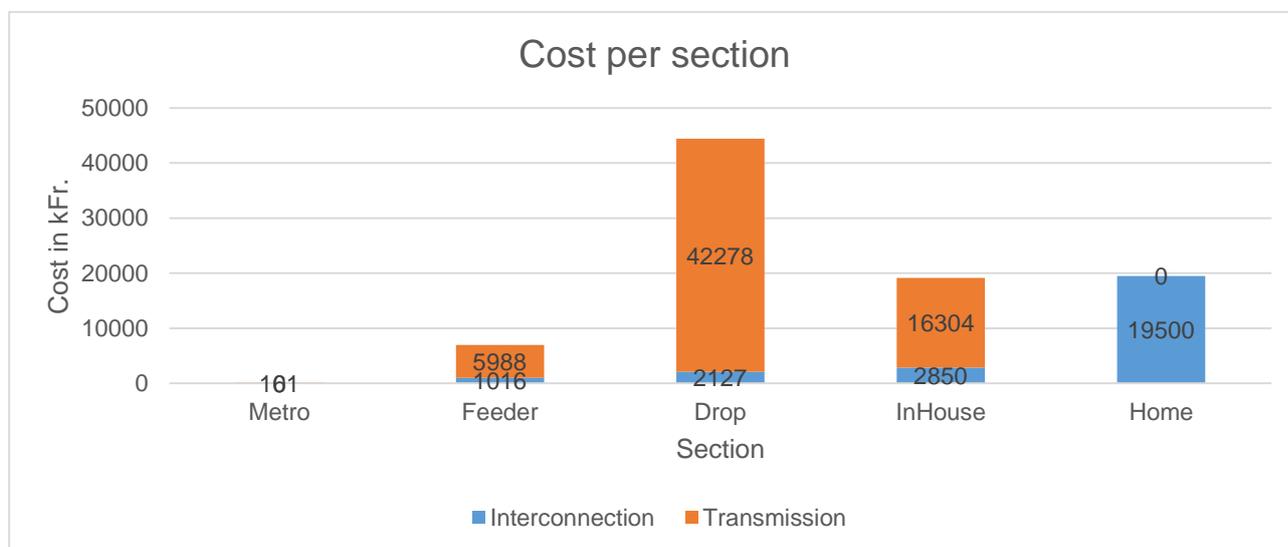


Figure 47: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à Bâle, sans OFCOM

### 8.1.2.7 Comparaison

#### Résultat paire cuivrée

Pour un opérateur disposant d'un réseau téléphonique à base de paires cuivrées avec l'exploitation actuelle du VDSL, le scénario le plus rentable est l'adoption du G.fast. C'est également le plus rapidement mis en place, car la nouvelle architecture se base essentiellement sur celle du VDSL, qui existe déjà. Grâce à la haute densité de population de la ville, la distance nécessaire du Drop à l'exploitation du G.fast (110m) est relativement facilement atteignable.

Le scénario de fibre optique P2P est beaucoup plus coûteux car il nécessiterait en plus de rapprocher le Feeder, de tirer de nouvelles fibres pour le Drop.

Une possibilité pour ce type d'opérateurs serait de migrer d'abord vers le scénario G.fast, qui va amener la fibre optique jusqu'aux rues, puis dans un deuxième temps, proposer un scénario type PON pour terminer les derniers mètres en fibres optiques jusqu'aux logements en remplaçant les DSLAMs par des splitters optiques passifs.

L'avantage certain d'une solution passive étant de centraliser la maintenance à un endroit et de ne plus avoir de coûts d'exploitation au niveau des Manholes.

#### Résultat coaxial

De par ses excellentes propriétés électriques, le câble coaxial offre encore de très belles perspectives. Le scénario le plus rentable pour les opérateurs de téléseuil est donc de réduire la taille des îlots pour ensuite proposer le DOCSIS 3.1. Au cours de nos différentes analyses, c'est le scénario le plus rentable, surtout du fait que la réduction des îlots ne pose pas de problèmes en ville par sa densité élevée en logements.

Le DOCSIS 3.1 est cependant technologiquement très différent du DOCSIS 3.0, avec une utilisation numérique de tout le spectre fréquentiel, il reste donc encore à voir s'il sera vraiment considéré par les opérateurs ou ceux-ci préféreront s'orienter vers un accès par fibres optiques P2P afin de garantir une évolutivité maximale le plus rapidement possible.

#### Résultat situation Greenfield

Pour une entreprise électrique partant d'une situation Greenfield avec tubes vides, l'orientation technologique naturelle est la fibre optique. Afin de garantir une évolutivité maximale, la recommandation est clairement le FTTH P2P, permettant un débit dédié par logement. L'utilisation du PON pourrait rendre le coût de migration moins cher mais il ne convient pas trop si l'on respecte les directives de l'OFCOM.

Cependant, en ne respectant pas les directives de l'OFCOM (2 fibres par logement au lieu de 4), le coût reviendrait nettement meilleur marché, avec cependant le débit partagé à ne pas négliger.

### 8.1.2.8 Conclusion

Pour la ville, les différentes technologies actuellement en places sur les réseaux de téléphonie respectivement de télédistribution disposent déjà de successeurs permettant de remplir les objectifs pour 2025. Cela permettra un étalement des coûts de migration vers la fibre optique qui deviendra à long terme, un passage obligé pour raccorder les logements.

## 8.1.3 La Roche – Campagne

### Choix

Choix	Explication
Distance du Métro	Nous avons fixé à 20 km la distance du Métro car nous partons du principe que le POP est relié à Bulle et à Fribourg.
Démographie	<p>Il y a eu seulement un changement à faire selon les données que l'on a à disposition.</p> <p>Contrairement à Bâle Ville qui a une surface habitable quasiment égale à sa superficie totale, le village de La Roche comprend des zones inhabitées.</p> <p>Nous avons estimé la surface habitable à 1/3 de sa superficie totale.</p> <p>Pour faire la simulation avec un taux de pénétration à 90%, nous avons réduit les logements et bâtiments de 10% tandis que la superficie a été réduite à 1/6 de la l'aire totale, soit la moitié de celle choisie auparavant.</p>
Facteur linéaire	C'est en comparant avec la réalité que l'on a pu déterminer un facteur de 1.5 pour le Feeder et de 2 pour le Drop.
Taux de pénétration de 100% et 90%	<p>Nous allons faire nos simulations avec un taux de pénétration du marché de 100%.</p> <p>Etant donné que le G.fast est quasiment aussi cher que la fibre optique P2P, nous avons décidé d'ajouter deux simulations avec un taux de pénétration du marché à 90% pour la migration à partir du VDSL.</p>

### Démographie

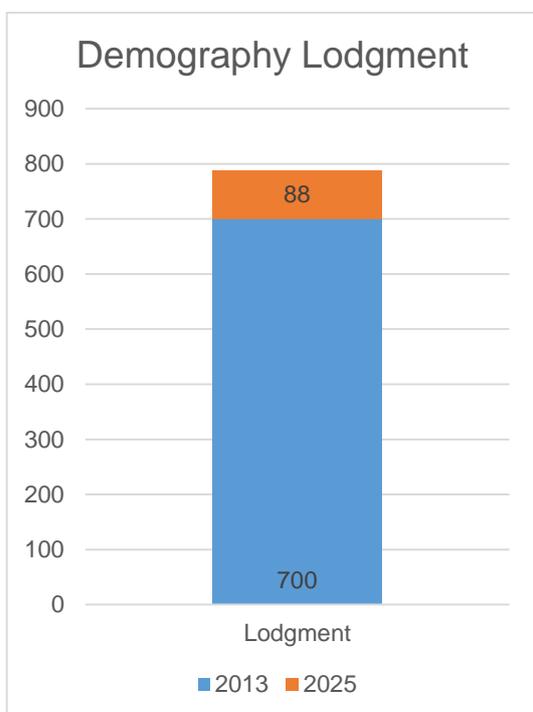


Figure 48: Diagramme sur le nombre de logements à La Roche

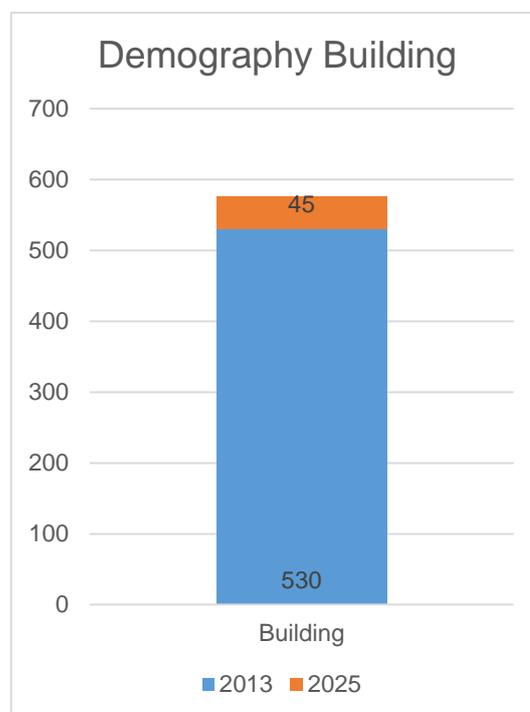


Figure 49: Diagramme sur le nombre de bâtiments à La Roche

### 8.1.3.1 VDSL vers G.fast

Nous avons effectué deux simulations : la première avec un taux de pénétration du marché à 100% et la seconde à 90%.

#### Choix

Choix	Explication
Distance du Drop	La distance maximale pour le G.fast étant de 110m pour avoir un débit maximal, celle-ci a été fixée à 110m.
Nombre de Manhole par CO	La distance du Drop nous force à mettre 212 Manholes par CO avec un taux de pénétration de 100% et 106 à 90%. Il faudra donc avoir un switch avec 250 ports, respectivement 150 ports à 90% au niveau du POP.
Débits nécessaires	Pour assurer un débit commercial de 600 Mbps aux 780 clients, nous avons prévu de mettre sur le switch du POP deux liens 10G du côté du Métro. Pour notre DSLAM G.fast avec 17 clients, 1 lien 1G devrait suffire.

#### Résultats

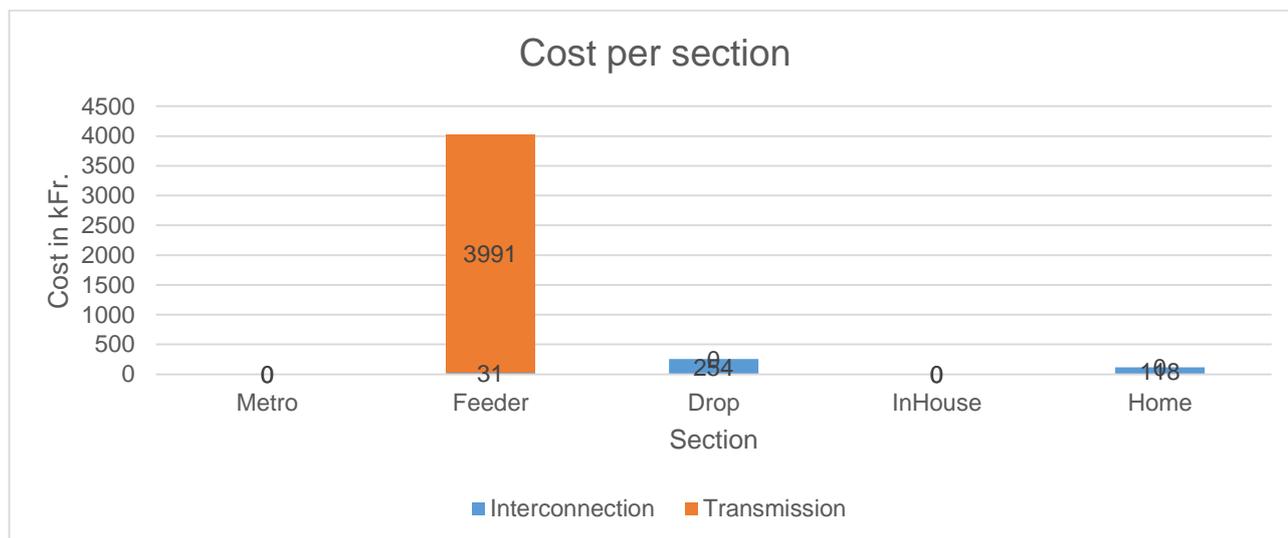


Figure 50: Coût par section - Migration du VDSL vers le G.fast à La Roche, pénétration de 100%

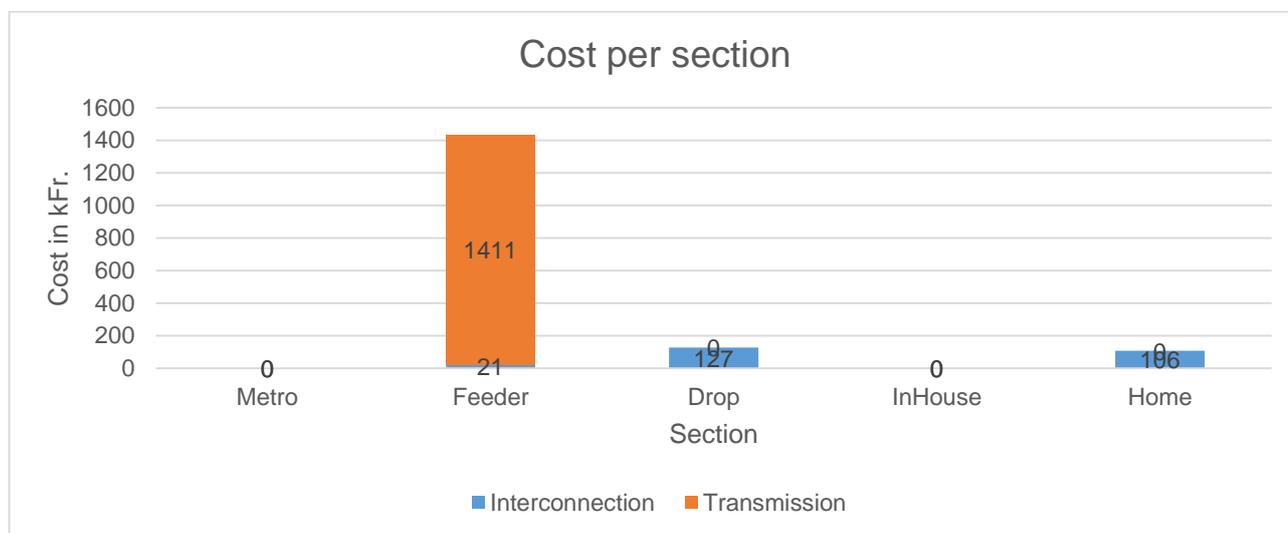


Figure 51: Coût par section - Migration du VDSL vers le G.fast à La Roche, pénétration de 90%

### 8.1.3.2 VDSL vers Fibre optique P2P

Afin de comparer avec la migration vers le G.fast, nous avons également effectué une simulation avec un taux de pénétration du marché à 90%.

#### Choix

Choix	Explication
Câble de 12 fibres pour le Drop	Il y a 2 (arrondi supérieur de 1.37) logements par bâtiment. Il nous faudra donc 9 fibres par bâtiment. C'est pourquoi, le câble de 12 fibres a été choisi.
Un manchon de 24 câbles Câble de 96 fibres pour le Feeder	Comme le village est moins dense un manchon par Manhole réduit la distance du Drop et offre un coût plus faible.  Un Manhole va accueillir 24 bâtiments qui ont chacun 2 clients. Il faudra donc mettre un câble de 96 fibres pour respecter le règlement de l'OFCOM.

#### Résultats

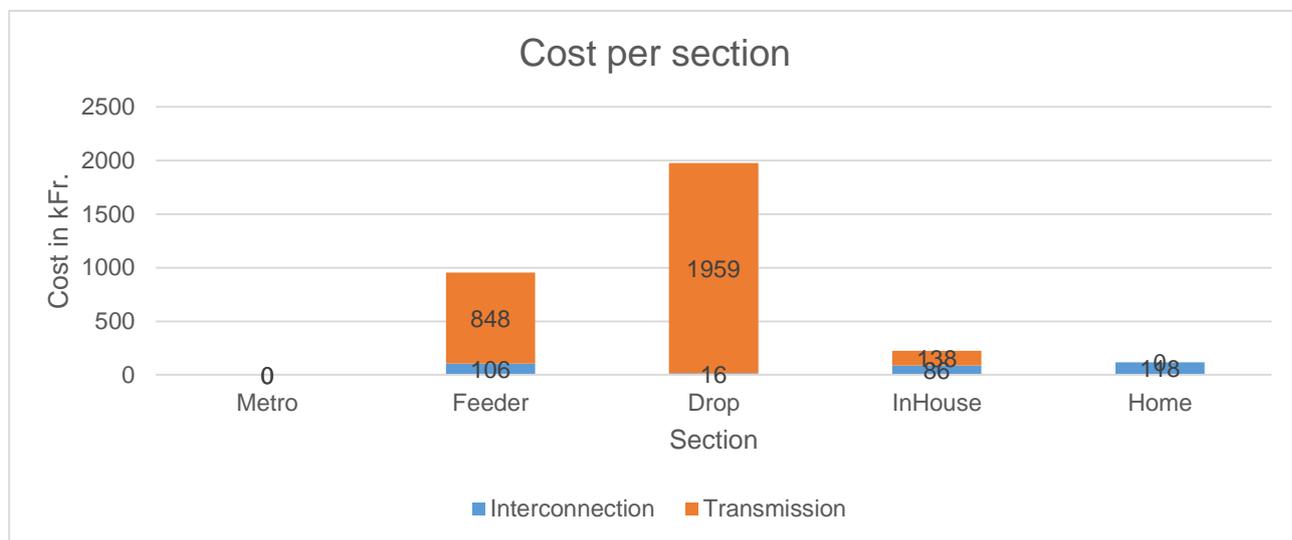


Figure 52: Coût par section - Migration du VDSL vers FTTH P2P à La Roche, pénétration de 100%

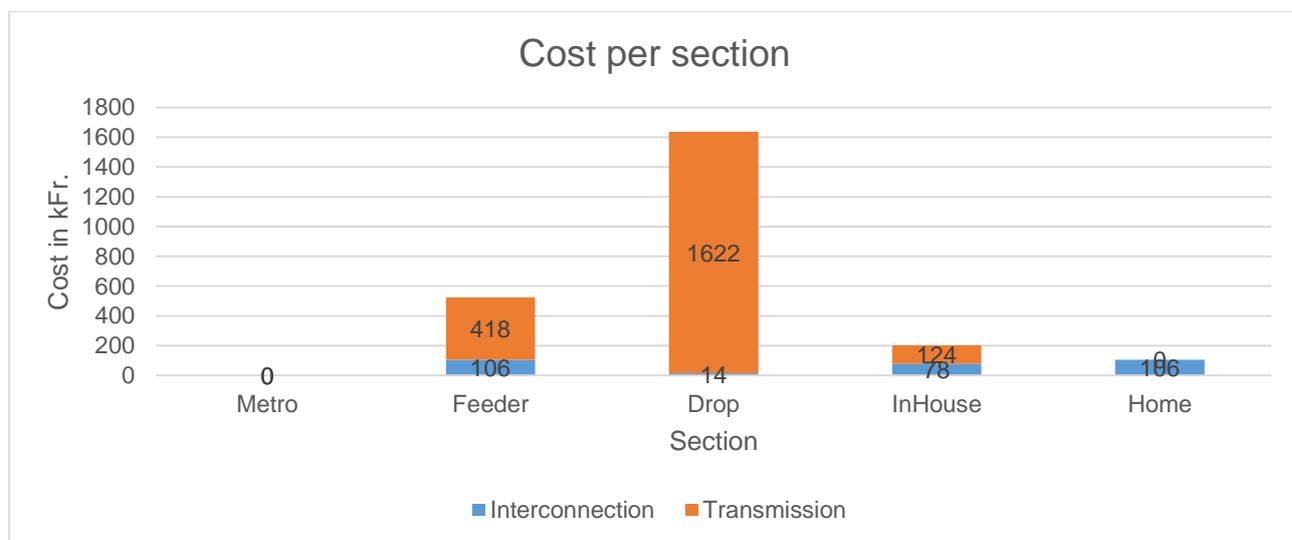


Figure 53: Coût par section - Migration du VDSL vers FTTH P2P à La Roche, pénétration de 90%

### 8.1.3.3 DOCSIS 3.0 vers DOCSIS 3.1

#### Choix

Choix	Explication
Distance CMTS – logements	Comme il y a 4 zones principales où se trouvent les abonnés, nous sommes partis avec 4 CMTS qui ont chacun deux îlots de 100 clients. Ce qui donne une distance du Drop maximal de 720m.  Pour le futur nous allons simplement doubler le nombre d'îlots par CMTS tout en passant vers la technologie DOCSIS 3.1. sans changer le nombre de CMTS, respectivement la distance du Drop.
Nombre de ports pour le POP	4 ports devraient suffire pour le POP car il y a seulement à 4 CMTS à connecter. Ce POP devrait également servir pour les villages voisins, c'est pourquoi nous avons pris un switch 24 ports.

#### Résultat

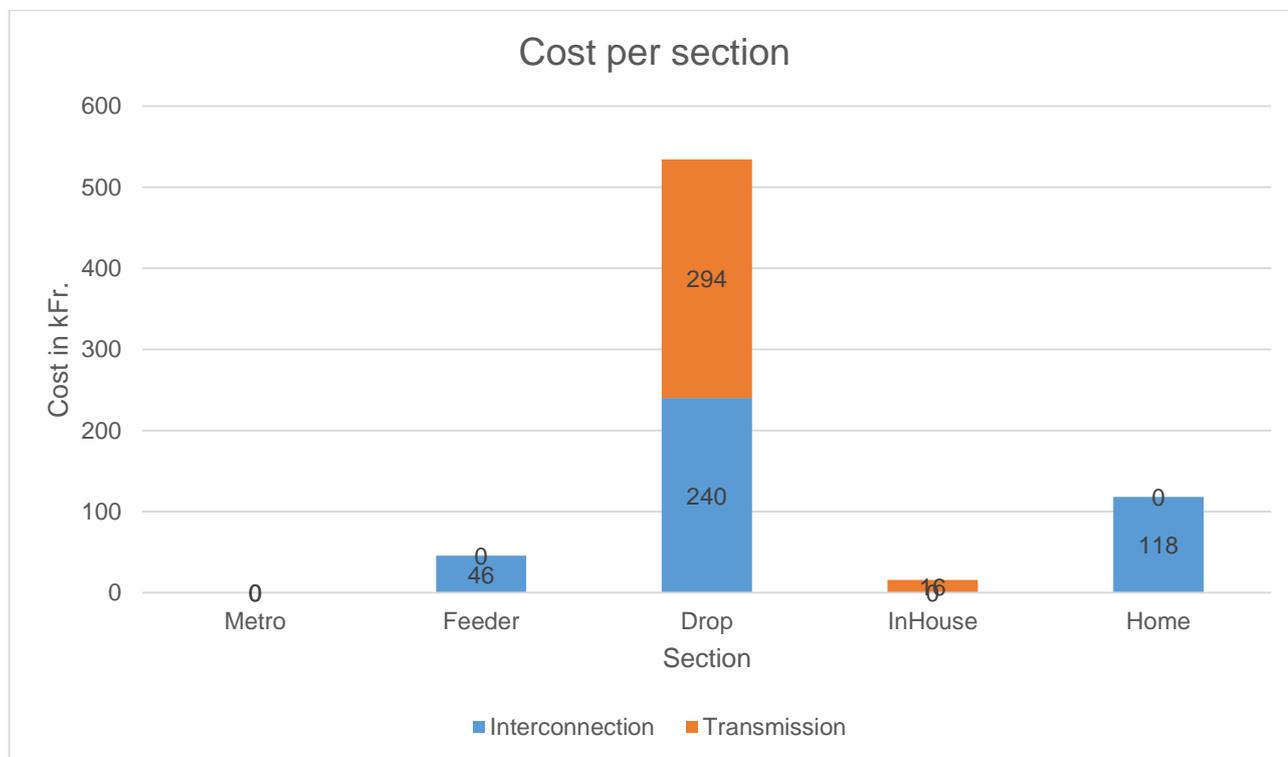


Figure 54: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers le DOCSIS 3.1 à La Roche

### 8.1.3.4 DOCSIS 3.0 vers Fibre optique P2P

#### Choix

Choix	Explication
Idem VDSL vers P2P mais en partant du DOCSIS 3.0	Nous partons de 720m comme auparavant pour arriver à 320m tout comme le P2P depuis le VDSL. Le reste est également identique.

#### Résultat

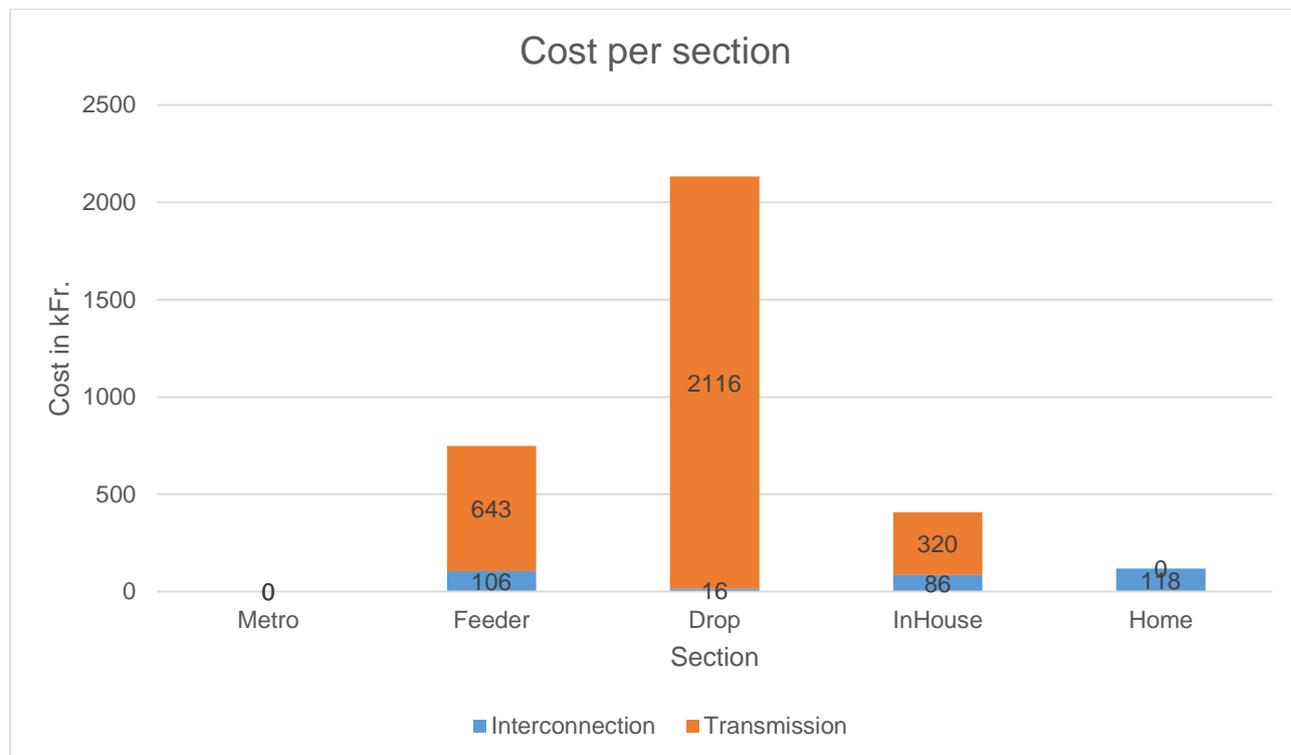


Figure 55: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers FTTH P2P à La Roche

### 8.1.3.5 Tubes vides vers Fibre optique P2P

Même principe que la ville de Bâle, deux simulations ont été effectuées, une fois avec et une fois sans les directives de l'OFCOM.

#### Choix

Choix	Explication
Longueur max du Drop	En optimisant les coûts, tout en gardant le même nombre de bâtiments par Manhole, nous avons une distance de 320m avec les directives de l'OFCOM et de 330m sans ceux-ci.

#### Résultats

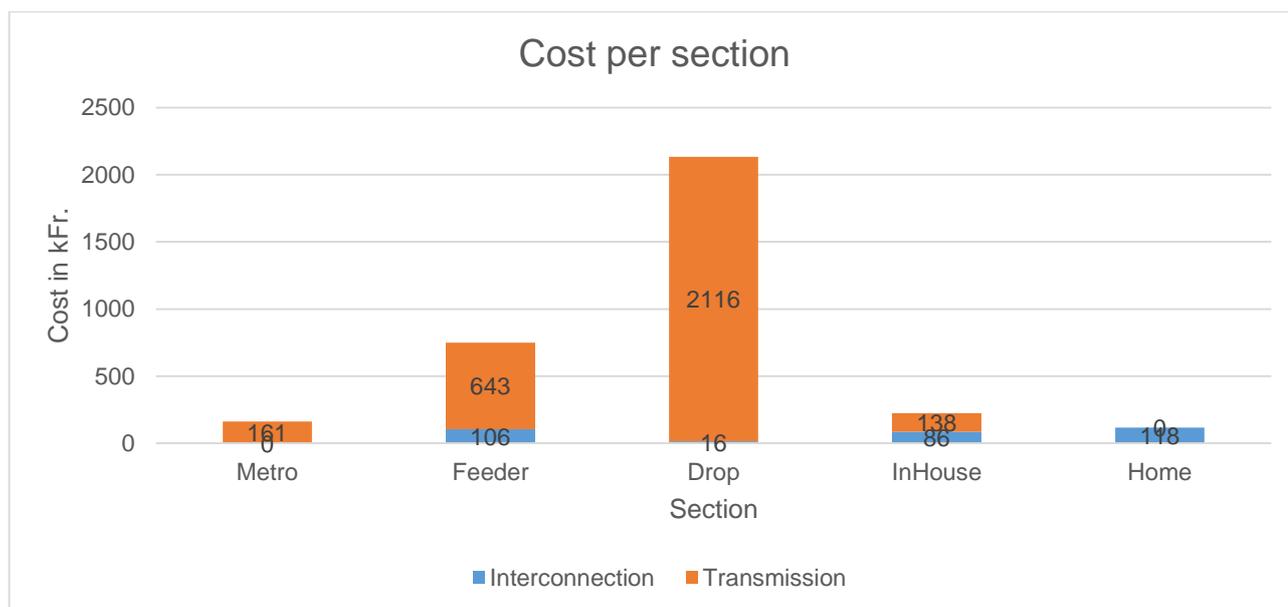


Figure 56: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH P2P à La Roche, avec OFCOM

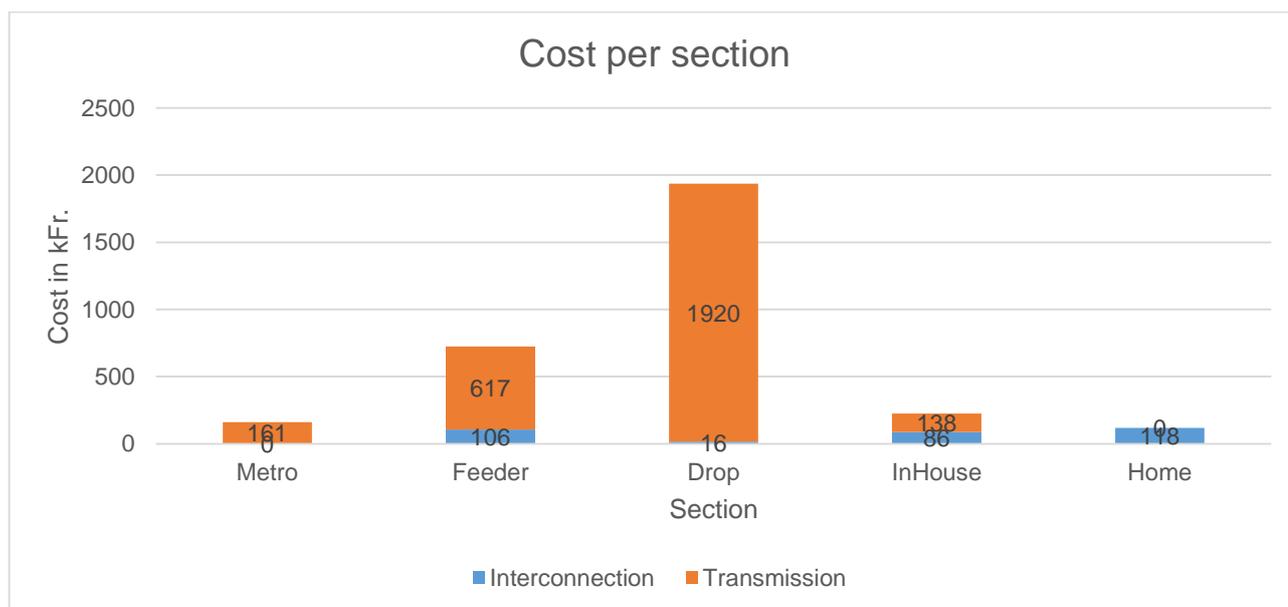


Figure 57: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH P2P à La Roche, sans OFCOM

### 8.1.3.6 Tubes vides vers Fibre optique PON

Même principe que la ville de Bâle, deux simulations ont été effectuées, une fois avec et une fois sans les directives de l'OFCOM.

#### Choix

Choix	Explication
Distance du Drop	Nous utilisons des splitters qui peuvent relier maximum 64 clients avec une fibre optique (2 fibres selon les directives de l'OFCOM). Dans le cas de non-respect des directives de l'OFCOM, nous tirons le minimum nécessaire de fibres.  Nous avons généré le graphique avec les coûts en fonction de la longueur du Drop et la distance qui a été retenue est de 330m.
Switch POP	Nous avons 24 splitters qu'il faudra connecter au POP, ce qui fait 20 ports. Nous avons mis un switch PON à 24 ports.

#### Résultats

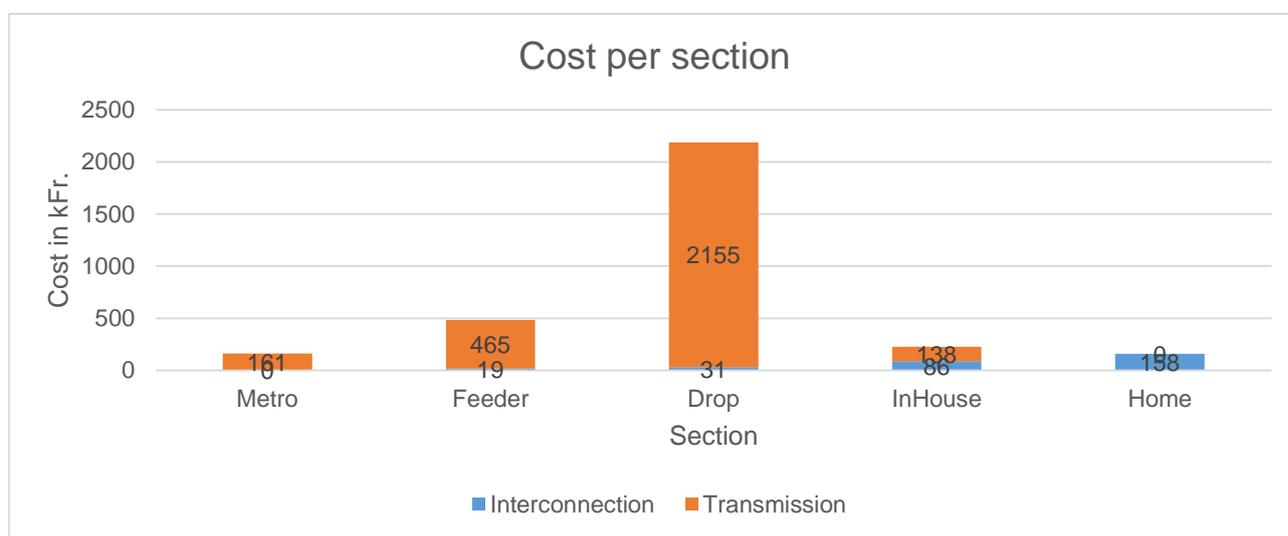


Figure 58: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à La Roche, avec OFCOM

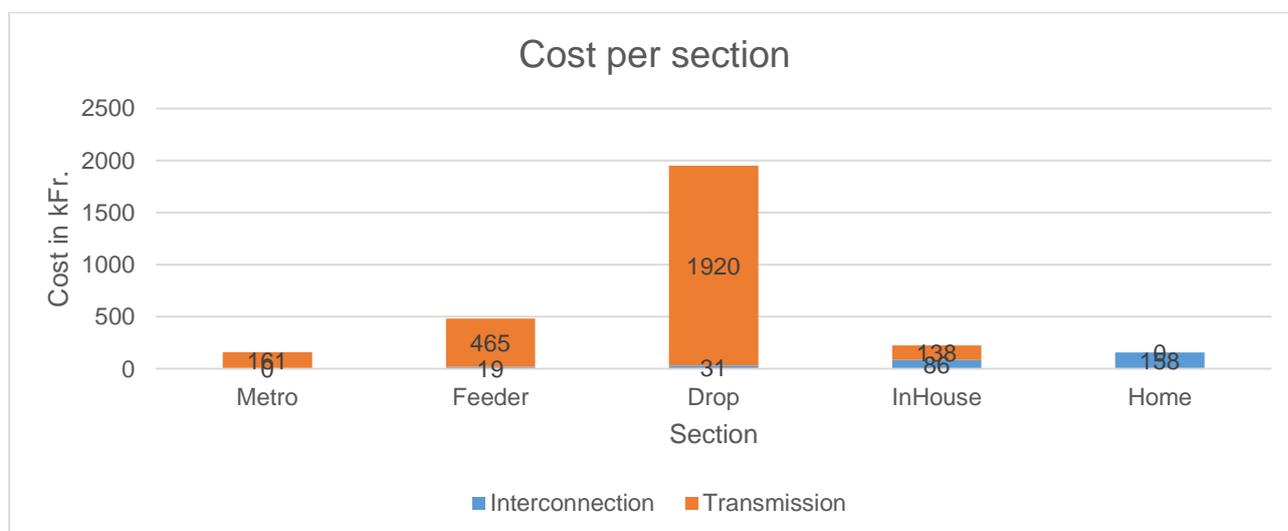


Figure 59: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à La Roche, sans OFCOM

### 8.1.3.7 Comparaison

#### Résultat ville

Dans les tableaux ci-dessous, les coûts les plus importants ont été reportés et il y a également le rapport en pourcent avec la migration la moins coûteuse.

Migrations	Coût par bâtiment	Coût par logement	Coût total	Rapport
VDSL vers G.fast	CHF 1 427	CHF 428	CHF 41 738 910	100%
VDSL vers FTTH P2P	CHF 4 255	CHF 1 154	CHF 112 563 471	270%
DOCSIS 3.0 vers DOCSIS 3.1	CHF 1 677	CHF 480	CHF 46 804 670	112%
DOCSIS 3.0 vers FTTH P2P	CHF 5 238	CHF 1 346	CHF 131 248 305	314%
Greenfield vers FTTH P2P	CHF 4 266	CHF 1 157	CHF 112 789 785	270%
Greenfield vers FTTH PON	CHF 3 033	CHF 958	CHF 93 433 393	224%

Tableau 29: Coûts des migrations pour la ville de Bâle

Migrations	Coût total Avec l'OFCOM	Coût total Sans OFCOM	Rapport Avec/Sans OFCOM
Greenfield vers FTTH P2P	CHF 112 789 785	CHF 102 966 476	110%
Greenfield vers FTTH PON	CHF 93 433 393	CHF 90 224 509	104%
Rapport P2P/PON	121%	114%	

Tableau 30: Comparatif de coûts à partir du Greenfield entre le respect et le non-respect des directives de l'OFCOM à Bâle

#### Résultat campagne

Migrations	Coût par bâtiment	Coût par logement	Coût total	Rapport
VDSL vers G.fast	CHF 7 438	CHF 5 577	CHF 4 394 971	615%
VDSL vers FTTH P2P	CHF 5 245	CHF 4 153	CHF 3 272 445	458%
DOCSIS 3.0 vers DOCSIS 3.1	CHF 1 009	CHF 906	CHF 714 240	100%
DOCSIS 3.0 vers FTTH P2P	CHF 5 160	CHF 4 322	CHF 3 405 674	477%
Greenfield vers FTTH P2P	CHF 5 441	CHF 4 296	CHF 3 385 126	474%
Greenfield vers PON	CHF 5 074	CHF 4 078	CHF 3 213 131	450%

Tableau 31: Coûts des migrations pour le village de La Roche

Migrations	Coût total Avec l'OFCOM	Coût total Sans OFCOM	Rapport Avec/Sans OFCOM
Greenfield vers FTTH P2P	CHF 3 385 126	CHF 3 163 333	107%
Greenfield vers FTTH PON	CHF 3 213 131	CHF 2 978 030	108%
Rapport P2P/PON	105%	106%	

Tableau 32: Comparatif de coûts à partir du Greenfield entre le respect et le non-respect des directives de l'OFCOM à La Roche

Migrations	Coût par bâtiment	Coût par logement	Rapport
VDSL vers G.fast à 100%	CHF 7 438	CHF 5 577	237%
VDSL vers G.fast à 90%	CHF 3 014	CHF 2 349	100%
VDSL vers FTTH P2P à 100%	CHF 5 245	CHF 4 153	177%
VDSL vers FTTH P2P à 90%	CHF 4 326	CHF 3 482	148%

Tableau 33: Comparatif de coûts entre un taux de pénétration de 100% et de 90% pour la migration à partir du VDSL à La Roche

## Résultat paire cuivrée

La solution la plus économique intuitivement pour un village tel que celui de La Roche (FR) serait de passer au G.fast. Cependant, au vu de la très faible densité, la distance entre les Manholes et les logements sera forcément plus grande, ne faisant ainsi pas bénéficier des débits technologiques maximaux à tous les logements. De plus, le coût pour s'approcher au plus près les bâtiments avec la fibre est beaucoup plus élevé par rapport à ceux de la ville pour un objectif de taux de pénétration de 100%.

Le second scénario, plus avantageux d'un point de vue évolutivité, serait de passer directement à la fibre optique P2P.

Au vu des coûts plus élevés en campagne qu'en ville, il est probablement plus judicieux d'amortir encore quelques années le VDSL pour les logements éloignés avant de passer directement sur le modèle à fibres optiques FTTH P2P si l'on souhaite un taux de pénétration de 100%. Cependant, il peut être intéressant de passer à la technologie G.fast si l'on souhaite obtenir un taux de pénétration de 90%, négligeant ainsi les habitations éloignées.

## Résultat coaxial

Dans les régions de campagne le câble coaxial, de par sa très faible atténuation linéique, permet encore une excellente évolutivité pour les 10 prochaines années. L'adaptation du réseau DOCSIS 3.0 vers DOCSIS 3.1 est une évidence pour ces zones, permettant d'économiser des coûts élevés en fibres optiques du modèle FTTH P2P. Dans ce scénario, il s'agirait uniquement de remplacer les CMTS ainsi que les CPE pour la prise en charge de la norme DOCSIS 3.1, en gardant quasiment le même réseau de distribution. Pour les zones à densité plus élevée du village, il peut être nécessaire de splitter des îlots DOCSIS pour atteindre le nombre d'environ 50 logements par îlots afin de garantir 600Mbps par client.

Pour un opérateur de télédistribution, le passage à un réseau FTTH P2P serait très élevé en terme de coûts, nécessitant de remplacer toute son infrastructure coaxiale existante. Cependant, ce scénario est à privilégier pour les habitations éloignées.

## Résultat situation Greenfield

Dans le cas d'une entreprise électrique devant partir d'une situation comprenant uniquement des tubes vides, là encore la fibre optique est une évidence en tous points de vue.

Le scénario FTTH P2P garantira d'excellents débits à très long terme de par les fibres dédiées aux clients jusqu'au POP, alors que le PON est une bonne optimisation des coûts et des débits. Cependant, les opérateurs souhaitent aujourd'hui éviter de repartir avec un médium partagé, d'où la préférence pour le P2P.

### 8.1.3.8 Conclusion

Pour les villages, les technologies de transition évoquées pour les villes sont beaucoup moins adaptées (*excepté DOCSIS 3.1 pour les câblo-opérateurs*), du fait de la densité plus faible. Il faudrait ainsi beaucoup trop de Manholes avec peu de logements. Pour certains villages, il est toutefois possible d'offrir un service de transition avec un DSLAM G.fast ou DOCSIS 3.1 au milieu du village par exemple, permettant de couvrir une partie de la population, en excluant les zones éloignées (taux de pénétration à 90%).

La tendance sera probablement de déployer la fibre en premier dans les zones habitées, puis dans un deuxième temps, atteindre les zones éloignées, moyennant un coût plus élevé.

Le FTTH PON pourrait se révéler très avantageux dans de nombreux cas.

## 8.2 Matrice de résultats

Décrite dans le cahier des charges, nos différents scénarios nous ont permis de remplir la matrice des variantes optimales pour chacun des types d'opérateurs, en implémentation urbaine et rurale.

	Réseau de télédistribution coaxial				Réseau téléphonique cuivré				Greenfield Tubes vides <i>(En respectant OFCOM)</i>				Greenfield Tubes vides <i>(Sans respecter OFCOM)</i>			
Ville	HFC DOCSIS 3.1				G.fast				FTTH P2P				FTTH PON			
	Fibre optique		Coaxial		Fibre optique		Paire cuivrée		Fibre optique		Fibre optique		Fibre optique			
Campagne <i>(Pénétration 100%)</i>	HFC DOCSIS 3.1				FTTH P2P				FTTH P2P				FTTH PON			
	Fibre optique		Coaxial		Fibre optique		Fibre optique		Fibre optique		Fibre optique		Fibre optique			
Campagne <i>(Pénétration 90%)</i>					G.fast											
					Fibre optique		Paire cuivrée									
	Métro	Feeder	Drop	In-house	Métro	Feeder	Drop	In-house	Métro	Feeder	Drop	In-house	Métro	Feeder	Drop	In-house

## 8.3 Synthèse des simulations

Au travers de nos diverses simulations, nous avons clairement pu constater que le coût principal d'une migration de réseau chez un opérateur se situe dans la partie Drop. En effet, les distances de câbles pour connecter les clients aux Manholes sont importantes, et nécessitent de facto beaucoup de travail de tirage. S'en suit également la partie Home, avec le CPE qui a un coût non négligeable. Sur ce point d'ailleurs Swisscom offre maintenant un CPE universel, permettant de connecter toutes ses technologies (*ADSL2+, VDSL, VDSL2 et FTTH*) ne nécessitant ainsi pas de changement d'équipement chez le client au changement de technologie de l'opérateur.

Vient ensuite généralement le coût du câblage In-House. Selon l'opérateur et le scénario de déploiement, ce montant peut être réparti entre le fournisseur d'accès et le propriétaire du bâtiment.

Pour terminer, nous retrouvons le prix du Feeder et du Métro. Ceux-ci sont relativement bas comparés au reste de l'infrastructure dans son ensemble. Cela vient du fait que les briques d'interconnexion sont peu nombreuses et que la distance totale des briques de transmission est très faible par rapport au Drop.

---

# 9 Conclusion

---

## 9.1 Débriefing

---

Le premier objectif consistait à énumérer les différentes technologies et architecture, tant actuelles qu'émergentes. Cette analyse complète nous a permis de proposer des technologies adéquates pour la préparation du simulateur et sa mise en œuvre avec les scénarios mentionnés.

Pour atteindre le second objectif, nous avons créé un simulateur permettant de calculer les coûts de déploiement et de dimensionner le réseau Métro-Accès du futur. Celui-ci nous a fourni toutes les fonctionnalités utiles pour obtenir des résultats cohérents avec ce que l'on attendait.

Afin de comparer les différentes technologies, ce qui était le troisième objectif de ce projet, plusieurs simulations ont été effectuées avec notre calculateur. C'est grâce aux simulations obtenues que l'on a pu déterminer les solutions les plus adéquates pour les différents scénarios.

Nous savons pertinemment qu'il est difficile d'obtenir des résultats précis mais les estimations obtenues semblent bien représenter la réalité.

Les trois objectifs définis dans le cahier des charges ont été atteints avec succès à la fin du projet.

## 9.2 Difficultés rencontrées

---

Durant la phase de spécification, la première difficulté rencontrée consistait à trouver une modélisation uniforme et la plus proche de la réalité, compatible avec toutes les technologies indépendamment des équipements de tronçons sélectionnés. C'est ainsi qu'en séance avec nos Professeurs, le modèle de briques a été mentionné puis mis en place.

La seconde difficulté à laquelle nous avons dû faire face fut durant la phase de réalisation. Il a été très difficile de trouver des prix corrects pour les différentes briques du modèle. Chaque fournisseur d'accès a conclu des contrats de masse confidentiels avec les équipementiers, faisant ainsi baisser considérablement les coûts par rapport aux prix publics. De ce fait, nous avons au début systématiquement des prix exorbitants, en décalage avec la réalité. Ce problème a pu être résolu au travers de discussions avec des personnes ayant travaillé dans le milieu, qui ont ainsi pu nous donner des ordres de grandeur plus précis.

Finalement, nous avons fait face à quelques difficultés à l'utilisation de notre simulateur dans le scénario de dimensionnement d'une ville rurale (*type village de La Roche*). Du fait de la faible densité de ces zones, les opérateurs réalisent le plus souvent du cas par cas pour les quartiers à couvrir. Ainsi, nous avons fait un nouveau scénario supplémentaire dans nos simulations avec un taux de pénétration fixé à 90% pour être plus proche de la réalité.

---

## 9.3 Perspectives futures

---

Sur le plan de la conception même du simulateur, il pourrait être intéressant d'ajouter quelques fonctionnalités supplémentaires comme par exemple :

- Prise en charge des coûts de génie civil (*en plus du tirage actuellement*)
- Séparation de la base de données des briques du simulateur
- Graphiques supplémentaires détaillés pour chaque section

Sur le plan utilisation, nous préconisons de réaliser des scénarios de dimensionnement sur des aires plus restreintes pour les zones rurales afin de gagner en précision, comme par exemple des groupes de quartiers partageant les mêmes caractéristiques. Il faudrait également être mieux renseigné sur les équipements actuellement en place sur le terrain, au lieu de faire des suppositions extrapolées par des moyennes.

---

## 9.4 Conclusion personnelle de notre binôme

---

Durant ce travail de semestre, la partie que nous avons personnellement préférée fut l'analyse. Durant cette phase, nous avons pu étudier les technologies d'accès du futur et conjointement à l'étude des besoins des utilisateurs en terme de bandes passantes pour 2015, définir lesquelles pourraient être mises en place.

Ensuite grâce à la création du simulateur de dimensionnement des coûts, nous avons pu vérifier et valider nos hypothèses et ainsi proposer, pour chacun des scénarios établis dans le cahier des charges, les technologies optimales. Nous avons pris conscience du coût de migration des technologies d'accès et pu visualiser clairement la répartition de ce dernier dans les différentes briques de notre modèle.

Bien plus que sur la plan académique, ce projet nous a permis d'acquérir des compétences professionnelles telles que la gestion de projet, la tenue des séances, la rédaction de procès-verbaux, la planification des tâches, le travail en binôme, et bien plus encore. Nous sommes persuadés qu'il s'agit là d'une bonne expérience que nous pourrions appliquer dans le monde professionnel.

Finalement, les rencontres avec nos contacts en entreprise furent très enrichissantes. Nous avons pu bien comprendre le point de vue des fournisseurs d'accès ainsi que des grandes entreprises pour lesquelles l'accès Internet à haut débit et fiable est une nécessité absolue.

## 9.5 Remerciements

Nous tenons tout particulièrement à remercier les personnes qui, de près ou de loin, nous ont offert de leur temps afin de nous encadrer, renseigner et partager quelques points de vue durant ce projet :



MM. Jacques Robadey et Patrick Gaillet, Professeurs en Télécommunications à la Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg, qui nous ont suivis et supervisés durant tout le travail et auprès desquels nous avons pu bénéficier d'une grande expérience dans le domaine des réseaux d'accès.



M. Patrick Gaudin, Responsable Technique chez Net+ FR, qui nous a exposé son point de vue sur l'évolution des technologies d'accès FTTH, et partagé son expérience dans la mise en place d'un tel réseau dans le canton de Fribourg.



M. Lionel Vallet, Responsable Datacenter chez Richemont International, pour avoir partagé avec nous son point de vue sur l'importance et les critères de haute disponibilité du réseau d'accès pour un centre de données mondial.



M. Kevin Brotherton, Consultant en Télécommunications chez Verizon Business, qui nous a fait part de son expérience dans l'exploitation des réseaux d'accès pour des grandes entreprises multi-sites et nous avoir partagé son point de vue sur l'évolution des besoins en terme de bandes passantes pour ces mêmes clients.



M. André Progin, Responsable des ventes chez Datwyler, qui nous a aidé à calculer les coûts de câblage pour nos différents scénarios.



Dr. Lukas Mohler, Statisticien au canton de Bâle-Ville, pour nous avoir calculé et transmis les prévisions démographiques de Bâle pour 2025.



M. Bertrand Gaillard, Vice Syndic de La Roche, qui nous a transmis les prévisions démographiques de sa commune pour 2025.

## 9.6 Contenu du CD

---

- 01 - Administration
  - 01 - Directives et règlements du projet
  - 02 - Donnée du projet
- 02 - Gestion de projet
  - 01 - Invitations aux séances
  - 02 - Procès-verbaux des séances
  - 03 - Planification et suivi de projet
  - 04 - Liste des tâches
  - 05 - Journal de travail
- 03 - Simulateur
  - 01 - Simulateur
  - 02 - Plan de tests de fonctionnement
  - 03 - Simulations
- 04 - Documentation
  - 01 - Rapport final
  - 02 - Présentations
- 05 - Ressources
  - 01 - Données de références électroniques

## 9.7 Déclaration d'honneur

---

Nous, soussignés, Romain Froidevaux et Loïc Gremaud, déclarons sur l'honneur que le travail rendu est le fruit d'un travail personnel. Nous certifions ne pas avoir eu recours au plagiat ou à toutes autres formes de fraudes. Toutes les sources d'information utilisées et les citations d'auteur ont été clairement mentionnées.

Romain Froidevaux



Loïc Gremaud



---

# 10 Références

---

## 10.1 Analyse

---

### 10.1.1 Technologie d'accès

#### 10.1.1.1 DSL

- [DSL1] A. Delley, M. Francioli et P. Zbinden, *Technologies d'accès aux réseaux*, 4 éd., Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg, 2007, pp. 4.10.
- [DSL2] A. Delley, *Accès et backhaul IP: Technologie pour l'accès d'utilisateur et l'agrégation*, 2 éd., Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg, 2014, pp. 3.3-3.14.
- [DSL3] Swisscom, "Extension de réseau: déjà plus d'un million de logements et de commerces raccordés au très haut débit", *Communiqué de presse*, Berne, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.swisscom.ch/content/dam/swisscom/fr/about/medias/communique-de-presse/2014/20140730-Netzausbau-Ultrabreitband-fr.pdf.res/20140730-Netzausbau-Ultrabreitband-fr.pdf>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL4] Contributeurs Wikipedia, "G.992.1", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: <https://en.wikipedia.org/wiki/G.992.1>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL5] Contributeurs Wikipedia, "Asymmetric digital subscriber line", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric\\_digital\\_subscriber\\_line](https://en.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_digital_subscriber_line). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL6] Contributeurs Wikipedia, "Very-high-bit-rate digital subscriber line", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [https://en.wikipedia.org/wiki/Very-high-bit-rate\\_digital\\_subscriber\\_line](https://en.wikipedia.org/wiki/Very-high-bit-rate_digital_subscriber_line). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL7] Contributeurs Wikipedia, "G.fast", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: <https://en.wikipedia.org/wiki/G.fast>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL8] Contributeurs Wikipedia, "SHDL", *Wikipedia*, 2013. [En ligne]. Disponible: <https://fr.wikipedia.org/wiki/SHDSL>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL9] Contributeurs Wikipedia, "Diaphonie", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Diaphonie>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL10] J. Perriard, "ADSL", *Comment Ça Marche*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.commentcamarche.net/contents/1110-ads1>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL11] M. Heath, "Chart of ADSL and ADSL2+ Speed Versus Distance", *Increase Broadband Speed*, 2012. [En ligne]. Disponible: <http://www.increasebroadbandspeed.co.uk/2012/graph-ADSL-speed-versus-distance>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL12] M. Heath, "Chart of BT Fibre Broadband FTTC (VDSL2) Speed Against Distance From the Cabinet", *Increase Broadband Speed*, 2013. [En ligne]. Disponible: <http://www.increasebroadbandspeed.co.uk/2013/chart-bt-fttc-vdsl2-speed-against-distance>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DSL13] P. Spruyt, S. Vanhastel, "The Numbers are in: Vectoring 2.0 Makes G.fast Faster", *TechZine*, 2013. [En ligne]. Disponible: <http://www2.alcatel-lucent.com/techzine/the-numbers-are-in-vectoring-2-0-makes-g-fast-faster/>. [Consulté le 9 novembre 2014].

- [DSL14] K. Russell, W. Sullivan, "Fixed Access: Stay Ahead of the Ultra-Broadband Curve", *TechZine*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.alcatel-lucent.com/techzine/fixed-access-stay-ahead-of-the-ultra-broadband-curve/>. [Consulté le 9 novembre 2014].

### 10.1.1.2 CATV

- [CATV1] A. Delley, *Accès et backhaul IP: Technologie pour l'accès d'utilisateur et l'agrégation*, 2 éd., Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg, 2014.
- [CATV2] OFS, "Famille, ménage, logement", *Forum des écoles*, 2000. [En ligne]. Disponible: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/dienstleistungen/forumschule/them/02/02b.html>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV3] A. Trachtenberg, "IEEE MAC Protocol 802.14", *HFC Network*, 2003. [En ligne]. Disponible: <http://ipsit.bu.edu/sc546/sc441Spring2003/hfc/MAC%20protocol.htm>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV4] T. Sheldon, Big Sur Multimedia, "Cable (CATV) Data Networks", *Linktionary*, 2001. [En ligne]. Disponible: <http://www.linktionary.com/c/cabledata.html>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV5] Cisco, "Design Principles for Cable - Based Access Solutions", *Networkers 2000*, 2000. [En ligne]. Disponible: <http://www.cisco.com/networkers/nw00/pres/2901.pdf>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV6] J. Baumgartner, "CableLabs: Test Time For DOCSIS 3.1 Approaching", *Multichannel News*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.multichannel.com/news/technology/cablelabs-test-time-docsis-31-approaching/384070>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV7] K. Blattenberger, "Coaxial Cable Specifications", *RF Cafe*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/coax-chart.htm>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV8] M. J. Van Der Burgt, *Coaxial Cables and Applications*, 2003. [En ligne]. Disponible: <http://www.belden.com/docs/upload/CoaxialCablesandApplications.pdf>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [CATV9] Contributeurs Wikipedia, "DOCSIS", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Docsis\\_operating\\_distance.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Docsis_operating_distance.jpg). [Consulté le 9 novembre 2014].

### 10.1.1.3 PLC

- [PLC1] A. Delley, *Accès et backhaul IP: Technologie pour l'accès d'utilisateur et l'agrégation*, 2 éd., Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg, 2014.
- [PLC2] C. Thürler, *Powerline communications, visions et réalités d'une alternative au dernier kilomètre dans un marché concurrentiel*, Fribourg: IIMT International Institute of Management in Telecommunications, University of Fribourg, 2005.
- [PLC3] Cypress Semiconductor, "What is Power Line Communication?", *EE Times*, 2011. [En ligne]. Disponible: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1279014](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279014). [Consulté le 10 novembre 2014].
- [PLC4] P. Anker, "Powerline Communications (PLC)", *Telecom ABC*, 2005. [En ligne]. Disponible: <http://www.telecomabc.com/p/plc.html>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [PLC5] Swissgrid SA, *Ligne aérienne et câble souterrain: Faits et conséquences pour le réseau de transport*, Vevey: Swissgrid SA, 2011. [En ligne]. Disponible: [http://www.energieforum-schweiz.ch/file/Energie-Report/2011/2011-10/11028\\_La%20brochure%20d'information\\_f.pdf](http://www.energieforum-schweiz.ch/file/Energie-Report/2011/2011-10/11028_La%20brochure%20d'information_f.pdf). [Consulté le 10 novembre 2014].

- [PLC6] Axpo Halding AG, "Freileitung- und Erdverkabelung", *Axpo*, 2013. [En ligne]. Disponible: <http://www.axpo.com/axpo/ch/de/axpo-erleben/stromnetze/frei-und-erdkabelleitungen.html>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [PLC7] G3-PLC Alliance, "Création de l'alliance G3-PLC visant à favoriser l'adoption de la norme de communications en vue du développement du réseau intelligent", *Business Wire*, 2011. [En Ligne]. Disponible: <http://www.businesswire.com/news/home/20110930005103/fr/>. [Consulté le 10 novembre 2014].

#### 10.1.1.4 Fibre optique

- [FO1] A. Delley, *Accès et backhaul IP: Technologie pour l'accès d'utilisateur et l'agrégation*, 2 éd., Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg, 2014, pp. 2.1-2.28.
- [FO2] KEYMILE, "AON vs. PON", *White Paper*, Brunn am Gebirge, Autriche: KEYMILE International GmbH, 2008. [Document électronique].
- [FO3] C. Lin, *Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home: Systems Technologies and Deployment Strategies*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
- [FO4] Contributeurs Wikipedia, "Fiber to the x", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [FO5] Contributeurs Wikipedia, "Fibre optique", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_optique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [FO6] Contributeurs Wikipedia, "Automatically switched optical network", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://en.wikipedia.org/wiki/Automatically\\_switched\\_optical\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Automatically_switched_optical_network). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [FO7] Contributeurs Wikipedia, "GPON", *Wikipedia*, 2013. [En ligne]. Disponible: <http://fr.wikipedia.org/wiki/GPON>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [FO8] Contributeurs Wikipedia, "IEEE 802.3", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.3](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3). [Consulté le 9 novembre 2014].

### 10.1.2 Dimensionnement du Métro

#### 10.1.2.1 Metro Ethernet

- [MET1] I. Giangrossi, "Carrier Ethernet Standards Progress", *Riverstone Networks*, 2005. [En ligne]. Disponible: <ftp://ftp.registro.br/pub/gter/gter20/05-carrierethernet.pdf>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [MET2] Juniper, "SONET/SDH Interfaces Overview", *Juniper Networks*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://www.juniper.net/documentation/en\\_US/junos14.1/topics/concept/interfaces-sonet-sdh-interfaces-overview.html](http://www.juniper.net/documentation/en_US/junos14.1/topics/concept/interfaces-sonet-sdh-interfaces-overview.html). [Consulté le 10 novembre 2014].
- [MET3] T. Jeffree, "802.1ad - Provider Bridges", *IEEE802*, 2006. [En ligne]. Disponible: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ad.html>. [Consulté le 10 novembre 2014].
- [MET4] Contributeurs Wikipedia, "Metro Ethernet", *Wikipedia*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://en.wikipedia.org/wiki/Metro\\_Ethernet](http://en.wikipedia.org/wiki/Metro_Ethernet). [Consulté le 10 novembre 2014].
- [MET5] Cisco, "Extending MPLS Across the End-to-End Network: Cisco Unified MPLS White Paper", Cisco, 2011. [En ligne]. Disponible: [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/carrier-packet-transport-cpt-system/white\\_paper\\_c11-656286.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/carrier-packet-transport-cpt-system/white_paper_c11-656286.html). [Consulté le 10 novembre 2014].

- [MET6] A. Breznick, "Ethernet Over Docsis: Drivers, Technology & Applications", SMC, 2009. [En ligne]. Disponible: <http://na.smc.com/wp-content/uploads/2011/03/SMC-Ethernet-Over-Docsis-WP-1-22.pdf>. [Consulté le 10 novembre 2014].

### 10.1.2.2 Qualité de Service (QoS)

- [QOS1] C. Hellberg, D. Greene, T. Boyes, *Broadband Network Architectures: Designing and Deploying Triple-Play Services*, Boston: Pearson Education, 2007, pp. 289-36.
- [QOS2] J-F. Pillou, " QoS - Qualité de service", *Comment Ça Marche*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.commentcamarche.net/contents/532-qos-qualite-de-service>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [QOS3] A. Surzur, G. Defrance, "Le 802.1p", *Les Vlans: les protocoles de transport et de contrôle*, 2000. [En ligne]. Disponible: <http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/SURZUR-DEFRANCE/controleflux.html>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [QOS4] N. Ek, " IEEE 802.1 P,Q - QoS on the MAC level", Helsinki: University of Technology, 1999. [En ligne]. Disponible: <http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/Tik-110.551/1999/papers/08IEEE802.1QosInMAC/qos.html>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [QOS5] W. Stallings, "LAN QoS", *The Internet Protocol Journal*, vol. 4, no. 1, 2000. [En ligne]. Disponible: [http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived\\_issues/ipj\\_4-1/lan\\_qos.html](http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_4-1/lan_qos.html). [Consulté le 9 novembre 2014].

## 10.1.3 Evolution de la demande

### 10.1.3.1 Bande passante

- [ED1] C. Lin, *Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home: Systems Technologies and Deployment Strategies*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2006, pp.93.
- [ED2] A. Delley, M. Francioli, P. Zbinden, *Technologies d'accès aux réseaux*, 4 ed., Fribourg: Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg, 2007, pp. 2.2-2.3.
- [ED3] R. Mestric, "Infographic: Video streaming", *TechZine*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www2.alcatel-lucent.com/techzine/infographic-video-streaming/>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [ED4] Netflix, "Internet Connection Speed Recommendations", *Netflix Help*, 2014. [En ligne]. Disponible: <https://help.netflix.com/en/node/306>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [ED5] OFS, "Ménage et population - Equipement TIC", *Société de l'information - Indicateurs*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/16/04/key/approche\\_globale.indicator.30103.301.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/16/04/key/approche_globale.indicator.30103.301.html). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [ED7] OFS, "Internet - Internet haut débit", *Indicateurs des médias*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/16/03/key/ind16.indicator.30107.160204.html?open=1,330,331#331>. [Consulté le 11 novembre 2014].
- [ED8] OFS, "Entreprises - Infrastructure TIC", *Société de l'information - Indicateurs*, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/16/04/key/approche\\_globale.indicator.30201.302.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/16/04/key/approche_globale.indicator.30201.302.html). [Consulté le 11 novembre 2014].
- [ED9] OFS, "Taille", *Entreprises - Indicateurs*, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/06/02/blank/key/03/01.html>. [Consulté le 11 novembre 2014].

### 10.1.3.2 Démographie

- [DEM1] OFS, "Evolution de la structure de la population, 2013. [En ligne]. Disponible: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand.html>. [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DEM2] OFS, "Evolution future de la population, 2013. [En ligne]. Disponible: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/03/blank/key/ent\\_erw.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/03/blank/key/ent_erw.html). [Consulté le 10 novembre 2014].
- [DEM3] OFS, "Conditions d'habitation, 2013. [En ligne]. Disponible: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/03/blank/key/belegungsdichte.html>. [Consulté le 8 novembre 2014].
- [DEM4] OFS, "Constructions – Données et indicateurs, 2013. [En ligne]. Disponible: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/04/blank/key/Wohnungsbau/nach\\_groesse.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/04/blank/key/Wohnungsbau/nach_groesse.html). [Consulté le 8 novembre 2014].
- [DEM5] OFS, "Bâtiments et logements – chiffres clés, 2013. [En ligne]. Disponible: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/02/blank/key/wohnungen/zimmerzahl\\_und\\_flaeche.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/02/blank/key/wohnungen/zimmerzahl_und_flaeche.html). [Consulté le 11 novembre 2014].
- [DEM6] Statistik BS, "Bevölkerungsszenarien, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.statistik-bs.ch/publikationen/analysen/bevoelkerungsprognose>. [Consulté le 8 novembre 2014].
- [DEM7] Statistik BS, "Bearbeitung: Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt, 2014. [En ligne]. Disponible: [http://www.statistik-bs.ch/publikationen/analysen/bevoelkerungsprognose/Bevoelkerungsszenarien\\_2014.pdf/at\\_download/file](http://www.statistik-bs.ch/publikationen/analysen/bevoelkerungsprognose/Bevoelkerungsszenarien_2014.pdf/at_download/file). [Consulté le 9 novembre 2014].
- [DEM8] Statistik BS, "Raum, Landschaft, Umwelt, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.statistik-bs.ch/publikationen/jahrbuch/JB2012-K02.pdf>. [Consulté le 6 novembre 2014].
- [DEM9] Statistik BS, "Bevölkerung, 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.statistik-bs.ch/publikationen/jahrbuch/JB2012-K01.pdf>. [Consulté le 11 novembre 2014].
- [DEM10] Dr. Lukas Mohler, Produktteamleiter Methodik, Kanton Basel-Stadt. [Courrier électronique]. Basel-Stadt, 28/10/2014.
- [DEM11] Bertrand Gaillard, Vice Syndic, Commune de La Roche FR. [Courrier électronique]. La Roche FR, 29/10/2014.

---

## 10.2 Analyse complémentaire

---

### 10.2.1 Coûts

- [COU1] L-Com, "Global Connectivity", 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.l-com.com>. [Consulté le 23 novembre 2014].
- [COU2] Go4Fiber, "Product Showcase", 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.go4fiber.com>. [Consulté le 21 novembre 2014].
- [COU3] FiberStore, "PON Splitters", 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.fiberstore.com>. [Consulté le 24 novembre 2014].
- [COU4] Distrelec, "Order Catalogues", 2014. [En ligne]. Disponible: <https://www.distrelec.ch>. [Consulté le 25 novembre 2014].
- [COU5] EM, "Elektro Material", 2014. [En ligne]. Disponible: <https://www.elektro-material.ch>. [Consulté le 25 novembre 2014].
- [COU6] Nexan, "Online Catalogue", 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.nexans.ch>. [Consulté le 22 novembre 2014].
- [COU7] Cablex, "En réseau pour le futur", 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.cablex.ch>. [Consulté le 26 novembre 2014].
- [COU8] Datwyler, "Preis Liste FO", 2014. [Document électronique].
- [COU9] CONNECTIS, "Système de câblage – Fibre Optique", 2014. [En ligne]. Disponible [http://www.conectis.com/docs/PDF/Fibre\\_Optique-CTIS09.pdf](http://www.conectis.com/docs/PDF/Fibre_Optique-CTIS09.pdf). [Consulté le 21 janvier 2015]
- [COU10] OFCOM, "Directives techniques concernant les installations FTTH de niveau 1 à l'intérieur des bâtiments", 2014. [Document électronique].
- [COU11] Municipalité d'Yverdon-les-Bain, "PR13.30PR", *Rapport au conseil communal*, 2013. [Document électronique].

## 10.3 Tests et vérification

---

- [TEV1] C. Lin, *Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home: Systems Technologies and Deployment Strategies*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2006, p.132-133
- [TEV2] C. Lin, *Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home: Systems Technologies and Deployment Strategies*, Hoboken: John Wiley & Sons, 2006, p.157.
- [TEV3] Tactis, "GFAST / FTTdp émergence d'un nouveau standard pour la desserte très haut débit", 2014. [En ligne]. Disponible: <http://www.tactis.fr/?p=1826>. [Consulté le 23 janvier 2015].

---

# 11 Annexes

---

1. Donnée du projet
2. Liste des tâches
3. Planification du projet
4. Liste des tests
5. Résultats des simulations



# 12 Table des illustrations

Figure 1: Déroulement du projet.....	9
Figure 2 : Matrice des cas d'analyse .....	11
Figure 3 : Schématisation des termes utilisés.....	12
Figure 4: G.fast débit binaire par fréquence [DSL13].....	19
Figure 5: G.fast - Vectoring [DSL13] .....	20
Figure 6: Architecture DSL .....	20
Figure 7: VDSL2 vs G.fast - Débits en fonction de la distance [DSL14] .....	21
Figure 8: Câble coaxial:.....	22
Figure 9: DOCSIS - Débits en fonction de la distance [CATV9] .....	22
Figure 10: Architecture CATV unidirectionnelle .....	23
Figure 11: Architecture CATV bidirectionnelle .....	24
Figure 12: Architecture HFC.....	25
Figure 13: Allocation des fréquences sur le spectre du câble coaxial .....	26
Figure 14: Allocation des fréquences sur le spectre du câble électrique basse tension .....	28
Figure 15: Atténuation linéique en fonction de la fréquence sur les câbles électriques [PLC1] .....	29
Figure 16: Architecture réseau PLC basse-tension .....	30
Figure 17: Type de fibres optiques [FO5].....	32
Figure 18: Architecture AON P2P .....	35
Figure 19: Architecture AON .....	35
Figure 20: Architecture PON .....	36
Figure 21: Matrice BCG montrant l'évolution des technologies d'accès .....	37
Figure 22: Trame Ethernet avec label MPLS .....	39
Figure 23: Progression des équipements TIC dans les ménages suisses, en 2011 [ED5].....	44
Figure 24: Nombre d'équipements TIC dans les ménages suisses en 2011 [ED5].....	44
Figure 25: Internet haut-débit en Suisse, 1999-2012 [ED7].....	45
Figure 26: Infrastructure TIC des entreprises en Suisse selon le Secteur, 2011 [ED8] .....	45
Figure 27: Concept de briques .....	51
Figure 28: Positionnement des différentes briques dans les sections .....	51
Figure 29: Schéma des entrées/sorties du simulateur .....	52
Figure 30 : Modèle relationnel de données .....	61
Figure 31 : Exemple de compatibilité entre 2 briques .....	64
Figure 32 : Assistant d'ajout d'une compatibilité .....	65
Figure 33 : Exemple d'entrée de compatibilité inter-briques .....	65
Figure 34 : Structogramme de la fonction .....	66
Figure 35 : Structogramme de la fonction CalculateCost() .....	66
Figure 36: Diagramme du coût en fonction de la distance maximum du Drop .....	74
Figure 37: Table de correspondance .....	74
Figure 38: Diagramme sur le nombre de logements à Bâle.....	75
Figure 39: Diagramme sur le nombre de bâtiments à Bâle.....	75
Figure 40: Coût par section - Migration VDSL vers G.fast à Bâle.....	76
Figure 41: Coût par section - Migration du VDSL vers FTTH P2P à Bâle .....	77
Figure 42: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers le DOCSIS 3.1 à Bâle .....	78
Figure 43: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers FTTH P2P à Bâle.....	79
Figure 44: Coût par section – Migration de tubes vides vers FTTH P2P à Bâle, avec OFCOM .....	80
Figure 45: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH P2P à Bâle, sans OFCOM .....	80
Figure 46: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à Bâle, avec OFCOM .....	81
Figure 47: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à Bâle, sans OFCOM .....	81
Figure 48: Diagramme sur le nombre de logements à La Roche .....	83
Figure 49: Diagramme sur le nombre de bâtiments à La Roche .....	83
Figure 50: Coût par section - Migration du VDSL vers le G.fast à La Roche, pénétration de 100% .....	84

Figure 51: Coût par section - Migration du VDSL vers le G.fast à La Roche, pénétration de 90% .....	84
Figure 52: Coût par section - Migration du VDSL vers FTTH P2P à La Roche, pénétration de 100% .....	85
Figure 53: Coût par section - Migration du VDSL vers FTTH P2P à La Roche, pénétration de 90% .....	85
Figure 54: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers le DOCSIS 3.1 à La Roche .....	86
Figure 55: Coût par section - Migration du DOCSIS 3.0 vers FTTH P2P à La Roche .....	87
Figure 56: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH P2P à La Roche, avec OFCOM .....	88
Figure 57: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH P2P à La Roche, sans OFCOM .....	88
Figure 58: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à La Roche, avec OFCOM .....	89
Figure 59: Coût par section - Migration de tubes vides vers FTTH PON à La Roche, sans OFCOM .....	89

---

# 13 Lexique

---

<b>4K</b>	Définition de 3840 x 2160 pixels
<b>8K</b>	Définition de 8192 x 4320 pixels
<b>ADSL</b>	Asymmetrical DSL ou DSL asymétrique
<b>ADSL2</b>	Evolution de l'ADSL, version 2
<b>ADSL2+</b>	Evolution de l'ADSL, version 2 plus
<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard, algorithme d'encryption symétrique
<b>AON</b>	Active Optical Network ou réseau optique actif
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode ou mode de transfert asynchrone
<b>BEP</b>	Building Entry Point ou point d'entrée dans le bâtiment
<b>Bonding</b>	Agrégation
<b>CATV</b>	Cable Television or Community Access Television or Community Antenna Television ou câble de télévision
<b>CHAP</b>	Challenge Handshake Authentication Protocol est un protocole d'authentification à base de challenge
<b>CMTS</b>	Cable Modem Termination System est modem utilisé par l'opérateur pour le câble
<b>CO</b>	Central Office, bâtiment au se trouve une POP
<b>Coax</b>	coaxial
<b>Core</b>	Réseau haute performance et central d'un opérateur
<b>CPE</b>	Customer Premises Equipment est un équipement que se trouve chez le client
<b>CWDM</b>	Coarse WDM ou WDM grossier
<b>DOCSIS</b>	Data Over Cable Service Interface Specification est une norme pour transporter des données sur le réseau TV
<b>Drop</b>	Ligne de terminaison qui part d'un noeud et va jusqu'au BEP
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line ou ligne d'accès numérique
<b>DSLAM</b>	Digital Subscriber Line Access Multiplexer ou multiplexeur d'accès à la ligne d'abonné numérique
<b>DWDM</b>	Dense WDM ou WDM dense
<b>EuroDOCSIS</b>	DOCSIS pour l'Europe
<b>Feeder</b>	Ligne qui relie un POP au noeud
<b>FEXT</b>	Far End CrossTalk ou diaphonie distante ou télédiaphonie
<b>FO</b>	Fiber Optic ou Fibre Optique
<b>FTTH</b>	Fiber To The Home ou fibre jusqu'à la maison
<b>FTTX</b>	Fiber To The X qui désigne toutes les variantes de la fibre jusqu'à X
<b>G.fast</b>	Successeur du VDSL2
<b>G3-PLC</b>	PLC de troisième génération
<b>GMPLS</b>	Generalized MPS est une généralisation du protocole MPLS
<b>HD</b>	High Definition
<b>HDLC</b>	High-Level Data Link Control, protocole Point à Point synchrone
<b>HDSL</b>	High-bit-rate DSL ou DSL haut débit
<b>HFC</b>	Hybrid Fiber Coaxial ou hybride fibre coaxial
<b>HQ</b>	High Quality
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers, instance de normalization

<b>IPTV</b>	IP Television, télévision sur IP
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union ou UIT (Union des télécommunications)
<b>LAN</b>	Local Area Network ou réseau local
<b>LCP</b>	Link Control Protocol ou protocole de contrôle de lien qui est intégré au PPP
<b>MAC</b>	Media Access Control ou contrôle d'accès au support, l'adresse MAC est un identifiant pour cette sous-couche
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network ou réseau métropolitain
<b>MEF</b>	Metro Ethernet Forum est une association à but non lucratif
<b>Méto</b>	Metropolitan ou métropolitain qui touche au MAN
<b>MPLS</b>	Multiprotocol Label Switching est un mécanisme de transport de donnée basé sur la commutation par étiquette
<b>NEXT</b>	Near End CrossTalk ou diaphonie locale ou paradiaphonie
<b>OFCOM</b>	Office Fédéral de la Communication qui est l'office chargé de la régulation des communications en Suisse
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing est procédé pour codé des signaux numériques en fréquences orthogonales avec sous-porteuses
<b>OFS</b>	Office Fédéral de la Statistique Suisse
<b>OSPF</b>	Open Shortest Path First est un protocole de routage à état de liens
<b>P2P</b>	Peer To Peer ou point à point, dans le cadre de l'architecture d'un réseau optique
<b>PAL</b>	Phase Alternating Line, encodage couleurs analogique européen
<b>PLC</b>	Power Line Carrier ou courants porteurs en ligne
<b>PON</b>	Passive Optical Network ou réseau optique passif
<b>POP</b>	Point Of Presence ou point de présence est un point d'accès à internet
<b>POS</b>	Passive Optical Splitter ou séparateur optique passif
<b>PPP</b>	Point to Point Protocol ou protocole point à point
<b>PVC</b>	Polyvinyl Chloride ou polychlorure de vinyle est une sorte de plastique
<b>QoS</b>	Quality of Service ou qualité de service
<b>SD</b>	Standard Definition ou définition standard
<b>SDH</b>	Synchronous Digital Hierarchy ou hiérarchie numérique synchrone
<b>SDSL</b>	Symmetric DSL ou DSL symétrique
<b>SmartGrid</b>	Dénomination du réseau de distribution d'électricité
<b>SONET</b>	Synchronous Optical Network est une norme de transmission optique
<b>Stacking</b>	Empilement
<b>Trunk</b>	Tronc est un lien ou passe plusieurs réseaux
<b>TV</b>	Télévision
<b>UHD</b>	Ultra High Definition
<b>VDSL</b>	Very High DSL ou DSL très haut débit
<b>VDSL2</b>	Evolution du VDSL, version 2
<b>Vectoring</b>	Vectorisation est une technique permettant de diminuer la diaphonie entre des lignes
<b>VLAN</b>	Virtual LAN, réseau LAN virtuel
<b>VoD</b>	Video on Demand ou Vidéo à la demande
<b>VoIP</b>	Voice over IP ou voix sur IP
<b>WAN</b>	Wide Area Network ou réseau étendu
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing ou multiplexage en longueur d'onde
<b>XG-FAST</b>	Evolution du G.fast, extrem

---

# Annexe 1: Donnée du projet

---

## Dimensionnement du réseau métro-accès du futur

### Metro-Access Network Dimensioning

Dans le futur proche le trafic télécom augmentera de manière substantielle et sera très hétérogène. C'est pour cette raison que Swisscom, Cablecom et les entreprises électriques investissent massivement dans les technologies d'accès. Chaque entreprise possède actuellement des réseaux très différents ce qui a pour conséquence que les solutions du futur sont différentes pour chacune. D'autre part la densité des clients et les distances centraux-clients diffèrent sensiblement entre ville et campagne. Pour avoir une vision globale des futurs réseaux d'accès en Suisse, tous ces aspects doivent être considérés.

Ce travail doit proposer la (les) technologie(s) optimale(s) dans chaque cas de figure (défini par le réseau actuel d'une entreprise et les aspects ville-campagne).

Pour le dimensionnement, un trafic (moyen et maximal), un nombre d'utilisateurs et des types de services (avec qualité et besoin en bande passante) sont données. Le réseau de base comprend les secteurs métropolitains (ville et campagne), l'accès (ville et campagne) et l'intérieur des bâtiments. Pour chaque solution, le type de nœud (switch, routeur, multiplexeur) doit être proposé et son coût financier additionné dans un simulateur simple. L'étudiant doit ensuite proposer la solution optimale pour chaque secteur et pour 3 cas.

Cas 1 : les liens métropolitains optiques existent déjà, mais pas les nœuds. Le réseau d'accès est composé de tubes vide. Le réseau des bâtiments n'existe pas.

Cas 2 : les liens métropolitains optiques existent déjà, mais pas les nœuds. Le réseau d'accès et du bâtiment est composé de câbles torsadés.

Cas 3 : les liens métropolitains optiques existent déjà, mais pas les nœuds. Le réseau d'accès est formé d'une solution hybride fibre-coax (cellule de 1000 clients). Le réseau des bâtiments est composé de coax.

Les buts sont :

- a) Définir la capacité d'une technologie dans chaque secteur et la combinaison optimale de ces technologies pour un réseau global.
- b) Illustrer les différences entre ville et campagne et leurs solutions correspondantes.
- c) Etudier les différences entre la construction d'un réseau futur à partir de rien (situation « greenfield ») et la modification d'un réseau existant et ensuite proposer les meilleures stratégies de construction/modification du métro-accès du futur pour les deux cas.

Limitation :

Seuls les coûts d'implémentation/adaptation sont à calculer de manière élaborée. L'exploitation quant à elle, est à estimer de manière qualitative.

Proposé par	Jacques Robadey, Patrick Gaillet
Nombre d'étudiants	2
Etudiants inscrits	Loïc Gremaud Romain Froidevaux
Mots clés	Trafic, Technologie, Simulateur, Capacité, Coût, Greenfield, Fibre, coax, câble torsadé
Responsables internes	Jacques Robadey Patrick Gaillet

## Annexe 2: Liste des tâches

ID	Nom	Ressources
<b>000</b>	<b>Début du projet</b>	
<b>100</b>	<b>Cahier des charges</b>	
101	Préparation de la planification	Loïc
102	Préparation du cahier des charges	Romain
103	Préparation de la liste des tâches	Loïc
104	Adaptation du draft du cahier des charges	Loïc, Romain
105	Amélioration du cahier des charges	Loïc, Romain
106	Adaptation du planning	Loïc, Romain
107	Adaptation de la liste des tâches	Loïc, Romain
199	Dépôt du cahier des charges	Romain
<b>200</b>	<b>Analyse de l'état de l'art et évolutions</b>	
201	DSL	Loïc
202	DOCSIS	Romain
203	Fibre optique	Loïc
204	QoS -> dimensionnement	Loïc
205	Metro Ethernet	Romain
207	Evolution de la consommation de la bande passante	Loïc
208	Démographie en ville (2014 - 2030)	Romain
209	Démographie en campagne (2014 - 2030)	Romain
210	Coûts d'implémentation pour les technologies choisies	Loïc
211	Coûts d'exploitation	Romain
212	PLC	Romain
299	Dépôt de l'analyse	Loïc
<b>300</b>	<b>Présentation intermédiaire</b>	
301	Préparation de la présentation	Loïc, Romain
302	Dépôt de la présentation	Loïc
399	Présentation devant la classe	Loïc, Romain
<b>400</b>	<b>Spécifications</b>	
401	Besoins matériels pour chaque technologie	Romain
402	Définitions des critères de calcul pour le simulateur	Loïc
499	Dépôt des spécifications	Loïc
<b>400</b>	<b>Analyse complémentaire</b>	
<b>500</b>	<b>Conception</b>	
501	Réalisation du simulateur	Loïc, Romain
599	Dépôt du rapport de conception	Loïc
<b>600</b>	<b>Tests et validation</b>	
601	Définir le plan de tests	Loïc, Romain
602	Réalisation des tests	Loïc, Romain
603	Adaptation du simulateur	Loïc, Romain

699	Dépôt du simulateur	Romain
<b>700</b>	<b>Rapport final</b>	
701	Finalisation du rapport	Loïc, Romain
799	Dépôt du rapport final	Loïc
<b>800</b>	<b>Présentation final</b>	
801	Préparation de la présentation	Loïc, Romain
802	Dépôt de la présentation	Loïc
899	Présentation devant la classe	Loïc, Romain
<b>999</b>	<b>Fin du projet</b>	

Nom	A1 - 15.09.2014							A2 - 22.09.2014							A3 - 29.09.2014							A4 - 06.10.2014							A5 - 13.10.2014						
	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
<b>Début du projet</b>			◆																																
<b>Cahier des charges</b>																																			
Rédaction du draft																																			
Présentation du draft																																			
Rédaction du document final																																			
Rendu du cahier des charges à 16h35																																			
<b>Analyse de l'état de l'art</b>																																			
Rédaction de l'analyse																																			
Rendu du document d'analyse																																			
<b>Présentation intermédiaire</b>																																			
Préparation de la présentation																																			
Présentation																																			
<b>Spécifications</b>																																			
Définition des spécifications																																			
Rendu du documents des spécifications																																			
<b>Analyse complémentaire</b>																																			
Analyse complémentaire																																			
Rendu du document d'analyse complémentaire																																			
<b>Conception</b>																																			
Réalisation du simulateur de coûts																																			
Préversion du simulateur de coûts terminé																																			
<b>Tests et vérification</b>																																			
Préparation de la procédure de tests																																			
Réalisation des tests et adaptations																																			
Simulateur de coût terminé																																			
<b>Rapport final</b>																																			
Finalisation du rapport final																																			
Rendu du rapport final à 16h00																																			
<b>Présentation final</b>																																			
Préparation de la défense																																			
Défense orale																																			
<b>Fin du projet</b>			◆																																

Nom	A6 - 27.10.2014							A7 - 03.11.2014							A8 - 10.11.2014							A9 - 17.11.2014							A10 - 24.11.2014						
	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
<b>Début du projet</b>																																			
<b>Cahier des charges</b>																																			
Rédaction du draft																																			
Présentation du draft																																			
Rédaction du document final																																			
Rendu du cahier des charges à 16h35																																			
<b>Analyse de l'état de l'art</b>																																			
Rédaction de l'analyse																																			
Rendu du document d'analyse																																			
<b>Présentation intermédiaire</b>																																			
Préparation de la présentation																																			
Présentation																																			
<b>Spécifications</b>																																			
Définition des spécifications																																			
Rendu du documents des spécifications																																			
<b>Analyse complémentaire</b>																																			
Analyse complémentaire																																			
Rendu du document d'analyse complémentaire																																			
<b>Conception</b>																																			
Réalisation du simulateur de coûts																																			
Préversion du simulateur de coûts terminé																																			
<b>Tests et vérification</b>																																			
Préparation de la procédure de tests																																			
Réalisation des tests et adaptations																																			
Simulateur de coût terminé																																			
<b>Rapport final</b>																																			
Finalisation du rapport final																																			
Rendu du rapport final à 16h00																																			
<b>Présentation final</b>																																			
Préparation de la défense																																			
Défense orale																																			
<b>Fin du projet</b>																																			



Nom	A16 - 19.02.2015							A17 - 26.01.2015							A18 - 02.02.2015						
	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
<b>Début du projet</b>																					
<b>Cahier des charges</b>																					
Rédaction du draft																					
Présentation du draft																					
Rédaction du document final																					
Rendu du cahier des charges à 16h35																					
<b>Analyse de l'état de l'art</b>																					
Rédaction de l'analyse																					
Rendu du document d'analyse																					
<b>Présentation intermédiaire</b>																					
Préparation de la présentation																					
Présentation																					
<b>Spécifications</b>																					
Définition des spécifications																					
Rendu du documents des spécifications																					
<b>Analyse complémentaire</b>																					
Analyse complémentaire																					
Rendu du document d'analyse complémentaire																					
<b>Conception</b>																					
Réalisation du simulateur de coûts																					
Préversion du simulateur de coûts terminé																					
<b>Tests et vérification</b>																					
Préparation de la procédure de tests																					
Réalisation des tests et adaptations																					
Simulateur de coût terminé																					
<b>Rapport final</b>																					
Finalisation du rapport final																					
Rendu du rapport final à 16h00																					
<b>Présentation final</b>																					
Préparation de la défense																					
Défense orale																					
<b>Fin du projet</b>																					

**Légende:**

-  Temps planifié et respecté
-  Marge non utilisée
-  Avance
-  Marge utilisée
-  Dépassement
-  Délai planifié et respecté
-  Délai déplacé
-  Délai fixe non déplaçable
-  Délai planifié non atteint
-  Délai en retard

## Annexe 4: Liste des tests

N°	Description	Attendu	Versions			
			Beta 2	Beta 3	Beta 4	1.0
<b>100</b>	<b>Excel Input Sheet</b>		<b>71%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
101	Bouton refresh	Les listes déroulantes se remplissent et affichent la valeur en cours	OK	OK	OK	OK
102	Liste déroulante	Chaque liste déroulante contienne des données correctes	OK	OK	OK	OK
103	Test de compatibilité	La compatibilité des briques est testée correctement pour chaque paire de liste déroulante	OK	OK	OK	OK
104	Présentation	La feuille et son contenu sont présentés correctement	OK	OK	OK	OK
105	Paramètres d'entrées	Avoir tous les paramètres d'entrée spécifiés et pouvoir les modifier	OK	OK	OK	OK
106	Cellules modifiables en évidence	Les cellules qui sont modifiables par l'utilisateur sont mises en évidence en jaune clair	NOK	OK	OK	OK
107	Modification manuel	Il est possible de modifier les briques sans avoir recours aux macros	NOK	OK	OK	OK
<b>200</b>	<b>Excel Output Sheet</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
201	Présentation	La feuille et son contenu sont présentés correctement	OK	OK	OK	OK
202	Nombre de CO	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
203	Nombre de brique POP actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
204	Nombre de brique POP futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
205	Coût du POP	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
206	Nombre de logement par CO actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
207	Nombre de logements par CO futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
208	Nombre de briques POP actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
209	Nombre de briques POP futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
210	Surface par CO	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
211	Distance moyenne entre le CO et un logement	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
212	Distance du metro actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
213	Distance du metro futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
214	Coût du metro	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
215	Distance du feeder actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
216	Distance du feeder futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
217	Coût du feeder	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
218	Distance du drop actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
219	Distance du drop futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
220	Coût du drop	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
221	Distance du in-house actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
222	Distance du in-house futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
223	Coût du in-house	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
224	Nombre de briques manhole actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
225	Nombre de briques manhole futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
226	Coût du manhole	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
227	Nombre de briques BEP actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK

N°	Description	Attendu	Beta 2	Beta 3	Beta 4	1.0
228	Nombre de briques BEP futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
229	Coût du BEP	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
230	Nombre de briques home actuel	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
231	Nombre de briques home futur	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
232	Coût du home	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
233	Les deltas	Les taux de croissance de la valeur du future par rapport à l'actuelle sont correctes	OK	OK	OK	OK
234	Coût total pour les bâtiments	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
235	Coût total pour les logements	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
236	Coût total du metro	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
237	Coût total du réseau access	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
238	Coût total du drop	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
239	Coût total du feeder	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
240	Coût total du in-house	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
241	Coût total du house	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
242	Coût total du réseau complet	Selon rapport de conception	OK	OK	OK	OK
243	Nom de la zone	Correspond à celui entré dans la feuille input	OK	OK	OK	OK
244	Année de départ	Correspond à celui entré dans la feuille input	OK	OK	OK	OK
245	Année de résultat	Correspond à celui entré dans la feuille input	OK	OK	OK	OK
246	Date de la simulation	Correspond à la date quand le simulateur est démarré (la date d'aujourd'hui lorsque le fichier excel est ouvert)	OK	OK	OK	OK
247	Résultats	Tous les résultats spécifiés sont présents	OK	OK	OK	OK
248	Affichage des unités	Les unités sont affichés correctement dans les cases de résultat	N/A	N/A	OK	OK
249	Nombre de logements par manhole actuel	Nombre de logements actuel / nombre de manholes actuel	N/A	N/A	OK	OK
250	Nombre de logements par manhole futur	Nombre de logements futur / nombre de manholes futur	N/A	N/A	OK	OK
251	Nombre de bâtiments par manhole actuel	Nombre de bâtiments actuel / nombre de manholes actuel	N/A	N/A	OK	OK
252	Nombre de bâtiments par manhole futur	Nombre de bâtiments futur / nombre de manholes futur	N/A	N/A	OK	OK
<b>300</b>	<b>Excel Transmission Sheet</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
301	Présentation	La feuille et son contenu sont présentés correctement	OK	OK	OK	OK
302	Colonne des briques	Toutes les colonnes spécifiées sont présentes	OK	OK	OK	OK
303	Saisie	Il est possible d'ajouter facilement de nouvelles briques	OK	OK	OK	OK
304	Cellules modifiables en évidence	Les cellules qui sont modifiables par l'utilisateur sont mises en évidence en jaune clair	OK	OK	OK	OK
305	Coût total des km	Coût au km + coût du génie civil au km	OK	OK	OK	OK
<b>400</b>	<b>Excel Compatibility Sheet</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
401	Présentation	La feuille et son contenu sont présentés correctement	OK	OK	OK	OK
402	Cellules modifiables en évidence	Les cellules qui sont modifiables par l'utilisateur sont mises en évidence en jaune clair	OK	OK	OK	OK
403	Bouton add	Ce bouton permet d'accéder sans problème à l'assistant de saisie pour cette liste de compatibilité	OK	OK	OK	OK
404	Ajout manuel	Il est possible d'ajouter manuellement des associations de briques sans recourir aux macros	OK	OK	OK	OK
<b>500</b>	<b>Excel Assistant Compatibilité</b>		<b>83%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
501	Présentation	L'assistant et son contenu sont présentés correctement	OK	OK	OK	OK

N°	Description	Attendu	Beta 2	Beta 3	Beta 4	1.0
502	Liste déroulante point de référence	Affiche une liste statique de tous les points de références	OK	OK	OK	OK
503	Liste déroulante section	Affiche une liste dynamique des sections qui dépendent du point de référence choisie	OK	OK	OK	OK
504	Liste déroulante brique d'interconnection	Affiche une liste dynamique des briques d'interconnection qui dépendent du point de référence et de la section choisie	OK	OK	OK	OK
505	Liste déroulante brique de transmission	Affiche une liste dynamique des briques de transmission qui dépendent du point de référence et de la section choisie	OK	OK	OK	OK
506	Ordre des actions forcé	Le GUI force l'utilisateur à aller dans le bonne ordre et active les éléments seulement si les listes requises ne sont pas vides.	NOK	OK	OK	OK
<b>600</b>	<b>Excel Interconnection Sheet</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
601	Présentation	La feuille et son contenu sont présentés correctement	OK	OK	OK	OK
602	Colonne des briques	Toutes les colonnes spécifiées sont présentes	OK	OK	OK	OK
603	Cellules modifiables en évidence	Les cellules qui sont modifiables par l'utilisateur sont mises en évidence en jaune clair	OK	OK	OK	OK
604	Coût total initial	Coût total en fonction du prix par port multiplié par le nombre de port + le coût de génie civil	OK	OK	OK	OK
<b>700</b>	<b>Excel Diagram Cost per Section</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
701	Présentation	Le diagramme est lisible et offre une bonne présentation	OK	OK	OK	OK
702	Données	Les données du diagramme correspondent à ce qui ont été calculés dans la feuille des résultats	OK	OK	OK	OK
<b>800</b>	<b>Excel Cost Distance Drop</b>	<i>Auparavant Exel Diagram Cost Ratio Feeder Drop</i>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
801	Présentation	Le diagramme est lisible et offre une bonne présentation	N/A	OK	OK	OK
802	Bouton calculate	Ce bouton appelle une macro qui va remplir le tableau comme si nous changions manuellement le ratio feeder/drop et que nous reportions les coûts feeder, drop et total.	N/A	OK	OK	OK
803	Calcul manuel	Il est possible de générer le graphique sans l'aide de la macro malgré que cela prenne du temps	N/A	OK	OK	OK
804	Coût total	L'addition du coût du drop et du feeder	N/A	OK	OK	OK
805	Minimum	La ligne où se trouve le minimum contient 100% pour l'affichage de la position du minimum sur le graphique	N/A	OK	OK	OK
<b>900</b>	<b>Excel Diagram Demography</b>				<b>100%</b>	<b>100%</b>
901	Présentation	Les diagrammes sont lisibles et offrent une bonne présentation	N/A	N/A	OK	OK
902	Données	Les données du diagramme correspondent à ce qui ont été calculés dans la feuille des résultats	N/A	N/A	OK	OK
<b>Résultats des tests</b>			<b>96%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>



# Annexe 5: Résultats des simulations

## Metro-Access Network Dimensioning

### Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel VDSL to G.Fast
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

#### Detailed results

Nb. CO (Central Offices)	10		
Surface per CO	2.502 km2		
Distance CO to manhole	1.339 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
Nb. brick POP	10.00	30.00	66.67%
Distance total metro	10. km	10. km	0.00%
Distance total feeder	88.35 km	1066.89 km	91.72%
Distance total drop	6535.2 km	1900. km	-243.96%
Distance mean drop	0.350 km	0.100 km	-250.00%
Distance in-house	2871.75 km	2925. km	1.82%
Surface per manhole	.38 km2	.031 km2	-1125.00%
Nb. "Manhole" location	66	797	91.72%
Nb. "Manhole" bricks	66.00	2391.00	97.24%
Nb. BEP bricks	18672.00	19000.00	1.73%
Nb. Home bricks	95725.00	97500.00	1.82%
Lodgements per building	5.13	5.13	0%
Manhole location per CO	6.60	79.70	92%
Lodgements per CO	9 572.50	9 750.00	1.82%
Lodgements per manhole location	1450.38	122.33	-1086%
Buildings per manhole location	282.91	23.84	-1087%

#### Detailed costs

Cost metro	CHF 0.00
Cost POP	1 998 000.00
Cost feeder	CHF 7 900 709.57
Cost "Manhole"	CHF 17 215 200.00
Cost drop	CHF 0.00
Cost BEP	CHF 0.00
Cost In-House	CHF 0.00
Cost Home	CHF 14 625 000.00

#### Final costs

Total per building	CHF 1 427
Total per lodgment	CHF 428
Total metro	CHF 0
Total access	CHF 27 113 910
Total drop	CHF 17 215 200
Total feeder	CHF 9 898 710
Total In-House	CHF 0
In-House per lodgment	CHF 0
Total House	CHF 14 625 000
House per lodgment	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 41 738 910</b>

### Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel VDSL to FTTH P2P
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

#### Detailed results

Nb. CO (Central Offices)	10		
Surface per CO	2.502 km2		
Distance CO to manhole	1.339 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
Nb. brick POP	10.00	70.00	85.71%
Distance total metro	10. km	10. km	0.00%
Distance total feeder	88.35 km	544.82 km	83.78%
Distance total drop	6535.2 km	2660. km	-145.68%
Distance mean drop	0.350 km	0.140 km	-150.00%
Distance in-house	2871.75 km	2925. km	1.82%
Surface per manhole	.38 km2	.062 km2	-525.00%
Nb. "Manhole" location	66	407	83.78%
Nb. "Manhole" bricks	66.00	97680.00	99.93%
Nb. BEP bricks	18672.00	19000.00	1.73%
Nb. Home bricks	95725.00	97500.00	1.82%
Lodgements per building	5.13	5.13	0%
Manhole location per CO	6.60	40.70	84%
Lodgements per CO	9 572.50	9 750.00	1.82%
Lodgements per manhole location	1450.38	239.56	-505%
Buildings per manhole location	282.91	46.68	-506%

#### Detailed costs

Cost metro	CHF 0.00
Cost POP	11 130 000.00
Cost feeder	CHF 16 175 755.81
Cost "Manhole"	CHF 1 953 600.00
Cost drop	CHF 48 726 640.00
Cost BEP	CHF 2 850 000.00
Cost In-House	CHF 17 102 475.00
Cost Home	CHF 14 625 000.00

#### Final costs

Total per building	CHF 4 255
Total per lodgment	CHF 1 154
Total metro	CHF 0
Total access	CHF 80 835 996
Total drop	CHF 53 530 240
Total feeder	CHF 27 305 756
Total In-House	CHF 17 102 475
In-House per lodgment	CHF 175
Total House	CHF 14 625 000
House per lodgment	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 112 563 471</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel DOCSIS 3.0 to DOCSIS 3.1
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	10
<b>Surface per CO</b>	2.502 km <sup>2</sup>
<b>Distance CO to manhole</b>	1.339 km

	Actual	Future	Delta
<b>Nb. brick POP</b>	90.00	30.00	-200.00%
<b>Distance total metro</b>	10. km	10. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	28.11 km	56.22 km	50.00%
<b>Distance total drop</b>	11763.36 km	8360. km	-40.71%
<b>Distance mean drop</b>	0.630 km	0.440 km	-43.18%
<b>Distance in-house</b>	2871.75 km	2925. km	1.82%
<b>Surface per manhole</b>	1.25 km <sup>2</sup>	.608 km <sup>2</sup>	-105.01%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	21	42	50.00%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	1995.00	2058.00	3.06%
<b>Nb. BEP bricks</b>	18672.00	19000.00	1.73%
<b>Nb. Home bricks</b>	95725.00	97500.00	1.82%
<b>Lodgements per building</b>	5.13	5.13	0%
<b>Manhole location per CO</b>	2.10	4.20	50%
<b>Lodgements per CO</b>	9 572.50	9 750.00	1.82%
<b>Lodgements per manhole location</b>	4558.33	2321.43	-96%
<b>Buildings per manhole location</b>	889.14	452.38	-97%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 0.00
<b>Cost POP</b>	1 998 000.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 226 969.77
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 29 635 200.00
<b>Cost drop</b>	CHF 0.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 0.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 319 500.00
<b>Cost Home</b>	CHF 14 625 000.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 1 677
<b>Total per lodgment</b>	CHF 480
<b>Total metro</b>	CHF 0
<b>Total access</b>	CHF 31 860 170
<b>Total drop</b>	CHF 29 635 200
<b>Total feeder</b>	CHF 2 224 970
<b>Total In-House</b>	CHF 319 500
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 3
<b>Total House</b>	CHF 14 625 000
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 46 804 670</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel DOCSIS 3.0 to FTTH P2P
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	10
<b>Surface per CO</b>	2.502 km <sup>2</sup>
<b>Distance CO to manhole</b>	1.339 km

	Actual	Future	Delta
<b>Nb. brick POP</b>	90.00	70.00	-28.57%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	28.11 km	544.82 km	94.84%
<b>Distance total drop</b>	11763.36 km	2660. km	-342.23%
<b>Distance mean drop</b>	0.630 km	0.140 km	-350.00%
<b>Distance in-house</b>	2871.75 km	2925. km	1.82%
<b>Surface per manhole</b>	1.25 km <sup>2</sup>	.062 km <sup>2</sup>	-1925.00%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	21	407	94.84%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	1995.00	97680.00	97.96%
<b>Nb. BEP bricks</b>	18672.00	19000.00	1.73%
<b>Nb. Home bricks</b>	95725.00	97500.00	1.82%
<b>Lodgements per building</b>	5.13	5.13	0%
<b>Manhole location per CO</b>	2.10	40.70	95%
<b>Lodgements per CO</b>	9 572.50	9 750.00	1.82%
<b>Lodgements per manhole location</b>	4558.33	239.56	-1803%
<b>Buildings per manhole location</b>	889.14	46.68	-1805%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 0.00
<b>Cost POP</b>	11 130 000.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 16 240 589.59
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 1 953 600.00
<b>Cost drop</b>	CHF 67 346 640.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 2 850 000.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 17 102 475.00
<b>Cost Home</b>	CHF 14 625 000.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 5 238
<b>Total per lodgment</b>	CHF 1 346
<b>Total metro</b>	CHF 0
<b>Total access</b>	CHF 99 520 830
<b>Total drop</b>	CHF 72 150 240
<b>Total feeder</b>	CHF 27 370 590
<b>Total In-House</b>	CHF 17 102 475
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 14 625 000
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 131 248 305</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel Greenfield to FTTH P2P
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>		10	
<b>Surface per CO</b>	2.502 km2		
<b>Distance CO to manhole</b>	1.339 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	95 730.00	70.00	-136657.14%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	10.71 km	544.82 km	98.03%
<b>Distance total drop</b>	18672. km	2660. km	-601.95%
<b>Distance mean drop</b>	1.000 km	0.140 km	-614.29%
<b>Distance in-house</b>	2871.75 km	2925. km	1.82%
<b>Surface per manhole</b>	3.14 km2	.062 km2	-5002.04%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	8	407	98.03%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	95728.00	97680.00	2.00%
<b>Nb. BEP bricks</b>	18672.00	19000.00	1.73%
<b>Nb. Home bricks</b>	95725.00	97500.00	1.82%
<b>Lodgements per building</b>	5.13	5.13	0%
<b>Manhole location per CO</b>	0.80	40.70	98%
<b>Lodgements per CO</b>	9 572.50	9 750.00	1.82%
<b>Lodgements per manhole location</b>	11965.63	239.56	-4895%
<b>Buildings per manhole location</b>	2334.00	46.68	-4900%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 161 480.00
<b>Cost POP</b>	11 130 000.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 16 240 589.59
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 1 953 600.00
<b>Cost drop</b>	CHF 48 726 640.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 2 850 000.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 17 102 475.00
<b>Cost Home</b>	CHF 14 625 000.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 4 266
<b>Total per lodgment</b>	CHF 1 157
<b>Total metro</b>	CHF 161 480
<b>Total access</b>	CHF 80 900 830
<b>Total drop</b>	CHF 53 530 240
<b>Total feeder</b>	CHF 27 370 590
<b>Total In-House</b>	CHF 17 102 475
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 14 625 000
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 112 789 785</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel Greenfield to FTTH P2P NO OFCOM
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>		10	
<b>Surface per CO</b>	2.502 km2		
<b>Distance CO to manhole</b>	1.339 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	95 730.00	70.00	-136657.14%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	10.71 km	544.82 km	98.03%
<b>Distance total drop</b>	18672. km	2660. km	-601.95%
<b>Distance mean drop</b>	1.000 km	0.140 km	-614.29%
<b>Distance in-house</b>	2871.75 km	2925. km	1.82%
<b>Surface per manhole</b>	3.14 km2	.062 km2	-5002.04%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	8	407	98.03%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	95728.00	97680.00	2.00%
<b>Nb. BEP bricks</b>	18672.00	19000.00	1.73%
<b>Nb. Home bricks</b>	95725.00	97500.00	1.82%
<b>Lodgements per building</b>	5.13	5.13	0%
<b>Manhole location per CO</b>	0.80	40.70	98%
<b>Lodgements per CO</b>	9 572.50	9 750.00	1.82%
<b>Lodgements per manhole location</b>	11965.63	239.56	-4895%
<b>Buildings per manhole location</b>	2334.00	46.68	-4900%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 161 480.00
<b>Cost POP</b>	11 130 000.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 10 569 540.68
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 1 953 600.00
<b>Cost drop</b>	CHF 44 574 380.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 2 850 000.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 17 102 475.00
<b>Cost Home</b>	CHF 14 625 000.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 3 749
<b>Total per lodgment</b>	CHF 1 056
<b>Total metro</b>	CHF 161 480
<b>Total access</b>	CHF 71 077 521
<b>Total drop</b>	CHF 49 377 980
<b>Total feeder</b>	CHF 21 699 541
<b>Total In-House</b>	CHF 17 102 475
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 14 625 000
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 102 966 476</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel Greenfield to FTTH PON
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	10		
<b>Surface per CO</b>	2.502 km <sup>2</sup>		
<b>Distance CO to manhole</b>	1.339 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	95 730.00	40.00	-239225.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	10.71 km	1066.89 km	99.00%
<b>Distance total drop</b>	18672. km	1900. km	-882.74%
<b>Distance mean drop</b>	1.000 km	0.100 km	-900.00%
<b>Distance in-house</b>	2871.75 km	2925. km	1.82%
<b>Surface per manhole</b>	3.14 km <sup>2</sup>	.031 km <sup>2</sup>	-9900.00%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	8	797	99.00%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	95728.00	1594.00	-9805.52%
<b>Nb. BEP bricks</b>	18672.00	19000.00	1.73%
<b>Nb. Home bricks</b>	95725.00	97500.00	1.82%
<b>Lodgements per building</b>	5.13	5.13	0%
<b>Manhole location per CO</b>	0.80	79.70	99%
<b>Lodgements per CO</b>	9 572.50	9 750.00	1.82%
<b>Lodgements per manhole location</b>	11965.63	122.33	-9681%
<b>Buildings per manhole location</b>	2334.00	23.84	-9691%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 161 480.00
<b>Cost POP</b>	1 016 000.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 8 614 043.13
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 2 040 320.00
<b>Cost drop</b>	CHF 42 947 600.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 2 850 000.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 16 303 950.00
<b>Cost Home</b>	CHF 19 500 000.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 3 033
<b>Total per lodgment</b>	CHF 958
<b>Total metro</b>	CHF 161 480
<b>Total access</b>	CHF 57 467 963
<b>Total drop</b>	CHF 47 837 920
<b>Total feeder</b>	CHF 9 630 043
<b>Total In-House</b>	CHF 16 303 950
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 167
<b>Total House</b>	CHF 19 500 000
<b>House per lodgment</b>	CHF 200
<b>Total</b>	<b>CHF 93 433 393</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	Basel Greenfield to FTTH PON NO OFCOM
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	10		
<b>Surface per CO</b>	2.502 km <sup>2</sup>		
<b>Distance CO to manhole</b>	1.339 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	95 730.00	40.00	-239225.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	10.71 km	741.6 km	98.56%
<b>Distance total drop</b>	18672. km	2280. km	-718.95%
<b>Distance mean drop</b>	1.000 km	0.120 km	-733.33%
<b>Distance in-house</b>	2871.75 km	2925. km	1.82%
<b>Surface per manhole</b>	3.14 km <sup>2</sup>	.045 km <sup>2</sup>	-6844.44%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	8	554	98.56%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	95728.00	1662.00	-9805.52%
<b>Nb. BEP bricks</b>	18672.00	19000.00	1.73%
<b>Nb. Home bricks</b>	95725.00	97500.00	1.82%
<b>Lodgements per building</b>	5.13	5.13	0%
<b>Manhole location per CO</b>	0.80	55.40	99%
<b>Lodgements per CO</b>	9 572.50	9 750.00	1.82%
<b>Lodgements per manhole location</b>	11965.63	175.99	-6699%
<b>Buildings per manhole location</b>	2334.00	34.30	-6705%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 161 480.00
<b>Cost POP</b>	1 016 000.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 5 987 678.66
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 2 127 360.00
<b>Cost drop</b>	CHF 42 278 040.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 2 850 000.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 16 303 950.00
<b>Cost Home</b>	CHF 19 500 000.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 2 864
<b>Total per lodgment</b>	CHF 925
<b>Total metro</b>	CHF 161 480
<b>Total access</b>	CHF 54 259 079
<b>Total drop</b>	CHF 47 255 400
<b>Total feeder</b>	CHF 7 003 679
<b>Total In-House</b>	CHF 16 303 950
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 167
<b>Total House</b>	CHF 19 500 000
<b>House per lodgment</b>	CHF 200
<b>Total</b>	<b>CHF 90 224 509</b>

## Metro-Access Network Dimensioning

### Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche VDSL to G.Fast
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

#### Detailed results

Nb. CO (Central Offices)	1
Surface per CO	8.04 km2
Distance CO to manhole	2.400 km

	Actual	Future	Delta
Nb. brick POP	1.00	1.00	0.00%
Distance total metro	20. km	20. km	0.00%
Distance total feeder	14.4 km	508.72 km	97.17%
Distance total drop	371. km	63.25 km	-486.56%
Distance mean drop	0.700 km	0.110 km	-536.36%
Distance in-house	21. km	23.64 km	11.17%
Surface per manhole	1.54 km2	.038 km2	-3949.59%
Nb. "Manhole" location	6	212	97.17%
Nb. "Manhole" bricks	18.00	212.00	91.51%
Nb. BEP bricks	530.00	575.00	7.83%
Nb. Home bricks	700.00	788.00	11.17%
Lodgements per building	1.32	1.37	4%
Manhole location per CO	6.00	212.00	97%
Lodgements per CO	700.00	788.00	11.17%
Lodgements per manhole location	116.67	3.72	-3039%
Buildings per manhole location	88.33	2.71	-3157%

#### Detailed costs

Cost metro	CHF 0.00
Cost POP	31 200.00
Cost feeder	CHF 3 991 170.79
Cost "Manhole"	CHF 254 400.00
Cost drop	CHF 0.00
Cost BEP	CHF 0.00
Cost In-House	CHF 0.00
Cost Home	CHF 118 200.00

#### Final costs

Total per building	CHF 7 438
Total per lodgment	CHF 5 577
Total metro	CHF 0
Total access	CHF 4 276 771
Total drop	CHF 254 400
Total feeder	CHF 4 022 371
Total In-House	CHF 0
In-House per lodgment	CHF 0
Total House	CHF 118 200
House per lodgment	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 4 394 971</b>

## Metro-Access Network Dimensioning

### Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche VDSL to G.Fast 90% Cover.
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

#### Detailed results

Nb. CO (Central Offices)	1
Surface per CO	4.02 km2
Distance CO to manhole	1.697 km

	Actual	Future	Delta
Nb. brick POP	1.00	1.00	0.00%
Distance total metro	20. km	20. km	0.00%
Distance total feeder	5.09 km	179.86 km	97.17%
Distance total drop	333.9 km	56.93 km	-486.56%
Distance mean drop	0.700 km	0.110 km	-536.36%
Distance in-house	18.9 km	21.28 km	11.17%
Surface per manhole	1.54 km2	.038 km2	-3949.59%
Nb. "Manhole" location	3	106	97.17%
Nb. "Manhole" bricks	15.00	106.00	85.85%
Nb. BEP bricks	477.00	517.50	7.83%
Nb. Home bricks	630.00	709.20	11.17%
Lodgements per building	1.32	1.37	4%
Manhole location per CO	3.00	106.00	97%
Lodgements per CO	630.00	709.20	11.17%
Lodgements per manhole location	210.00	6.69	-3039%
Buildings per manhole location	159.00	4.88	-3157%

#### Detailed costs

Cost metro	CHF 0.00
Cost POP	21 200.00
Cost feeder	CHF 1 411 091.97
Cost "Manhole"	CHF 127 200.00
Cost drop	CHF 0.00
Cost BEP	CHF 0.00
Cost In-House	CHF 0.00
Cost Home	CHF 106 380.00

#### Final costs

Total per building	CHF 3 014
Total per lodgment	CHF 2 349
Total metro	CHF 0
Total access	CHF 1 559 492
Total drop	CHF 127 200
Total feeder	CHF 1 432 292
Total In-House	CHF 0
In-House per lodgment	CHF 0
Total House	CHF 106 380
House per lodgment	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 1 665 872</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche VDSL to FTTH P2P
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	1		
<b>Surface per CO</b>	8.04 km2		
<b>Distance CO to manhole</b>	2.400 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	1.00	1.00	0.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	14.4 km	79.19 km	81.82%
<b>Distance total drop</b>	371. km	161. km	-130.43%
<b>Distance mean drop</b>	0.700 km	0.280 km	-150.00%
<b>Distance in-house</b>	21. km	23.64 km	11.17%
<b>Surface per manhole</b>	1.54 km2	246 km2	-525.00%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	6	33	81.82%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	6.00	792.00	99.24%
<b>Nb. BEP bricks</b>	530.00	575.00	7.83%
<b>Nb. Home bricks</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per building</b>	1.32	1.37	4%
<b>Manhole location per CO</b>	6.00	33.00	82%
<b>Lodgements per CO</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per manhole location</b>	116.67	23.88	-389%
<b>Buildings per manhole location</b>	88.33	17.42	-407%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 0.00
<b>Cost POP</b>	106 200.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 848 338.92
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 15 840.00
<b>Cost drop</b>	CHF 1 959 393.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 86 250.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 138 223.08
<b>Cost Home</b>	CHF 118 200.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 5 245
<b>Total per lodgment</b>	CHF 4 153
<b>Total metro</b>	CHF 0
<b>Total access</b>	CHF 3 016 022
<b>Total drop</b>	CHF 2 061 483
<b>Total feeder</b>	CHF 954 539
<b>Total In-House</b>	CHF 138 223
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 118 200
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 3 272 445</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche VDSL to FTTH P2P 90% Cover.
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	1		
<b>Surface per CO</b>	4.02 km2		
<b>Distance CO to manhole</b>	1.697 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	1.00	1.00	0.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	5.09 km	39.03 km	86.96%
<b>Distance total drop</b>	333.9 km	124.2 km	-168.84%
<b>Distance mean drop</b>	0.700 km	0.240 km	-191.67%
<b>Distance in-house</b>	18.9 km	21.28 km	11.17%
<b>Surface per manhole</b>	1.54 km2	181 km2	-750.69%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	3	23	86.96%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	3.00	713.00	99.58%
<b>Nb. BEP bricks</b>	477.00	517.50	7.83%
<b>Nb. Home bricks</b>	630.00	709.20	11.17%
<b>Lodgements per building</b>	1.32	1.37	4%
<b>Manhole location per CO</b>	3.00	23.00	67%
<b>Lodgements per CO</b>	630.00	709.20	11.17%
<b>Lodgements per manhole location</b>	210.00	30.83	-581%
<b>Buildings per manhole location</b>	159.00	22.50	-607%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 0.00
<b>Cost POP</b>	106 200.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 418 088.57
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 14 260.00
<b>Cost drop</b>	CHF 1 622 424.60
<b>Cost BEP</b>	CHF 77 625.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 124 400.77
<b>Cost Home</b>	CHF 106 380.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 4 326
<b>Total per lodgment</b>	CHF 3 482
<b>Total metro</b>	CHF 0
<b>Total access</b>	CHF 2 238 598
<b>Total drop</b>	CHF 1 714 310
<b>Total feeder</b>	CHF 524 289
<b>Total In-House</b>	CHF 124 401
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 106 380
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 2 469 379</b>

## Metro-Access Network Dimensioning

### Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche DOCSIS 3.0 to DOCSIS 3.1
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

#### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	1
<b>Surface per CO</b>	8.04 km <sup>2</sup>
<b>Distance CO to manhole</b>	2.400 km

	Actual	Future	Delta
<b>Nb. brick POP</b>	15.00	9.00	-66.67%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	12. km	12. km	0.00%
<b>Distance total drop</b>	381.6 km	414. km	7.83%
<b>Distance mean drop</b>	0.720 km	0.720 km	0.00%
<b>Distance in-house</b>	21. km	23.64 km	11.17%
<b>Surface per manhole</b>	1.63 km <sup>2</sup>	1,629 km <sup>2</sup>	0.00%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	5	5	0.00%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	350.00	200.00	-75.00%
<b>Nb. BEP bricks</b>	530.00	575.00	7.83%
<b>Nb. Home bricks</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per building</b>	1.32	1.37	4%
<b>Manhole location per CO</b>	5.00	5.00	0%
<b>Lodgements per CO</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per manhole location</b>	140.00	157.60	11%
<b>Buildings per manhole location</b>	106.00	115.00	8%

#### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 0.00
<b>Cost POP</b>	45 900.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 0.00
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 240 000.00
<b>Cost drop</b>	CHF 294 300.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 0.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 15 840.00
<b>Cost Home</b>	CHF 118 200.00

#### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 1 009
<b>Total per lodgment</b>	CHF 906
<b>Total metro</b>	CHF 0
<b>Total access</b>	CHF 580 200
<b>Total drop</b>	CHF 534 300
<b>Total feeder</b>	CHF 45 900
<b>Total In-House</b>	CHF 15 840
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 20
<b>Total House</b>	CHF 118 200
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 714 240</b>

## Metro-Access Network Dimensioning

### Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche DOCSIS 3.0 to FTTH P2P
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

#### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	1
<b>Surface per CO</b>	8.04 km <sup>2</sup>
<b>Distance CO to manhole</b>	2.400 km

	Actual	Future	Delta
<b>Nb. brick POP</b>	15.00	1.00	-1400.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	12. km	59.99 km	80.00%
<b>Distance total drop</b>	381.6 km	184. km	-107.39%
<b>Distance mean drop</b>	0.720 km	0.320 km	-125.00%
<b>Distance in-house</b>	21. km	23.64 km	11.17%
<b>Surface per manhole</b>	1.63 km <sup>2</sup>	.322 km <sup>2</sup>	-406.25%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	5	25	80.00%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	350.00	800.00	56.25%
<b>Nb. BEP bricks</b>	530.00	575.00	7.83%
<b>Nb. Home bricks</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per building</b>	1.32	1.37	4%
<b>Manhole location per CO</b>	5.00	25.00	80%
<b>Lodgements per CO</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per manhole location</b>	140.00	31.52	-344%
<b>Buildings per manhole location</b>	106.00	23.00	-361%

#### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 0.00
<b>Cost POP</b>	106 200.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 642 681.00
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 16 000.00
<b>Cost drop</b>	CHF 2 116 092.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 86 250.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 320 251.08
<b>Cost Home</b>	CHF 118 200.00

#### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 5 160
<b>Total per lodgment</b>	CHF 4 322
<b>Total metro</b>	CHF 0
<b>Total access</b>	CHF 2 967 223
<b>Total drop</b>	CHF 2 218 342
<b>Total feeder</b>	CHF 748 881
<b>Total In-House</b>	CHF 320 251
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 406
<b>Total House</b>	CHF 118 200
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 3 405 674</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche Greenfield to FTTH P2P
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	1		
<b>Surface per CO</b>	8.04 km <sup>2</sup>		
<b>Distance CO to manhole</b>	2.400 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	702.00	1.00	-70100.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	7.2 km	59.99 km	88.00%
<b>Distance total drop</b>	530. km	184. km	-188.04%
<b>Distance mean drop</b>	1.000 km	0.320 km	-212.50%
<b>Distance in-house</b>	21. km	23.64 km	11.17%
<b>Surface per manhole</b>	3.14 km <sup>2</sup>	.322 km <sup>2</sup>	-876.56%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	3	25	88.00%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	702.00	800.00	12.25%
<b>Nb. BEP bricks</b>	530.00	575.00	7.83%
<b>Nb. Home bricks</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per building</b>	1.32	1.37	4%
<b>Manhole location per CO</b>	3.00	25.00	88%
<b>Lodgements per CO</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per manhole location</b>	233.33	31.52	-640%
<b>Buildings per manhole location</b>	176.67	23.00	-668%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 161 480.00
<b>Cost POP</b>	106 200.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 642 681.00
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 16 000.00
<b>Cost drop</b>	CHF 2 116 092.00
<b>Cost BEP</b>	CHF 86 250.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 138 223.08
<b>Cost Home</b>	CHF 118 200.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 5 441
<b>Total per lodgment</b>	CHF 4 296
<b>Total metro</b>	CHF 161 480
<b>Total access</b>	CHF 2 967 223
<b>Total drop</b>	CHF 2 218 342
<b>Total feeder</b>	CHF 748 881
<b>Total In-House</b>	CHF 138 223
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 118 200
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 3 385 126</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche Greenfield to FTTH P2P NO OFCOM
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

<b>Nb. CO (Central Offices)</b>	1		
<b>Surface per CO</b>	8.04 km <sup>2</sup>		
<b>Distance CO to manhole</b>	2.400 km		
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
<b>Nb. brick POP</b>	702.00	1.00	-70100.00%
<b>Distance total metro</b>	20. km	20. km	0.00%
<b>Distance total feeder</b>	7.2 km	57.59 km	87.50%
<b>Distance total drop</b>	530. km	189.75 km	-179.31%
<b>Distance mean drop</b>	1.000 km	0.330 km	-203.03%
<b>Distance in-house</b>	21. km	23.64 km	11.17%
<b>Surface per manhole</b>	3.14 km <sup>2</sup>	.342 km <sup>2</sup>	-818.27%
<b>Nb. "Manhole" location</b>	3	24	87.50%
<b>Nb. "Manhole" bricks</b>	702.00	792.00	11.36%
<b>Nb. BEP bricks</b>	530.00	575.00	7.83%
<b>Nb. Home bricks</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per building</b>	1.32	1.37	4%
<b>Manhole location per CO</b>	3.00	24.00	88%
<b>Lodgements per CO</b>	700.00	788.00	11.17%
<b>Lodgements per manhole location</b>	233.33	32.83	-611%
<b>Buildings per manhole location</b>	176.67	23.96	-637%

### Detailed costs

<b>Cost metro</b>	CHF 161 480.00
<b>Cost POP</b>	106 200.00
<b>Cost feeder</b>	CHF 616 973.76
<b>Cost "Manhole"</b>	CHF 15 840.00
<b>Cost drop</b>	CHF 1 920 166.50
<b>Cost BEP</b>	CHF 86 250.00
<b>Cost In-House</b>	CHF 138 223.08
<b>Cost Home</b>	CHF 118 200.00

### Final costs

<b>Total per building</b>	CHF 5 055
<b>Total per lodgment</b>	CHF 4 014
<b>Total metro</b>	CHF 161 480
<b>Total access</b>	CHF 2 745 430
<b>Total drop</b>	CHF 2 022 257
<b>Total feeder</b>	CHF 723 174
<b>Total In-House</b>	CHF 138 223
<b>In-House per lodgment</b>	CHF 175
<b>Total House</b>	CHF 118 200
<b>House per lodgment</b>	CHF 150
<b>Total</b>	<b>CHF 3 163 333</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche Greenfield to PON
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

Nb. CO (Central Offices)		1	
Surface per CO		8.04 km2	
Distance CO to manhole		2.400 km	
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
Nb. brick POP	702.00	1.00	-70100.00%
Distance total metro	20. km	20. km	0.00%
Distance total feeder	7.2 km	57.59 km	87.50%
Distance total drop	530. km	189.75 km	-179.31%
Distance mean drop	1.000 km	0.330 km	-203.03%
Distance in-house	21. km	23.64 km	11.17%
Surface per manhole	3.14 km2	.342 km2	-818.27%
Nb. "Manhole" location	3	24	87.50%
Nb. "Manhole" bricks	702.00	24.00	-2825.00%
Nb. BEP bricks	530.00	575.00	7.83%
Nb. Home bricks	700.00	788.00	11.17%
Lodgements per building	1.32	1.37	4%
Manhole location per CO	3.00	24.00	88%
Lodgements per CO	700.00	788.00	11.17%
Lodgements per manhole location	233.33	32.83	-611%
Buildings per manhole location	176.67	23.96	-637%

### Detailed costs

Cost metro	CHF 161 480.00
Cost POP	18 600.00
Cost feeder	CHF 464 990.77
Cost "Manhole"	CHF 30 720.00
Cost drop	CHF 2 155 266.75
Cost BEP	CHF 86 250.00
Cost In-House	CHF 138 223.08
Cost Home	CHF 157 600.00

### Final costs

Total per building	CHF 5 074
Total per lodgment	CHF 4 078
Total metro	CHF 161 480
Total access	CHF 2 755 828
Total drop	CHF 2 272 237
Total feeder	CHF 483 591
Total In-House	CHF 138 223
In-House per lodgment	CHF 175
Total House	CHF 157 600
House per lodgment	CHF 200
<b>Total</b>	<b>CHF 3 213 131</b>

# Metro-Access Network Dimensioning

## Simulation result page

<b>Zone</b>	La Roche Greenfield to PON NO OFCOM
<b>Base year</b>	2013
<b>Projected year</b>	2025
<b>Simulation date</b>	23.01.2015

### Detailed results

Nb. CO (Central Offices)		1	
Surface per CO		8.04 km2	
Distance CO to manhole		2.400 km	
	<b>Actual</b>	<b>Future</b>	<b>Delta</b>
Nb. brick POP	702.00	1.00	-70100.00%
Distance total metro	20. km	20. km	0.00%
Distance total feeder	7.2 km	57.59 km	87.50%
Distance total drop	530. km	189.75 km	-179.31%
Distance mean drop	1.000 km	0.330 km	-203.03%
Distance in-house	21. km	23.64 km	11.17%
Surface per manhole	3.14 km2	.342 km2	-818.27%
Nb. "Manhole" location	3	24	87.50%
Nb. "Manhole" bricks	702.00	24.00	-2825.00%
Nb. BEP bricks	530.00	575.00	7.83%
Nb. Home bricks	700.00	788.00	11.17%
Lodgements per building	1.32	1.37	4%
Manhole location per CO	3.00	24.00	88%
Lodgements per CO	700.00	788.00	11.17%
Lodgements per manhole location	233.33	32.83	-611%
Buildings per manhole location	176.67	23.96	-637%

### Detailed costs

Cost metro	CHF 161 480.00
Cost POP	18 600.00
Cost feeder	CHF 464 990.77
Cost "Manhole"	CHF 30 720.00
Cost drop	CHF 1 920 166.50
Cost BEP	CHF 86 250.00
Cost In-House	CHF 138 223.08
Cost Home	CHF 157 600.00

### Final costs

Total per building	CHF 4 665
Total per lodgment	CHF 3 779
Total metro	CHF 161 480
Total access	CHF 2 520 727
Total drop	CHF 2 037 137
Total feeder	CHF 483 591
Total In-House	CHF 138 223
In-House per lodgment	CHF 175
Total House	CHF 157 600
House per lodgment	CHF 200
<b>Total</b>	<b>CHF 2 978 030</b>