Projet de Dimensionnement de l'Infrastructure Fibre du FCC du CERN

# 1. Introduction

Le projet FCC (Future Circular Colisioner) du CERN nécessite une infrastructure réseau hautement performante pour assurer la transmission des données scientifiques et l'interconnexion avec les infrastructures existantes du LHC. Cette étude vise à définir le type de fibre, les équipements réseau, ainsi que les calculs d'atténuation et d'amplification nécessaires pour garantir un fonctionnement optimal.

# 2. Exigences en Débit

## 2.1 Débit Interne

* **Besoin** : **3-5 Tb/s** (appliqué sur une infrastructure DWDM pour flexibilité)
* **Justification** : Comparaison avec le LHC (~800 Gb/s en sortie après filtrage)

## 2.2 Débit Externe

* **Besoin** : **500 Gb/s - 1 Tb/s**
* **Justification** : Le LHC utilise déjà 100 Gb/s pour liaisons Tier-1, besoin de capacité évolutive

# 3. Choix de l'Infrastructure Physique

## 3.1 Type de Fibre

* **Choix : Monomode ITU-T G.652.D**
* **Justification** :
  + Faible atténuation (~0,2 dB/km à1550 nm)
  + Compatible DWDM et amplification optique
  + Distance de 93 km adaptée sans dispersion excessive

## 3.2 Équipements Réseau

**Switches et Routeurs**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Équipement** | **Modèle** | **Nombre** |
| Core Switch | Cisco Nexus 9800 | 2 |
| Spine Switch | Arista 7800R3 | 4 |
| Leaf Switch | Arista 7500R | 8 |
| Routeur WAN | Cisco ASR 9900 | 2 |

**Amplificateurs Optiques (EDFA)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Type** | **Nombre** |
| EDFA pré-amplification | 4 |
| EDFA booster | 4 |
| Régénérateur optique | 2 |

# 4. Calculs Techniques

## 4.1 Atténuation de la Fibre

* Distance : **93 km**
* Atténuation : **0,2 dB/km à1550 nm**
* **Atténuation totale** = 93 km × 0,2 dB/km = **18,6 dB**

## 4.2 Budget Optique

* Puissance d’émission : **+5 dBm**
* Sensibilité du récepteur : **-20 dBm**
* **Budget disponible** = 5 - (-20) = **25 dB**
* **Marges restantes après atténuation** : 25 - 18,6 = **6,4 dB** (moyen mais ça passe)

## 4.3 Étude des Amplificateurs (EDFA)

* **Préampli** : Gain de **15 dB** pour compenser l’atténuation
* **Booster** : Gain de **10 dB** en sortie
* **Régénérateurs optiques** (besoin car distance >80 km)

## 4.4 Calculs de Performance Réseau

**Ratio d’Occupation du Spectre (ROS)**

* DWDM avec **100 GHz de spacing**
* **32 canaux x 100G = 3,2 Tb/s** (scalable à 5 Tb/s avec 64 canaux)

**Taux d'Occupation du Spectre (TOS)**

* TOS = (Débit utilisé / Capacité totale)
* Ex. : **3 Tb/s / 5 Tb/s = 60%**

**Paket Loss**

* Latence interne FCC : **~0,1 ms** (réseau optique performent)
* Estimation de pertes : **< 0,001%** (QOS élevé important)

**Largeur de Raie du Laser**

* Largeur : **0,1 nm @1550 nm**
* Dispersion chromatique : **17 ps/nm·km**
* **Étalement d'impulsion** :
* ➤ Faible élargissement temporel, signal encore exploitable.

# 5. Liaison Chambre de Collision - Datacenter

## 5.1 Besoins Spécifiques

* Haute disponibilité
* Temps de latence minimal
* Résilience aux pannes

## 5.2 Infrastructure

|  |  |
| --- | --- |
| **Équipement** | **Nombre** |
| Fibre monomode G.652.D | 10 liens redondants |
| Switches Arista 7500R | 4 |
| Routeurs ASR 9900 | 2 |
| DWDM Multiplexeurs | 4 |

# 5 Estimation du Coût de l’Infrastructure Réseau FCC

## 5.1 Fibre optique G.652.D (93 km + redondance)

* **Coût moyen** : ~0,80 €/m
* **Total** : 93 000 m × 0,80 € × 2 (redondance) = **~149 000 €**

## 5.2 Équipements réseau

| **Équipement** | **Quantité** | **Prix unitaire (€)** | **Total (€)** |
| --- | --- | --- | --- |
| Cisco Nexus 9800 | 2 | ~150 000 € | 300 000 € |
| Arista 7800R3 | 4 | ~100 000 € | 400 000 € |
| Arista 7500R | 8 | ~80 000 € | 640 000 € |
| Cisco ASR 9900 | 2 | ~120 000 € | 240 000 € |
| DWDM Mux/Demux (32 canaux) | 4 | ~25 000 € | 100 000 € |
| EDFA (booster/préampli) | 8 | ~10 000 € | 80 000 € |
| Régénérateurs optiques | 2 | ~15 000 € | 30 000 € |

**Total équipements : ~1 790 000 €**

## 5.3 Modules optiques (transceivers)

| **Type** | **Quantité** | **Prix unitaire (€)** | **Total (€)** |
| --- | --- | --- | --- |
| QSFP-100G DWDM | ~64 | ~2 500 € | 160 000 € |

## 5.4 Infrastructure Datacenter (estimation liée réseau)

* Câblage interne, baies, UPS, etc. = **~100 000 €**

## TOTAL GLOBAL ESTIMÉ : ~2 200 000 € à 2 300 000 €

# 6. Conclusion

L’architecture proposée permet de supporter efficacement les besoins internes (3-5 Tb/s) et externes (100 Gb/s - 1 Tb/s). Grâce à une combinaison de fibres monomodes, de DWDM et d’amplificateurs EDFA, l’infrastructure assure une transmission fiable avec une marge suffisante. Des équipements réseau de haute performance garantissent une évolutivité adaptée aux futures augmentations de débit. La dispersion chromatique et compenser par la **G.652.D** car c’est une fibre à faible dispersion. Aussi, le choix de cette fibre exclu le phénomène de dispersion modale (présente uniquement en multimode) et le choix du monomode nous permet aussi un seul mode de propagation, pas d’interférence entre chemins optiques et une large bande passante.