



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg  
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

---

## Réseaux IP

# 312. Gigabit Ethernet

# Réseaux IP

## 312. Gigabit Ethernet



Introduction, Modèle de référence, Exemple, Protocole MAC, Couche Physique, Modules d'interface physiques GBIC et SFP, Câblage, Connecteurs, Exemple de *switch*

### Références:

- Standard IEEE 802.3z 2002 (1000 Base X)
- Standard IEEE 802.3ab (1000 Base T)

# Introduction (1)

- Téléchargement du DVD du film "The Matrix", 7.8 GB

	Minutes	Hours	Days
<b>Modem</b> 56 kbps			<b>13 days</b>
 <b>Pony Express</b>			<b>11 days**</b>
<b>ISDN</b> 128 kbps			<b>5 ½ days</b>
<b>Cable Modem</b> 1.5 Mbps		<b>11 hrs 36 min</b>	
<b>T-1</b> 1.54 Mbps		<b>11 hrs 12 min</b>	
 <b>FedEx Express</b>		<b>10 hrs*</b>	
<b>PON OC-3/32</b>		<b>3 hrs 36 min</b>	
<b>DSL</b> 8.5 Mbps		<b>2 hrs 12 min</b>	
<b>PON OC-12/32</b>	<b>53.6 min</b>		
<b>Gigabit Ethernet</b> 1000 Mbps	<b>1 min</b>		

\* from New York, NY 10005 – delivered to Beverly Hills, CA 90210  World Wide Packets®

\*\* extrapolated from record: 7 days 17 hrs - approx 2000 miles from St. Joseph, Missouri to Sacramento, California  
Lincoln's Inaugural Address, March 4, 1861

# Introduction (2)

Gigabit Ethernet est un standard de réseau d'entreprise à 1Gbit/s. Ce standard fait partie de la famille IEEE 802.3 sous le nom **802.3z** (datant de 1998).

Gigabit Ethernet est un standard qui

- Utilise le capital technique et surtout commercial d'Ethernet
- Utilise les trames 802.3 et le protocole MAC CSMA/CD (légèrement modifié)
- Supporte les applications basées sur Ethernet sans changements
- Offre un coût « très compétitif » des accès haut débit
- Fonctionne en mode point à point (*full-duplex*) et en mode *shared medium* (*half-duplex*) comme les variantes Ethernet à 10Mbit/s et 100Mbit/s
- Utilise la couche physique du standard *Fibre Channel* à 1062MBaud (légèrement accélérée) pour les interfaces optiques
- Offre une variante physique sur 4 paires torsadées Cat. 5 très compétitive sur courtes distances (**802.3ab**)

# Introduction (Commentaires)

La base installée très importante de réseaux Ethernet à 10Mbit/s et 100Mbit/s permet l'échange de très hauts débits entre stations et serveurs dans les réseaux locaux. Cette accélération a créé une demande pour une technologie plus rapide encore pour relier les *switches* 100BASE-T et les serveurs ou routeurs les plus puissants.

Gigabit Ethernet capitalise sur le capital "technique", "commercial" et "psychologique" d'Ethernet pour un standard à 1Gbit/s basé sur les trames 802.3.

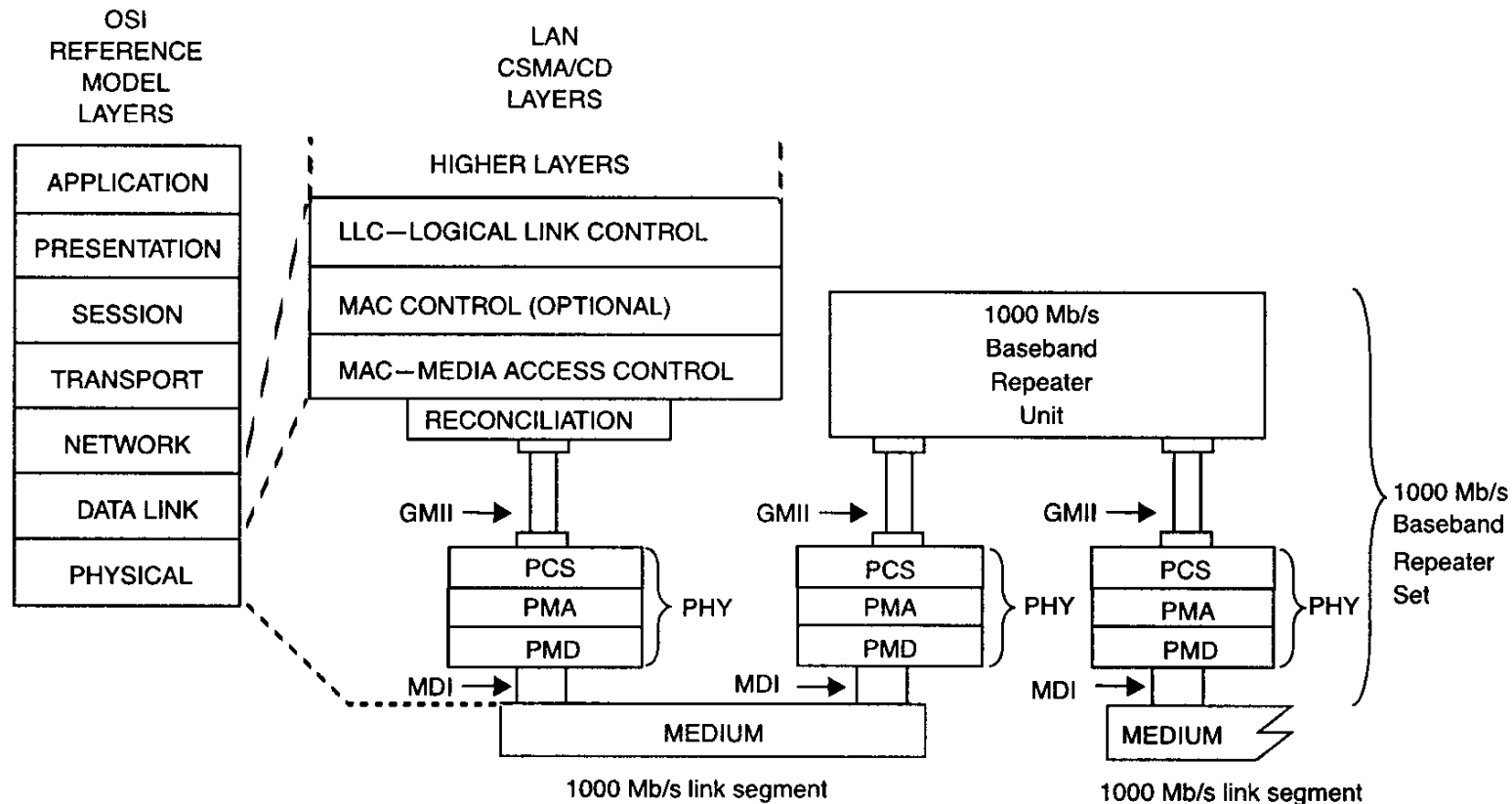
Le standard a été conçu pour permettre un fonctionnement en *half-duplex (shared medium)* dans le domaine tertiaire du câblage structuré (moins de 100m du *Hub* à la station, domaine de collision de 200m de diamètre au plus). En fait, la plupart des implémentations utilisent du point-à-point (*full-duplex* avec un *switch*). Plusieurs variantes physiques sont définies dans le standard. Les premières variantes (cuivre et fibres optiques) reprennent le travail du standard *Fibre Channel* (normalisé par l'ANSI).

En mode *half-duplex* Gigabit Ethernet utilise le protocole CSMA/CD légèrement modifié pour supporter les hauts débits. La procédure d' *exponential back-off* et d'écoute du médium restent les mêmes. Seul le traitement des trames les plus courtes est différent.

Comme Gigabit Ethernet introduit uniquement un changement au niveau de la couche physique et de petites modifications au protocole MAC, toutes les applications qui fonctionnent sur Ethernet fonctionnent de la même façon.

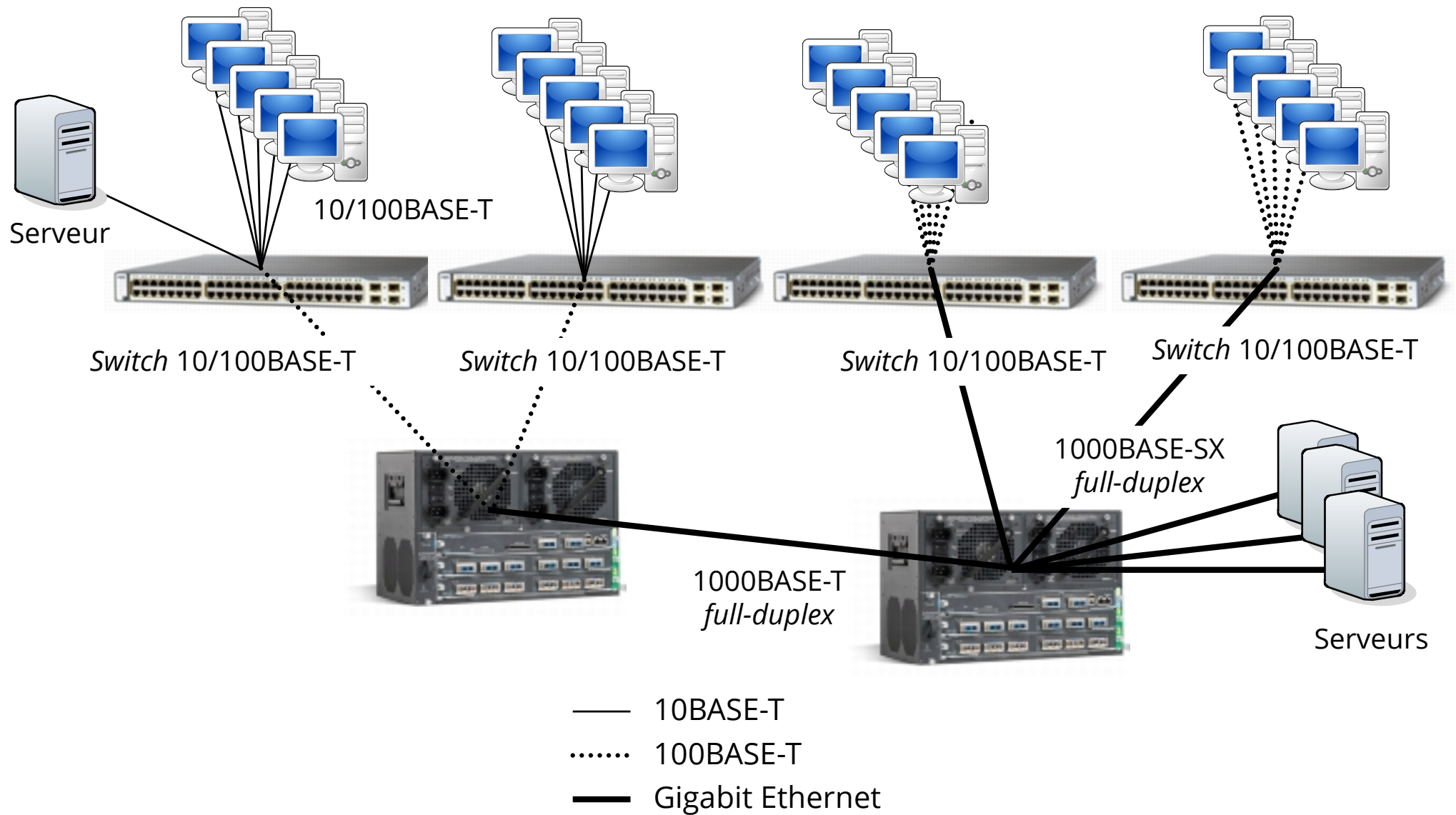
GigabitEthernet s'est développé dans le *workgroup* 802.3 à partir de fin 1995. La version définitive est sortie en 1998. Le développement de ce standard a été très rapide.

# Modèle de référence



Selon IEEE 802.3 - 2002

# Exemple de configuration Gigabit Ethernet



# Protocole MAC

En mode **half-duplex**, Gigabit Ethernet utilise un protocole CSMA/CD légèrement modifié.

Gigabit Ethernet tient compte du câblage structuré et permet un fonctionnement en **half-duplex** avec des collisions dans le domaine tertiaire du câblage structuré. Pour des raisons de compatibilité (particulièrement en cas de *bridging*), le format des trames et la taille minimale des trames doivent être identiques à ceux des autres réseaux 802.3.

**Problème:** la durée des trames devant être supérieure à la durée du trajet aller-retour il faut "choisir" entre augmenter la taille des trames ou diminuer la distance de façon acceptable:

Le standard 802.3z a introduit deux innovations pour remédier à ce choix "désagréable":

1. Gigabit Ethernet garde la taille de trame minimale de 512 bits mais introduit un slot time de 512 octets (*slot time* de 4.096µs). Les trames dont la durée est inférieure au *slot time* sont rallongées avec un signal spécial (**carrier extension**) qui ne fait pas partie de la trame
2. Gigabit Ethernet remédie à la perte d'efficacité ainsi introduite pour les petites trames en permettant le chaînage des petites trames par une station jusqu'à obtenir la longueur minimale de 512 octets (**frame bursting**)



# Protocole MAC (Commentaires)

## Fonctionnement en *half-duplex (shared medium)*

Gigabit Ethernet est conçu de façon à fonctionner dans le domaine tertiaire du câblage structuré avec une distance jusqu'à 100m entre le *Hub* et les stations. De façon identique aux autres réseaux CSMA/CD, il faut satisfaire à la règle qui impose une durée de trame minimale supérieure au maximum du temps aller et retour sur le réseau (domaine de collision).

**La taille normale d'un *slot* est de 512 bits en 802.3, ce qui correspond à 0.512µs à 1Gbit/s. Or le temps de propagation de bout en bout dans le domaine tertiaire est d'environ 1.5µs (1µs sur 200m de câble et 0.5µs environ dans le répéteur). Le temps d'aller et retour est donc de 3 µs environ, soit beaucoup plus que la durée minimale de la trame.**

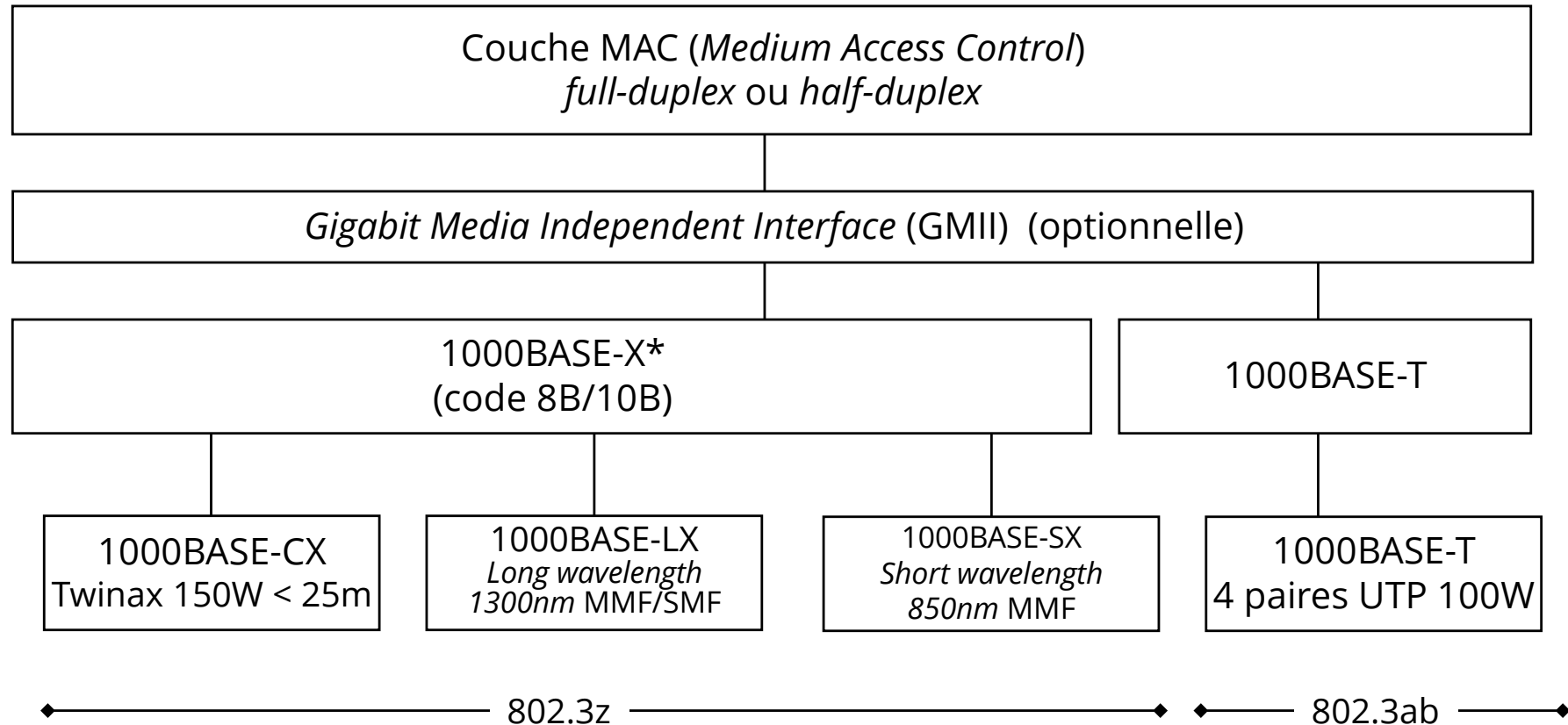
Il est donc indispensable de "rallonger" artificiellement les petites trames avec un ***carrier extension*** jusqu'à ce qu'elles aient toutes au minimum 512 octets en utilisant le symbole « R » du code 8B/10B répété. Le *carrier extension* ne fait cependant pas partie de la trame.

La perte d'efficacité au niveau des petites trames est partiellement compensée par la possibilité de chaîner les petites trames (seule la première a alors un *carrier extension*).

## Fonctionnement en *full-duplex (point à point, utilisé avec un switch)*

Dans le cas *full-duplex*, le plus usuel actuellement, il n'est pas nécessaire d'utiliser un *carrier extension* car les collisions ne sont pas possibles. Les trames minimales restent à 512 bits avec un intervalle minimum entre trames de 96 bits (96ns).

# Couche Physique du Gigabit Ethernet



\*Basé sur ANSI X3.230-1994  
(Fibre Channel Physical and Signaling interface)

MMF: *multimode fiber*  
SMF: *single mode fiber*  
UTP: *unshielded twisted pair*

# Couche Physique (PMD): câbles métalliques

## Variante 1000BASE-CX

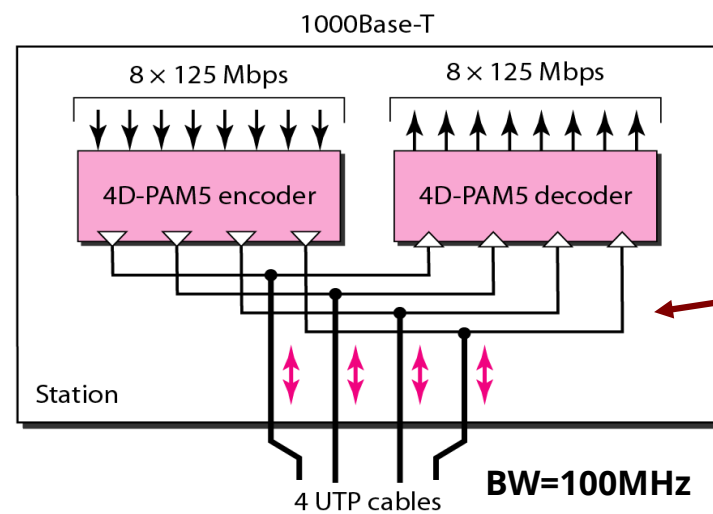
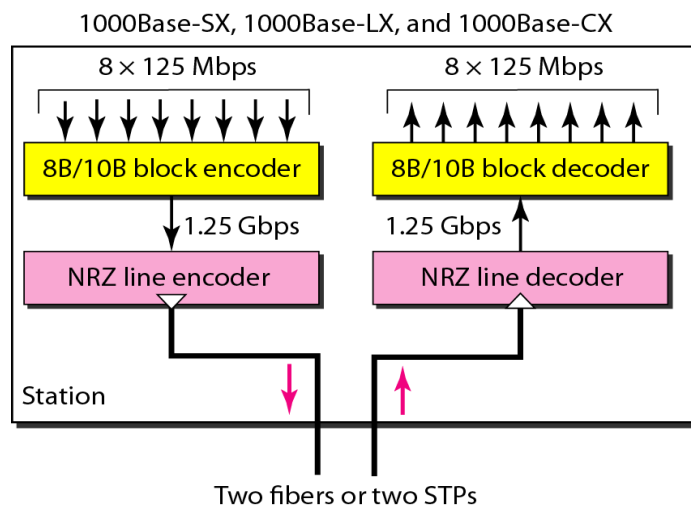
- Utilise un câble coaxial blindé de 150 Ohm, le twinax, 2 paires
- Conçu pour relier des équipements voisins, distance point à point < 25m
- Basé sur la technologie *Fibre Channel*
- Pas répandu.

## Variante 1000BASE-T

- *Full-duplex* et *half-duplex*
- Utilise 4 paires UTP cat. 5 (Cat. 5e S-UTP ou supérieur recommandé), *full-duplex*, les 4 paires sont utilisées en bi-directionnel (superposition)
- Débit de moments de 125MBaud
- Conçu pour le secteur tertiaire avec un Hub (100m de câble, en réalité souvent moins)
- Basé sur un codage complexe (5 niveaux, codage de correction d'erreurs)
- Utilise l'auto-négociation
- Standard 802.3ab (1999)

# Physical Layer

Encodage (rappel: bande passante CAT6 = 250MHz)



5-levels each  
(+2,+1,0,-1,-2)  
(125Msps  
(=100Base-TX))

# Couche Physique (PMD): fibres optiques

- **1000BASE-SX** (*short wavelength*) et **1000BASE-LX** (*long wavelength*) sont les couches physiques normalisées sur fibres optiques à 1.25GBaud. 1000BASE-SX est la variante à faible coût pour les courtes distances
- Deux fibres optiques sont utilisées pour une liaison bi-directionnelle
- Le connecteur *SC duplex* a été spécifié à l'origine
- Les variantes multimodes utilisent un « *conditionned launch* » qui permet, en illuminant la fibre de façon excentrée, de diminuer le nombre de modes excités et par conséquent de diminuer la dispersion modale et d'augmenter la portée.

Fibres/coeur	Variante 1000BASE-SX	Variante 1000BASE- LX
	Laser 850nm (770 - 860)	Laser 1300nm (1270 - 1355)
MMF 62.5µm	≤ 275m	≤ 440m
MMF 50 µm	≤ 550m	≤ 550m
SMF 10 µm	--	≤ 3000m et plus

Note: ces interfaces sont basées sur le standard ANSI X3.230 (*Fibre Channel*)

Note: certains fabricants proposent des versions LH (*long haul*) jusqu'à 70km voire plus

# Modules d'interface enfichables

La grande variété des interfaces physiques Gigabit Ethernet, a stimulé le développement de modules émetteurs/récepteurs (*transceiver modules*) enfichables qui peuvent être échangés par l'utilisateur (même lorsque l'équipement est enclenché).

Il est ainsi possible de monter une interface électrique (1000BASE-T) ou une des variantes optiques selon les besoins.

Ceci est particulièrement intéressant pour les modules optiques qui peuvent être obtenus de fabricants indépendants avec le choix de la puissance optique (portée), du type de fibre et de la longueur d'onde (par exemple pour les systèmes à multiplexage en longueur d'onde CWDM ou DWDM).

A côté des modules de première génération GBIC, les modules « miniatures » SFP sont de plus en plus répandus.

La compétition commerciale et les volumes dans ce domaine ont permis de baisser considérablement les prix.

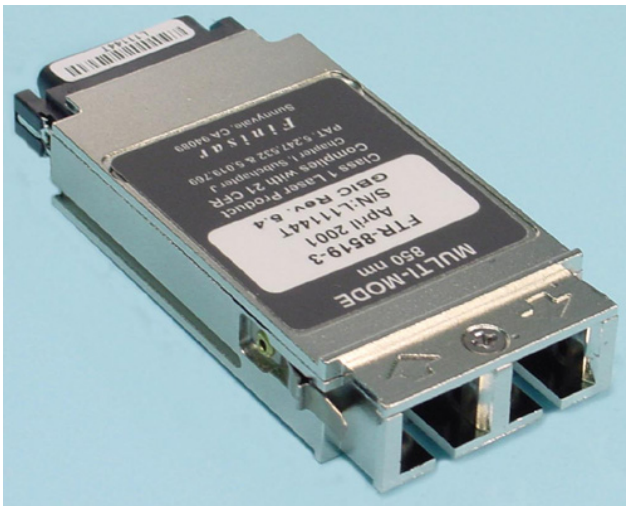
CWDM: *Coarse Wavelength Division Multiplexing (20nm spacing)*  
DWDM: *Dense Wavelength Division Multiplexing*

# Modules GBIC (*Gigabit Interface Connector*)

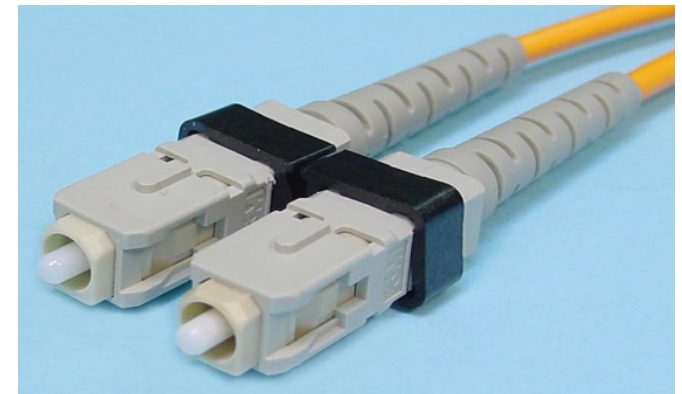
Modules d'interface enfichables GBIC



*Module GBIC 1000BASE-T  
(Connecteur RJ-45).*



*Module GBIC optique avec  
connecteurs SC.*

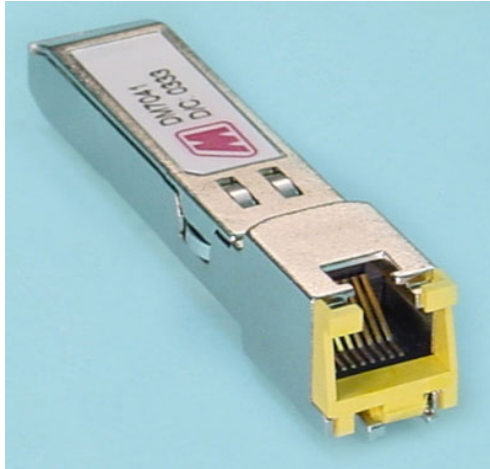


Connecteur double de type SC

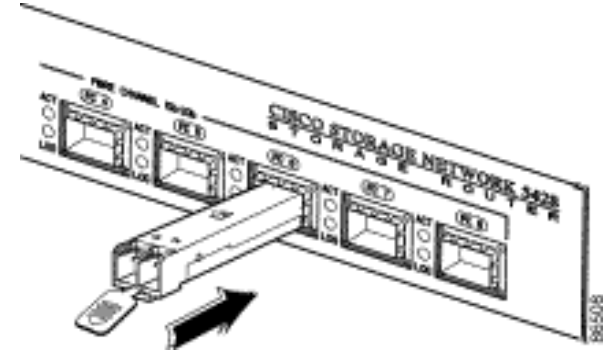


# Modules SFP (*Small Form-Factor Pluggable*)

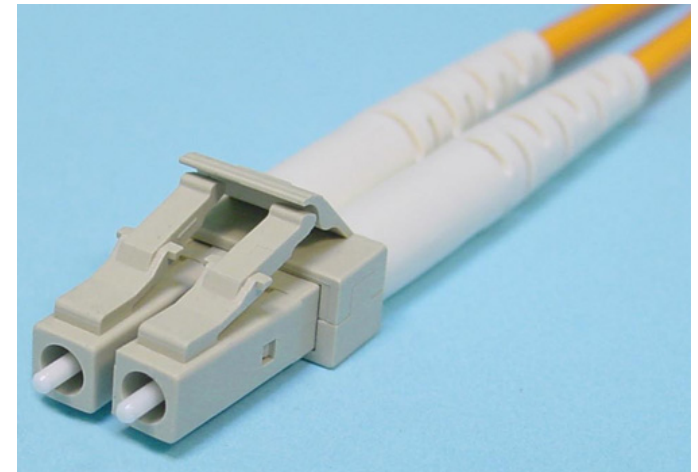
Modules d'interface enfichables à cage SFP



*Module SFP 1000BASE-T  
(Connecteur RJ-45).*



*Module SFP optique pour  
connecteurs LC.*



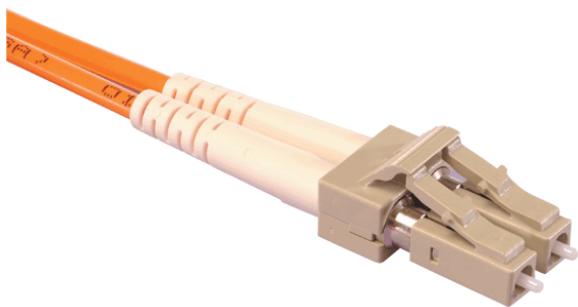
Connecteur double de type LC



# Connecteurs Optiques SFP: *Small Form Factor SFF*

Connecteurs optiques de nouvelle génération à faible encombrement pour les modules SFP permettant un nombre élevé d'interfaces (à peu près la moitié de la taille d'un connecteur SC).

Plusieurs types de connecteurs existent sur le marché.



*Multimode Duplex LC on 3mm  
Duplex Cable (Lucent)*



*Connecteur MT-RJ (Tyco)*



*Connecteur VF-35 (3M)*

# Catégories de câbles utilisés avec Ethernet (1)

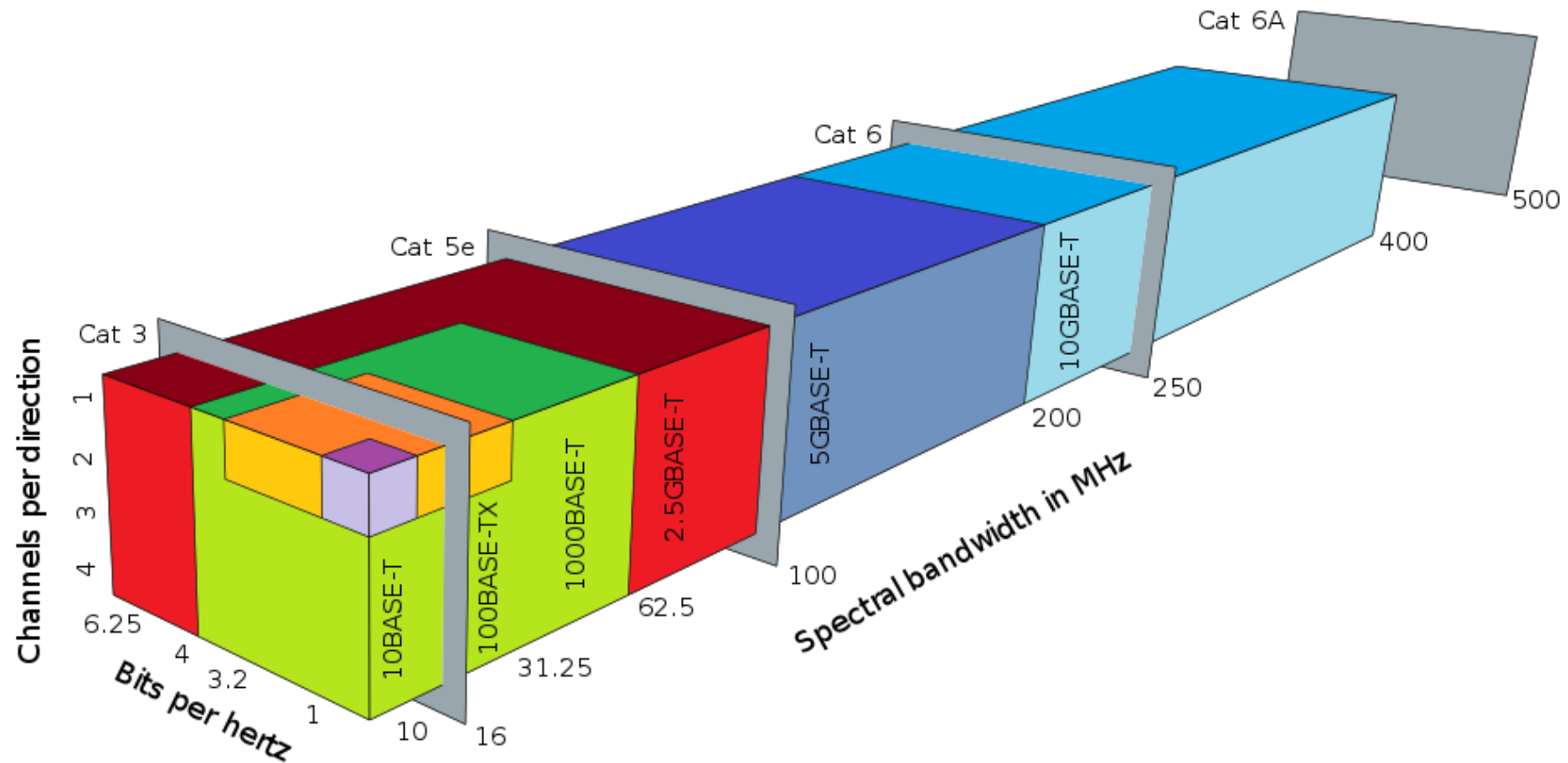
Il y a deux grandes familles de câbles utilisés dans le monde des réseaux:

- Le **100 Ohms** standardisé par l'EIA/TIA  
(*Electronic Industries Association/Telephony Industry Association*)  
Cette norme fait référence à plusieurs catégories de câbles:
  - **Catégorie 3** avec une bande passante de 16 MHz
  - **Catégorie 4** avec une bande passante de 20 MHz
  - **Catégorie 5** avec une bande passante de <100 MHz ou <155 MHz (pour la catégorie 5e)
  - **Catégorie 6** avec une bande passante de 250 MHz ou 500MHz (pour la Catégorie 6a)
  - **Catégorie 7** avec une bande passante dépassant de <600Mhz ou 1000 MHz (pour la Catégorie 7a)
  - **Catégorie 8** avec une bande passante entre 1600 MHz et 2000 MHz (en cours de normalisation)
- Le **150 Ohms** a été proposé par IBM pour répondre aux besoins du Token-Ring. Ce câblage est de moins en moins utilisé au profit de précédent. Cette norme reconnaît 8 types de câbles (de la paire torsadée à la fibre optique)

# Catégories de câbles utilisés avec Ethernet (2)

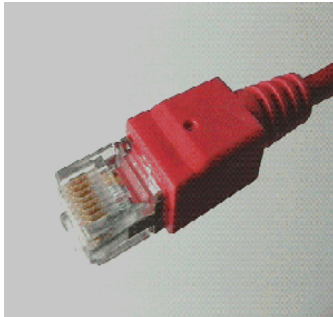
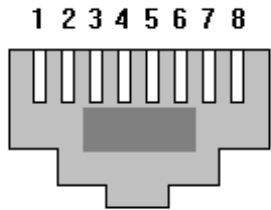
- **Câble de catégorie 5 (UTP, *Unshielded Twisted Pair*).** Standard de câblage LAN EIA/TIA 568A. Câblage de type paires torsadées standard utilisé pour Ethernet à 10Mbit/s et 100Mbit/s. Habituellement quatre paires par câble dont seulement deux sont actives. Très utilisé aux USA. En Europe, la variante S-UTP (*Screened Unshielded Twisted Pair*) est couramment utilisée.
- **Câble de catégorie 5e (*enhanced*).** Câble de catégorie 5 amélioré. Fait partie du standard 568A. Utilisé jusqu'au Gigabit Ethernet. Diamètre compris entre 4.8 et 5.5mm.
- **Câble de catégorie 6.** Câble de catégorie 5 E encore amélioré. Fait partie du standard 568B.2.10. Diamètre est compris entre 5.3 et 5.8mm.
- **Câble de catégorie 7 et 7a.** Câble de type S-STP (*Screened Shielded Twisted Pair*). Fait parti du standard ISO/IEC 11801:2002. Prévu avec un nouveau type de connecteur (GG45, compatible avec le RJ45). Utilisé jusqu'au 10 Gigabit Ethernet.
- **Câble de catégorie 8 (8.1 et 8.2).** En cours de normalisation depuis mars 2013, prévu pour le 40 Gbase-T Ethernet

# Catégories de câbles utilisés avec Ethernet (3)



Source: <http://www.wikipedia.org>

# Connecteurs Gigabit Ethernet RJ-45/GG45



RJ45



GG45

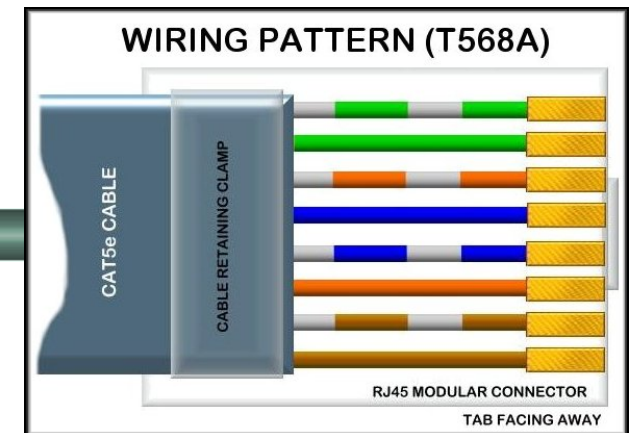
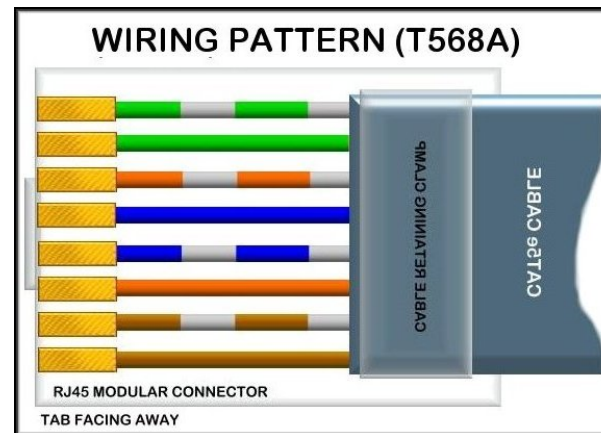
Pin 1 TP 0+  
Pin 2 TP 0-  
Pin 3 TP 1+  
Pin 4 TP 2+  
Pin 5 TP 2-  
Pin 6 TP 1-  
Pin 7 TP 3+  
Pin 8 TP 3-

Câble "**straight-through**" pour la connexion de stations à un hub/switch:

1 - 1  
2 - 2  
3 - 3  
4 - 4  
5 - 5  
6 - 6  
7 - 7  
8 - 8

Câble "**cross**", connexion directe de stations/routeurs

1 - 3  
2 - 6  
3 - 1  
6 - 2  
4 - 7  
5 - 8  
7 - 4  
8 - 5

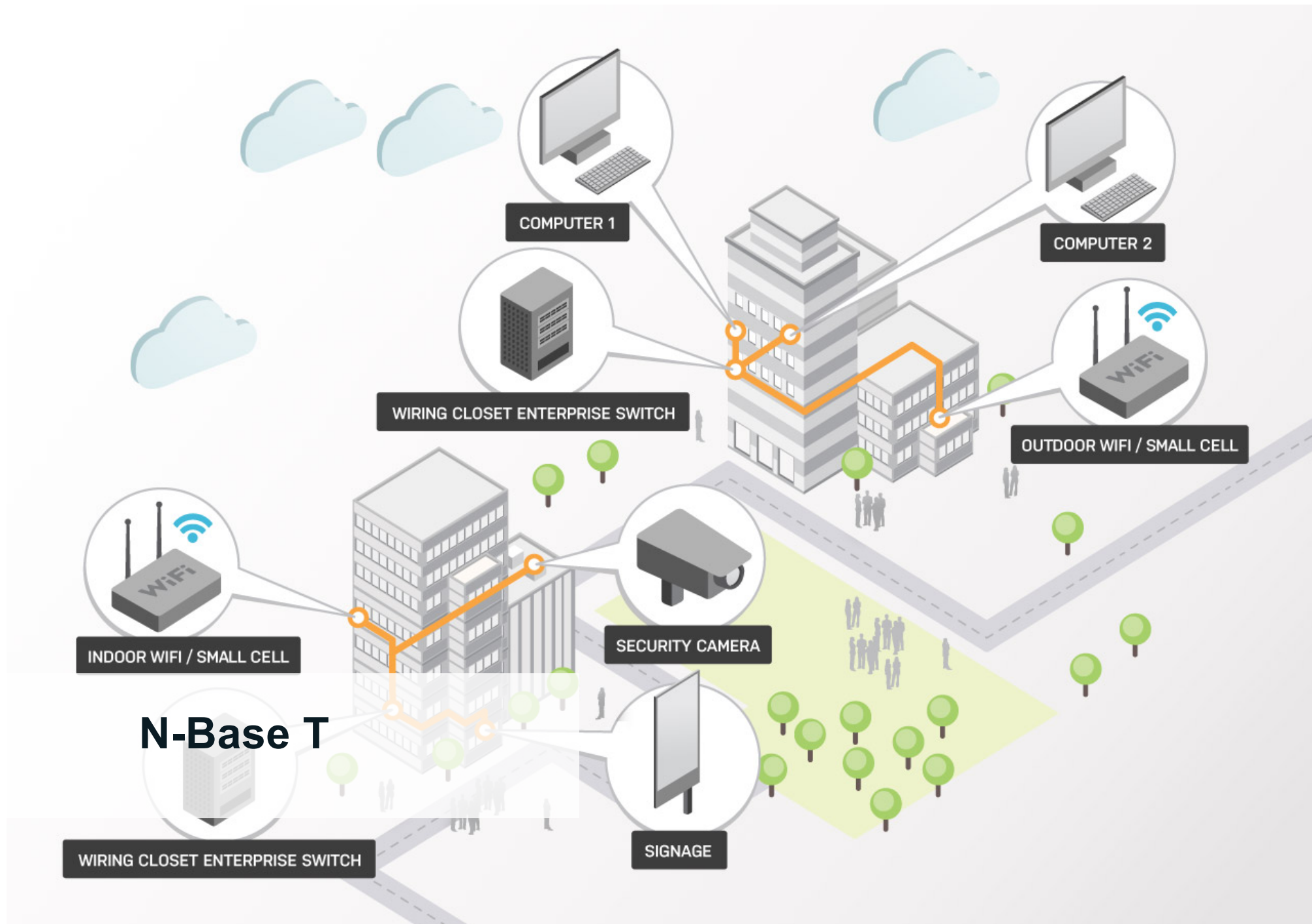


# Exemple de switch Gigabit Ethernet



Grand nombre (Typ. 24) ports 10/100BASE-T, "*uplinks*" Gigabit Ethernet avec cages et modules SFP.





# Introduction

- Préservation des investissements
  - Utilisation du câblage Cat5e existant (ne supporte pas le 10Gb/s)
  - Interfaces 10Gb/s trop chères
- Débits intermédiaires
  - 2.5 Gb/s et 5 Gb/s
  - Infrastructure wifi 802.11ac ont besoin d'uplink de plus de 1Gb/s
- NBaseT alliance (<http://www.nbaset.org>)
  - Regroupement de plus de 34 constructeurs pour définir ce nouveau standard (démarrage en oct. 2014)
  - **IEEE 802.3bz-2016**, norme approuvée le 23 sept. 2016



# Support Multigigabit

Cable Type	1G	2.5G	5G	10G
Cat5e	100m	100m	100m *	N/A
Cat6	100m	100m	100m	55m
Cat6a	100m	100m	100m	100m