

Partie 4

Applications, normalisation et perspectives d'évolution

- ♦ **Applications aux liaisons sous-marines et aux réseaux terrestres**
- ♦ **Normalisation des fibres et des systèmes WDM**
 - **Normes ITU-T**
 - Normalisation des fibres : G.651 à G.655
 - Normalisation des systèmes WDM : G.692
 - **Normes de transmission synchrone**
 - Norme SDH
 - Norme SONET
- ♦ **Perspectives d'évolution**
 - **Vers les systèmes à très haut débit**
 - Systèmes WDM dense (D-WDM)
 - Transmission par solitons
 - **Vers les liaisons de très grande distance**
 - Systèmes cohérents
 - **Vers le réseau de distribution d'abonné**
 - FTTH Fiber to the Home
 - **Vers le réseau tout optique**

- ♦ **Les applications en transmission de ces fibres sont, en partant des plus performantes en produit débit x distance :**
 - **ULH - Ultra Long Haul**
 - Liaisons sous-marines transocéaniques de très longue distance
 - **WAN – Wide Area Network**
 - Liaisons terrestres longue distance des réseaux étendus
 - **MAN – Metropolitan Area Network**
 - Réseaux métropolitains déployés dans les grandes villes
 - **FTTH – Fiber to the Home**
 - Réseaux d'accès chez l'abonné
 - **LAN – Local Area Network**
 - Réseaux locaux d'entreprise
 - **SAN – Storage Area Network**
 - Réseaux de stockage et de sécurisation de données



Les fibres optiques dans les réseaux de longue distance

- ◆ **Plus de 300 millions de km de fibres ont été installées dans le monde en 2017**
- ◆ **Les applications longue distance sont principalement :**
 - **ULH - Ultra Long Haul**
 - **Liaisons sous-marines transocéaniques**
 - **WAN – Wide Area Network**
 - **Réseaux terrestres internationaux**



ULH – Ultra Long Haul

Chronologie des principaux systèmes sous-marins à fibres optiques installés

XXème siècle

- 1988 : mise en service de TAT8, 1^{er} câble transatlantique à fibres (2x280 Mbit/s) équivalent à 40000 circuits téléphoniques au total (8 fibres actives)
- 1990 : exploitation de la longueur d'onde 1,55 μm minimisant l'atténuation
- 1991 : mise en service de TAT9, fonctionnant à 1,55 μm
- 1995 : utilisation de l'amplification optique dans les répéteurs. Mise en service de TAT12, TAT13 et TPC5 avec système de correction d'erreurs
- 1998 : première génération de systèmes sous-marins avec multiplexage en longueur d'onde WDM. Capacité de 20 à 40 Gbit/s par fibre. Pose du câble AC1 USA-Allemagne utilisant cette technologie. Avec 16 longueurs d'onde, la capacité atteint 160 Gbit/s par fibre
- 1999 : Mise en service de SEA-ME-WE 3, première liaison WDM reliant tous les pays d'Europe et de l'Océan Indien jusqu'au Japon. 40 atterrissages, 40000 km, 130 Gbit/s par fibre



ULH – Ultra Long Haul

Chronologie des principaux systèmes sous-marins à fibres optiques installés

XXIème siècle

- 2000 : nouvelle amélioration de la technologie d'amplification optique EDFA, la capacité passe à 10 Gbits/s par lambda, soit 160 Gbit/s par fibre.
- 2001 : mise en service du câble TAT14, USA-GB-Allemagne-France.
Technique EDFA sur 64 lambdas, capacité 5,12 Terabit/s.
- 2002 : en conservant les terminaux à 10 Gbit/s, les systèmes multiplexent jusqu'à 100 lambdas par fibre, capacité de l'ordre de 1 Terabit/s.
- 2002 : pose du câble Apollo, de Cable&Wireless, constitué de deux câbles (Apollo-North et Apollo-South), contenant quatre paires de fibres optiques.
Chaque câble a une capacité de transmission de 3,2 Terabit/s.
- 2005 : conception du système DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Technologie à 20 Gbit/s par lambda avec environ 40 lambdas par fibre
- Depuis 2006, pratiquement tous les appels d'offres des opérateurs sous-marins sont basés sur les technologies 10 Gbit/s et 40 Gbit/s par lambda avec au moins 32 lambdas

Expérimentations record en terme de produit débit x distance

- **Septembre 2009 : record obtenu par Bell Labs/Alcatel :**
 - Liaison expérimentale sur 7000 km de 155 canaux à 100 Gbit/s par canal, soit une capacité globale de 15,5 Tbit/s, équivalant à transmettre 400 DVD par seconde sur la distance Paris-Chicago
 - Cette liaison a utilisé 75 amplificateurs-répéteurs espacés de 90 km
 - Produit débit x distance : 108500 Tbit.km/s soit > 100 pétabits.km/s
- **Mars 2010 : expérimentation de NTT :**
 - Liaison de laboratoire sur une distance de 240 km sans répéteur de 432 canaux à 171 Gbit/s par canal, soit une capacité globale de 69,1 Tbit/s
 - Produit débit x distance : 16584 Tbit.km/s

Expérimentations record en terme de produit débit x distance (suite 1)

- **Mars 2012 : Deutsche Telekom et Alcatel-Lucent :**
 - Transmission sur une infrastructure réelle existante d'un débit de 400 Gbit/s sur un seul canal (soit 77 CD par seconde) sur une distance de 734 km (Berlin-Hanovre aller-retour).
 - Mise en œuvre de la modulation d'amplitude en quadrature
 - Possibilité d'atteindre un débit de 24,6 Tbit/s en WDM (soit 60 Blu-rays par seconde)
- **Octobre 2013 : Ciena et Comsat aux Etats-Unis :**
 - Transmission de données à 1 Tbit/s sur 1000 km entre Ashburn (Virginie) et Charlotte (Caroline du Nord). Modulation 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) : modulation de phase optique à 4 niveaux. Réseau commercial de Comsat.

Expérimentations record en terme de produit débit x distance (suite 2)

- **Juin 2015 : Orange/Ekinops/Keopsys:**
 - Transmission optique à 38,4 Tbit/s
 - Réalisée sur le réseau fibre optique d'Orange
 - Liaison de 32 canaux sur 762 km (Lyon-Marseille-Lyon)
 - Utilisation d'amplificateurs hybrides Raman/Erbium
 - Expérimentation faite dans le cadre de projet européen CELTIC-Plus SASER (Safe and Secure European Routing)
 - Débit équivalent à la diffusion en simultané de
 - 8,5 millions de vidéos SD
 - 2,13 millions de vidéos en Ultra-HD (4K)

Expérimentations record en terme de produit débit x distance (suite 3)

Septembre 2017 : 10 millions de Gbit/s : record mondial de débit sur une fibre multimode

• L'opérateur japonais KDDI vient d'établir, grâce aux composants optiques de la start-up rennaise **CAILabs**, un nouveau record du monde de 10 Pbit/s (10 millions de Gbit/s) de débit sur une fibre multimode en laboratoire.

En septembre 2017, KDDI a réalisé un nouveau record du monde de débit dans une fibre optique, grâce, notamment, aux multiplexeurs 6 modes fabriqués par CAILabs : 10 Pbit/s dans une seule fibre. En 2015, KDDI avait déjà établi un précédent record du monde de débit sur fibre optique à l'aide de composants CAILabs avec 2 Pbit/s de débit sur une fibre optique.

Ce record a été rendu possible grâce au système PROTEUS-6B de CAILabs. KDDI a combiné deux innovations différentes pour multiplier par 114 la diversité spatiale et atteindre ce record. Les fibres utilisées par l'opérateur sont à la fois multicœurs (19 cœurs) et multimodes (6 modes). Le PROTEUS-6B a permis la transmission simultanée de 6 modes multiplexés dans chaque cœur de la fibre.

« Le record est impressionnant ! 10 Pb/s, cela correspond à 30 fois le débit internet mondial ou 500 millions d'européens qui regardent tous Netflix en 4K en même temps », explique Jean-François Morizur, p-dg de CAILabs.

Expérimentations record en terme de produit débit x distance (suite 4)

2018 : Un débit record de 160 Tbit/s entre l'Amérique du Nord et l'Europe pour le câble Marea

Facebook et Microsoft ont récemment collaboré pour installer un câble de 6600 kilomètres de long reliant l'Amérique du Nord à l'Europe. Bien qu'il ne s'agisse pas du premier câble à traverser l'Atlantique, celui-ci se distingue par le débit théorique record qu'il devrait offrir : 160 Tbit/s.

Mise en service en 2018

Installé par Telxius, spécialisé dans les infrastructures télécoms, le câble nommé Marea a été enterré à 5000 mètres de profondeur sur le plateau continental, à distance des autres câbles sous-marins transatlantiques afin d'assurer une résilience. Il s'étend de Bilbao (Espagne) jusqu'à Virginia Beach, aux Etats-Unis

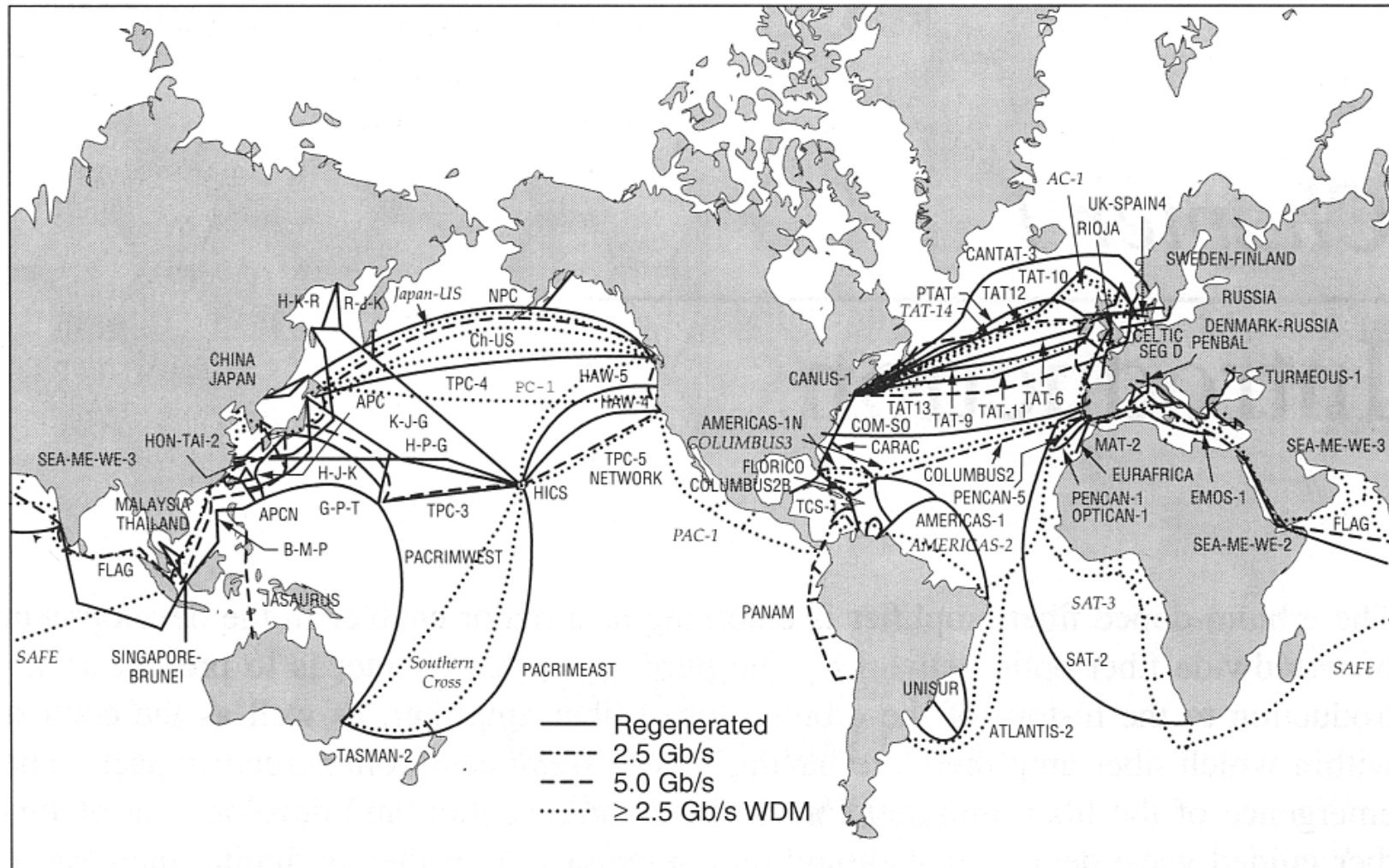
"16 millions de fois plus rapide qu'à la maison"

Une prouesse qui devrait permettre de transférer 160 000 Gbit par seconde. De quoi *streamer* environ 71 millions de flux vidéo HD simultanément, selon la firme de Redmond.

Les différentes générations de systèmes sous-marins avec répéteurs

Système	Liaison	Mise en service	Plage de longueur d'onde	Type de répéteur	Distance entre répéteurs	Débit par paire de fibres	Nombre de circuits équivalents par paire	Technologie de multiplexage	Nombre de canaux par fibre
TAT8	Transatlantique	1988	1,3 μm	OEO	50 km	280 Mbit/s	4.000	TDM	1
TAT9	Transatlantique	1991	1,55 μm	OEO	110 km	560 Mbit/s	8.000	TDM	1
TAT12-13	Transatlantique	1995	1,55 μm	EDFA	90 km	5 Gbit/s	78.000	TDM	1
TPC5	Transpacifique	1995	1,55 μm	EDFA	90 km	5 Gbit/s	78.000	TDM	1
AC1	USA-Allemagne	1998	1,55 μm	EDFA	80 km	160 Gbit/s	2.500.000	WDM	16
SEA-ME-WE 3	Europe-Japon	1999	1,55 μm	EDFA	80 km	130 Gbit/s	2.000.000	WDM	16
TAT14	Transatlantique	2001	1,55 μm	EDFA	90 km	640 Gbit/s	10.000.000	DWDM	64
Apollo	Europe-Etats-Unis	2002	1,55 μm	EDFA	90 km	800 Gbit/s	12.500.000	DWDM	80
SEA-ME-WE 4	Europe-Singapour	2005	1,55 μm	EDFA	90 km	640 Gbit/s	10.000.000	DWDM	64
FLAG	UK-Japon	2006	1,55 μm	EDFA	90 km	640 Gbit/s	10.000.000	DWDM	64

Principaux systèmes transocéaniques opérationnels à fibres optiques

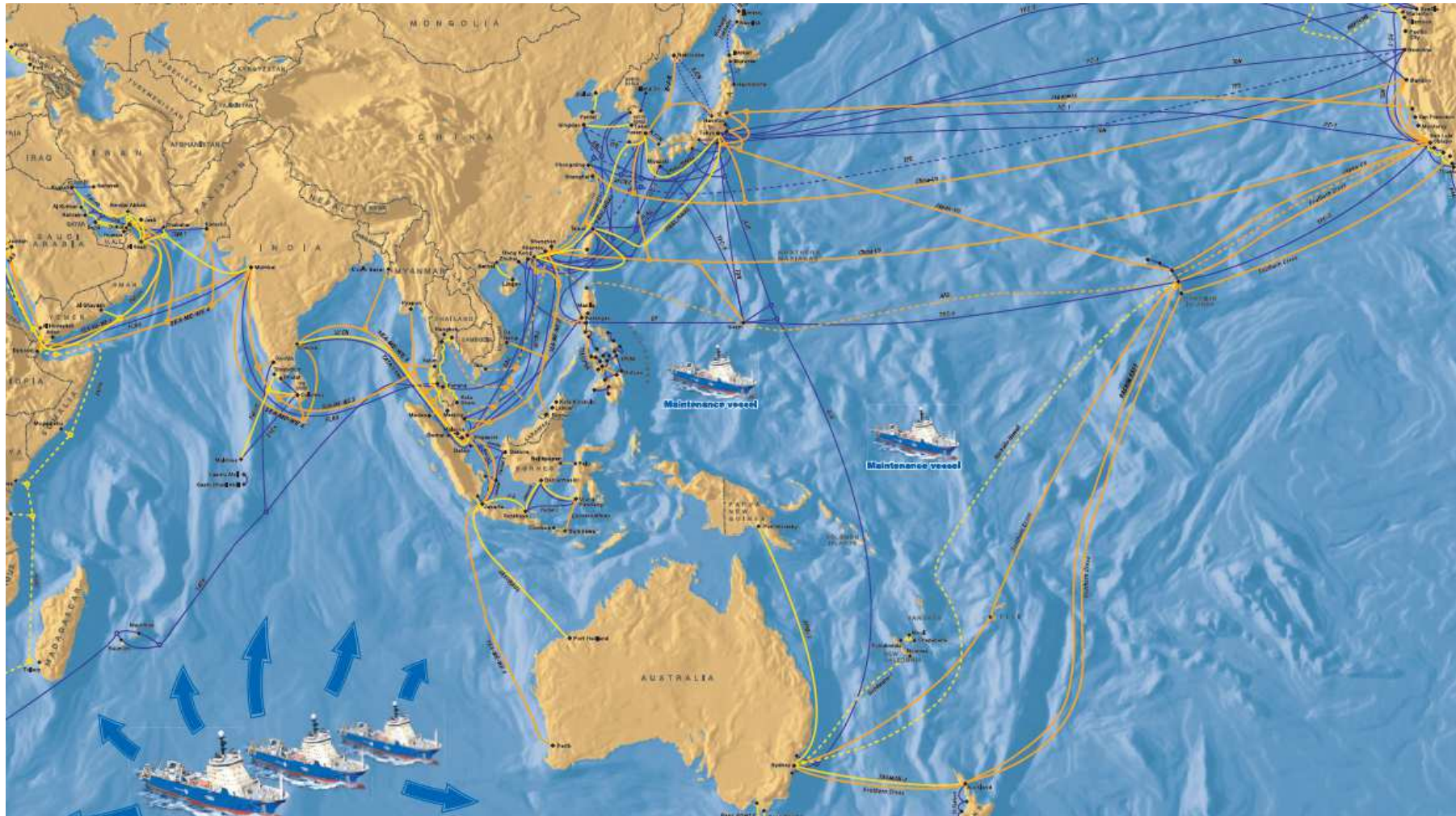




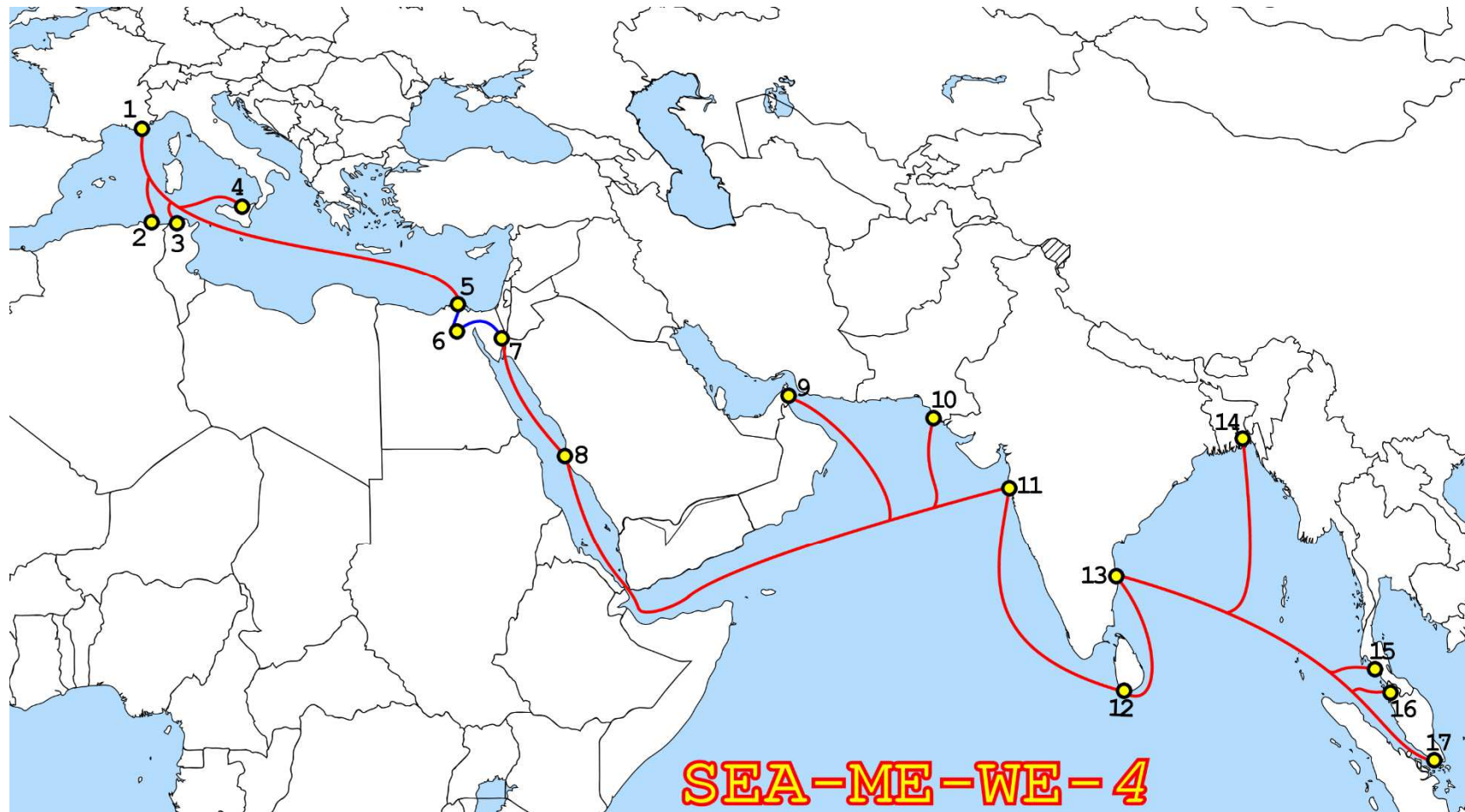
Liaisons Europe-Extrême Orient



Liaisons Extrême Orient et Trans-Pacifique



Système SEA-ME-WE 4 Europe-Extrême Orient



FLAG Fiberoptic Link Around the Globe



WAN – Wide Area Networks

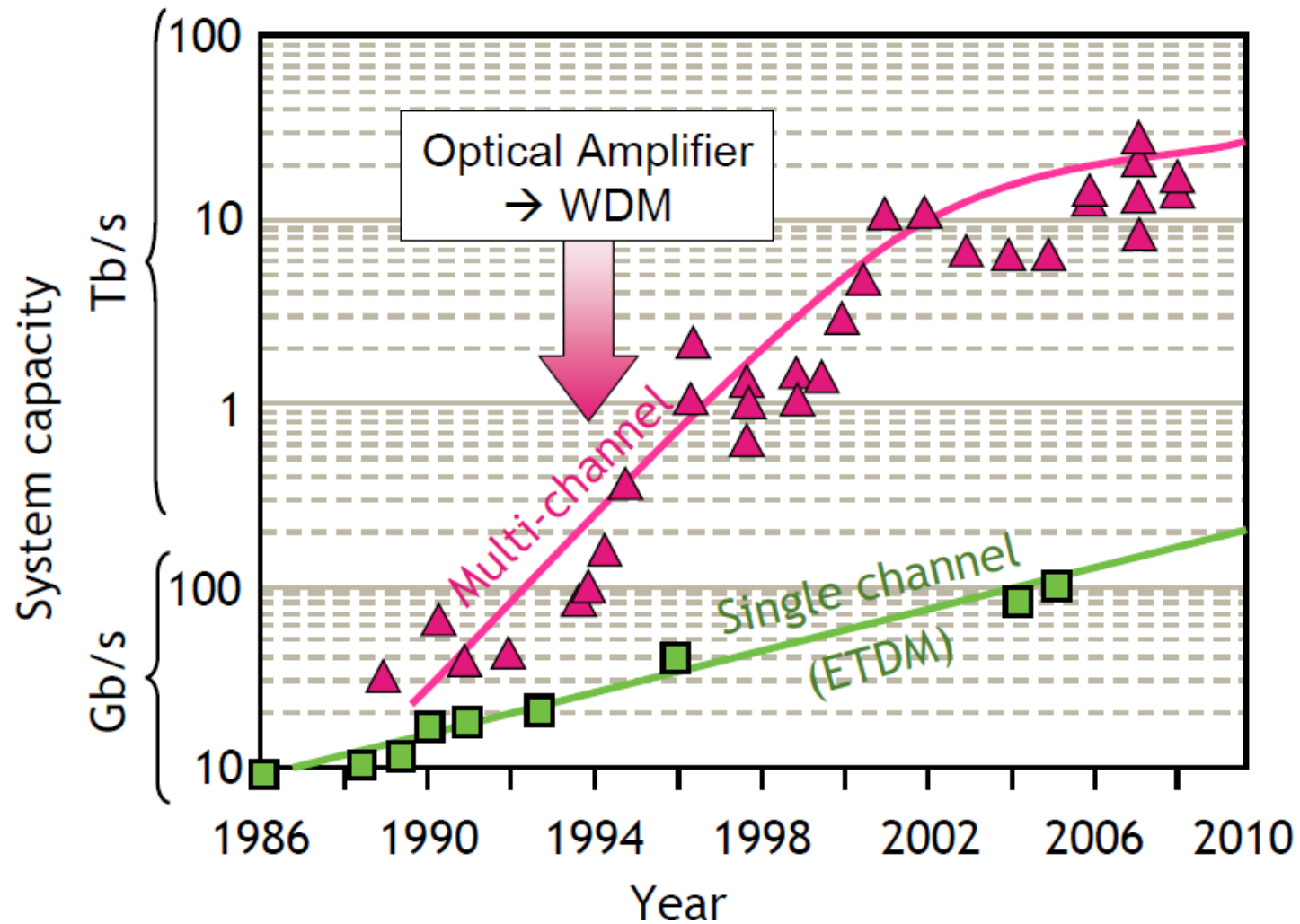
Applications aux réseaux terrestres

- ♦ **Les réseaux étendus terrestres, de structure maillée, mettent en œuvre différentes fonctions :**
 - **Transport numérique : liaison point-à-point**
 - Accroissement du produit débit x distance
 - Multiplexage dense en longueur d'onde (D-WDM)
 - **Routage et commutation optique**
 - Multiplexage à insertion/extraction optique (O-ADM)
 - Commutateur tout optique
- ♦ **Ils doivent être capables de supporter une très forte demande en débit numérique, principalement due à l'explosion du trafic Internet**

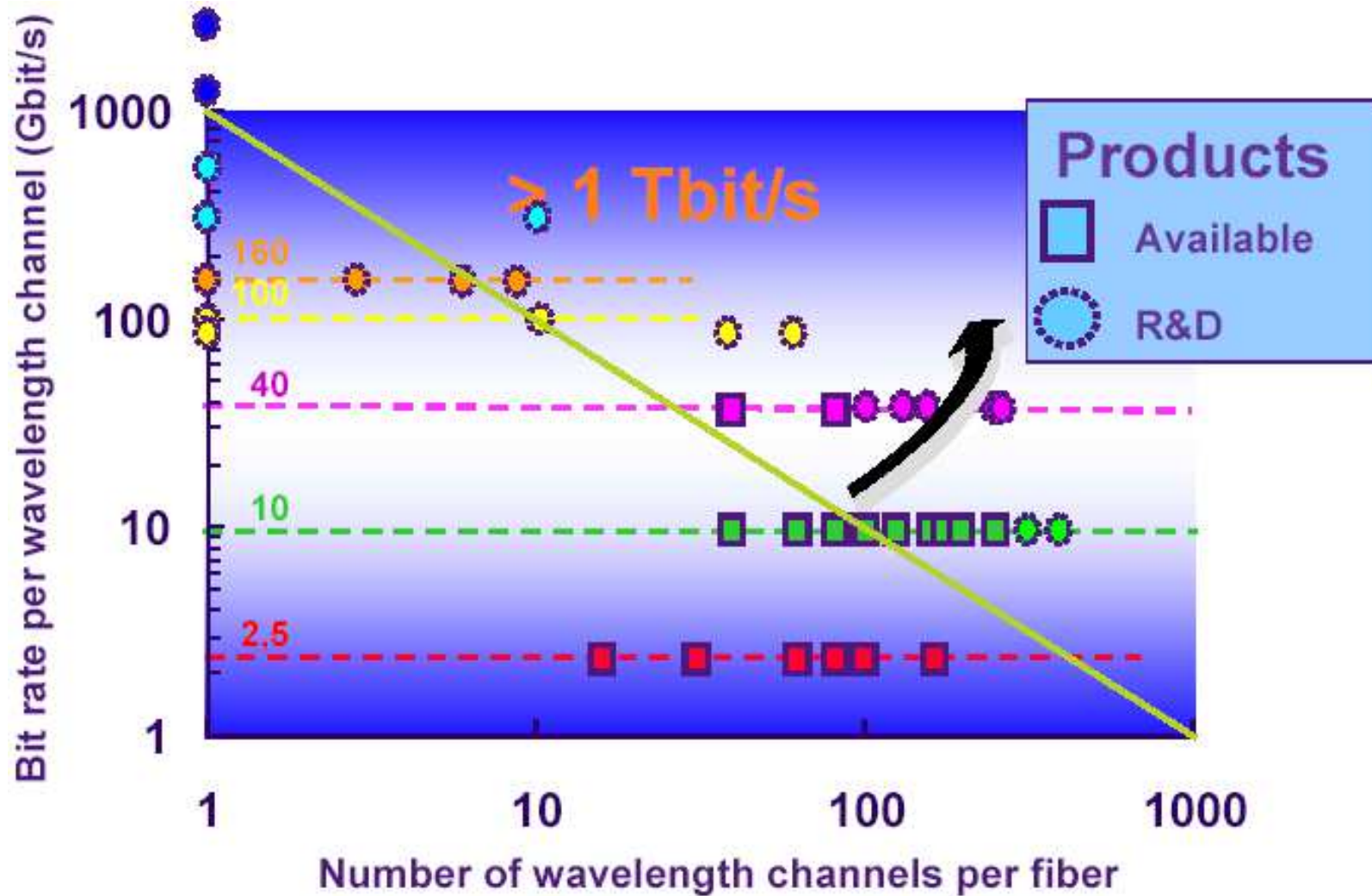
Exemples de systèmes de transmission terrestres opérationnels

System	Year	Wave-length	WDM chan-nels	Bit rate/channel	Bit rate/Fiber	Voice channels per fiber	Regen spans
FT3	1980	0.82 μm	1	45 Mb/s	45 Mb/s	672	7 km
FT3C	1983	0.82 μm	1	90 Mb/s	90 Mb/s	1,344	7 km
FTG-417	1985	1.3 μm	1	417 Mb/s	417 Mb/s	6,048	50 km
FTG-1.7	1987	1.3 μm	1	1.7 Gb/s	1.7 Gb/s	24,192	50 km
FTG-1.7 WDM	1989	1.3/1.55 μm	2	1.7 Gb/s	3.4 Gb/s	48,384	50 km
FT-2000	1992	1.3 μm	1	2.5 Gb/s	2.5 Gb/s	32,256	50 km
FT-2000 WDM	1992	1.3/1.55 μm	2	2.5 Gb/s	5 Gb/s	64,120	50 km
NGLN	1995	1.55 μm	8	2.5 Gb/s	20 Gb/s	258,000	360 km
NGLN II	1997	1.55 μm	16	2.5 Gb/s	40 Gb/s	516,000	360 km
WaveStar TM 400G	1999	1.55 μm	80	2.5 Gb/s	200 Gb/s	2,580,000	640 km
			40	10 Gb/s	400 Gb/s	5,160,000	640 km
WaveStar TM 800G			80	10 Gb/s	800 Gb/s	10,320,000	640 km
WaveStar TM 1.6T	2001	1.55 μm	160	10 Gb/s	1.6 Tb/s	20,640,000	640 km
LambdaXtreme	2003	1.55 μm	128	10 Gb/s	1.28 Tb/s	16,512,000	4000 km
			64	40 Gb/s	2.56 Tb/s	33,024,000	1000 km

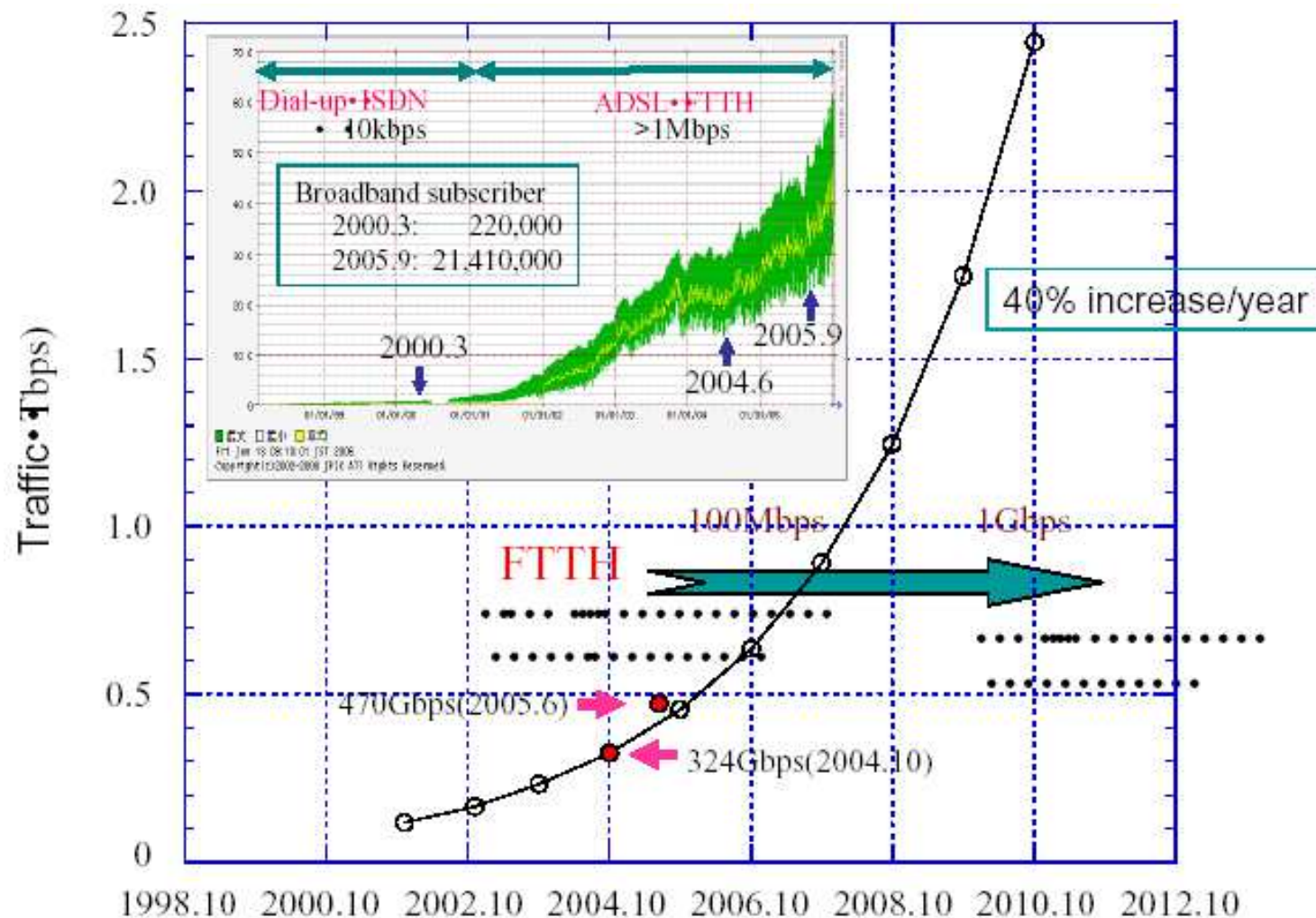
Capacités record



Evolution des systèmes WDM terrestres



Evolution du trafic Internet mondial



- ♦ **ITU – International Telecommunication Union**
 - **Secteur des télécommunications : ITU-T**
 - Produit des recommandations, normes qui définissent les modalités d'exploitation et d'interfonctionnement des réseaux de télécoms
- ♦ **CEI – Commission Electrotechnique Internationale**
 - **CENELEC – Comité Européen de Normalisation Electrotechnique**
Organisme représentant l'Europe au sein du CEI
 - UTE : Union Technique de l'Electricité
Représente la France au sein du CENELEC
- ♦ **ISO – International Standards Organization**
 - Réseau d'instituts nationaux de normalisation regroupant 162 pays
- ♦ **ETSI – European Telecommunications Standard Institute**
 - Orienté sur l'architecture des systèmes
- ♦ **ANSI – American National Standards Institute**

Normalisation des fibres optiques

♦ Recommandations de l'ITU-T

- Série G « Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques »

♦ Correspondance avec les classes de la CEI

Série G	Type de fibre	Classe CEI
G.651	Fibre multimode à gradient d'indice type 50/125 μm	
G.652	Fibre monomode standard SMF pour utilisation à 1300 nm et éventuellement à 1550 nm	B1.1
G.653	Fibre monomode à dispersion décalée DSF	B.2
G.654	Fibre monomode à longueur d'onde de coupure décalée	B1.2
G.655	Fibre à dispersion décalée non nulle NZ-DSF	B.4
G.656	Fibre monomode à dispersion non nulle pour large bande	B.5
G.657	Fibre monomode pour réseaux d'accès FTTH	B.6

Normalisation des systèmes WDM

Allocation des fréquences centrales

- ◆ Depuis Octobre 1998, l'allocation des fréquences centrales des canaux WDM est définie par la Recommandation ITU-T G.692 :

- Espacement fréquentiel entre canaux adjacents :

Espacement uniforme pour systèmes à fibres G.652/G.655 :

Deux valeurs sont couramment utilisées dans les systèmes actuels :

- WDM : Espacement de 100 GHz (environ 0,8 nm à $\lambda = 1550$ nm)
- WDM dense (DWDM) : Espacement de 50 GHz (environ 0,4 nm à $\lambda = 1550$ nm)

Actuellement à l'étude :

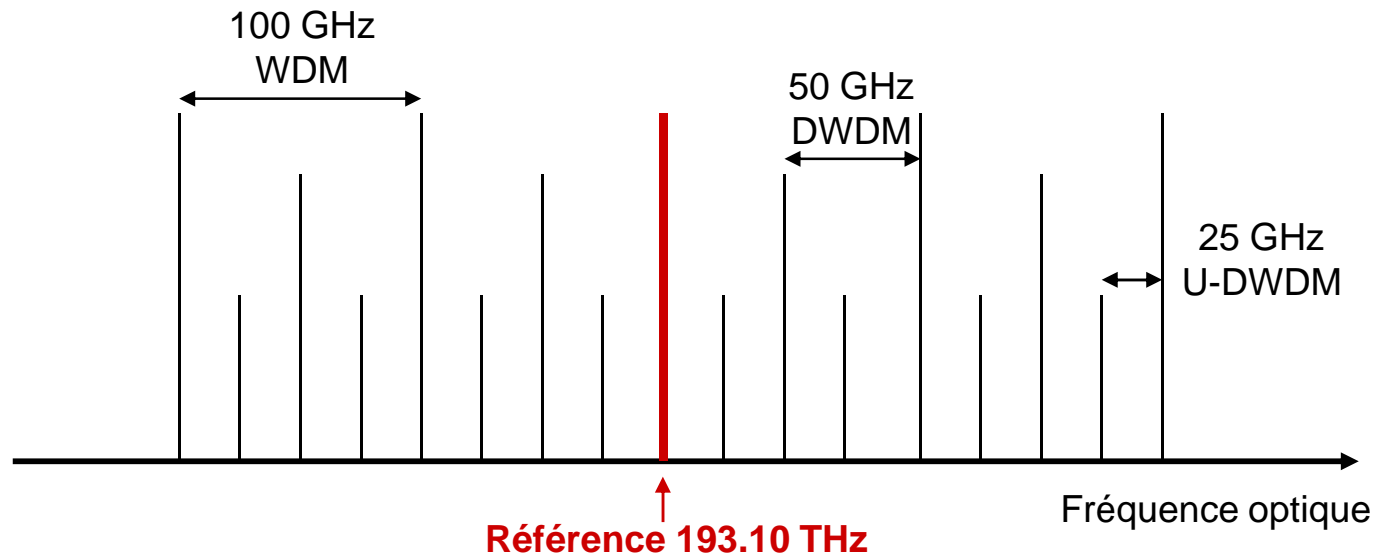
- WDM ultra-dense (U-DWDM) : Espacement de 25 GHz (0,2 nm à $\lambda = 1550$ nm)

L'étude de l'espacement non-uniforme pour systèmes à fibre G.653 a été abandonnée : non gérable pour des systèmes à très grand nombre de canaux

- Référence pour le choix de la fréquence centrale :
 - Quel que soit l'espacement, la fréquence de référence est de 193.10 THz

Définition des fréquences centrales

◆ Définition des fréquences centrales des systèmes WDM



◆ Relation entre écart fréquentiel Δf et écart en longueur d'onde $\Delta \lambda$

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c} \Delta f$$

Définition des bandes spectrales WDM

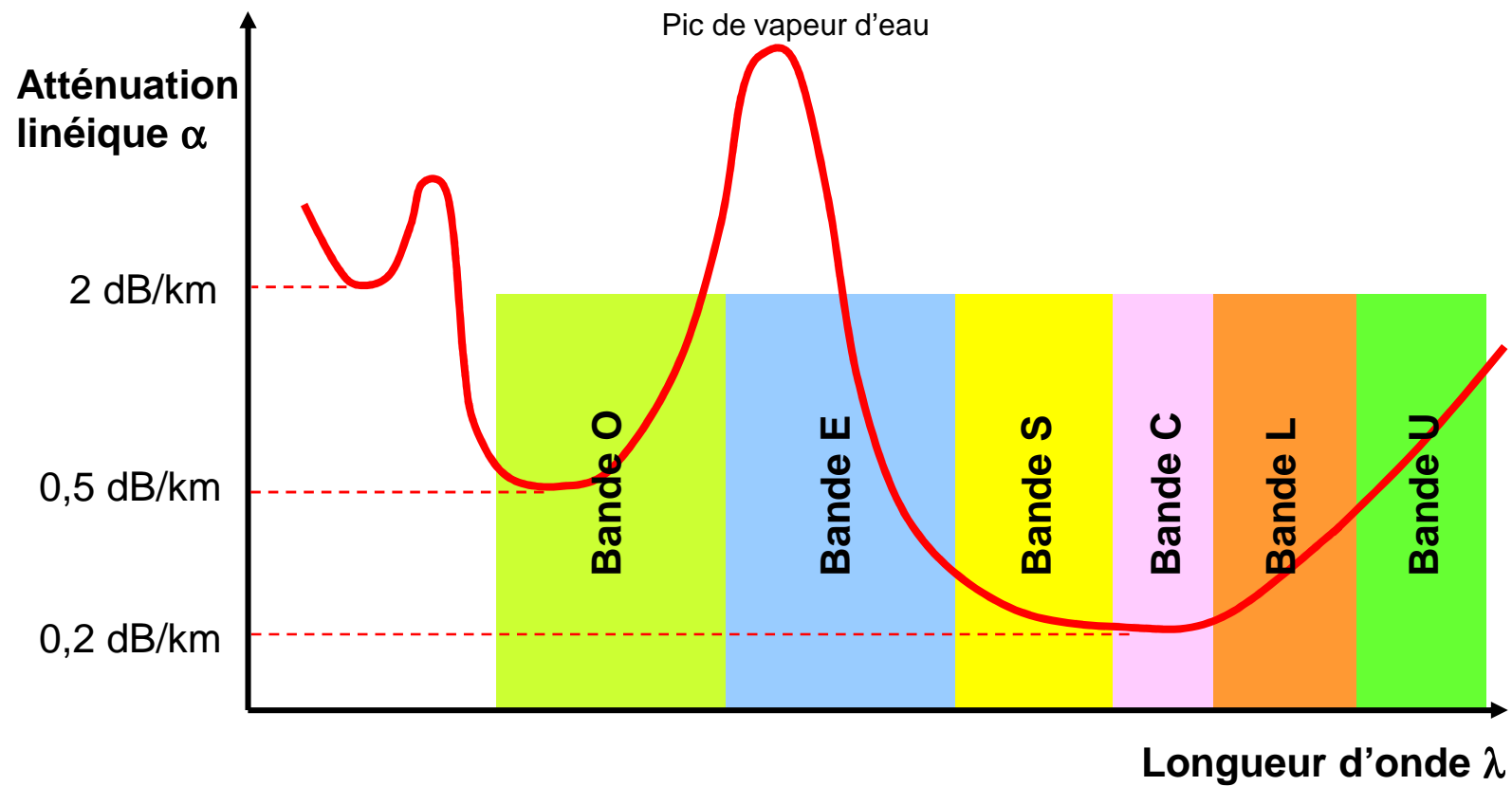
♦ Bandes spectrales normalisées pour les systèmes WDM

- Bandes de transmission pour les fibres monomodes définies par la norme G.692

Nom de la bande	Bande O (Original)	Bande E (Extended)	Bande S (Short)	Bande C (Conventional)	Bande L (Long)	Bande U (Ultra long)
Intervalle en nm	1260-1360	1360-1460	1460-1530	1530-1565	1565-1625	1625-1675
Commentaires	Bande d'origine des fibres G.652	Bande du « pic d'eau » pour les fibres à faible absorption de vapeur d'eau	Dans cette bande, certaines longueurs d'onde servent au pompage des EDFA, d'autres au canal superviseur	Bande utilisée pour les systèmes de transmission à hautes performances	Destinée à des fins de maintenance Pas encore utilisée en transmission	Bande non encore exploitée

Bandes spectrales WDM

- ◆ Représentation des bandes spectrales sur la courbe d'atténuation d'une fibre de silice (SiO_2)



Nombre potentiel de canaux dans la plage de longueurs d'onde 1.5 μm

♦ Trois bandes sont définies dans la plage 1460 - 1625 nm :

- Bande S : 1460 - 1530 nm (largeur 70 nm)
- Bande C : 1530 - 1565 nm (largeur 35 nm)
- Bande L : 1565 - 1625 nm (largeur 60 nm)

♦ Nombre potentiel de canaux :

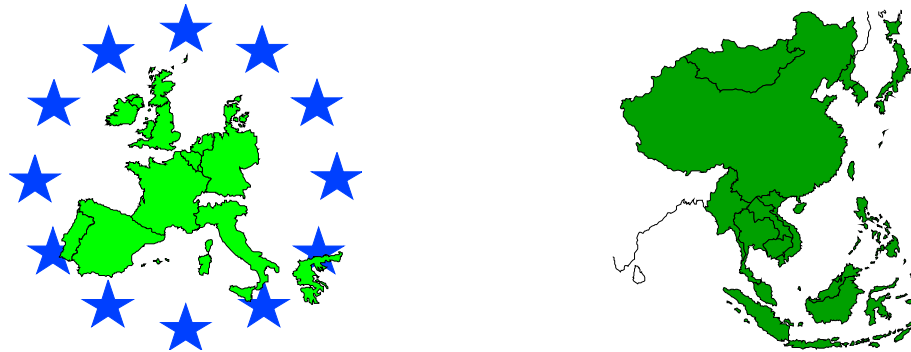
Bande	Espacement		
	100 GHz	50 GHz	25 GHz
S	87 canaux	175 canaux	350 canaux
C	43 canaux	87 canaux	175 canaux
L	75 canaux	150 canaux	300 canaux
Total	205 canaux	412 canaux	825 canaux

Normes de transmission synchrone

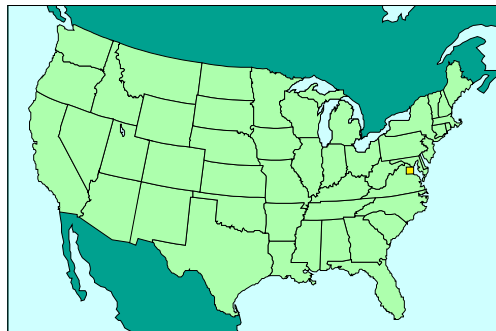
- ◆ **Objectif : trouver un compromis entre les intérêts américains, japonais et européens afin de garantir l'interconnexion des réseaux des différents opérateurs**
- ◆ **Les premiers travaux sur les réseaux optiques synchrones ont démarré en 1984**
- ◆ **1986 : premiers résultats publiés aux Etats-Unis par BELLCORE**
 - SONET : Synchronous Optical NETwork
 - Débit de base retenu : 51,84 Mbit/s (premier niveau OC-1 de SONET)
- ◆ **En 1988 : accords internationaux sur la norme SDH (Synchronous Digital Hierarchy) ratifiés par l'ITU-T (recommandations G.707, G.708 et G.709)**

Normes SDH et SONET

- ◆ Normes internationales de transmission synchrone
 - SDH = Synchronous Digital Hierarchy (norme Europe + Asie)



- SONET = Synchronous Optical NETwork (norme US)



Débits numériques définis par les normes SDH et SONET

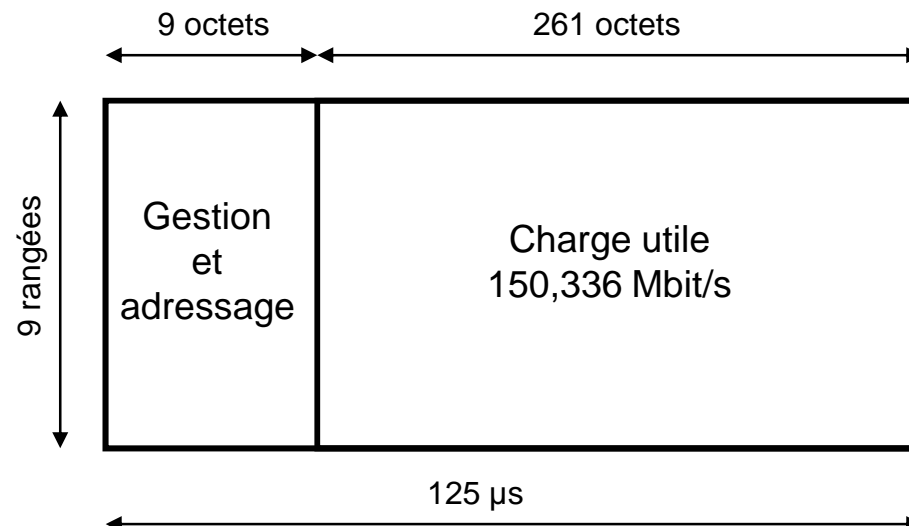
- ◆ Ces normes définissent des structures de trames
 - SDH : STM-N (Synchronous Transport Module) avec $N = 1, 4, 16, 64...$
 - SONET : OC-n (Optical Carrier) avec $n = 3, 12, 48, 192...$

SDH	SONET	Débit (Mbit/s)	Nombre de voies téléphoniques
STM-1	OC-3	155.52	2.000
STM-4	OC-12	622.08	8.000
STM-16	OC-48	2488.32 (2.5 Gbit/s)	32.000
STM-64	OC-192	9953.28 (10 Gbit/s)	128.000
STM-256	OC-768	39813.12 (40 Gbit/s)	512.000
STM-1024	OC-3072	159252.48 (160 Gbit/s)	2.048.000

Structure d'une trame SDH STM-1

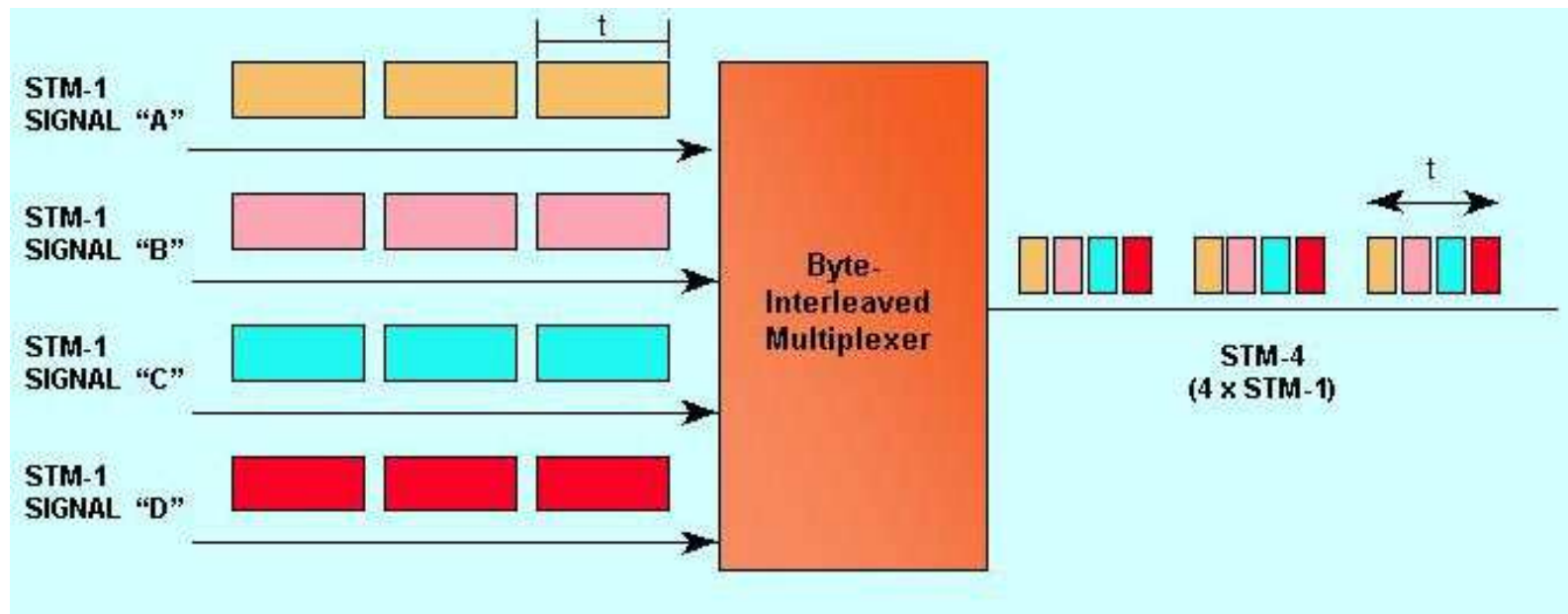
♦ Structure de la trame de base STM-1

- Toutes les trames SDH (et SONET) ont une durée de $125\ \mu\text{s}$ correspondant à la fréquence d'échantillonnage d'un signal téléphonique standard de 4 kHz de bande de base
- La trame STM-1 est constituée de 9×270 octets (2430 octets) transmis en $125\ \mu\text{s}$, ce qui correspond au débit de 155,52 Mbit/s
- Elle est constituée d'une charge utile de 9×261 octets (150,336 Mbit/s) et de 9×9 octets réservés à la gestion et à l'adressage



Structure d'une frame SDH STM-4

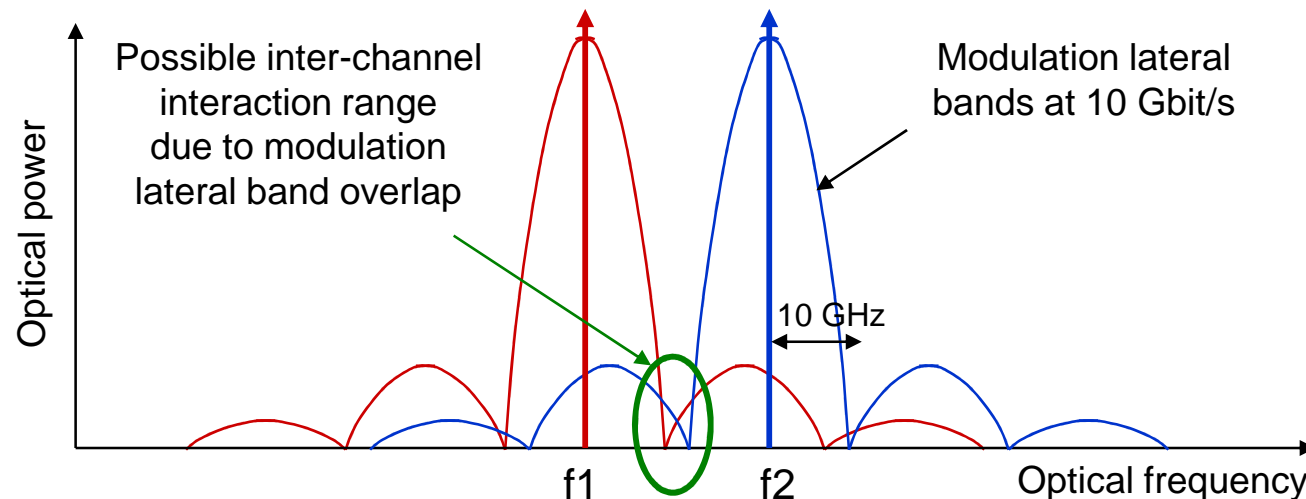
- ♦ Multiplexage temporel de 4 frames STM1 pour obtenir une frame STM-4
 - Utilisation d'un multiplexeur permettant l'entrelacement des bits



Perspectives of evolution Towards very high bit rate systems

♦ Ultra dense WDM systems (U-DWDM)

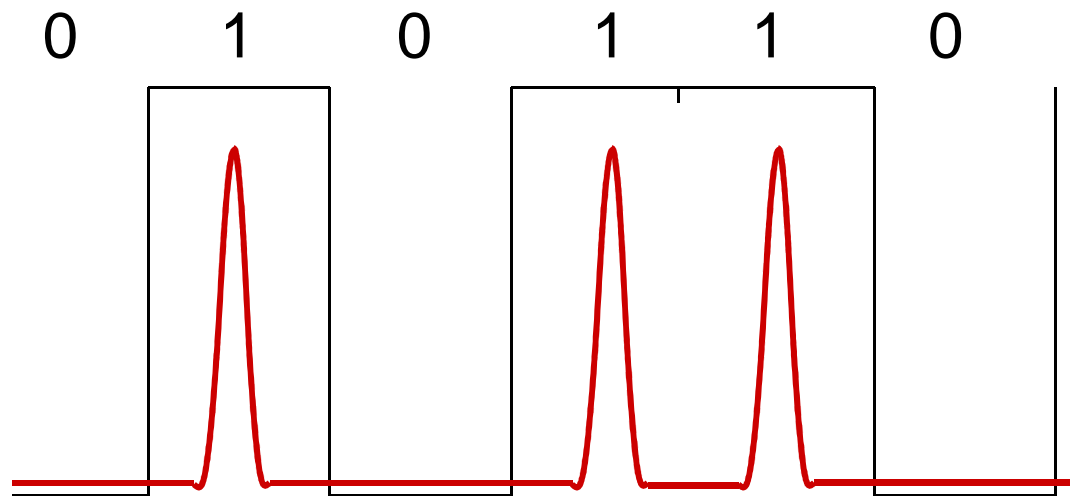
- Today, all operational WDM systems exploit standard WDM technologies (100 GHz spacing between channels) or dense WDM DWDM (50 GHz spacing between channels)
- The 25 GHz spacing (ultra dense WDM U-DWDM) is currently under study by the ITU-T organization
- It must solve the problem of bit rate increase from 2.5 Gbit/s to 10 Gbit/s then to 40 Gbit/s per channel, as a low spacing between adjacent channels can lead to interactions creating diaphony



Perspectives of evolution Towards very high bit rate systems

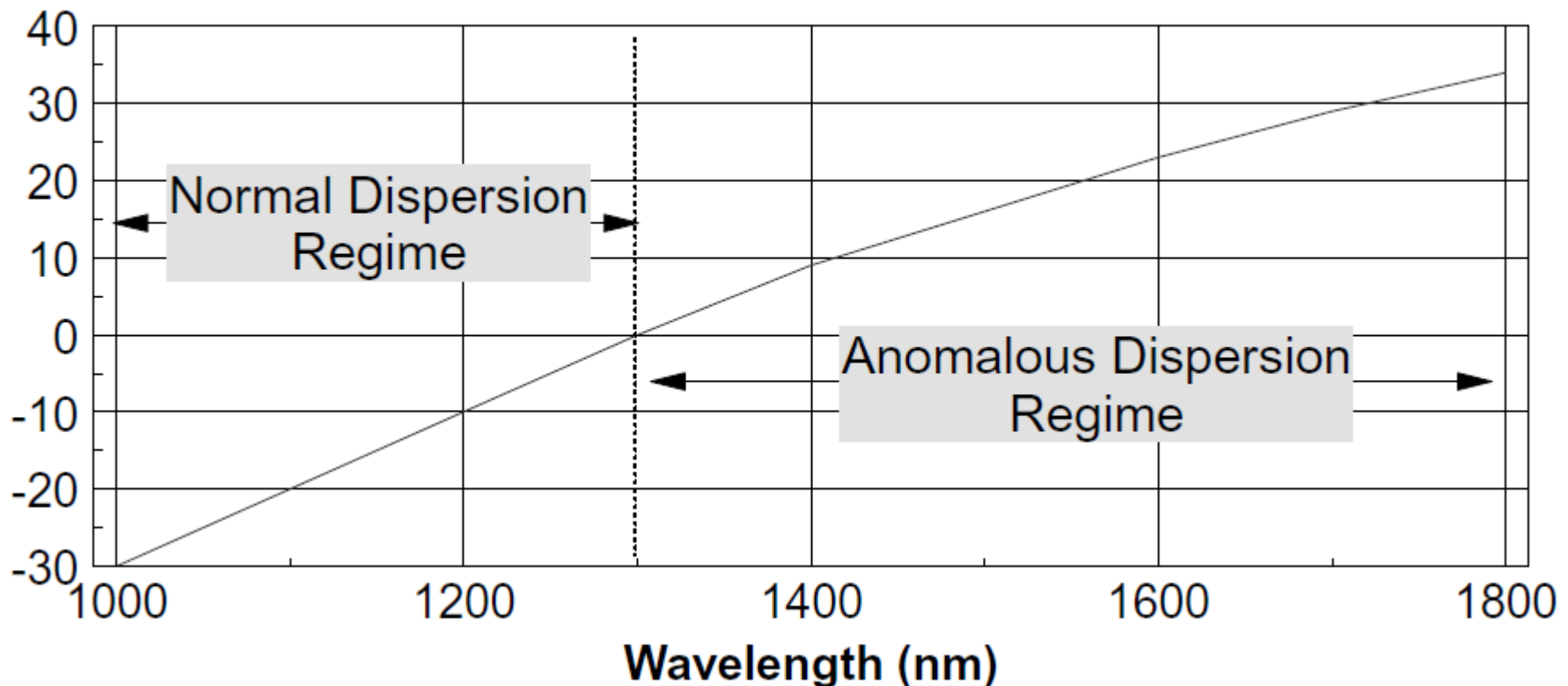
♦ Soliton transmission

- Pulse mode transmission
- Abnormal dispersion spectral range (positive chromatic dispersion) allowing time compression of pulses through Kerr type non-linear effect (self-phase modulation)
- This effect exactly compensates for pulse broadening due to dispersion
- The pulse can propagate over very long distances without degradation of its time duration



Chromatic dispersion of a standard single-mode fiber

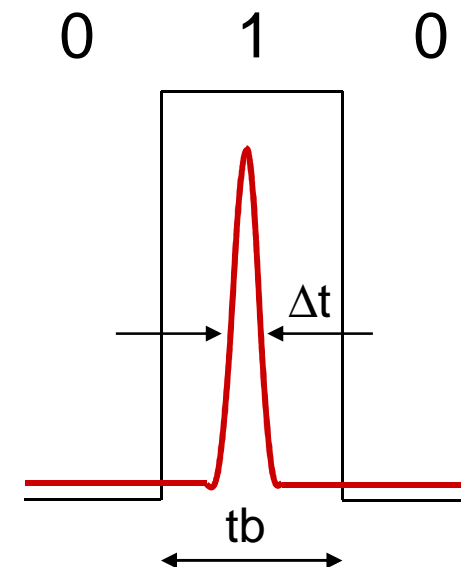
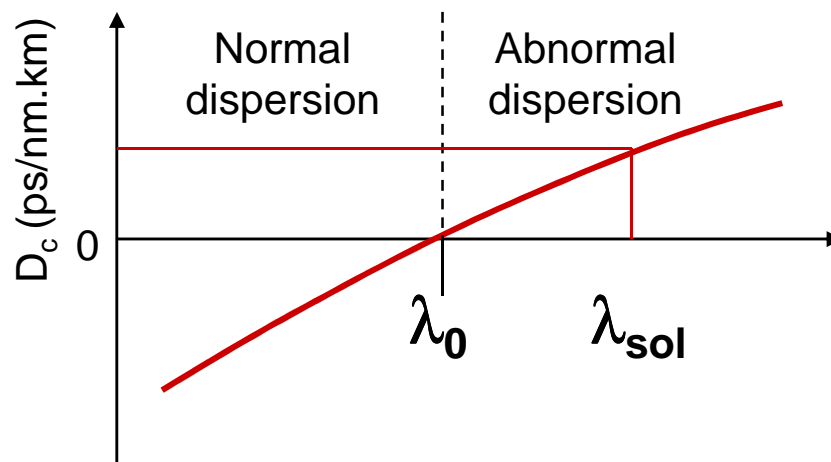
Fibre Dispersion (ps/nm/km)



Perspectives of evolution Towards very high bit rate systems

♦ Soliton transmission

- Specificities of emitted pulses
 - Source wavelength within the positive dispersion range : $\lambda_{\text{sol}} > \lambda_0$
 - Pulse duration shorter than bit time to avoid interactions between two consecutive pulses : $\Delta t < tb/5$
 - Pulse shape : hyperbolic secant in electrical field : $A(z,t) = E(z) \text{sech}(t/\Delta t)$
 - Right peak power to get pulse compression/broadening compensation



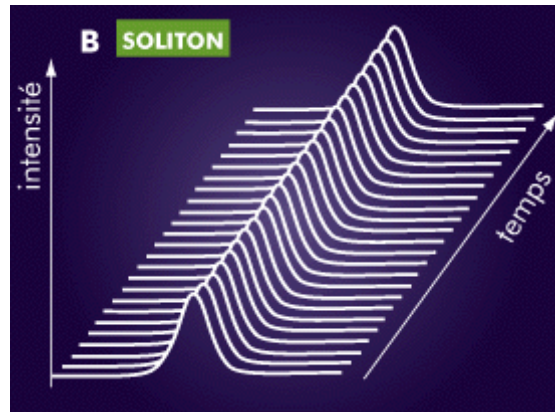
Perspectives of evolution Towards very high bit rate systems

♦ Soliton transmission

- Collision between two consecutive solitons



Normal dispersion :
SPM and chromatic
dispersion work the
same way :
Pulse broadening



Abnormal dispersion :
SPM and chromatic
dispersion mutually
compensate :
Soliton regime



**Interaction between
two solitons :**
The two solitons are too close
to each other and interact
to create a collision

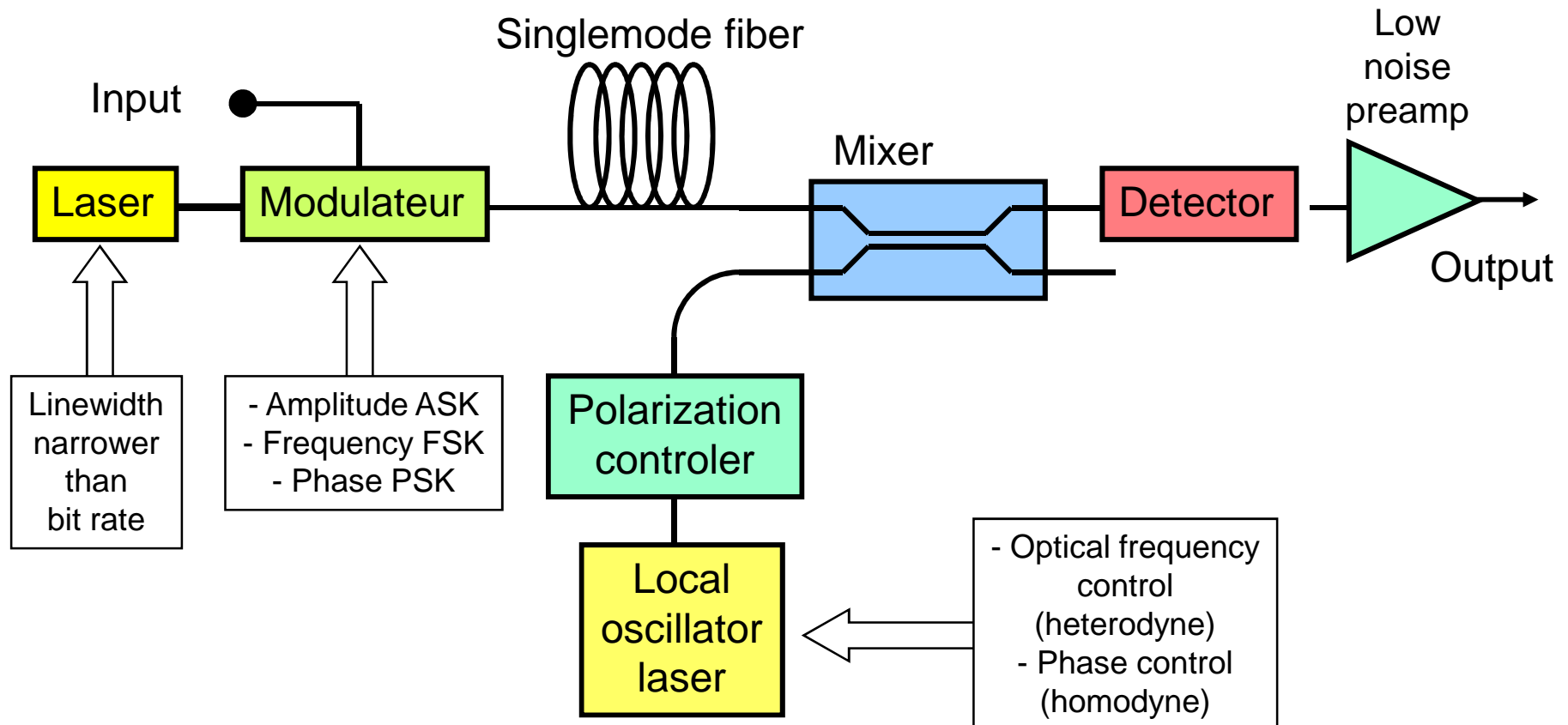
♦ Soliton transmission

- Interests of soliton transmission
 - Very large transmission distance without regeneration (> 10.000 km)
 - Very high bit rates, much higher than bit rates accessible with a classical NRZ type transmission (> 100 Gbit/s)
 - Compliance with WDM technology
- Solitons in future operational systems
 - Main target : very long distance transoceanic transmissions
 - Other target : very high bit rate terrestrial networks with optical routing
 - First offers could appear within the next three years

Perspectives of evolution

Towards very long distance systems

- ◆ **Coherent transmission : high sensitivity reception**
 - **Principle**



Perspectives of evolution

Towards very long distance systems

♦ Coherent transmission

• Principle

– Transmitter side

- ♦ Signal laser with a linewidth narrower than bit rate
- ♦ Optical wave modulation :
 - In amplitude : Amplitude Shift Keying (ASK)
 - In frequency : FSK (Frequency Shift Keying)
 - In phase : PSK (Phase Shift Keying)

– Receiver side

- ♦ Mixing of signal wave with local oscillator (LO) wave
- ♦ Intermediate frequency (IF) detection : $IF = F_{\text{signal}} - F_{\text{LO}}$
- ♦ Homodyne detection: signal and LO with same frequency ($IF = 0$)
- ♦ Heterodyne detection : signal and LO with different frequencies ($IF \neq 0$)
- ♦ IF is within the RF range (detection band)

♦ Coherent transmission

• Interests compared to direct detection

- Detected photocurrent proportional to Signal x OL fields product
- Main noise : quantum noise due to powerful local oscillator
- Improved receiver sensitivity compared to direct detection :

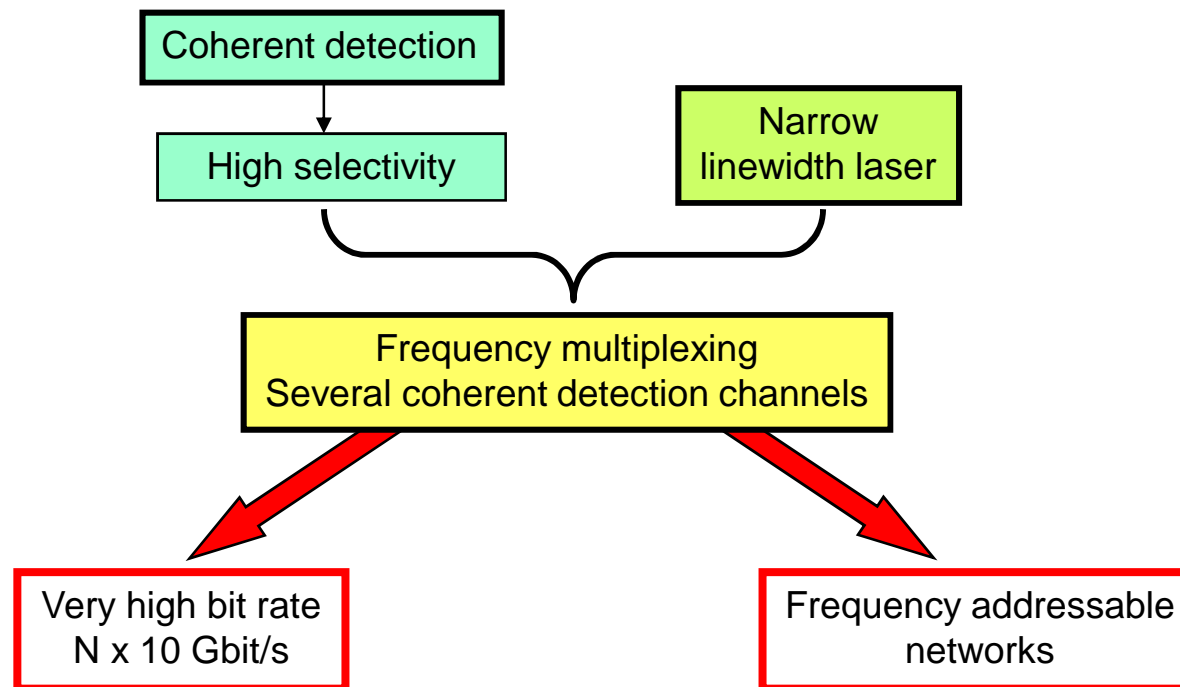
♦ ASK heterodyne :	+ 10 dB	(+ 50 km)
♦ ASK homodyne :	+ 13 dB	(+ 65 km)
♦ FSK :	+ 13 dB	(+ 65 km)
♦ PSK heterodyne :	+ 16 dB	(+ 80 km)
♦ PSK homodyne :	+ 19 dB	(+ 95 km)

Perspectives of evolution

Towards very long distance systems

♦ Coherent transmission

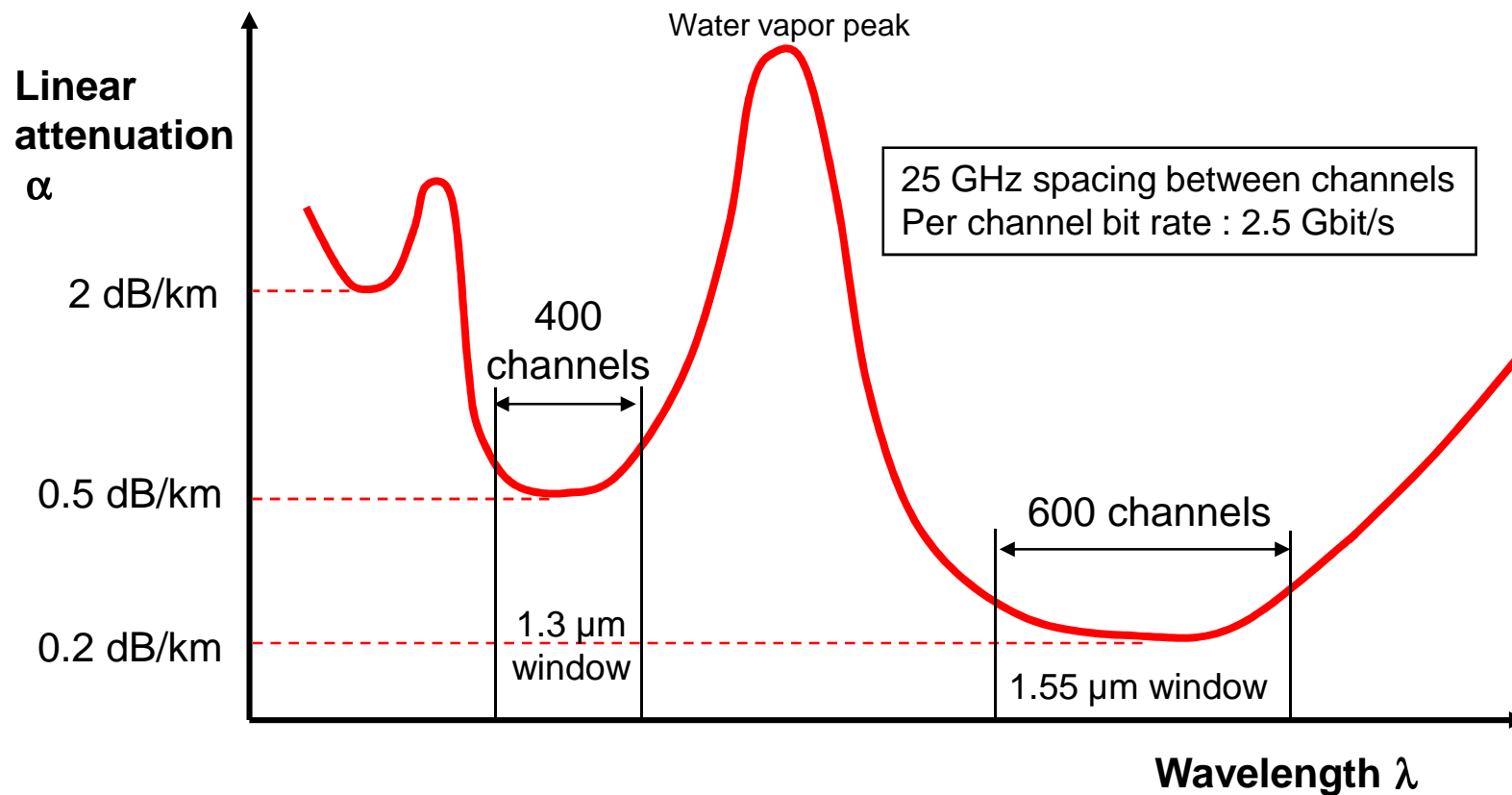
- Potential applications resulting from coherent detection selectivity



Perspectives of evolution Towards very long distance systems

◆ Coherent transmission

• Potential capacity of singlemode fibers



CONCLUSION ON COHERENT DETECTION

♦ Advantages of coherent detection

- Large receiver sensitivity improvement
- Up to + 19 dB compared to direct detection

♦ Constraints of related equipments

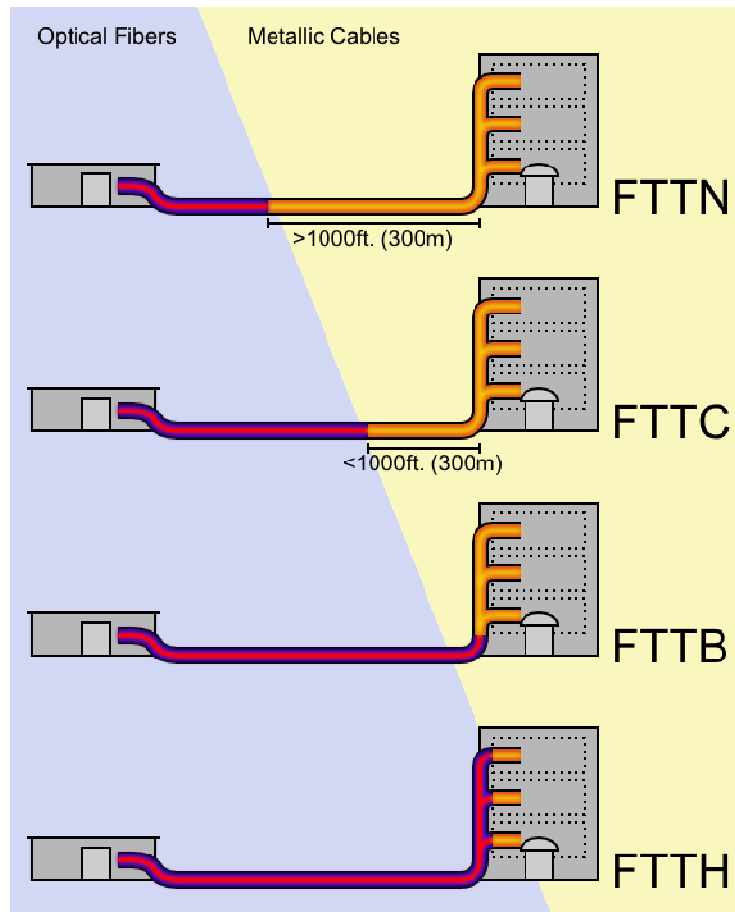
- Design of very narrow linewidth lasers
- Complementary devices
 - Optical isolation
 - Polarization control
- Complex detection circuits

Le réseau de distribution

Les technologies FTTx

- FTTH** (Fiber To The Home) L'abonné est directement raccordé par fibre optique jusqu'au répartiteur dont il dépend
- FTTB** (Fiber To The Building) La connexion en fibre va du répartiteur jusqu'au bas de l'immeuble. La distribution jusque chez l'abonné se fait en câble coaxial (réseau existant)
- FTTN** (Fiber To The Node) Fibre jusqu'au répartiteur voisin. L'abonné est connecté en coaxial au répartiteur (distance < 1500 m)
- FTTC** (Fiber To The Curb) Fibre jusqu'au trottoir. La fibre arrive jusqu'au sous-répartiteur local et la distribution se fait par le réseau RTC existant (distance < 300 m)
- FTTLA** (Fiber To The Last Amplifier) Numericable Fibre jusqu'au dernier amplificateur. Consiste à remplacer le câble coaxial jusqu'au dernier amplificateur (vers l'abonné) par de la fibre optique et à utiliser le câble coaxial des réseaux câblés pour les derniers mètres jusqu'à l'abonné

Les technologies FFTx



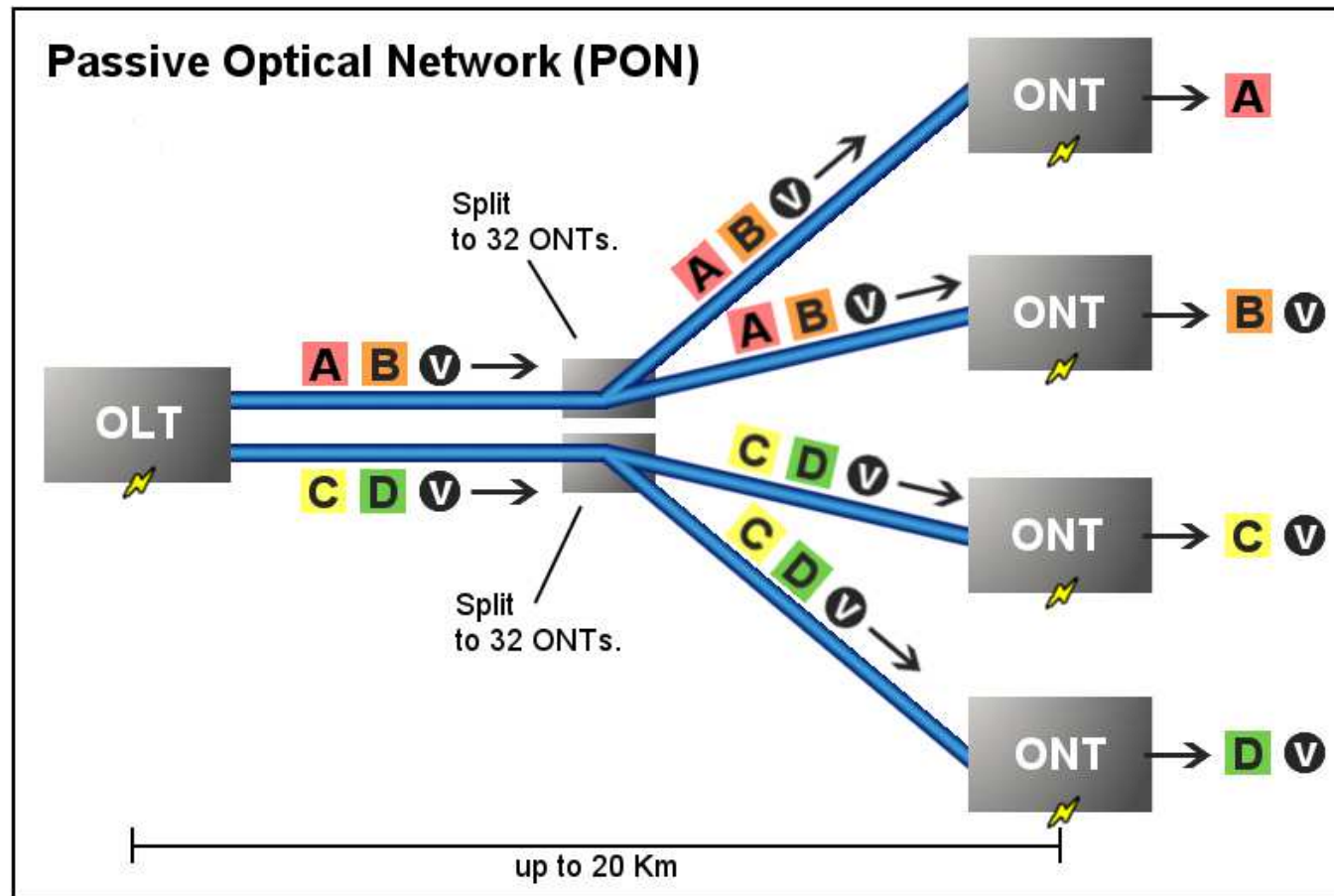
Fiber to the Node

Fiber to the Curb

Fiber to the Building

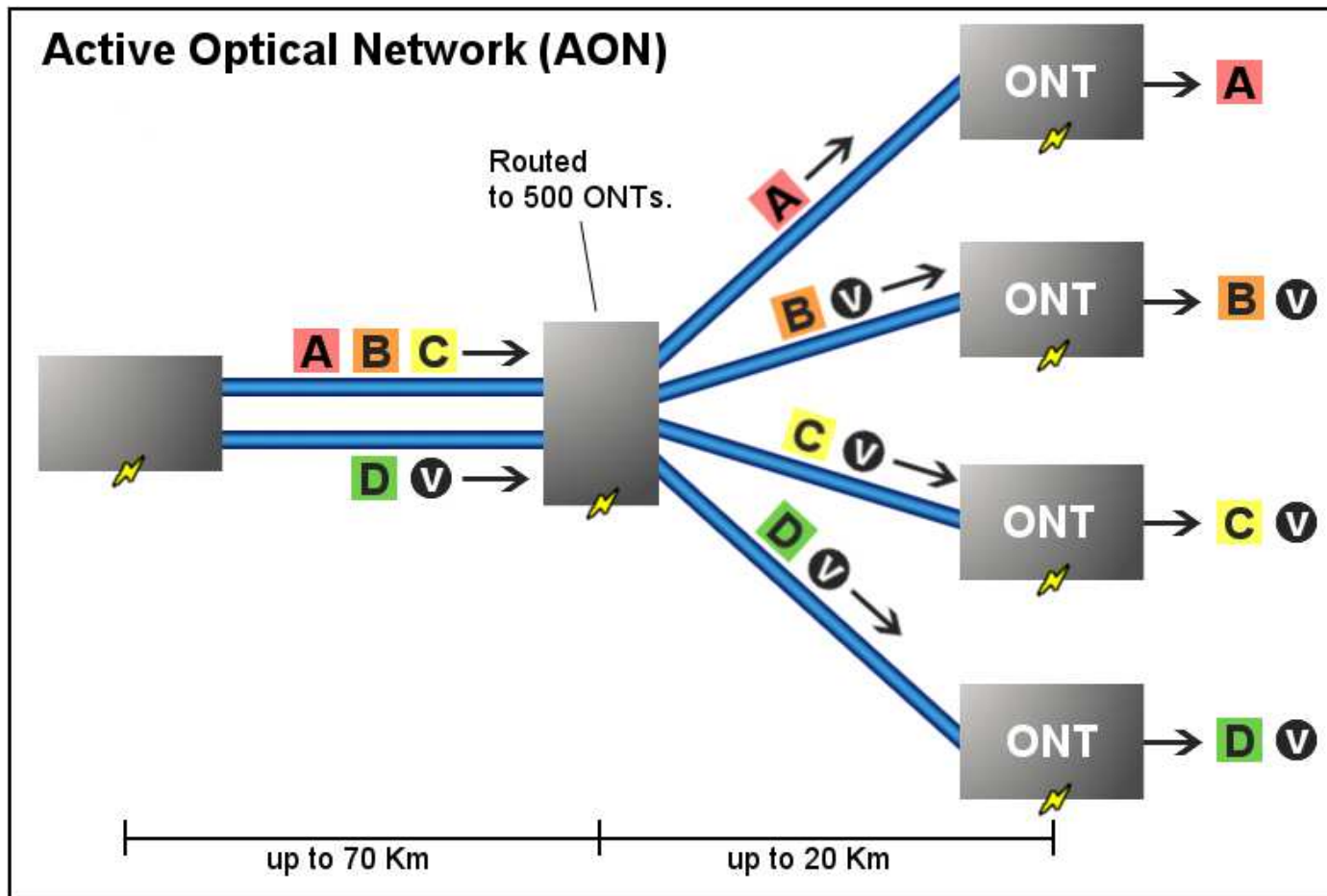
Fiber to the Home

Les technologies FTTx



Key: **A** - Data or voice for a single customer. **V** - Video for multiple customers.

Les technologies FTTx



Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (1)



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (2)



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (3)



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (4)

2



POINT DE BRANCHEMENT OPTIQUE (PBO)

Dans les immeubles de plusieurs logements ou locaux à usage professionnel comprenant une colonne montante, point d'interconnexion du réseau vertical de l'immeuble et du câble servant au raccordement final des abonnés. Dans les autres cas, le point de branchement optique peut se trouver à l'extérieur de l'habitat à proximité immédiate du logement, en général à quelques mètres ou quelques dizaines de mètres du logement.



LOGEMENT RACCORDABLE

Logement pour lequel il existe une continuité optique entre le point de mutualisation et le point de branchement optique.



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (5)



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (6)



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (7)



Source : ARCEP

Le déploiement de la fibre optique jusqu'à l'abonné (8)

4

PRISE TERMINALE OPTIQUE (PTO)

Prise située à l'intérieur du logement ou local à usage professionnel sur laquelle l'abonné branche généralement la box de l'opérateur.



BRANCHEMENT OPTIQUE

RACCORDEMENT FINAL

Opération consistant à installer un câble de branchement comprenant une ou plusieurs fibres optiques entre le point de branchement optique et la prise terminale optique.

LOGEMENT RACCORDÉ

Logement pour lequel il existe une continuité optique entre le point de mutualisation et la prise terminale optique.



Source : ARCEP



Suivi des abonnements Internet à haut et très haut débit sur les réseaux fixes au 30 juin 2018

A la fin du premier semestre 2018, le nombre d'abonnements internet à haut et très haut débit sur réseaux fixes atteint 28,7 millions, soit une croissance nette de 80 000 abonnements au cours du trimestre. Sur un an, l'accroissement net s'élève à 650 000 (+2,3%).

Tandis que le recul annuel du nombre d'abonnements à haut débit (20,8 millions) dépasse pour la première fois le million (-1,1 million en un an au deuxième trimestre 2018 contre 535 000 un an auparavant), la croissance du nombre d'accès à très haut débit continue de progresser : 1,7 million d'accès supplémentaires au cours de l'année, contre +1,3 million au deuxième trimestre 2017, portant ainsi le nombre d'abonnements actifs à 7,9 millions fin juin 2018. La croissance trimestrielle du très haut débit provient majoritairement (à près de 90% ce trimestre) de l'augmentation du nombre d'accès en fibre optique de bout en bout. Ainsi, plus de 3,9 millions de locaux bénéficient désormais d'un abonnement en fibre optique jusqu'au logement, en croissance de 325 000 en un trimestre et de 1,3 million en un an, à comparer à + 900 000 l'année précédente.

Au total, le nombre d'abonnements à très haut débit représente, au deuxième trimestre 2018, 42% du nombre total de locaux éligibles au très haut débit, en croissance de 5 points en un an. En outre, fin juin 2018, 27% des abonnements internet actifs sont à très haut débit (+6 points en un an).

Source : ARCEP



Suivi des abonnements Internet à haut et très haut débit sur les réseaux fixes au 30 juin 2018

Nombre d'abonnements					
en millions	T2 2017	T3 2017	T4 2017	T1 2018	T2 2018*
Nombre d'abonnements haut débit et très haut débit sur réseaux fixes	28,036	28,211	28,406	28,603	28,685
Nombre d'abonnements haut débit	21,910	21,720	21,440	21,121	20,830
Abonnements DSL	21,376	21,199	20,904	20,590	20,295
Autres abonnements haut débit	0,533	0,521	0,536	0,531	0,535
Nombre d'abonnements très haut débit	6,127	6,491	6,967	7,482	7,855
Abonnements ≥100 Mbit/s	3,953	4,242	4,597	4,948	5,260
dont fibre optique de bout en bout	2,633	2,896	3,255	3,615	3,940
dont avec terminaison en câble coaxial	1,320	1,345	1,342	1,333	1,320
Abonnements ≥ 30 et <100Mbit/s (VDSL2, terminaison coaxiale, 4G fixe, THD radio)	2,174	2,250	2,370	2,534	2,595

Evolution du nombre d'abonnements					
en millions	T2 2017	T3 2017	T4 2017	T1 2018	T2 2018*
Accroissements annuels					
Accroissement net total	0,808	0,763	0,727	0,702	0,649
Accroissement net total en %	3,0%	2,8%	2,6%	2,5%	2,3%
Accroissement net du haut débit	-0,537	-0,671	-0,791	-0,956	-1,080
Accroissement net du très haut débit	1,346	1,433	1,518	1,658	1,728

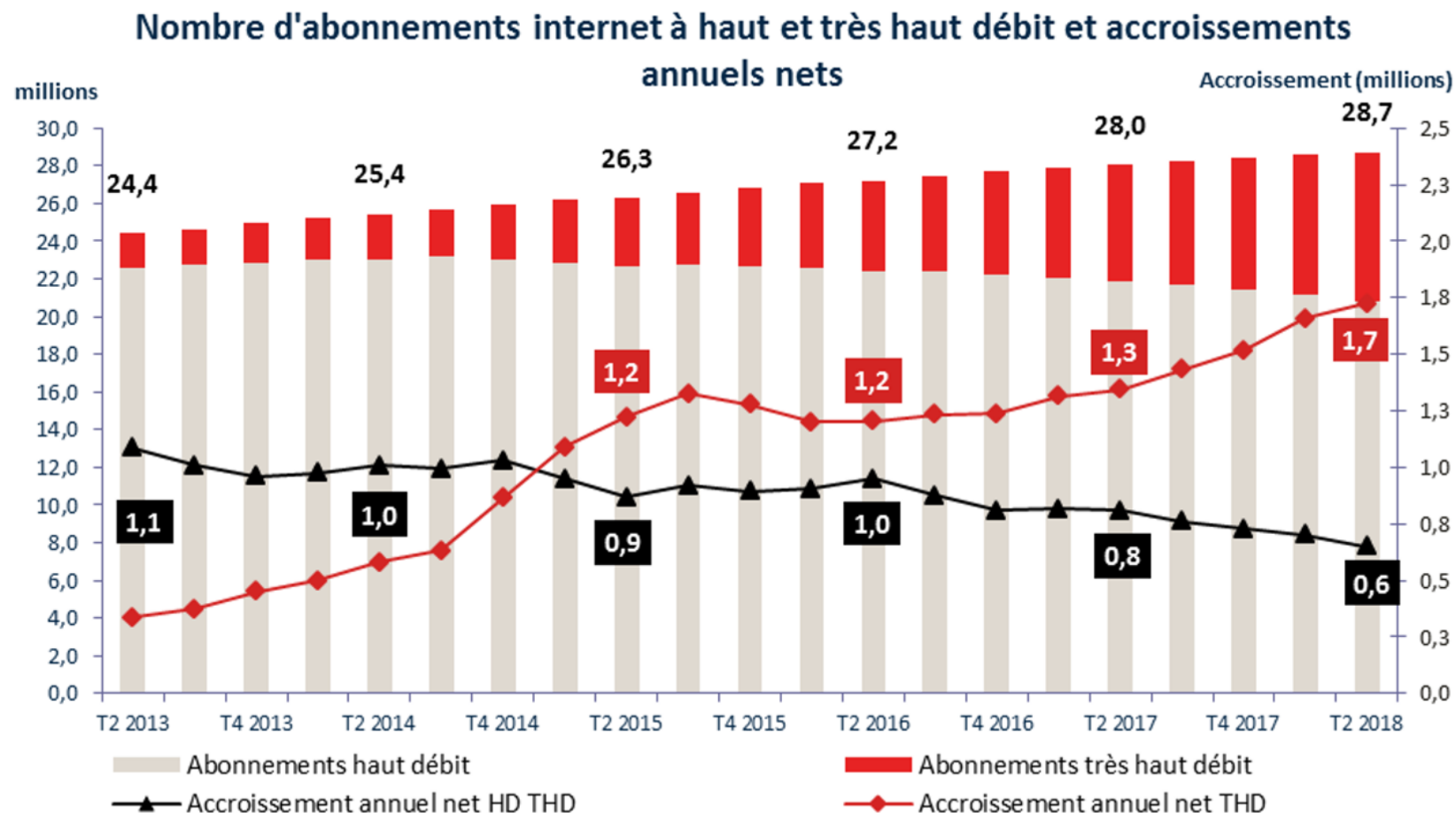
en millions	T2 2017	T3 2017	T4 2017	T1 2018	T2 2018*
Accroissements trimestriels					
Accroissement net total	0,135	0,175	0,195	0,197	0,082
Accroissement du haut débit	-0,167	-0,189	-0,281	-0,319	-0,291
Accroissement du très haut débit	0,302	0,364	0,475	0,515	0,373
Accroissement brut au cours du trimestre, en million**	1,250	1,575	1,575	1,400	1,200

Taux d'abonnements au très haut débit					
en %	T2 2017	T3 2017	T4 2017	T1 2018	T2 2018*
Taux d'abonnements au très haut débit	37%	38%	39%	41%	42%
Taux d'abonnements aux accès en fibre optique de bout en bout	30%	30%	32%	33%	34%

*Résultats provisoires

**Données arrondies à 12 500 près

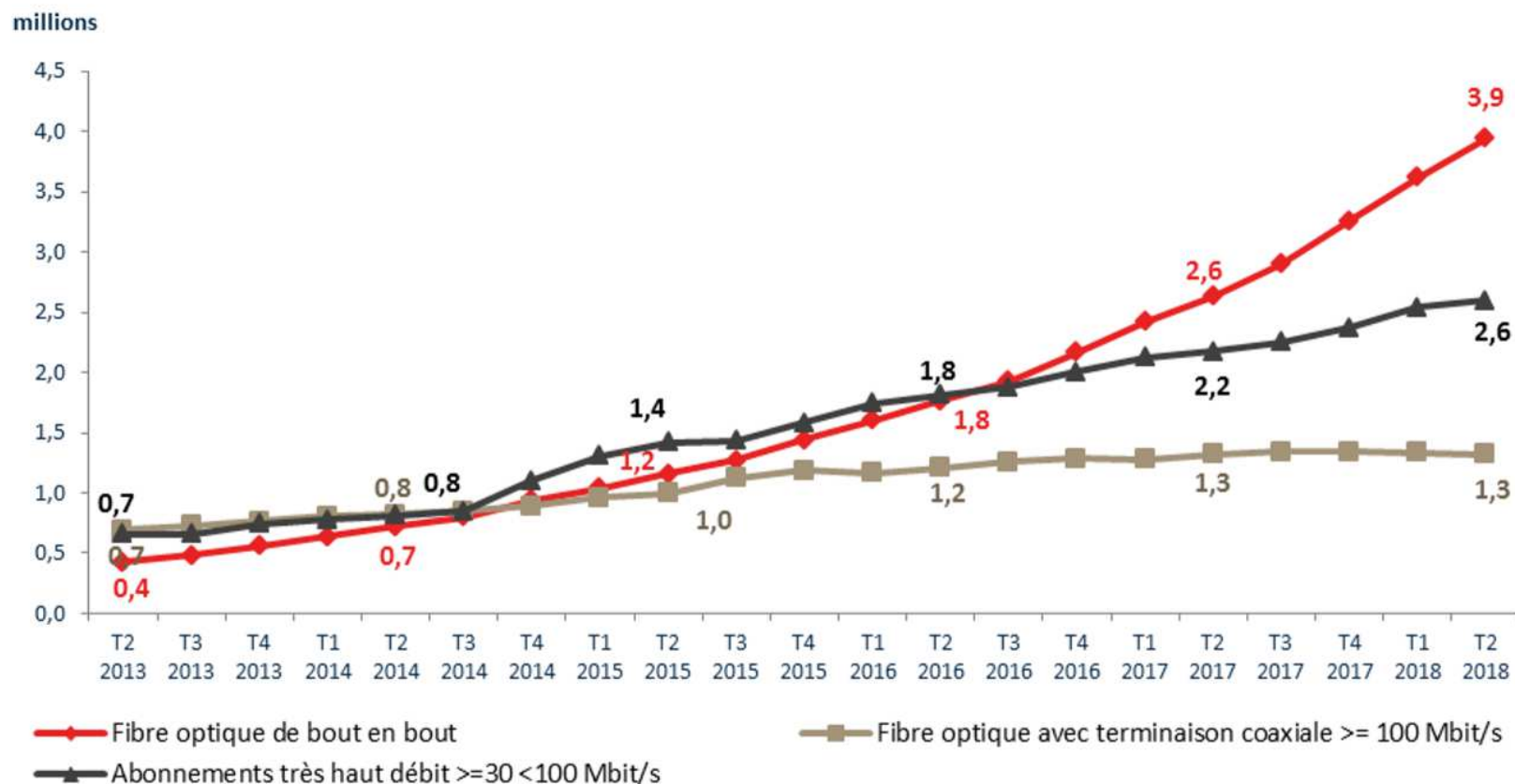
Suivi des abonnements Internet à haut et très haut débit sur les réseaux fixes au 30 juin 2018



Source : ARCEP

Suivi des abonnements Internet à haut et très haut débit sur les réseaux fixes au 30 juin 2018

Accès internet à très haut débit



Source : ARCEP

Logements éligibles au THD selon la technologie au 30 juin 2018

Logements éligibles au très haut débit :	30 juin 2017	30 sept. 2017	31 déc. 2017	31 mars 2018	30 juin 2018	Évolution annuelle
sur les réseaux en fibre optique de bout en bout (FttH)	8 913 000	9 526 000	10 277 000	10 937 000	11 746 000	32 %
sur les réseaux à terminaison en câble coaxial	8 999 000	9 037 000	9 146 000	9 208 000	9 247 000	3 %
<i>dont éligibles 100 Mbit/s (FttLA)</i>	8 480 000	8 587 000	8 772 000	8 857 000	8 894 000	5 %
<i>dont éligibles 30 Mbit/s (FttLA et HFC)</i>	519 000	451 000	374 000	351 000	353 000	-32 %
sur les réseaux en cuivre (VDSL2)	5 736 000	5 749 000	5 756 000	5 769 000	5 946 000	4 %
sur les réseaux en fibre ou en câble	12 455 000	12 822 000	13 523 000	13 768 000	14 321 000	15%
tous réseaux confondus	16 762 000	17 109 000	17 672 000	18 086 000	18 741 000	12 %

Source : ARCEP

Quelques chiffres

- 20 milliards d'euros seront investis dans le déploiement du très haut débit en France en dix ans entre 2013 et 2022.
- Le Plan France Très Haut Débit vise à équiper 100% du territoire d'ici 2022.
- Le Plan mobilisera 20 000 emplois directs pour le déploiement de nouvelles infrastructures sur les 10 prochaines années.

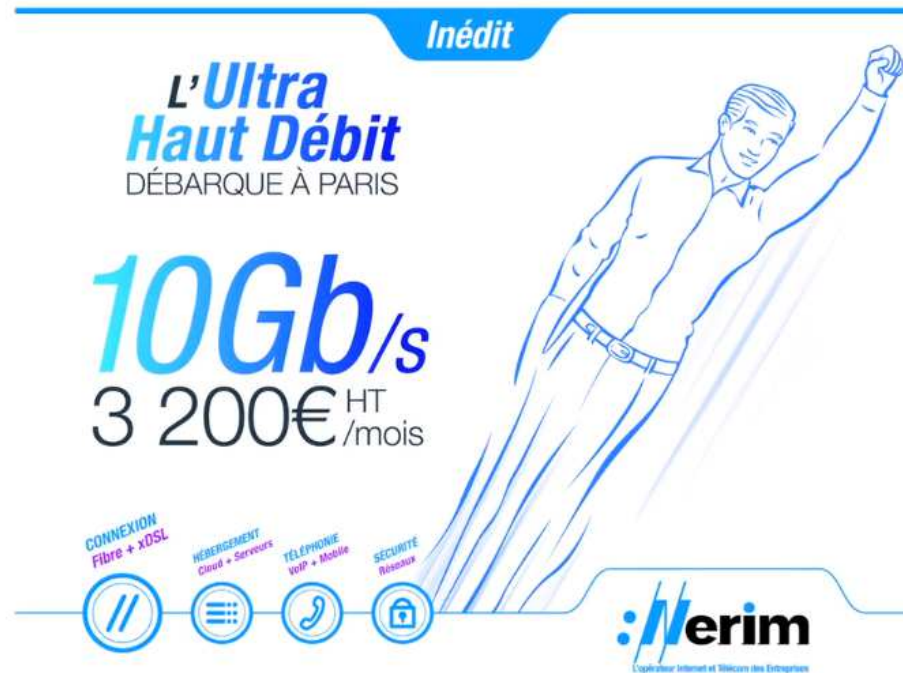
Source : Plan France Très Haut Débit
Site internet : www.francethd.fr

Vers l'UHD (Ultra Haut Débit)

- Depuis quelques mois des opérateurs comme SFR ou Free proposent des accès à 1 Gbit/s en téléchargement et à 200 Mbit/s en upload
- Des débits jusqu'à 10 Gbit/s sont offerts depuis peu aux entreprises
- Nerim offre aux entreprises du 10 Gbit/s à un coût encore très élevé

La fibre optique est la technologie de connexion la plus avancée aujourd'hui vous permettant de bénéficier d'une rapidité extrême dans vos échanges tout en ayant une qualité de service irréprochable grâce aux engagements forts pris par Nerim.

*Nerim révolutionne l'Internet des Entreprises avec son offre **Fibre Ultra Haut Débit** qui procure des débits de 1 et 10 Gigabits par seconde totalement symétriques et garantis. Elle est disponible dans tout Paris, à des tarifs standardisés.*



Inédit

L'Ultra Haut Débit
DÉBARQUE À PARIS

10Gb/s
3 200€^{HT}/mois

CONNEXION
Fibre + xDSL

HEBERGEMENT
Cloud + Serveurs

TÉLÉPHONIE
VoIP + Mobile

SÉCURITÉ
Réseaux

Nerim
L'opérateur Internet et Télécoms des Entreprises

THE OPTICAL ROUTER

◆ Spatial optical switching

- Use of SOA bars to realize non-blocking switching matrices up to 64 x 64

◆ Wavelength routing

- Use of interferometric wavelength converters based on SOA technology

THE ALL OPTICAL NETWORK

- All-optical network = optical transport + optical routing + FTTH
- Challenge of the next 3 years for the first operational all optical network in France