



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

Conception, déploiement et exploitation de réseaux:

4. Conception du core.

Contenu

- Conception du réseau Core:
 - Rôle du réseau Core.
 - Architecture des couches clefs.
 - Technologies (couche physique).
 - Éléments Clefs.
 - Interconnections aux autres réseaux Core et Métro.
 - Topologies.
 - Evolution des flux et des services transportés.
 - Matrice de trafic Core.
 - Outils de la planification.
- Conclusion

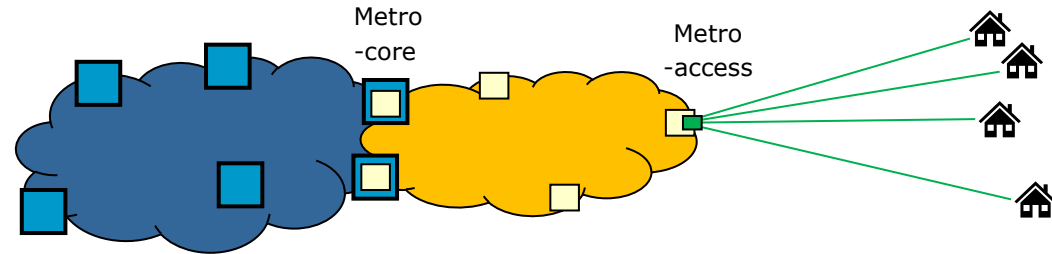
1. Rôle du réseau core

- Transport d'information entre les grands points nodaux d'un réseau national: les **autoroutes** de l'information.
- **Interconnections** avec le réseau métro et avec les autres réseaux «backbone» nationaux, étrangers et internationaux et avec les grands Datacenters et les serveurs d'application clef.
- Commutation/Reroutage en cas de panne de réseau: la **disponibilité** du Core est essentielle.
- Être **transparent** à tous les services:
 - soit les transporter de manière encapsulée
 - soit les traiter dans la mesure du possible sans limitation
 - avoir suffisamment de bande passante
 - utiliser de la qualité de services

2. L'architecture des couches

Couche	Fonctions
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique
2	Commutation de circuit/paquet Multiplexage statistique
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium

2. L'architecture des couches

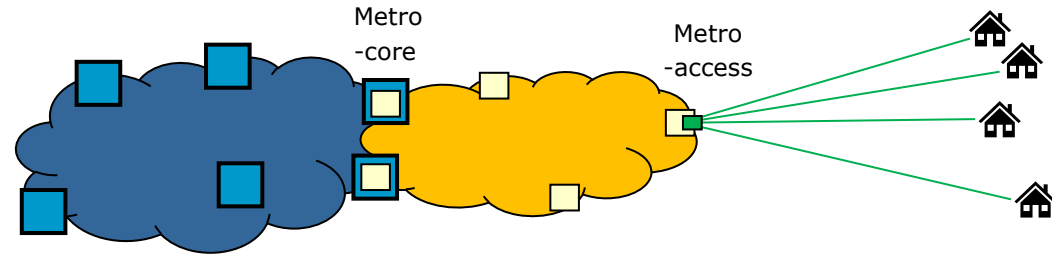


Couche	Fonctions	Core	Métro	Accès
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique	IP IP IP/MPLS		Service IP IP
2	Commutation de circuit/paquet Multiplexage statistique	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet Ethernet
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium	ROADM/OTN/SDH WDM/OTN/SDH signal o./ λ optique	(ROADM)/OTN/SDH WDM/OTN/SDH signal o./ λ Optique	SDH (POTS, II*) SDH (POTS, II) signal o./e. optique/cuivre

Tendance à la convergence

capacité		
n x 400 Gb/s	n x 10 Gb/s, 100 Gb/s	<= 10 Gb/s

L'architecture des couches: futur proche



Couche	Fonctions	Core	Métro	Accès
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique	IP IP IP	(IP) (IP)	Service IP IP
2	Commutation de circuit/paquet Multiplexage statistique	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet Ethernet
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium	ROADM/GMPLS	ROADM/GMPLS	SDH (POTS, II*) SDH (POTS, II) signal o./e. optique/cuivre

Tendance actuelle:
convergence

capacité		
n x 400 Gb/s	n x 10 Gb/s 100 Gb/s	<= 10 Gb/s

SDH: Synchronised Digital Hierarchy

SDH Terminology	Bit rate	Abbreviated bit rate	SDH capacity
STM0	51.84 Mbits/sec	51 Mbps	21 E1
STM1	155.52 Mbits/sec	155 Mbps	63 E1 or 1 E4
STM4	622.08 Mbits/sec	622 Mbps	252 E1 or 4 E4
STM16	2488.32 Mbits/sec	2.4 Gbps	1008 E1 or 16 E4
STM64	9953.28 Mbits/sec	10 Gbps	4032 E1 or 64 E4
STM256	39813.12 Mbits/sec	40 Gbps	16128 E1 or 256 E4

3. Technologies

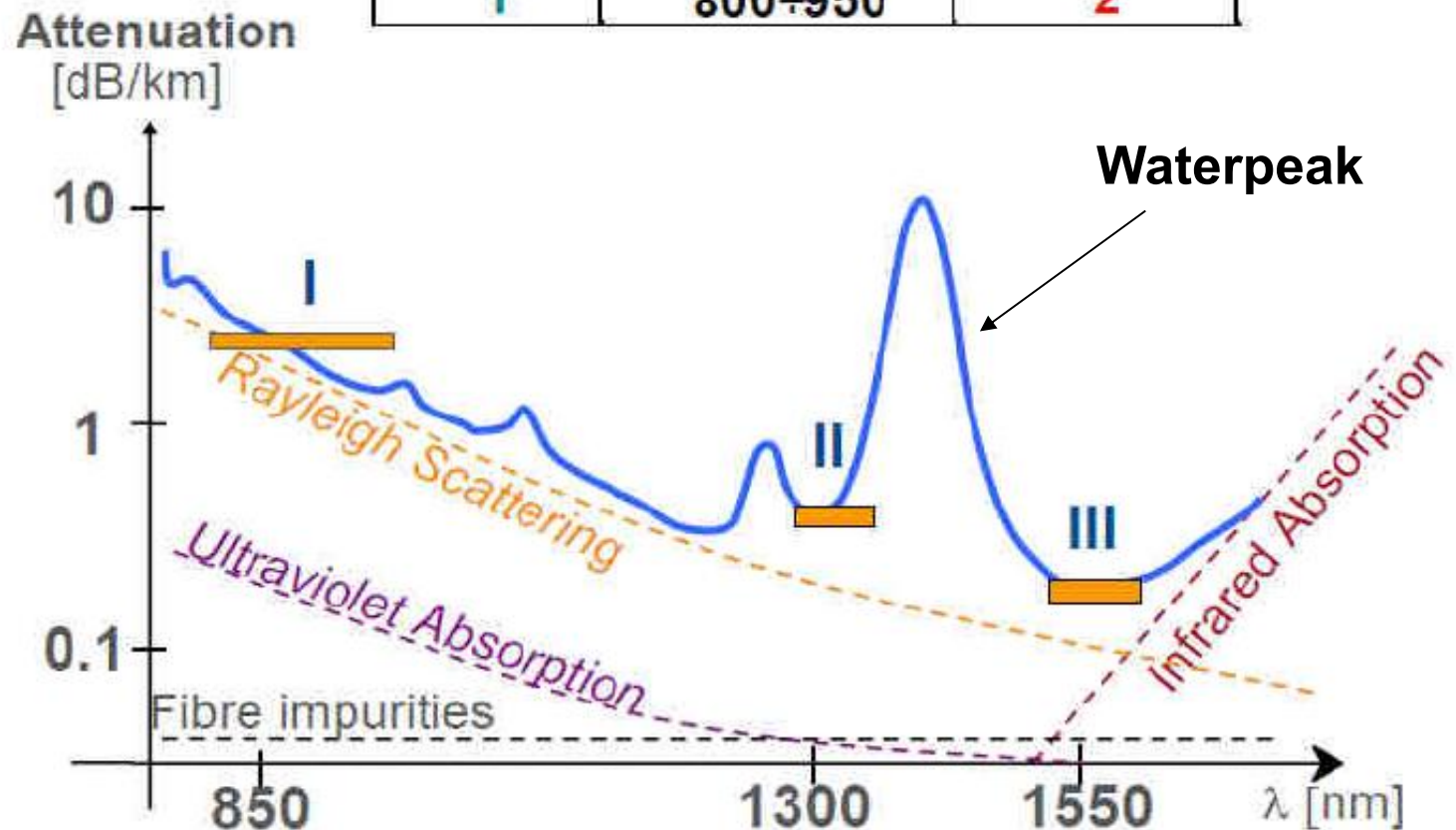
- IP / MPLS
(vu au cours nouvelles architectures)
- Technologies optiques (ce cours):
 - La solution pour la capacité:
 - Augmentation du débit par canal: 100Gb/s → 1 Tb/s.
 - Multiplexage des canaux par WDM (jusqu'à 400 avec un espacement de 100-GHz).
 - La solution pour la distance:
 - Avant l'optique la télécommunication utilisaient des câbles coaxiaux pour les longues distances (un des jobs très bien payé était la soudure de câbles coaxiaux longue distance sans réflexion).
 - L'avantage de la fibre est sa faible atténuation.
 - Et son immunité au bruit.

Les limitations

- Span attenuation and margins
 - Chromatic dispersion (CD)
 - Gain variation (GV)
 - Polarisation Mode Dispersion (PMD)
 - System penalty
 - Self-phase-modulation (SPM)
 - Four-wave mixing (FWM)
 - Cross phase modulation (XPM)
 - Stimulated Raman Scattering (SRS)
- } diaphonie

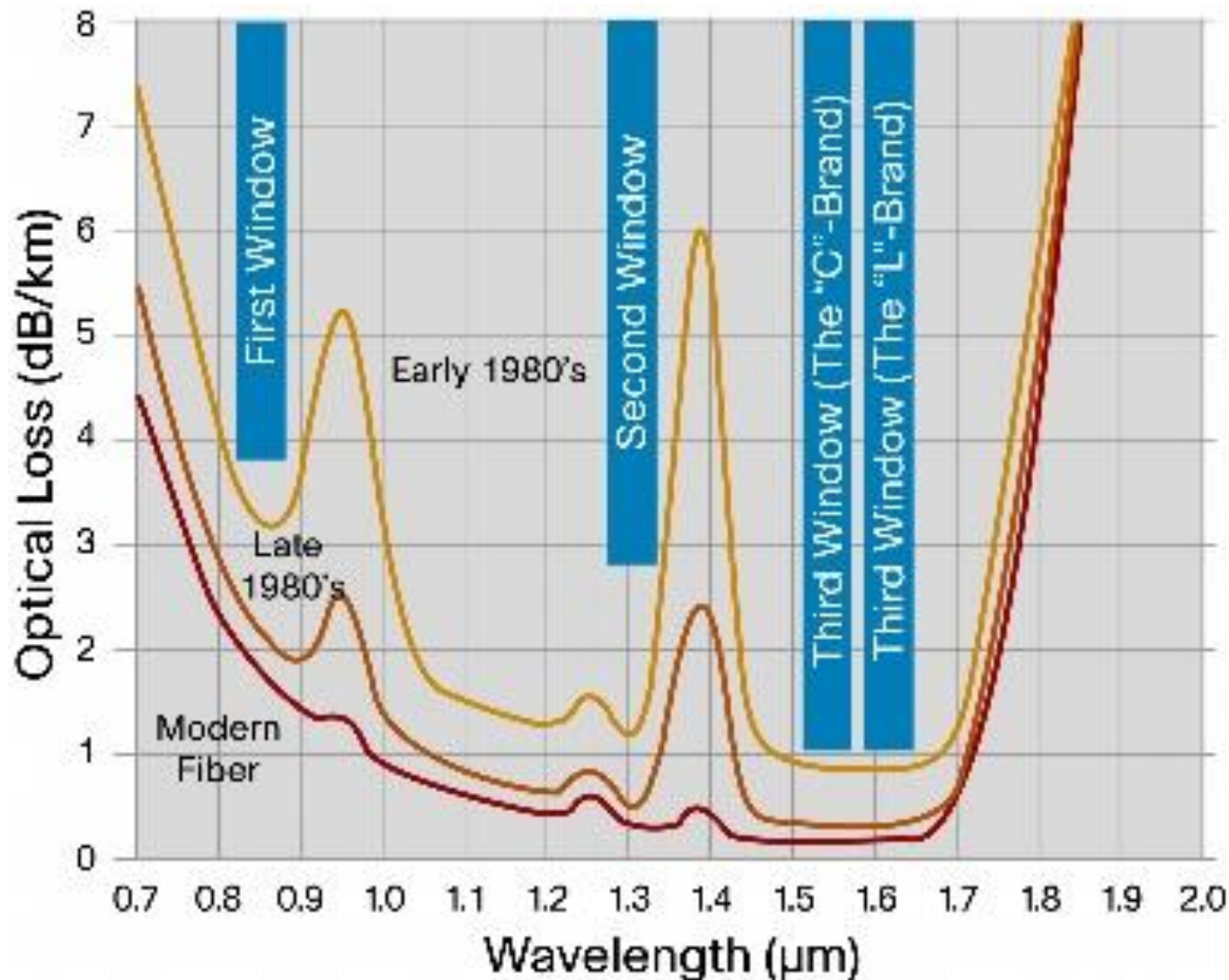
Atténuation

Window	Band [nm]	α [dB/km]
I	800÷950	2



III Window is the only one used for long distance WDM transmission systems due to lowest attenuation characteristics

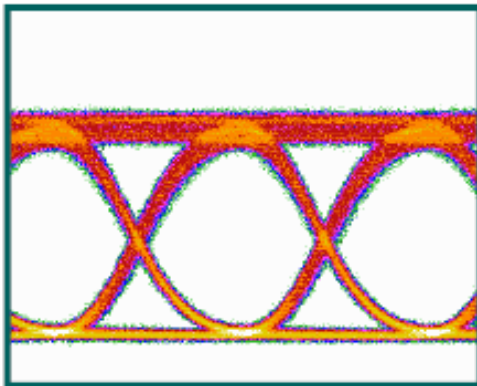
Amélioration des fibres



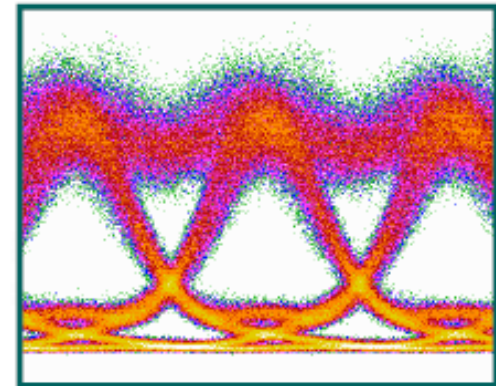
DWDM BASICS



It may be a **Digital** Signal, but It is **Analog** Transmission



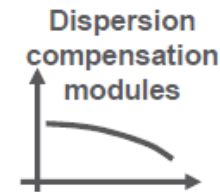
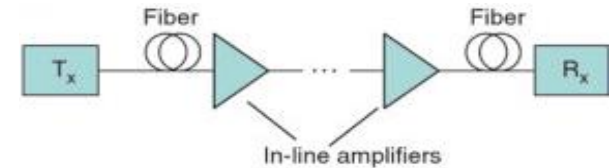
Transmitted Data Waveform



Waveform After 1000 Km

Solutions aux limitations

- Span attenuation and margins
- Chromatic dispersion (CD)
- Gain variation (GV)



*negative
dispersion
Fiber*

Optical leveling systems

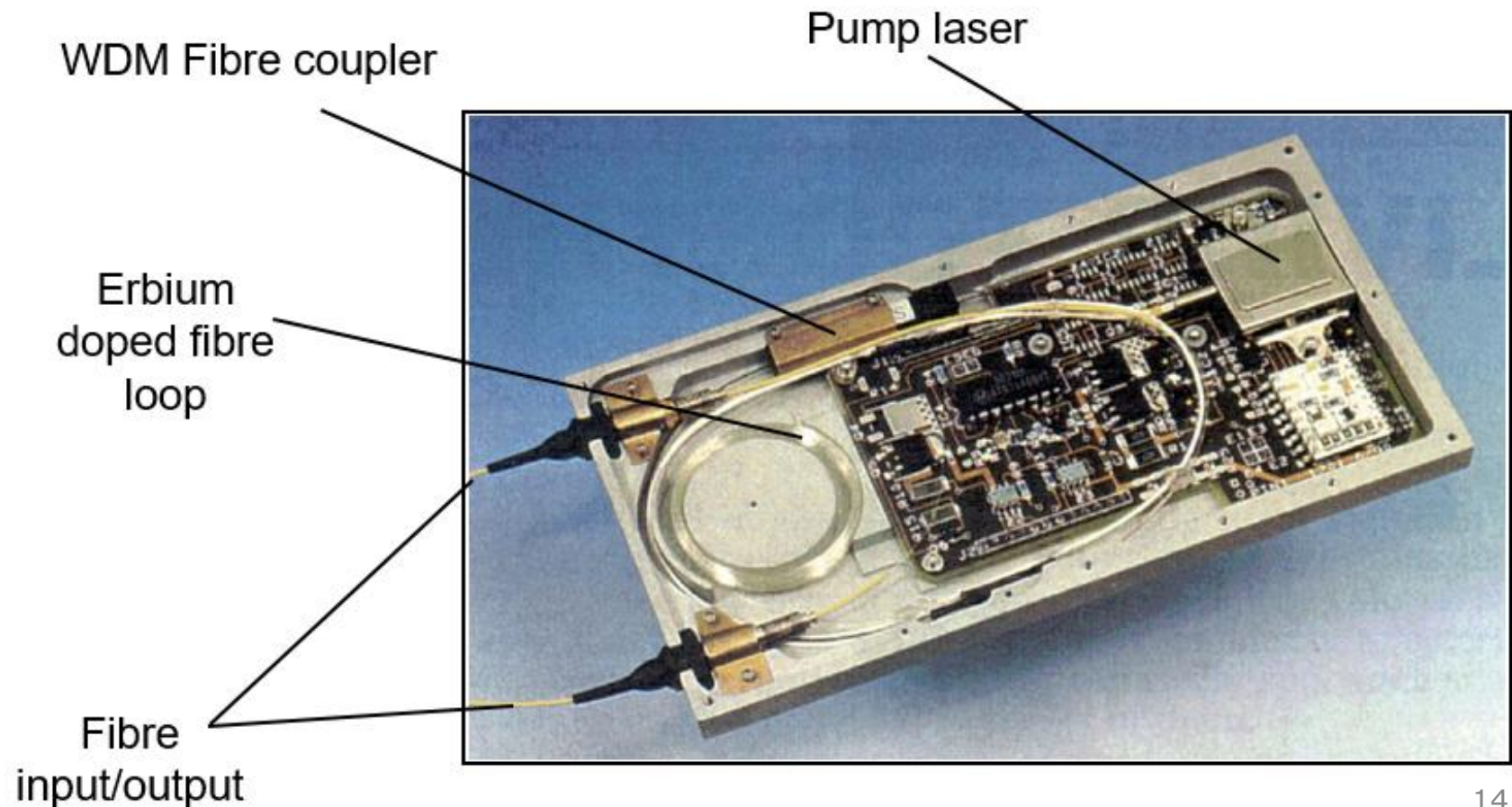
Une des clefs de la planification est de placer aux bons endroits: les amplificateurs optiques (tous les 60 km), les modules de compensation de dispersion et les systèmes de mise à niveau.

Façon d'amplifier le signal:



APPLIED OPTOELECTRONICS CENTRE

Interior of an Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA)



Mécanisme pump laser → Er → amplification

Figure 3 illustrates a simplified energy diagram of Er, showing how amplification takes place at 1550 nm. Two typical wavelengths to pump an EDFA are 980 or 1480 nm.

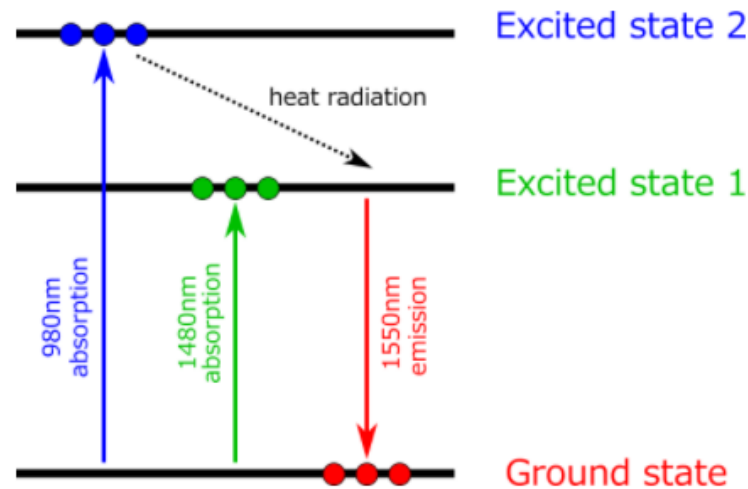


Figure 3: Energy diagram of Er

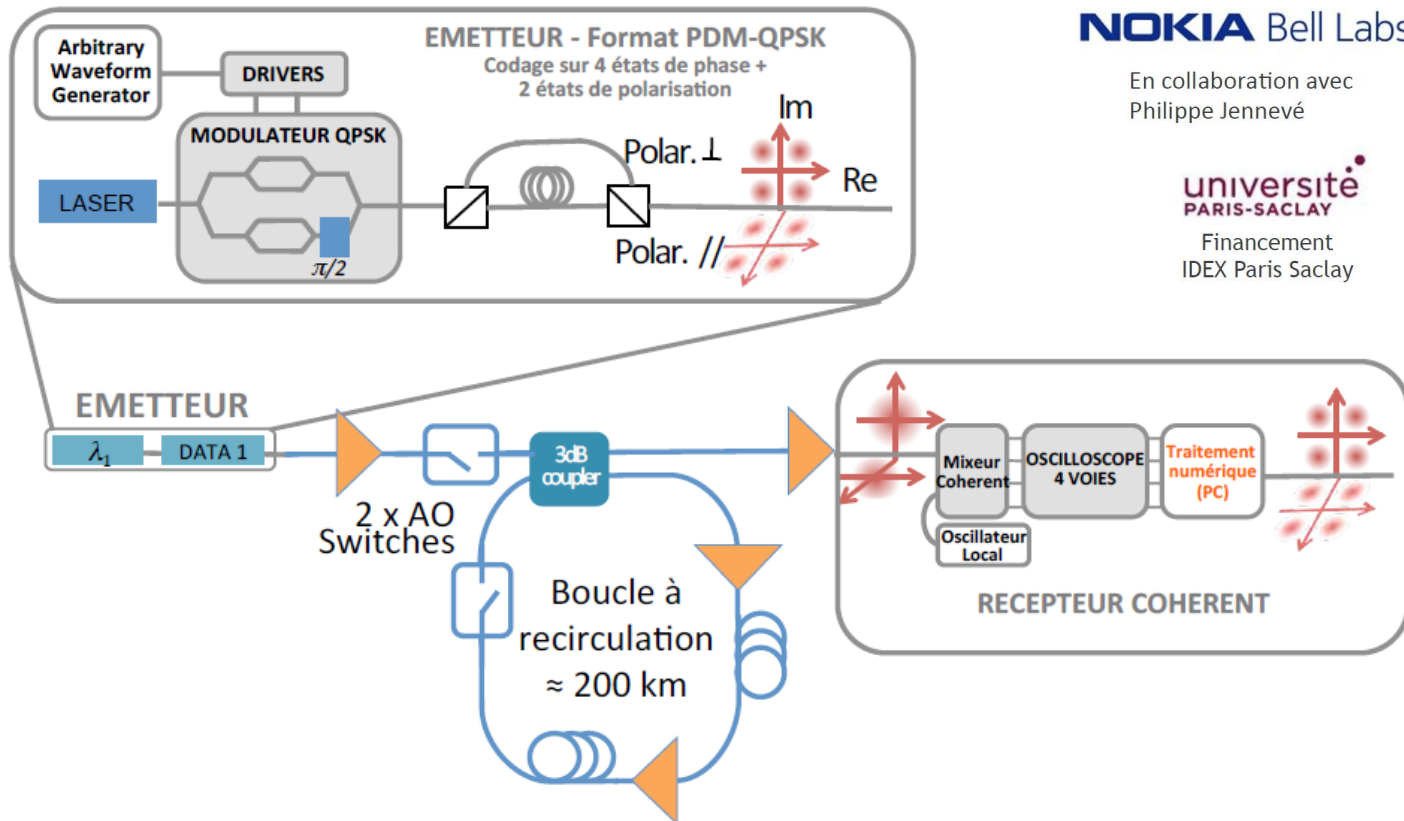
When an EDFA is pumped at 1480 nm, Er ion doped in the fiber absorbs the pump light and is excited to an excited state (Excited state 1 in Figure 3). When sufficient pump power is launched to the fiber and population inversion is created between the ground state and Excited state 1, amplification by **stimulated emission** takes place at around 1550 nm. When an EDFA is pumped at 980 nm, Er ion absorbs the pump light and is excited to another excited state (Excited state 2 in Figure 3). The lifetime of the Excited state 2 is relatively short, and as a result, the Er ion is immediately relaxed to the Excited state 1 by radiating heat (i.e. no photon emission). This relaxation process creates a **population inversion** between the ground level and Excited state 1, and amplification takes place at around 1550 nm.

Since the first demonstration of a diode-pumped EDFA in 1989 [2], intensive effort has been made to make the pump LD highly reliable. Now high-power pump laser diodes at 980 nm or 1480 nm are both commercially available, and most EDFAs are pumped by laser diodes due to the compactness and robustness.

<https://www.fiberlabs.com/glossary/erbium-doped-fiber-amplifier/>

Nouvelle technologie: transmission cohérente

- utilisation de QPSK (QAM 4) en optique
- utilisation des 2 polarisations
- élimination électronique de la dispersion



Les connecteurs optiques

Short name	Long form	Coupling type
ST	Straight Tip /Bayonet Fiber Optic Connector from AT&T	Bayonet
FC	Ferrule Connector or Fiber Channel from NTT	Screw
SC	Subscriber Connector or Square Connector or Standard Connector from NTT	Snap (push-pull coupling)
LC	Lucent Connector , Little Connector or Local Connector	Snap
E-2000	From Diamond	Snap, with light and dust-cap

Type de connecteurs

- E-2000/PC - APC, SM et MM
- SC/PC - APC, SM et MM
- LC/PC - APC, SM et MM

- ST/PC - APC, SM et MM
- FC/PC - APC, SM et MM
- MPO/PC - APC, SM et MM



Connecteurs (U)PC et APC

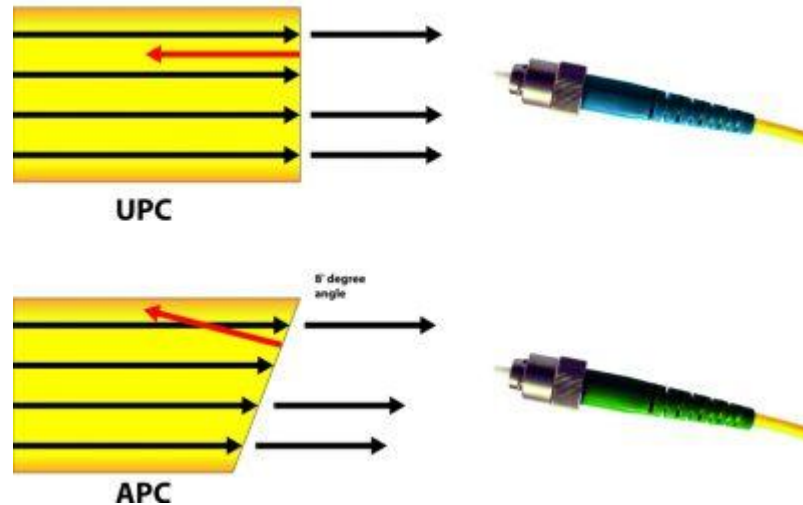
What is the difference?

(U)**PC** are flat connectors with a straight polished fiber → (Ultra) **Physical Contact**

'**APC**' is an **Angled Polished Connector**; the fiber is typically polished at an 8-degree angle.

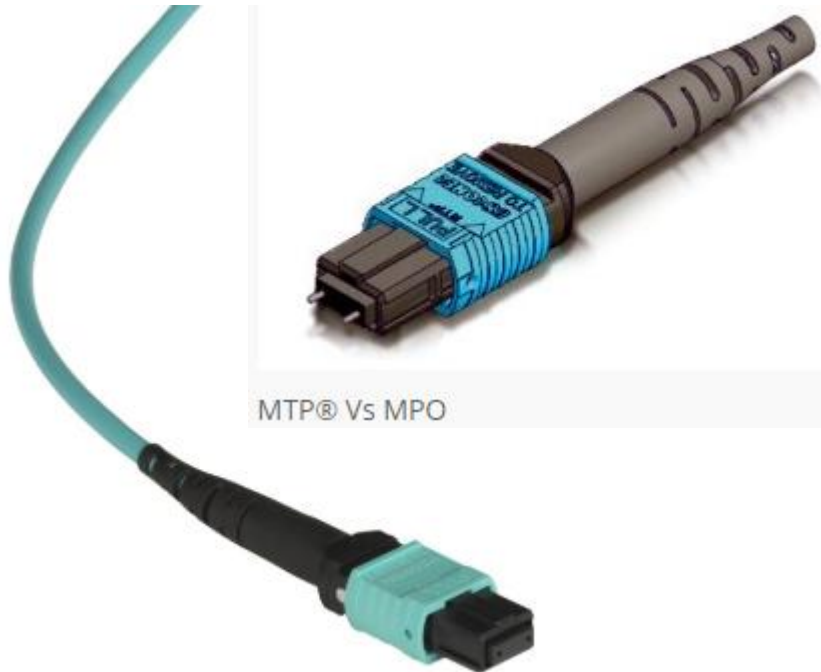
Why are there APC connectors?

There is a slight mismatch in the alignment of two mating fibers in any connector, and the polished nature of the fibers reflect the light back. With a **PC** connector, this light is **reflected** straight back into the source. With an **APC** connector, the angle directs the light off into the side walls of the fiber where it is absorbed by the fiber jacket. So there is **no reflection back to the source**.



Connecteurs MTP (MPO)

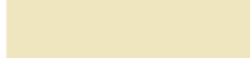
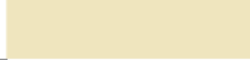
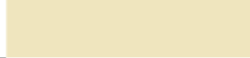
- Un câble avec 12 ou 24 fibres à l'intérieur



Code des couleurs

- Les couleurs des connecteurs correspondent au polissage des fibres:
PC = Physical Contact
APC = Angle Polished Contact (8°)

Connecteurs et raccords

SM-OS1	9/125 µm	(0° = PC)		bleu
SM-OS1	9/125 µm	(8° = APC)		vert
MM-OM1	62.5/125 µm	(0° = PC)		beige
MM-OM2	50/125 µm	(0° = PC)		beige
MM-OM3	50/125 µm	(0° = PC)		beige
MM-OM4	50/125 µm	(0° = PC)		beige

- Les couleurs de la gaine correspondent aux numérotations des fibres:
à droite les codes swisscom

selon code Swisscom (CCM abréviation)

1.		rouge (RD)
2.		vert (GN)
3.		jaune (YE)
4.		bleu (BL)
5.		blanc (WH)
6.		violet (VI)
7.		orange (OR)
8.		noir (BK)
9.		gris (GY)
10.		brun (BN)
11.		rose (PK)
12.		turquoise (TQ)

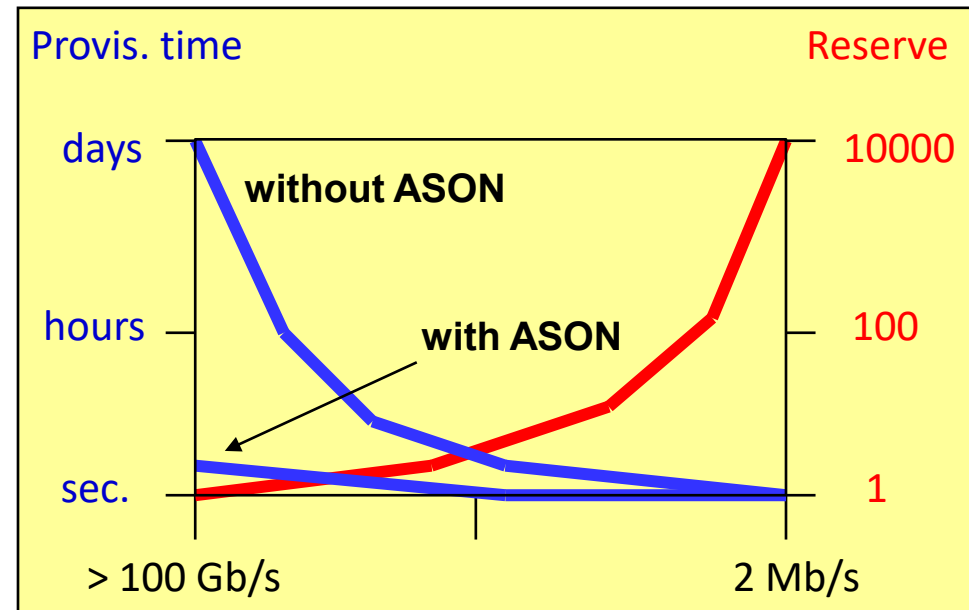
ASON: Benefits and Critical Issues for the Network Operator

Jacques Robadey, Swisscom Corporate Technology,
Torino Workshop 2001.

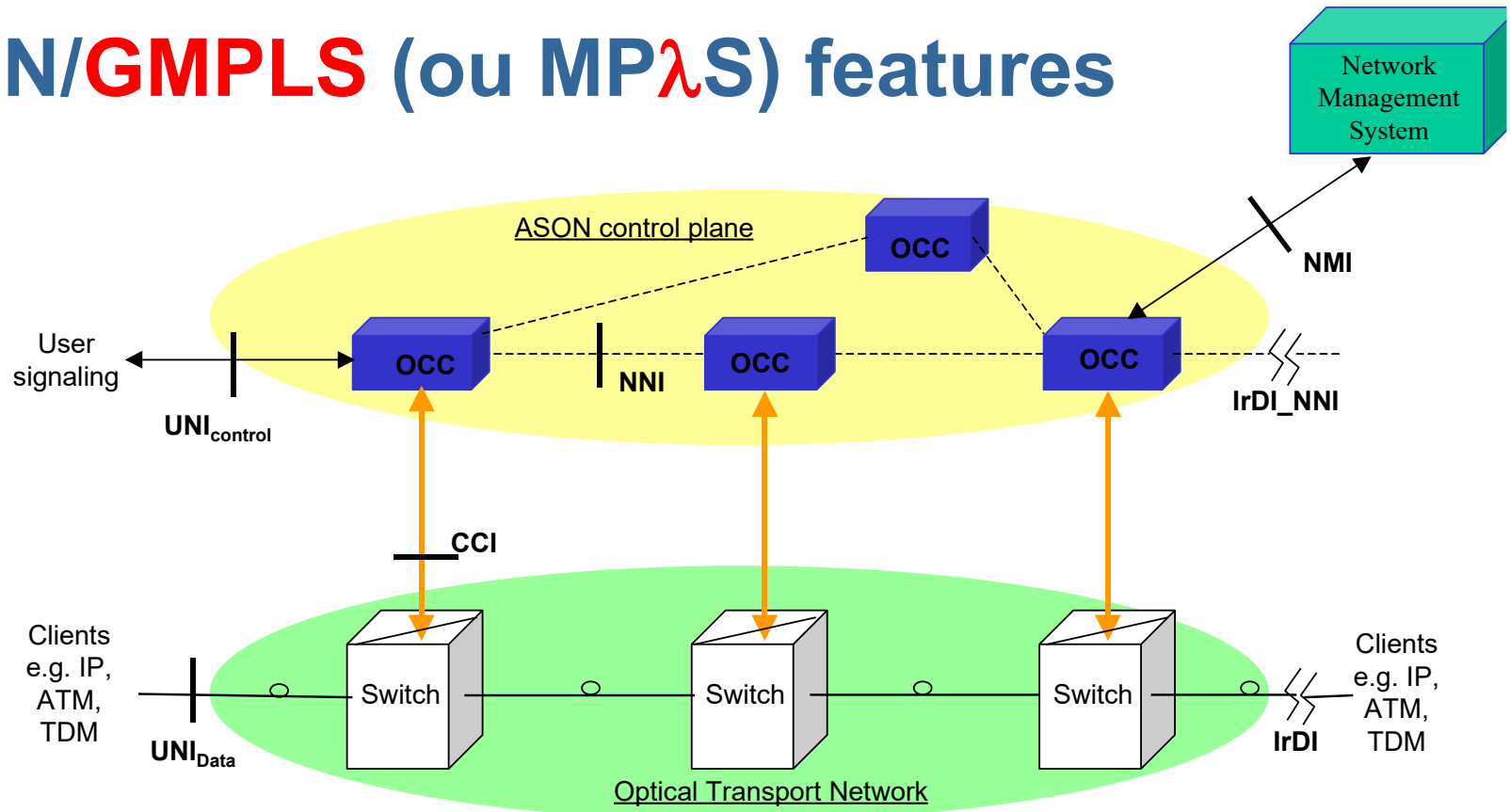
Operator benefits in introducing an ASON (I)

A. Fast Provisioning

- open or close OCh in minutes using reserve capacity.
- Compensate the small reserve by optimal traffic routing through the topology.
- Clients:
 - Facilitate and make the provisioning faster.
 - High bandwidth on demand.
 - Use of high capacity for overnight back-ups between plants (banks, insurances, big firms).



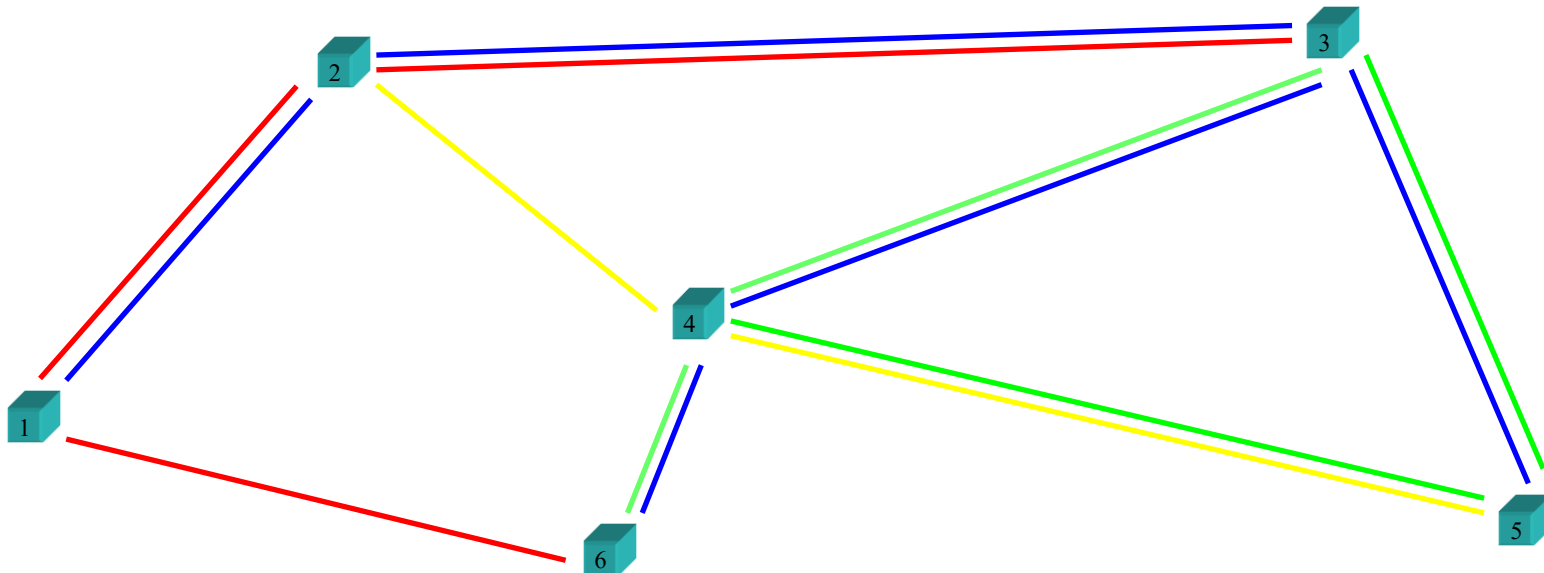
ASON/GMPLS (ou MP λ S) features



- Signaling to open/close optical channels (OChs).
- Client / OTN dynamic coordination.
- Permanently optimized use of the network ressources.

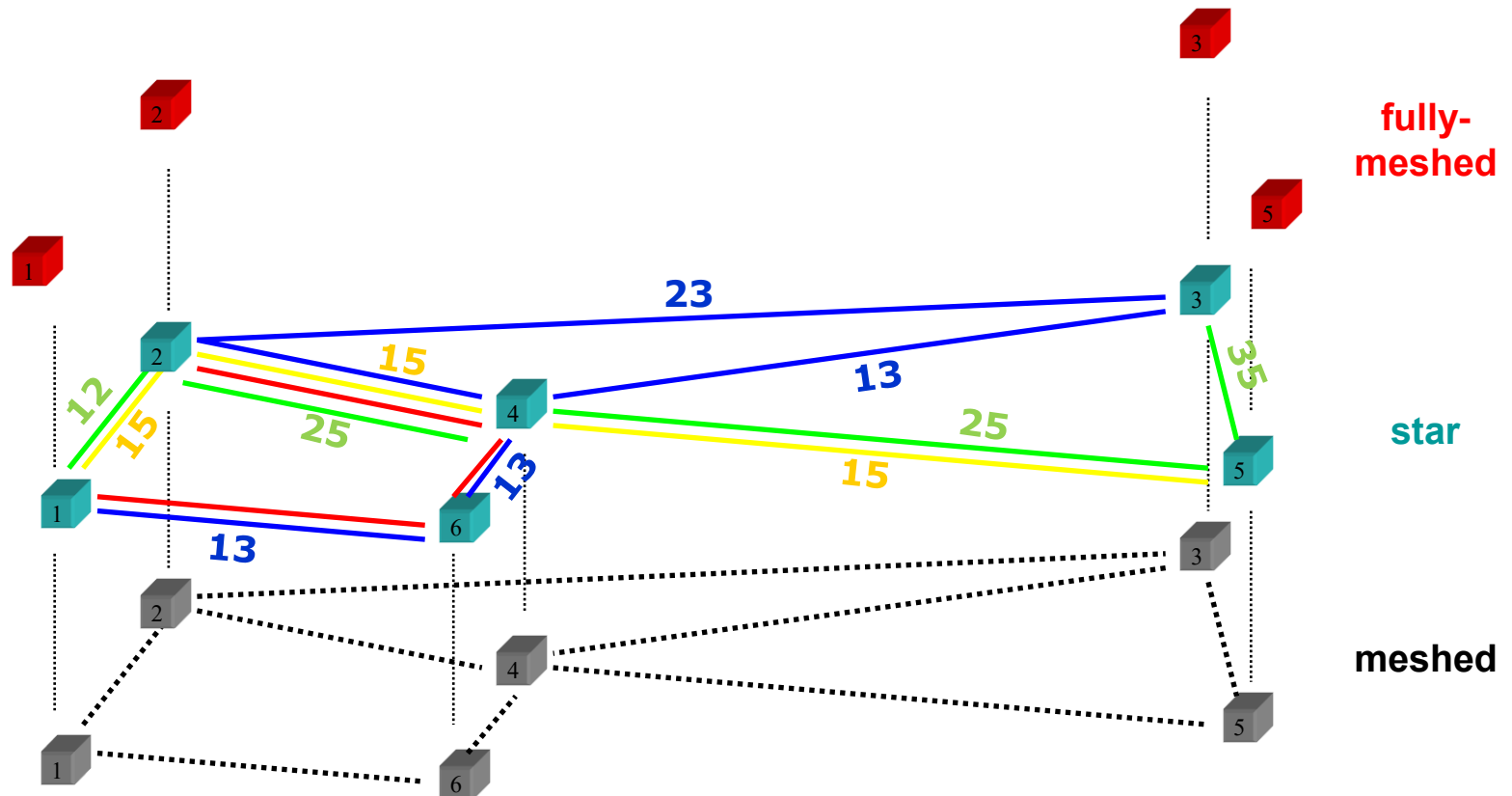
Operator benefits in introducing an ASON (II)

- B.** Easier (cheaper) network operation.
- C.** Protection/restoration ability for different classes of services.
- D. OXC** allows e2e optical channels without O/E/O conversion.

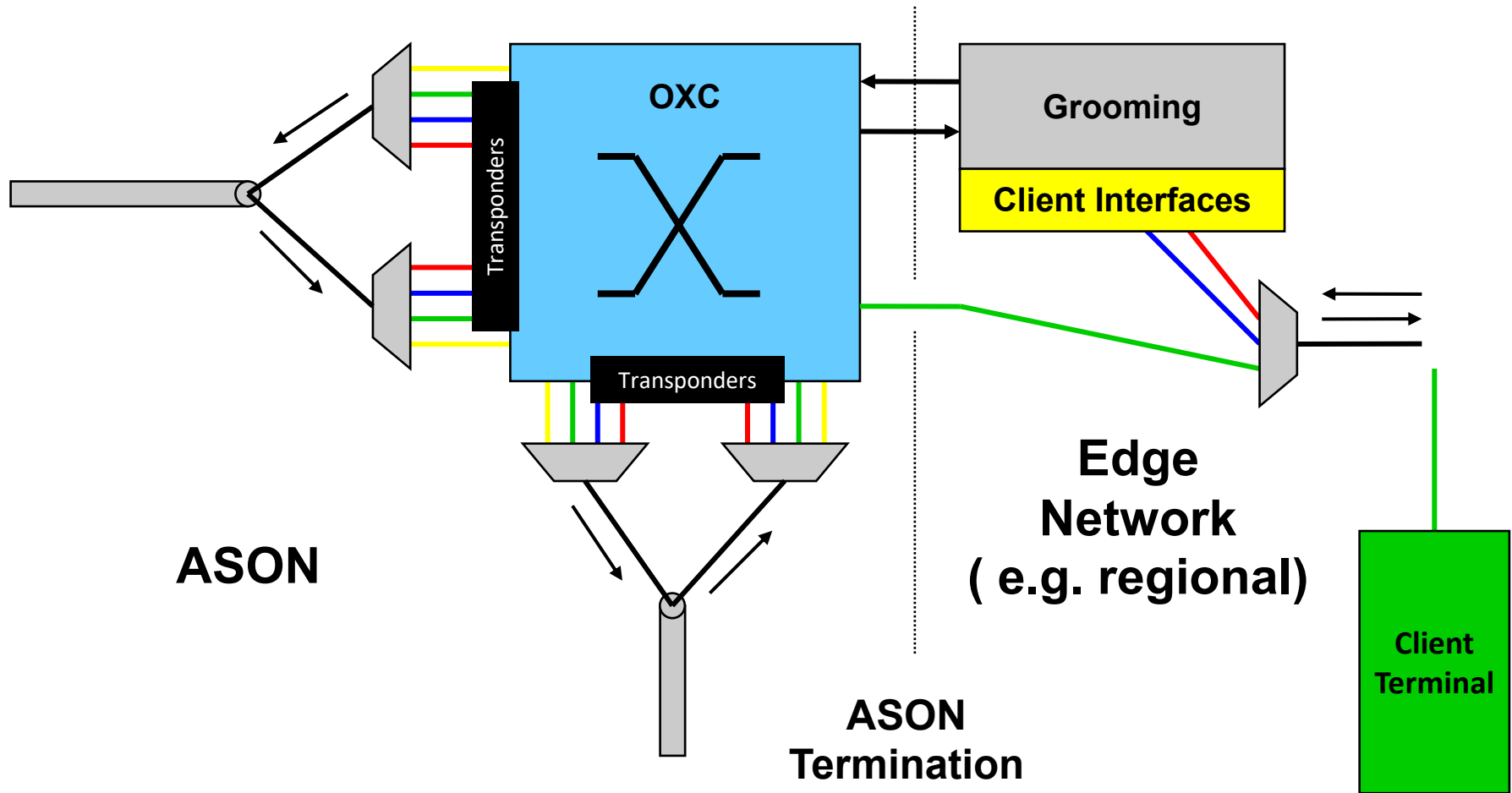


Critical issues (I)

Simultaneous planning of physical, optical and client topology.

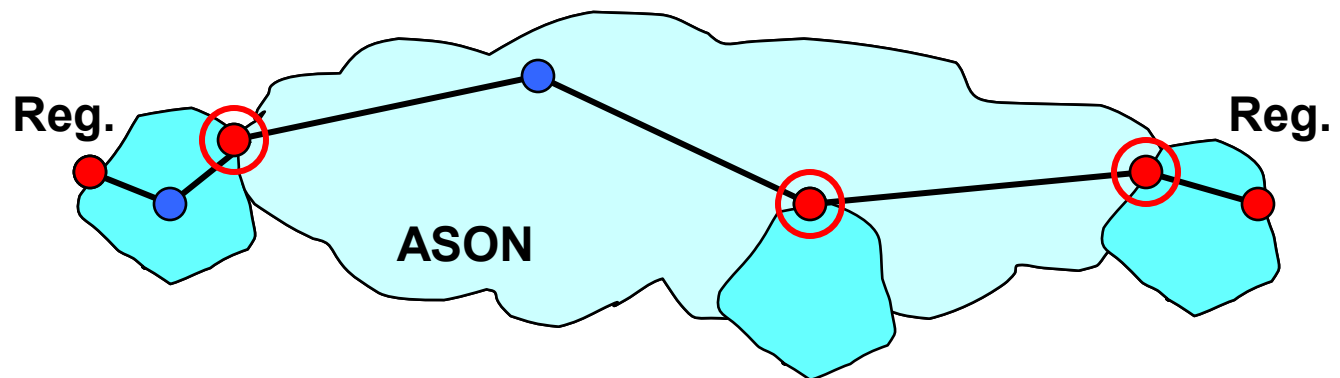


Critical issues (II): Definition of the nodes

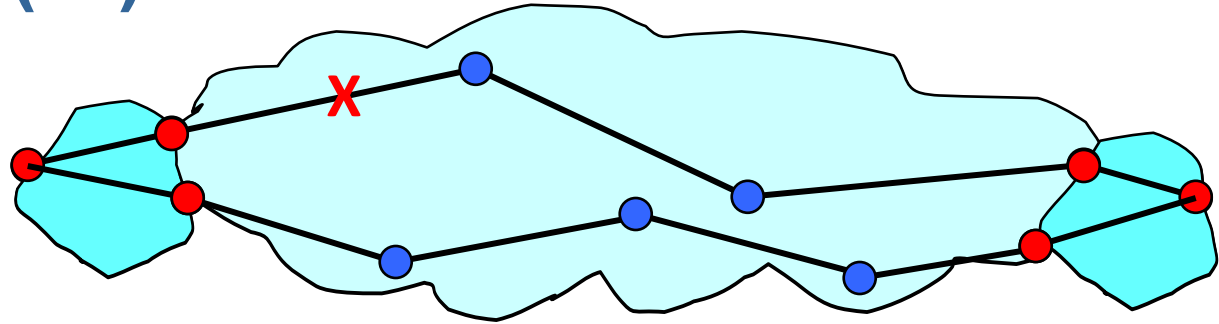


Critical Issues (III): Grooming

- Goal of ASON → optimally fill the Ochs with clients connections
- **Grooming is required:**
 - within the ASON → done by a complex control plane
 - at the ASON edge → clients are groomed in OCh(s)
- The grooming of the ASON:
 - has to **know the filling degree** of OCh(s).
 - **make the decision** to use already opened OChs or to open new ones.
 - is placed at the edge and within the network



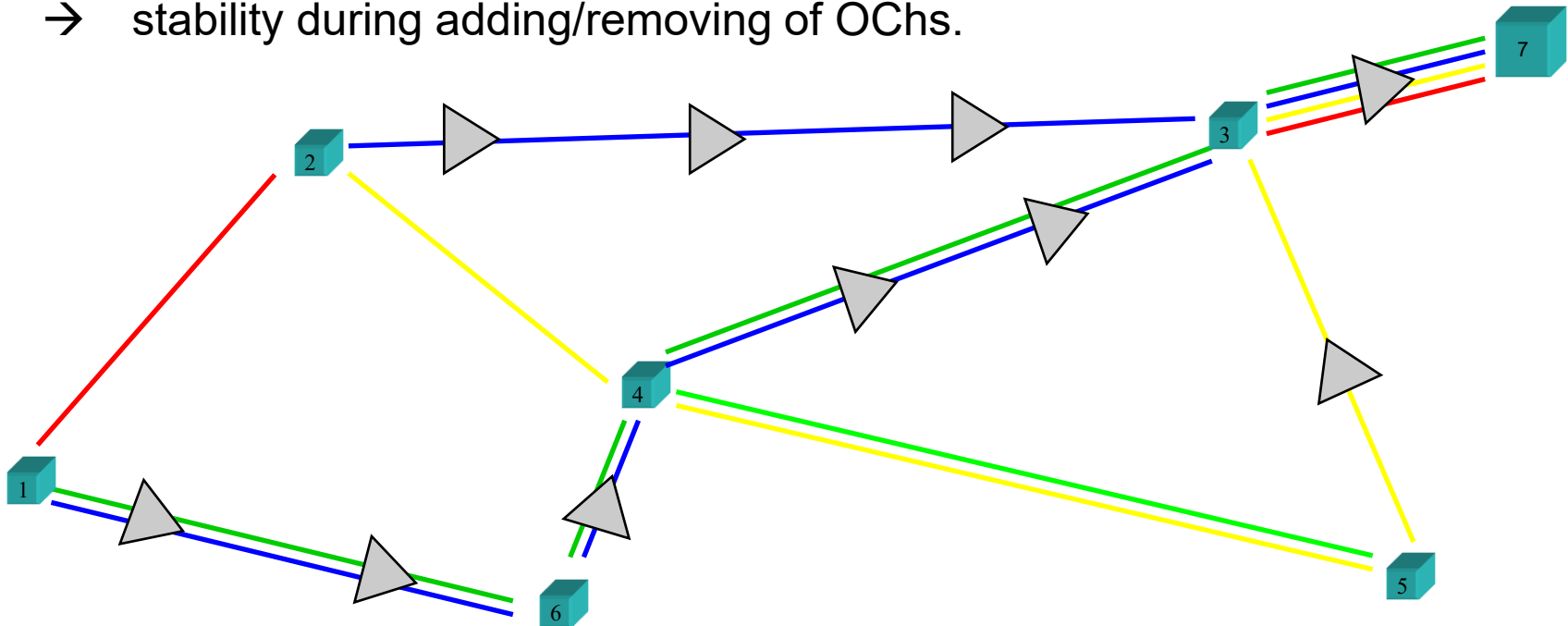
Critical issues (IV): Protection



- Implementation of protection and restoration mechanisms with priority levels.
- Protection with/without redundant edge nodes:
 - OCh protection (reg. AND backb.) → Single Point of Failure
 - **Dual homing:**
 - Coordination of protection in backbone and regional networks with the grooming function.
 - Reservation of disjoint route with disjoint ingress and egress nodes.

Critical Issues (V): Power control of transparent Ochs

- Transparent OChs using **different routes** must have nearly the **same optical power**.
 - use of flat gain amplifiers.
 - control of power at lasers, amplifiers, nodes' entrances and exits.
 - stability during adding/removing of OChs.



Conclusions about ASON/GMPLS

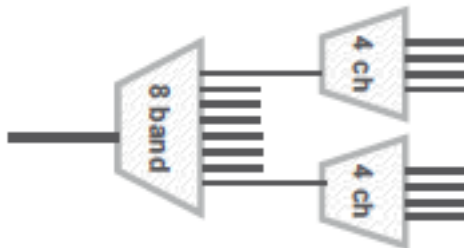
- **ASON BENEFITS:** Fast provisioning.
Efficient use of resources.
Easier management.
Different resilience methods integrable.
Less O/E/O conversion.
- **CRITICAL POINTS:** Topology planning (Operator)
Node definition (Operator + Supplier)
Grooming (Supplier)
Protection/Dual Homing, ASON-edge coordination (Operator + Supplier)
Power control of transparent OChs (Supplier)
- **NEXT STEPS:**
 - 1) solve critical points.
 - 2) compare benefits with implementation costs.
 -  3) implement an ASON.

4. Éléments clefs de la couche optique

SFP/XFP



OAMP



2-SKIP0 DWDM OADM



- SFP: Small Form Pluggable: émetteur, récepteur compact.
- **Tunable laser.**
- Ampli optique
- Multiplexeur combiné
- Add Drop Multiplexeur optique (OADM, ici 2 canaux)
- **ROADM (Reconfigurable OADM)**

Le laser

LASER = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

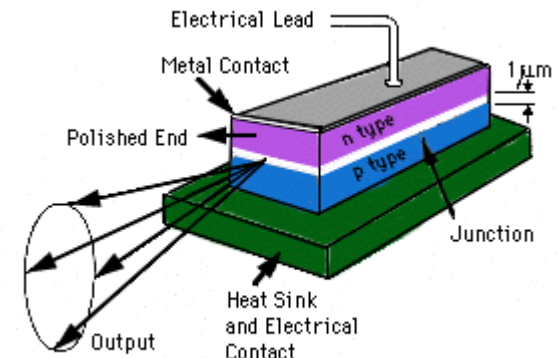


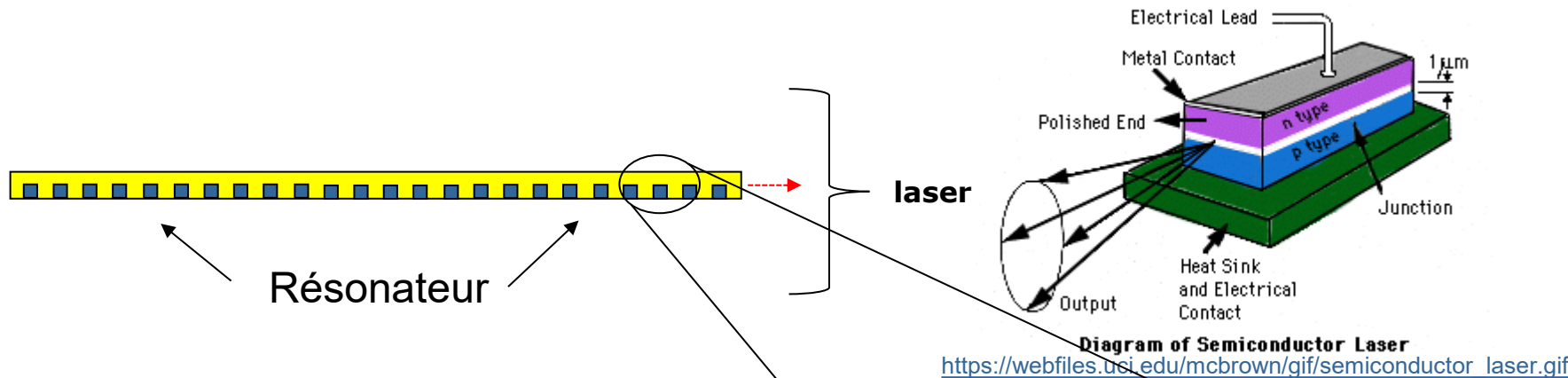
Diagram of Semiconductor Laser

https://webfiles.uci.edu/mcbrown/gif/semiconductor_laser.gif

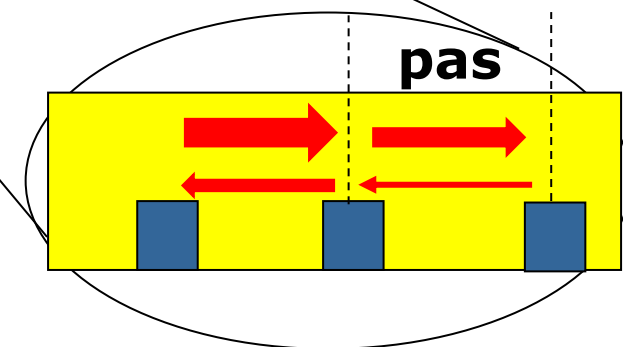
Type de laser à semiconducteur	Fabry-Perot
Méthode de résonance	2 miroirs
Longueur d'onde	$\lambda = (2 * l_{\text{cavité}}) / m$
Emission	multimode
Prix	bon marché

Le laser

LASER = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation



Type de laser à semiconducteur	Fabry-Perot	DFB / DBR (Distributed FeedBack / BRagg)
Méthode de résonance	2 miroirs	miroir distribué (réseau)
Longueur d'onde	$\lambda = (2 * l_{\text{cavité}}) / m$	$\lambda = \text{pas du réseau} * 2 / m$
Emission	multimode	monomode
Prix	bon marché	cher mais intégré



A red sine wave is shown, representing the light output of the laser. Below the wave, a double-headed arrow indicates the wavelength λ . The equation $\lambda = 2 * \text{pas}$ is written below the arrow, indicating that the wavelength is twice the pitch of the periodic structure.

Le laser

LASER = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

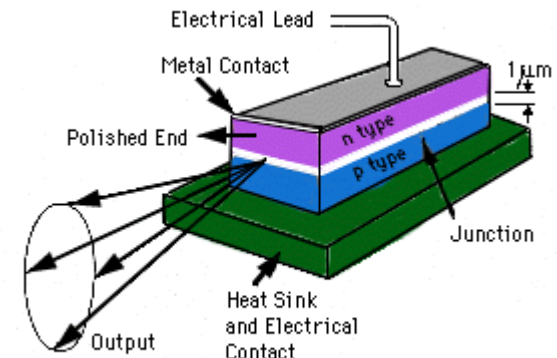
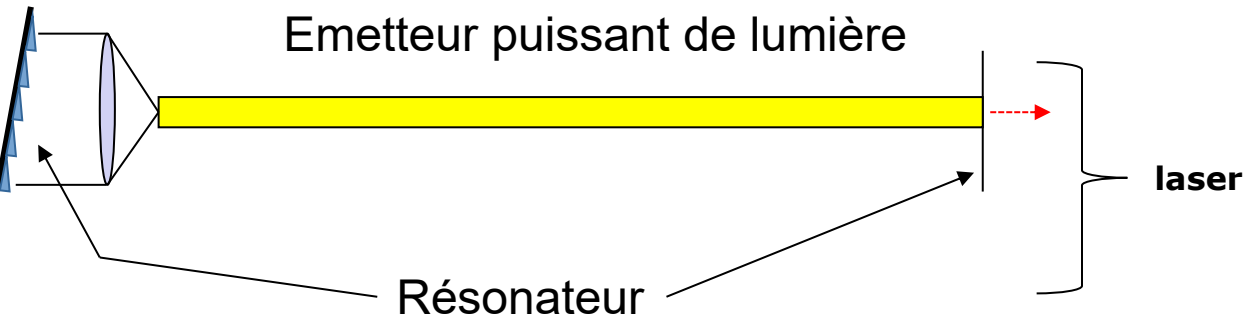


Diagram of Semiconductor Laser

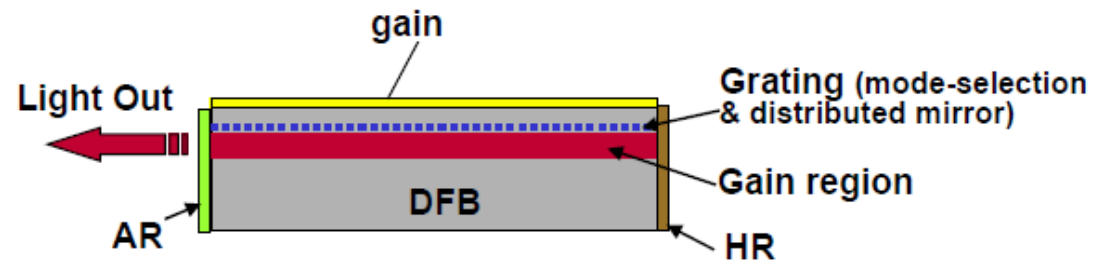
https://webfiles.uci.edu/mcbrown/gif/semiconductor_laser.gif

Type de laser à semiconducteur	Fabry-Perot	DFB / DBR (Distributed FeedBack / BRagg)	Cavité externe
Méthode de résonance	2 miroirs	miroir distribué (réseau)	miroir externe (avec un réseau intégré)
Longueur d'onde	$\lambda = (2 * l_{\text{cavité}}) / m$	$\lambda = \text{pas du réseau} * 2 / m$	le λ définit par l'angle du miroir
Emission	multimode	monomode	monomode
Prix	bon marché	cher mais intégré	cher et complexe

Tunable lasers (I)

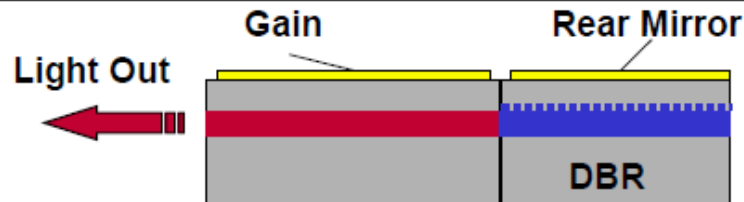
■ DFB

- All-elements combined and distributed along length



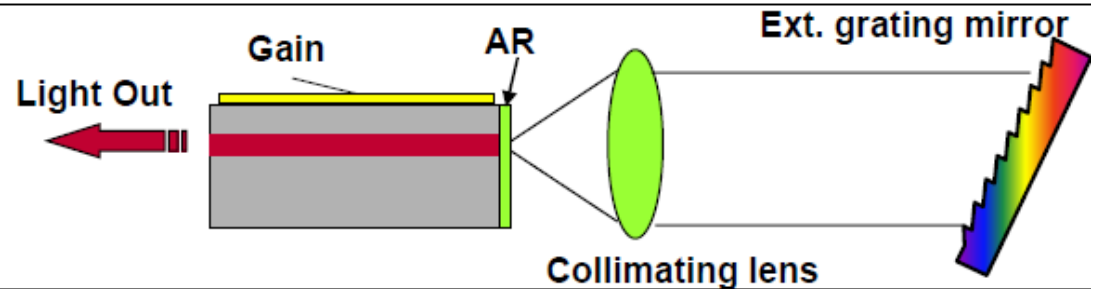
■ DBR

- Elements separated with individual biases



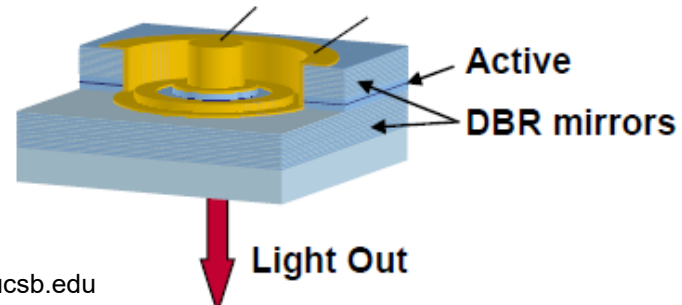
■ External Cavity

- Gain block + external lens & grating



■ VCSEL

- Short cavity for mode selection



L. A. Coldren, University of California, Santa Barbara, CA coldren@ece.ucsb.edu

Tunable lasers (II)

LASER = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

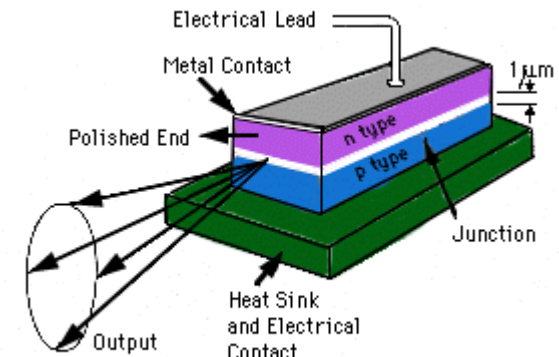
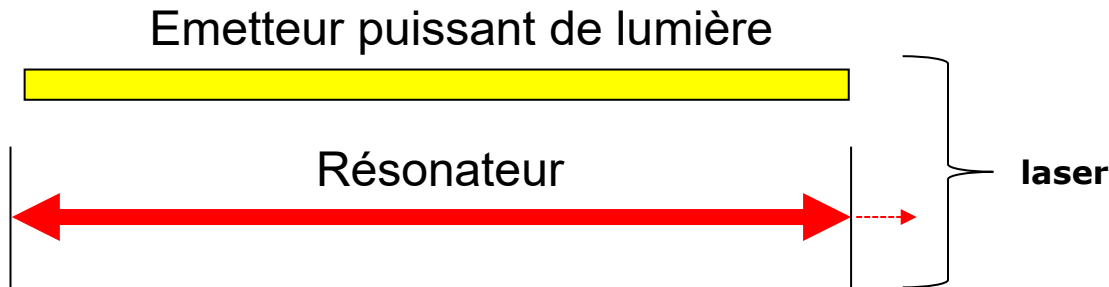


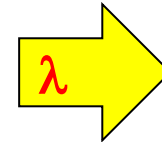
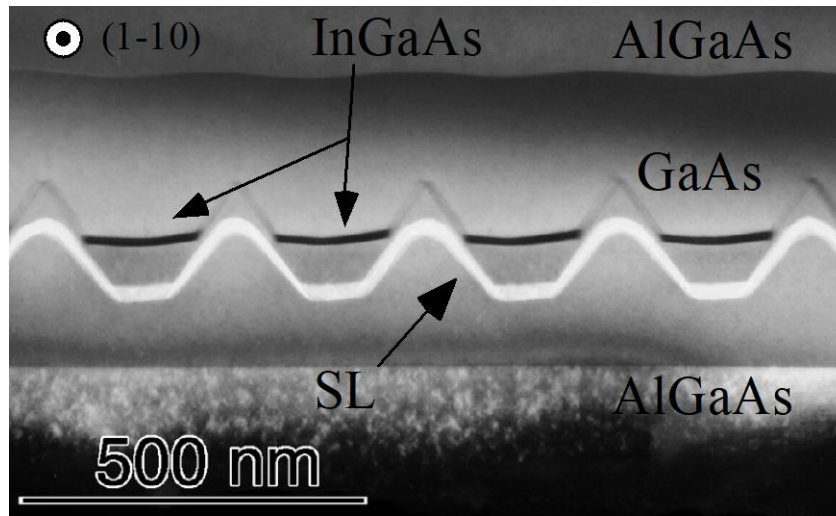
Diagram of Semiconductor Laser

https://webfiles.uci.edu/mcbrown/gif/semiconductor_laser.gif

Type de laser à semiconducteur	Fabry-Perot	DFB (Distributed FeedBack)	Cavité externe
Méthode de résonance	2 miroirs	miroir distribué (dans la zone de gain)	miroir externe (avec une réseau intégré)
Longueur d'onde	$\lambda = (2 * l_{\text{cavité}}) / m$	$\lambda =$ pas du réseau	le λ définit par l'angle du miroir
Emission	multimode	monomode	monomode
Prix	bon marché	cher mais intégré	cher et complexe

Tunable lasers (III)

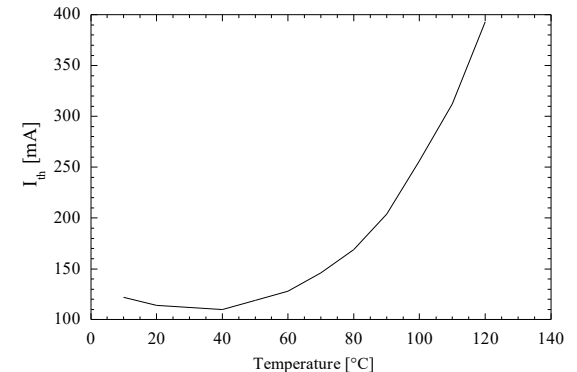
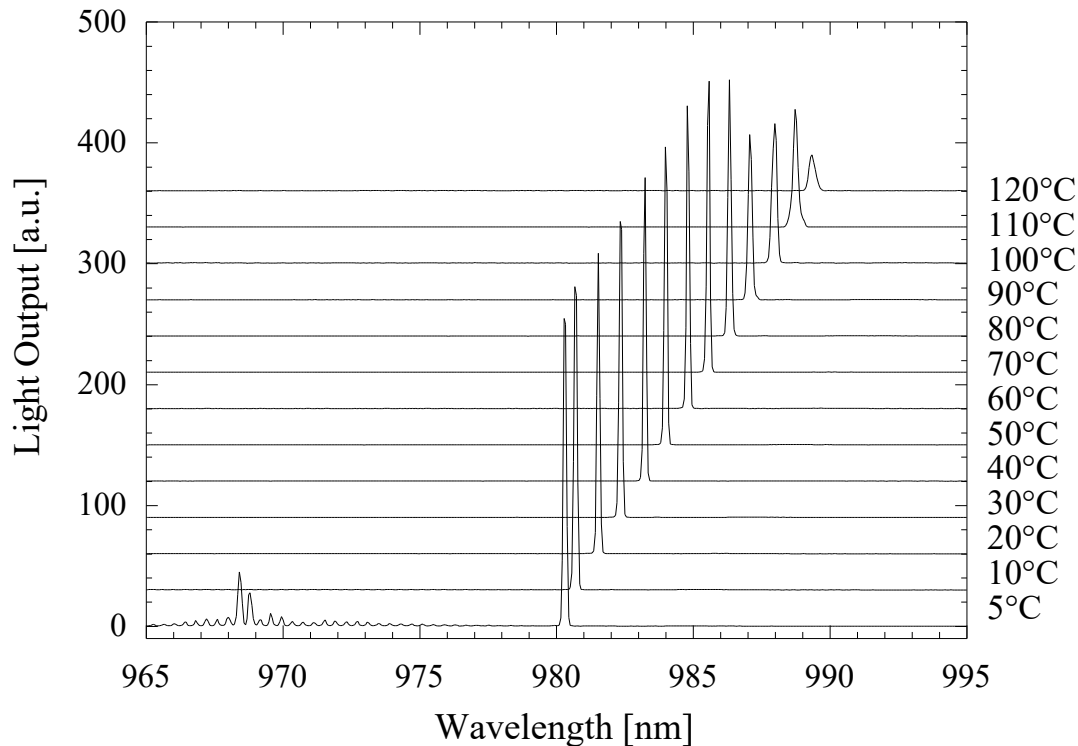
- Exemple du laser DFB (de ma thèse).
- Changement de la température:
 - dilatation du matériel
 - dilatation du pas du réseau
 - réglage de la longueur d'onde λ du laser



Laser DFB couplé en gain, thèse J.Robadey, EPFL, 1999

Tunable laser (IV)

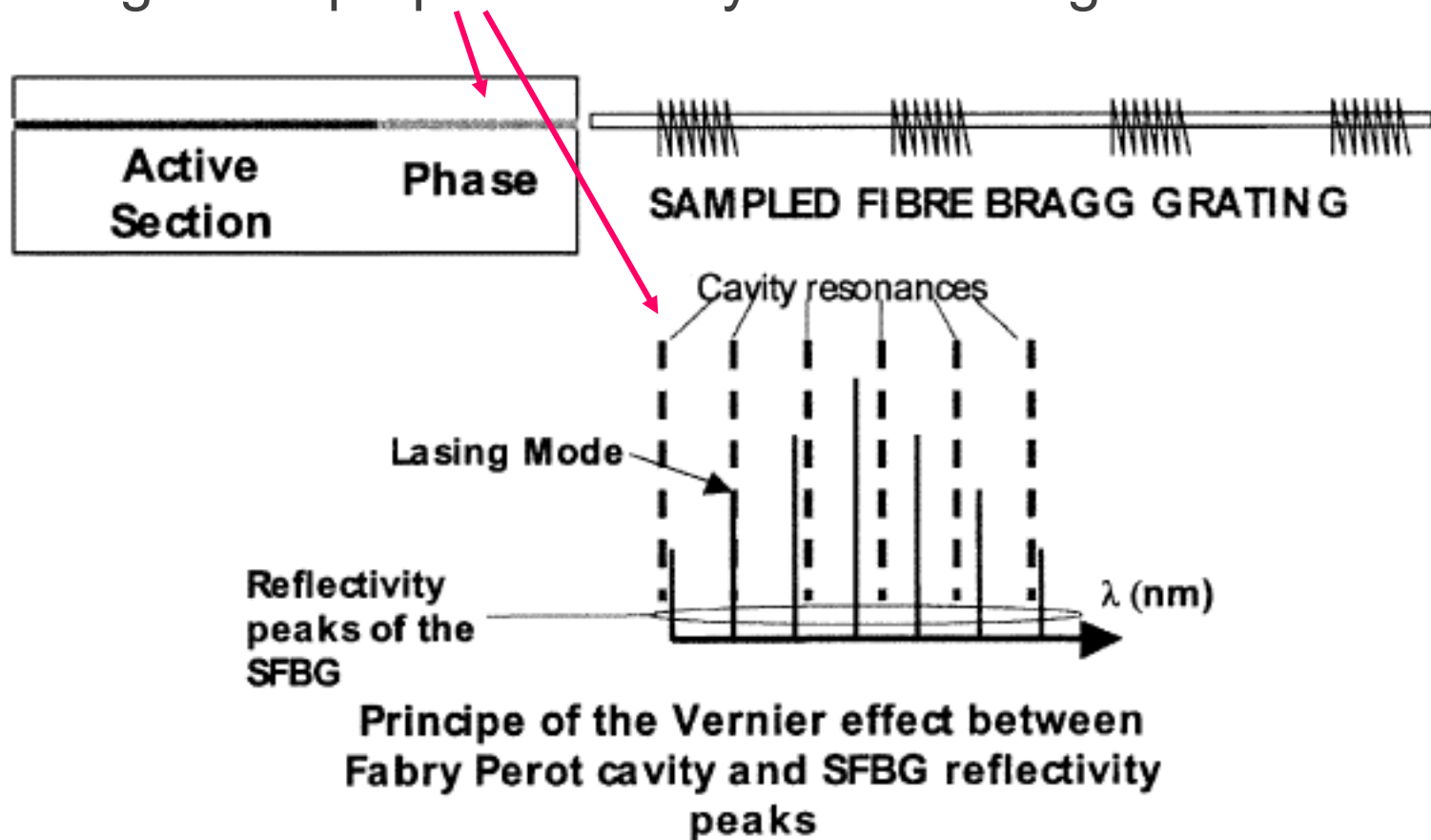
- Comportement monomode sur une plage de 8.5 nm et 110°C.
- A 5°C des modes Fabry-Perot apparaissent.



Courant de seuil du laser en fonction de la température.

SFBG: réseau de Bragg échantillonné

- En appliquant un courant sur la section de phase, la longueur optique du Fabry-Perot change.



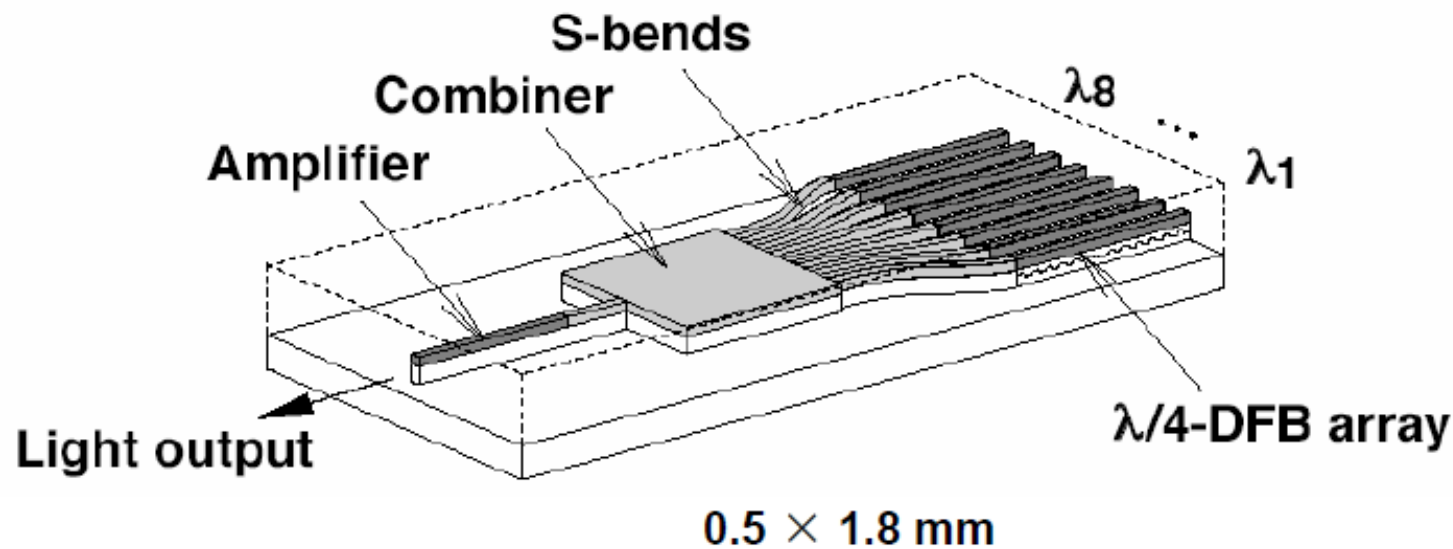
Example of tunable lasers

- Narrowly tunable (not discussed further):
 - Temperature tuned DFBs ~ 3 nm
 - Narrowly tunable 2 or 3 section DBR lasers ~ 8 nm
- DFB selectable arrays.
- External-cavity lasers.
- MEMS Tunable VCSELs
 - Move suspended top mirror by electrostatic or thermal tuning
 - Single knob tuning for both coarse and fine
- Widely tunable DBR lasers
 - Coarse tuning by index tuning of compound mirrors/couplers
 - Fine tuning by index tuning of phase section
 - Dual SFBG or vertical-coupler

Fujitsu DFB Array Integrated Tunable Laser

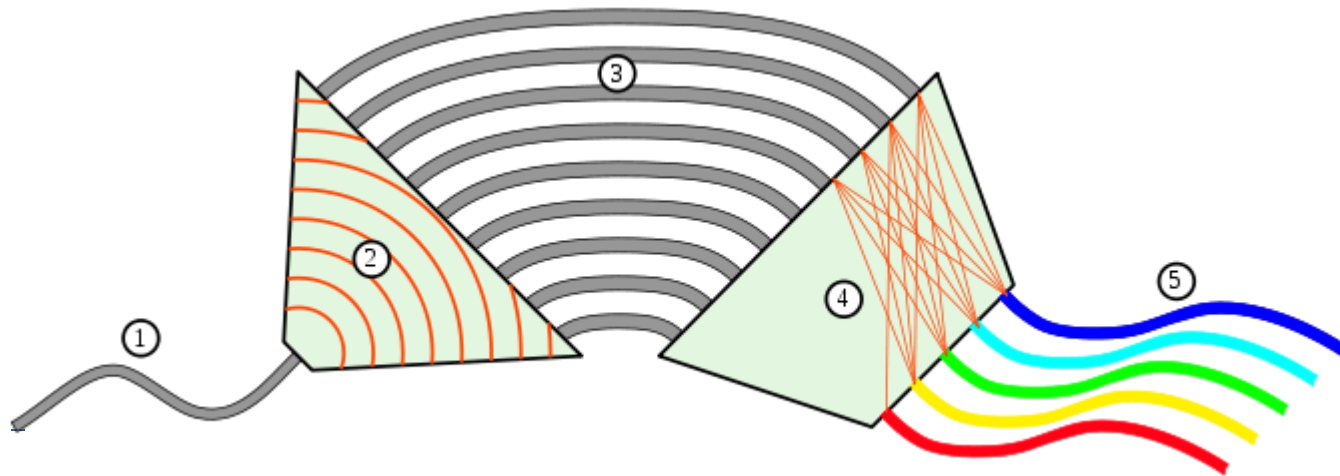
Monolithic Integration of

- Multi-wavelength DFB laser array
- Passive optical combiner
- Semiconductor optical amplifier



AWG: Arrays Waveguide Gratings

- Guide d'onde en réseau de différentes longueurs.
- L'espace libre triangulaire et trapézoïdal créent une séparation des longueurs d'onde comme un arc-en-ciel
→ c'est un **WDM**: Multiplexeur en longueur d'onde.

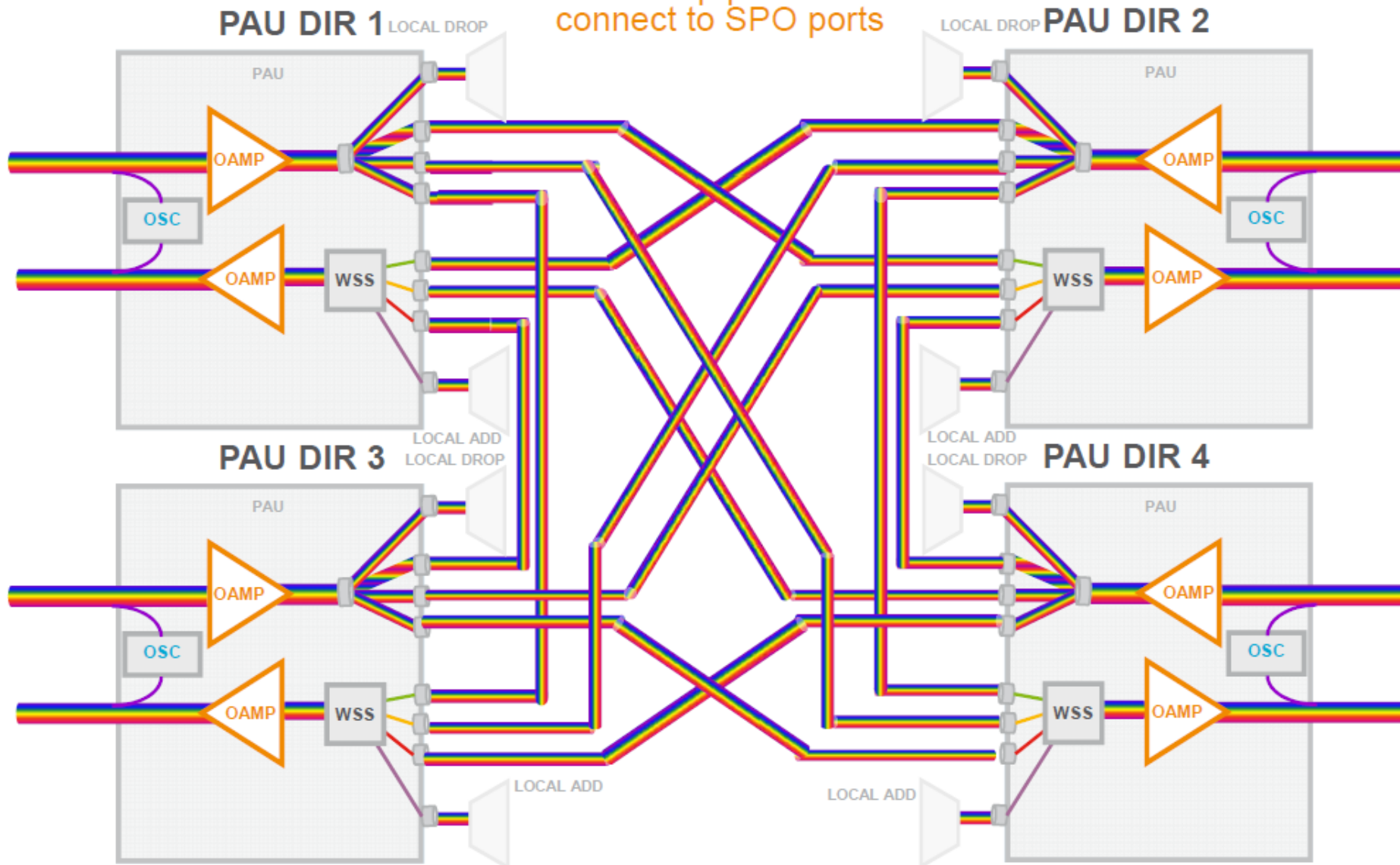


The incoming light (1) traverses a free space (2) and enters a bundle of optical fibers or channel waveguides (3). The fibers have different length and thus apply a different [phase shift](#) at the exit of the fibers. The light then traverses another free space (4) and interferes at the entries of the output waveguides (5) in such a way that each output channel receives only light of a certain wavelength. The orange lines only illustrate the light path. The light path from (1) to (5) is a demultiplexer, from (5) to (1) a multiplexer.

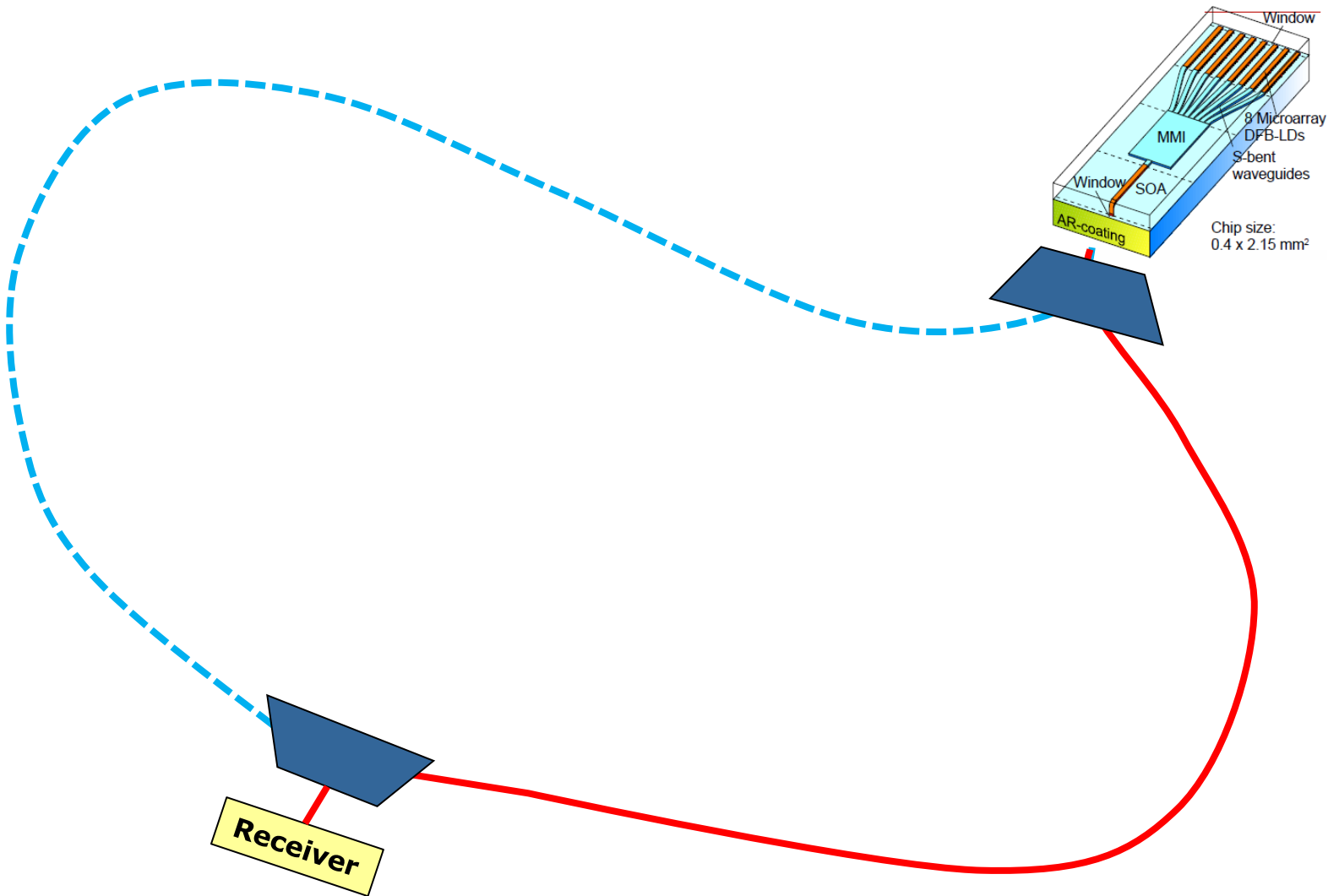
Source: Wikipedia

ROADM

› Local drop ports connect to SPO ports

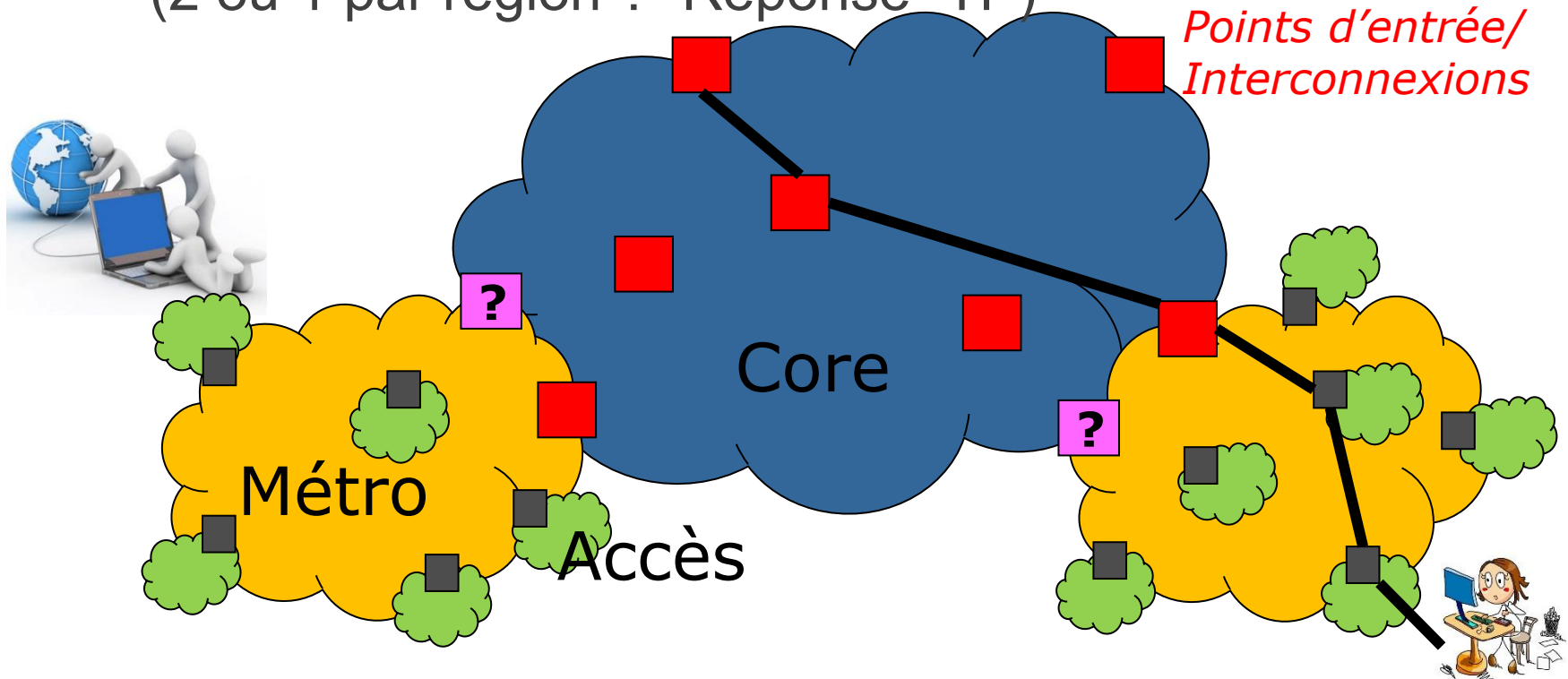


Protection optique sans interface supplémentaire



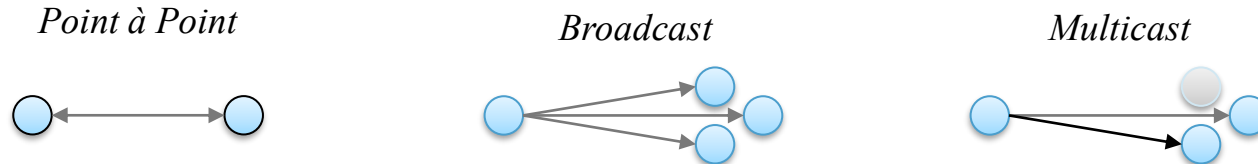
5. Interconnexions

- Les interconnexions jouent un rôle primordial, c'est de là que vient et part le trafic.
- Tout le réseau est construit autour des interconnexions (2 ou 1 par région ? Réponse=TP)

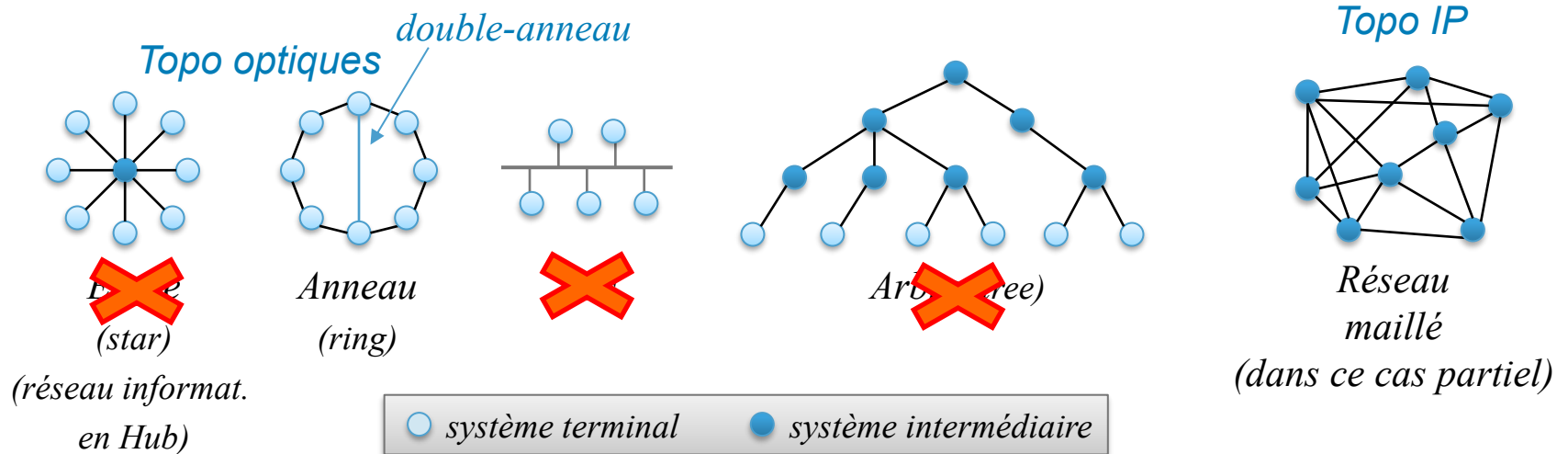


5. Topologie

- Types de communication.

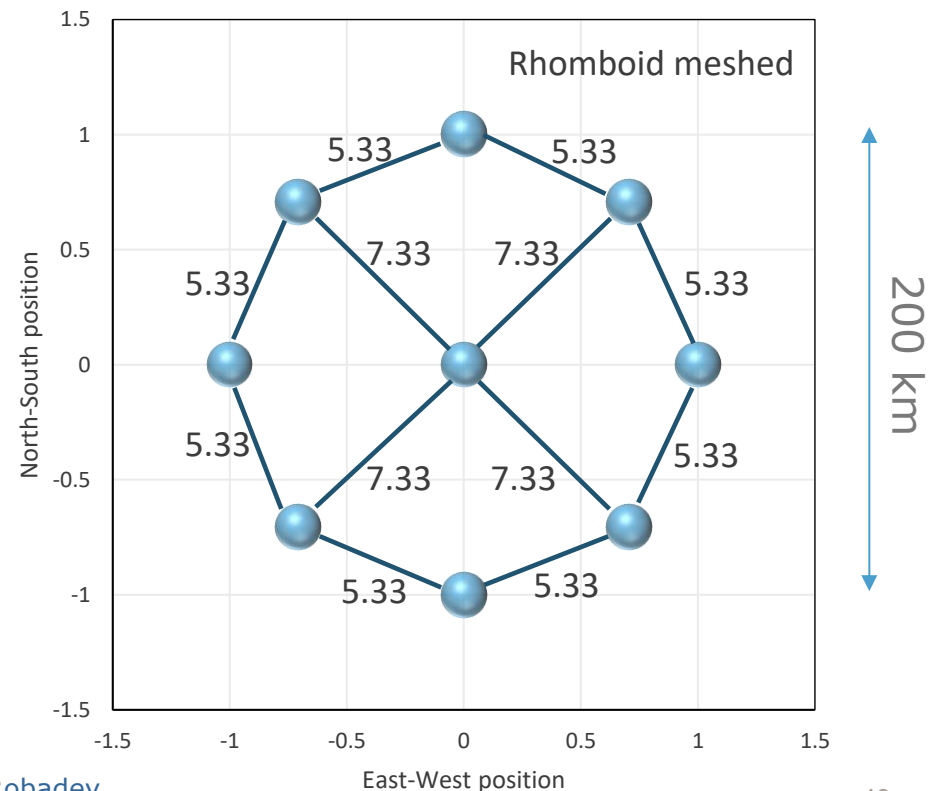


- Topologies:
 - distribution spatiale des éléments réseaux

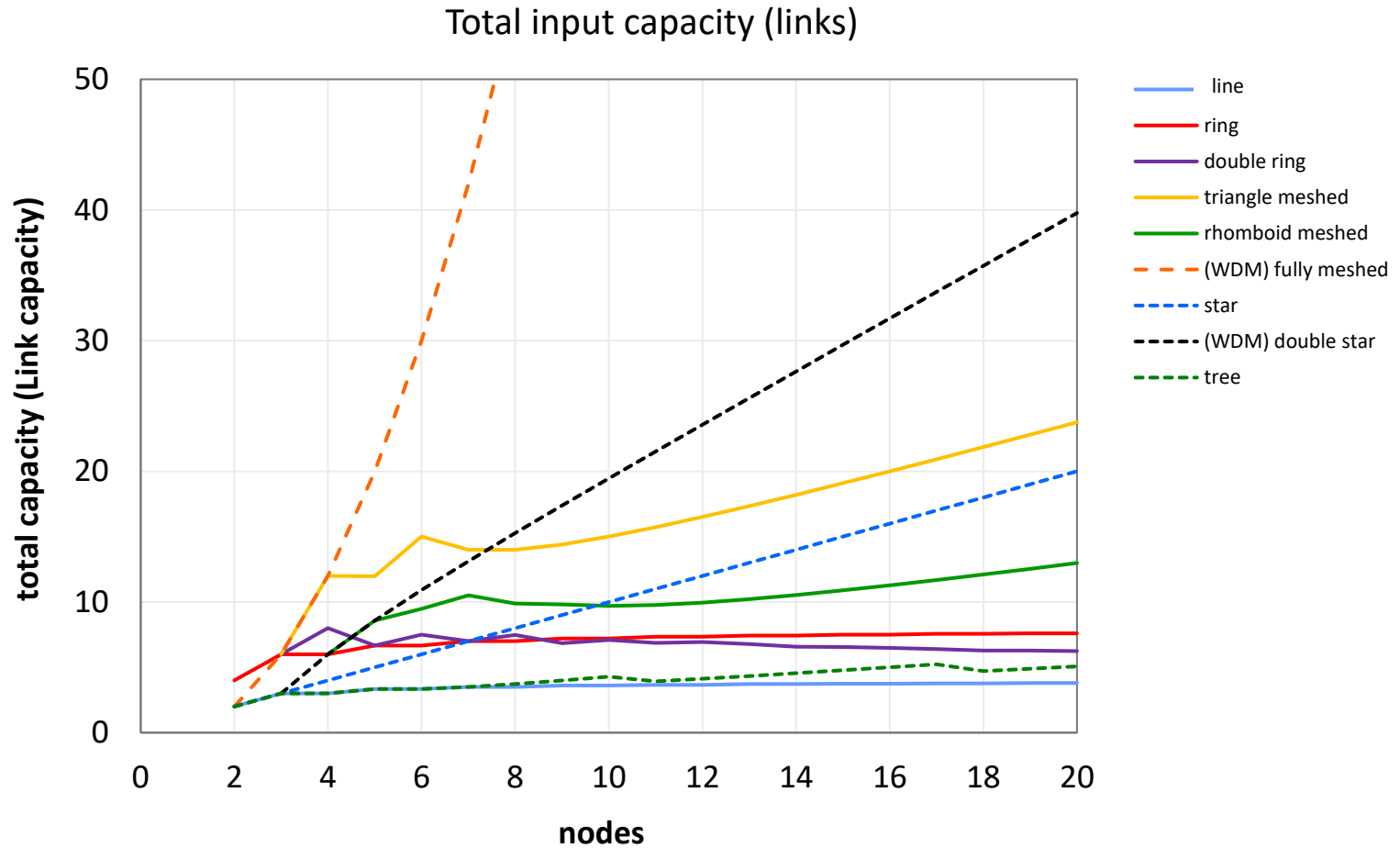


Calcul de la capacité totale du réseau

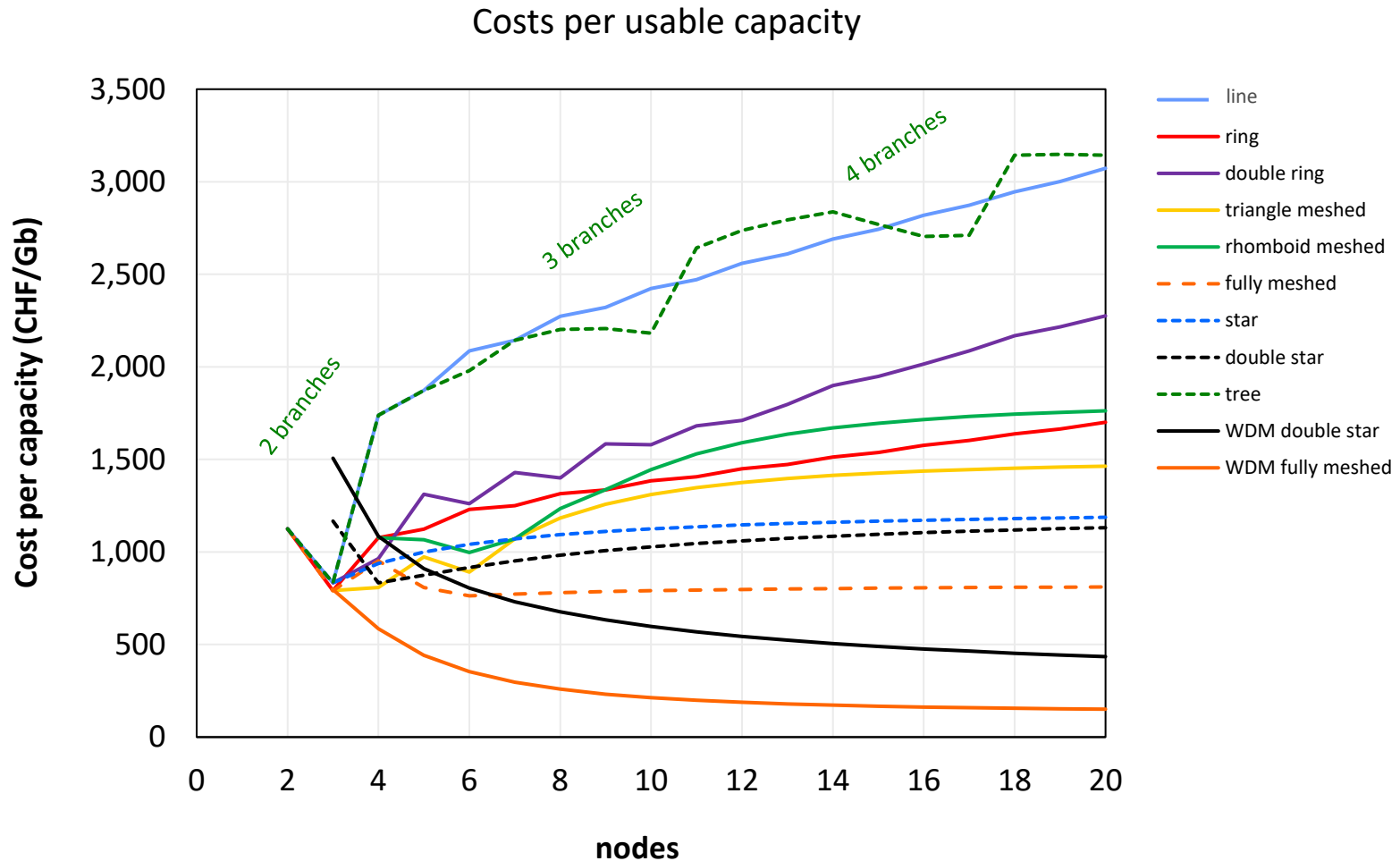
- Pour un trafic équipotentiel entre tous les nœuds.
- Avant l'apparition d'une congestion sur un lien.
- Méthode:
 - prendre toutes les connections entre tous les nœuds = $n \times (n-1)$ connections.
 - compter le nombre de connections passant par chaque lien.
 - prendre le lien le plus chargé.
 - diviser la capacité d'un lien par le nombre de connections empruntant ce lien (par exemple $10 \text{ Gb/s} / 7.33 = 1.4 \text{ Gb/s}$)
 - Multiplier par le nombre de connections (exemple $9 \times 8 \times 1.4 \text{ Gb/s} = 98 \text{ Gb/s}$)



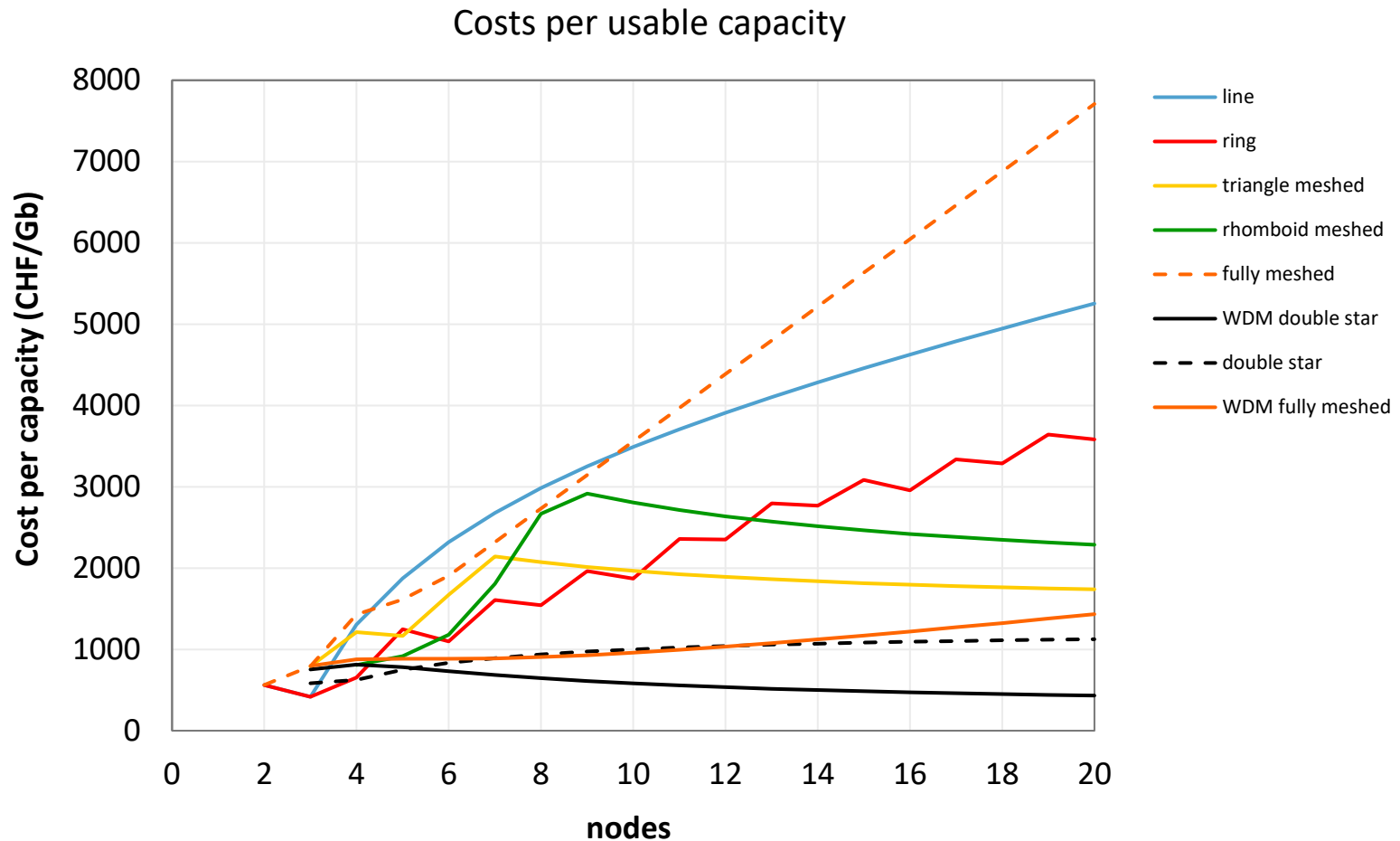
Capacité totale pour un trafic any to any



Coûts par capacité (any to any)



Coûts par capacité (datacentrique)



WDM double star: the best, WDM fully meshed 2nd, fully meshed the worst !

Leçon de la simulation

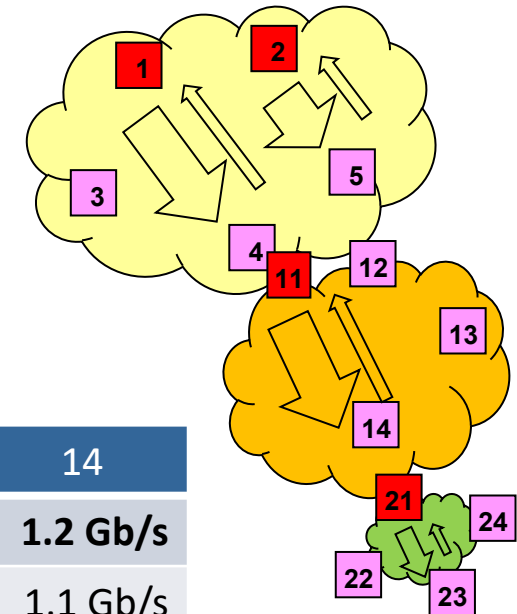
- Une topologie en ligne ou en arbre est non seulement pas redondante, mais est inefficace.
- Un anneau doit avoir un nombre impair de nœuds pour un trafic any to any et pair pour un trafic datacentrique.
- Avec les nouveaux services datacentriques la **double étoile WDM** est optimale et le maillage n'est pas bon.
- Un **petit nombre de nœuds** (< 10) est efficace. Exception la double étoile WDM qui s'améliore avec plus de nœuds.
- **Les réseaux actuels ne sont pas optimisés !!!**

Matrice de trafic et nœuds

Core	1	2	3	4	5
1		11 Gb/s	15 Gb/s	12 Gb/s	8 Gb/s
2	10 Gb/s		5 Gb/s	11 Gb/s	15 Gb/s
3	140 Gb/s	8 Gb/s		4 Gb/s	8 Gb/s
4	90 Gb/s	3 Gb/s	8 Gb/s		6 Gb/s
5	20 Gb/s	105 Gb/s	7 Gb/s	9 Gb/s	

Nombre de Nœuds
Core: 10
Métro: 100
Accès: 1000

Métro	11	12	13	14
11		1.5 Gb/s	2.5 Gb/s	1.2 Gb/s
12	12 Gb/s		0.5 Gb/s	1.1 Gb/s
13	17 Gb/s	0.8 Gb/s		1.2 Gb/s
14	11 Gb/s	0.3 Gb/s	1 Gb/s	



Accès	21	22	23	24
21		1.1 Mb/s	0.5 Mb/s	0.2 Mb/s
22	20 Mb/s		0 kb/s	100 kb/s
23	11 Mb/s	0.8 Mb/s		9 kb/s
24	7 Mb/s	0.3 Mb/s	0 kb/s	

Réduction de nœuds:

une hiérarchie supplémentaire ?

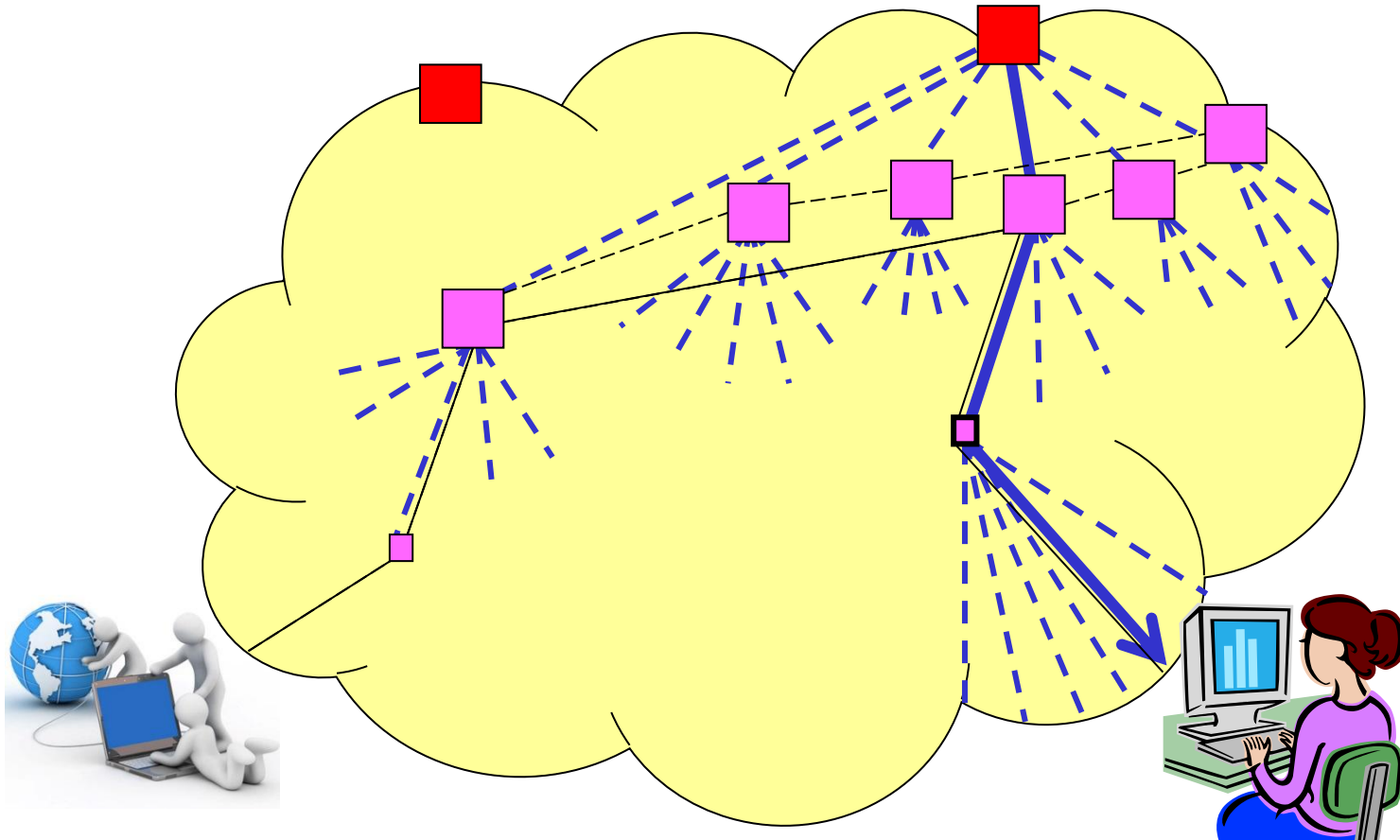
En théorie oui mais ça dépend des interfaces. Le trafic devrait être divisé et le nombre de nœuds multiplié par **10** à chaque hiérarchie.

6. Evolution des flux

Nous assistons à plusieurs évolutions:

- Augmentation de la **bande passante**.
- Généralisation du Cloud → Trafic **datacentrique**
- Généralisation des services Triple Play
 - QoS est nécessaire: elle doit assurer le trafic voice et **TV**.
 - Réseau multiservice.
- Augmentation des services OTT:
 - les opérateurs traditionnels font plus de transport et moins de service (mis à part internet).
 - augmentation de l'importance **d'internet et TV (Video)**.
- Dimensionnement du réseau: supporter la TV et garder un internet convenable.

Une topologie «centrée» est plus adaptée



SWITCHlan Backbone



Une double étoile logique sur des rings physique est optimale

SWITCH



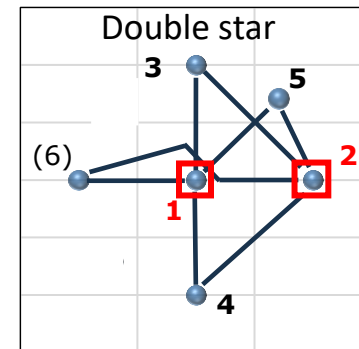
7. Matrice de trafic

- Le réseau doit être simulé et planifié en fonction de la **matrice de trafic** Core: → Topologie optimale.
- Résultat avec CoS: téléphonie + TV doivent être totalement supporté et un internet raisonnable doit être assuré à l'heure de pointe.

Core	1	2	3	4	5
1		11 Gb/s	15 Gb/s	12 Gb/s	8 Gb/s
2	10 Gb/s		5 Gb/s	11 Gb/s	15 Gb/s
3	140 Gb/s	8 Gb/s		4 Gb/s	8 Gb/s
4	90 Gb/s	3 Gb/s	8 Gb/s		6 Gb/s
5	20 Gb/s	105 Gb/s	7 Gb/s	9 Gb/s	

download

upload



8. Outils de planification

- Un outil permet de placer les éléments clefs (ampli, mux, OADM) sans erreur.
- La planification de la **capacité** doit se faire avec la **matrice de trafic** montrant les trafics utilisant les différentes **QoS** en jouant sur les topologies avec:
 - Matlab.
 - Opnet.
 - Ericsson: Net-Plan, My Config, Auto-Rack.
- Le **Traffic Engineering** (configuration de canaux MPLS) et la **pondération des segments OSPF** est une partie importante de la planification du réseau.
- Il faut garder en vue le but du réseau Core et planifier si possible le Core avec le Métro, pour choisir la meilleure stratégie d'interconnexion (2 ou 1 nœuds par région ?)

Conclusion

- Le Core-Backbone = colonne vertébrale du réseau.
- Il doit être adapté à:
 - la demande en bande passante
 - la flexibilité des services
 - La croissance du cloud
- Il doit avoir une très haute disponibilité.
- L'ASON/GMPLS a été développé durant la dernière décennie.
- Les éléments clefs sont là: (R)OADM, OLA, tunable laser.
- Les outils et méthodes clefs pour la conception/planifications sont:
 - La définition des buts du Core
 - L'utilisation de matrice de trafic
 - L'utilisation de logiciel de simulation
 - Le calcul des coûts CAPEX mais aussi OPEX.

Merci de votre attention !

jacques.robadey@hefr.ch
HES-SO//Fribourg - EIA-FR