

## **CT3: Veille technologique**

---

### Les réseaux optiques

**Ken CHEN (L2TI, institut Galilée, université Paris 13)**  
**Ken.chen@univ-paris13.fr**

(Présentation partiellement basée sur un travail collaboratif antérieur réalisé en commun avec Dr. **Wissam FAWAZ**, Ass. Professor à ALU, Liban)

# Plan

---

- Introduction
- WDM, Composantes
- Routage/Grooming
- Protection
- Transport (G.709, Digital Wrapper)
- GMPLS/ASON
- OPS/OBS

# Plan

---

## ○ Introduction

○ WDM, Composantes

○ Routage/Grooming

○ Protection

○ Transport (G.709, Digital Wrapper)

○ GMPLS/ASON

○ OPS/OBS

# Une évolution attendue

---

- Quelques repères
- 1980x : X25 : 10 kbps (9600 bauds)
- 1990x : Frame Relay : qqe 100 Kbps
- 1995 ... ATM : Mbps (plafonné à qqe Gbps)
- 2000 ... réseaux optiques (Gbps... Tera bps) ?!?
- 2007 ... FTTH (au moins 50 à 100 Mbps par foyer)

# Une évolution nécessaire

---

- L'environnement pour applications hauts débits est prêt
  - Contenus (TVHD, vidéoconf, réalité augmentée, etc.)
  - Matériels (écran Full HD, caméscope AVCHD, PC, disque, etc.)
- ADSL prépare le terrain et fait naître les usages
- Pression sur l'infrastructure
  - Chaque foyer ADSL: qqe Mbps à 24 Mbps
- Pression sur la liaison d'accès
  - les 24 Mbps d'ADSL ne seront pas suffisantes
- Solution: réseaux optiques

# La magie de WDM

---

- Fibre optique : application en télécommunications remontée jusqu'en 1960x
  - Capacité presque illimitée, immunité à l'interférence électromagnétique, sécurité, très faible taux d'erreur, très faible atténuation, etc...
- Transmission optique : coupleur E/O, O/E
  - Information émise et reçue par l'Electronique
  - Transmission sous forme optique
- Problème: le débit est limité par l'électronique, le potentiel de la fibre optique n'est pas bien exploité
- WDM (Wave Division Multiplexing)
  - Division de la BP totale en sous bandes (via plusieurs longueurs d'onde)
- Chaque liaison optique ( $\lambda$ ) peut opérer au débit crête « électronique »
- Capacité et évolution
  - 2,5/10/40 Gbps (OC-48/192/768) ... 100 Gbps ..... Tbps

# Détail WDM

---

- le spectre de transmission est divisé en un certain nombre de sous bandes disjointes (les longueurs d'onde ou les **lambda**)
- Chaque lambda supporte un seul canal de communication
- Une FO peut contenir une dizaine, voire une centaine, de lambda
- Normalisation ITU (ITU-G.692)
  - Grille de lambda avec un pas d'env. 50Ghz (0,41nm) relative à la fréquence de référence 193,1 THz (1552,52 nm)

# Plan

---

- Introduction
- **WDM, Compositants**
- Routage/Grooming
- Protection
- Transport (G.709, Digital Wrapper)
- GMPLS/ASON
- OPS/OBS

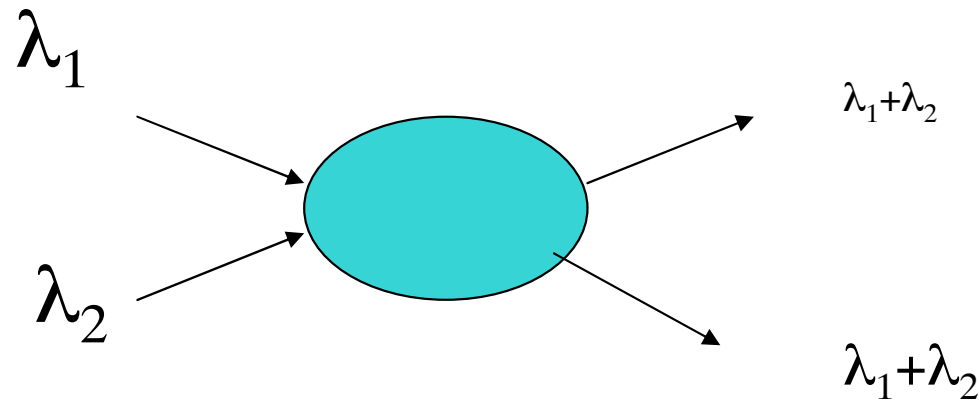
# Réseau optique: les composants

---

- Emetteur: Laser (**L**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation)
- Récepteur:
  - Photo-détecteur, amplificateur, circuit de traitement
- Amplificateur optique:
  - restaure la puissance su signal (sur une longue distance)
- OADM : Optical add/drop multiplexer
  - Rajout/retrait d'un lambda
- Coupleur
  - Combiner les entrées et les répartir sur les sorties
- OXC (Optical Cross Connects): commutateur optique
- *Ligne à retard: « tampon » optique (à capacité très limitée)*

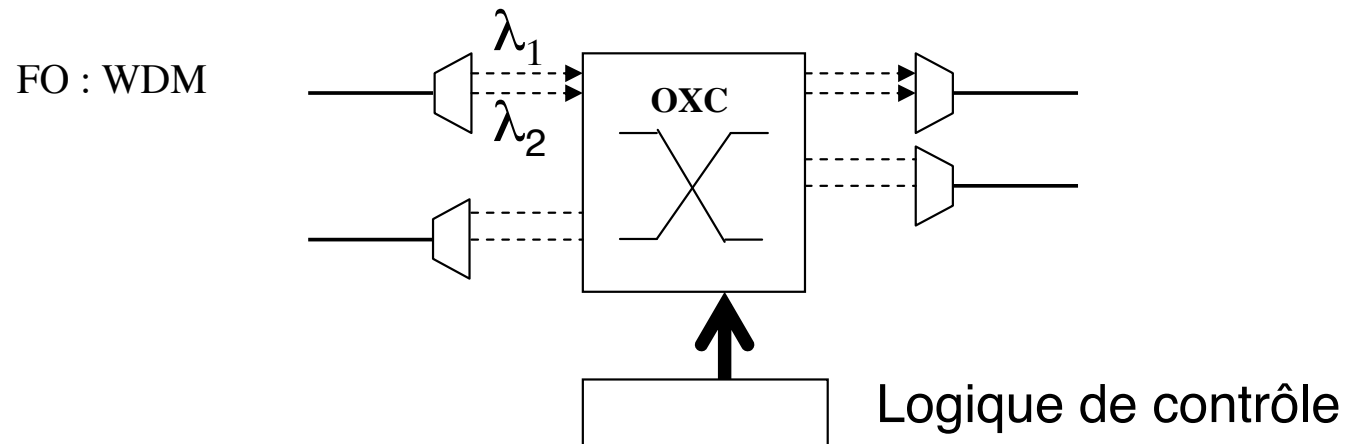
# 3-db Coupleur

---



- 2 inputs, 2 output
- Puissance equi-répartie sur les 2 sorties
- Mélangeur, diffuseur, diviseur de puissance

# OXC



- Commutation de tout lambda vers toute fibre de sortie
- Peut assumer le rôle d'un Optical add/drop multiplexer (OADM)
  - Injecter une nouvelle connexion
  - Terminer une connexion
- Situation la plus courante: conservation de lambda
- Possibilité de « conversion de lambda » (converter)
  - Un canal entrant porté par lambda-1 est porté en sortie par lambda-2

# OXC (suite)

---

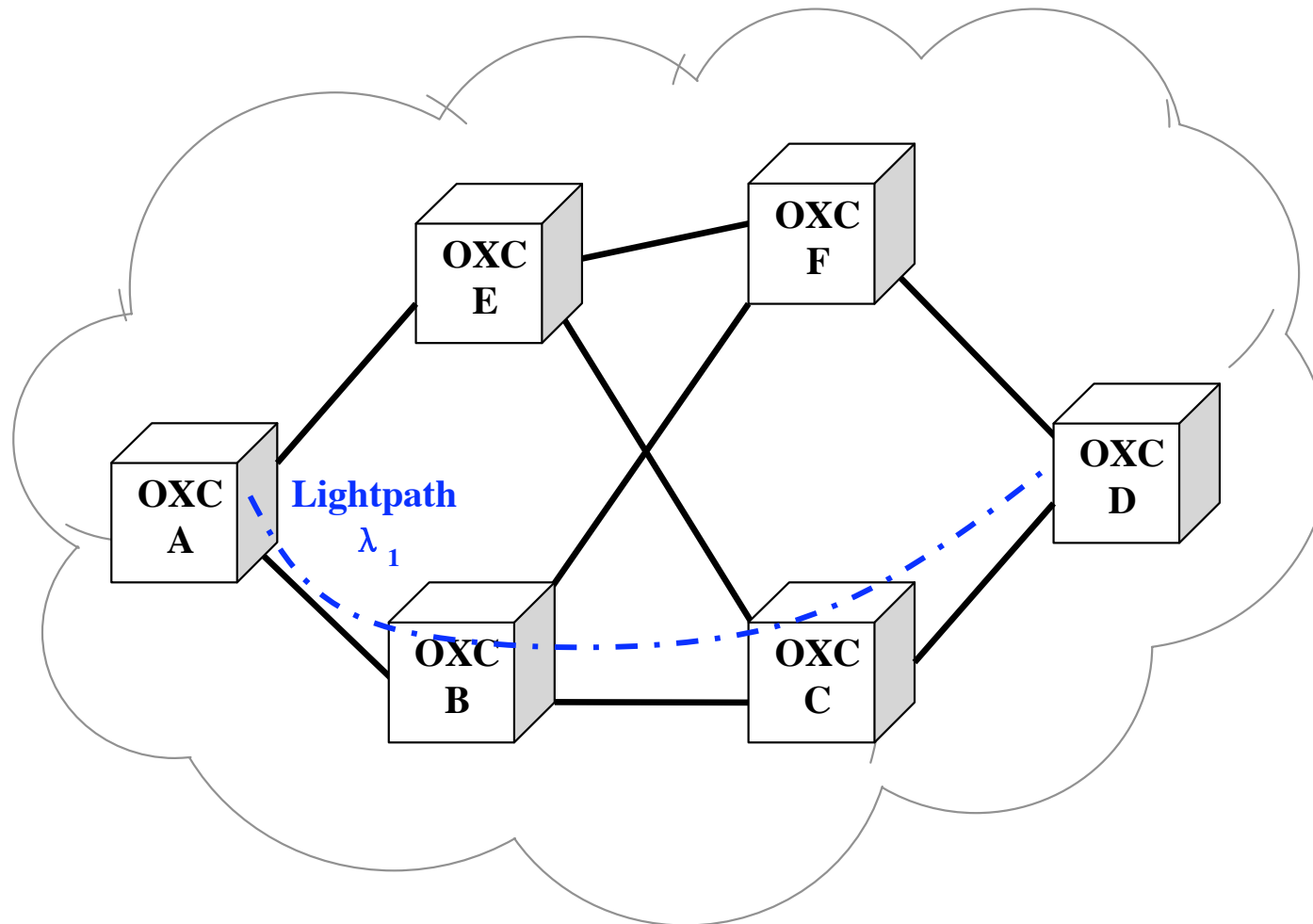
- Commutateur transparent (tout optique)
  - Commutation directe de lambda
  - Aucune conversion électronique du signal
  - Technologie représentative: 3D MEMS
    - micro-electromechanique system (MEMS)
    - 3D MEMS met en place des mécanismes de contrôle qui fait pivoter les mirrors dans toutes les directions (3D).
  
- Commutateur opaque (O/E/O)
  - Le signal optique est converti en signal électronique (O/E)
  - Les informations (paquets) en sont extraites
  - Commutation électronique
  - Reconversion E/O
  - *Un commutateur électronique avec les interfaces optiques*
  - *Bonne solution de transition*

# Plan

---

- Introduction
- WDM, Composantes
- Routage/Grooming**
- Protection
- Transport (G.709, Digital Wrapper)
- GMPLS/ASON
- OPS/OBS

# Un réseau optique maillé



**Lightpath** = canal de bout en bout (généralement avec le même lambda)  
(remarque: nous sommes ici en mode **commutation de circuit**)

# Routage et affectation de lambda

---

- RWA (Routing and Wavelength Assignment) problem
- Problème particulier à cause des spécificité optiques
  - Disponibilité de lambda libre
    - Sur une fibre, seulement une dizaine (voire centaine) de lambda
  - Contrainte de la continuité du même lambda
    - *Sauf avec OXC équipé de converter (encore coûteux et limité aux lambda voisins (de qqe nm)*
- Modèle mathématique
  - Problème d'optimisation sous contraintes
  - Formulation ILP (integer linear programmation)
  - Catégorie des problèmes dits NP-dur
  - Solutions « heuristiques »

# RWA: un autre regard

---

- RWA statique vs RWA dynamique
- RWA statique
  - Matrice de trafic supposé constant
  - c-à-dire considération à long terme
  - Modèle complexe avec temps de calcul conséquent
- RWA dynamique
  - Changement dynamique,
  - décision rapide en phase opérationnelle
  - Privilégier les algorithmes simples avec un taux de blocage faible

# Traffic Grooming

---

- Cadre : SONET/SDH
- Constats
  - un lightpath: capacité importante (2,5Gbps...10/40 Gbps)
  - Les trafics individuels: souvent pas à cette hauteur
- Traffic grooming:
  - Partage d'un lightpath parmi plusieurs utilisateurs
  - La BP est divisée en unités dites « sub-rate »
- Exemple:
  - Lightpath 2,5 Gbps (OC-48), divisé en sous-bande de 155Mbps (OC-3)
  - Chaque utilisateur peut réclamer une ou plusieurs sous-bande

# Plan

---

- Introduction
- WDM, Composantes
- Routage/Grooming
- Protection**
- Transport (G.709, Digital Wrapper)
- GMPLS/ASON
- OPS/OBS

# Nécessité de protection

---

- Grande capacité → impact important en cas de rupture de connexion
- Quelques sources de ruptures
  - Coupure de la fibre
  - Panne d'un amplificateur : rupture de toutes les connexions
  - Panne de l'émetteur ou récepteur : un seul lightpath
  - Panne de OXC
- Solution : Protection

# Disponibilité

---

- Disponibilité
  - Disponibilité = Période opérationnelle/durée totale
- Standard industriel : 99.999% (5 "9")
  - 5 min non dispo/an (1 an=8760h=525600 min.)

	PREMIUM	GOLD	SILVER	BRONZE
Availability	99.999%	99.99%	99.9%	99%

- Augmentation de la disponibilité via protection

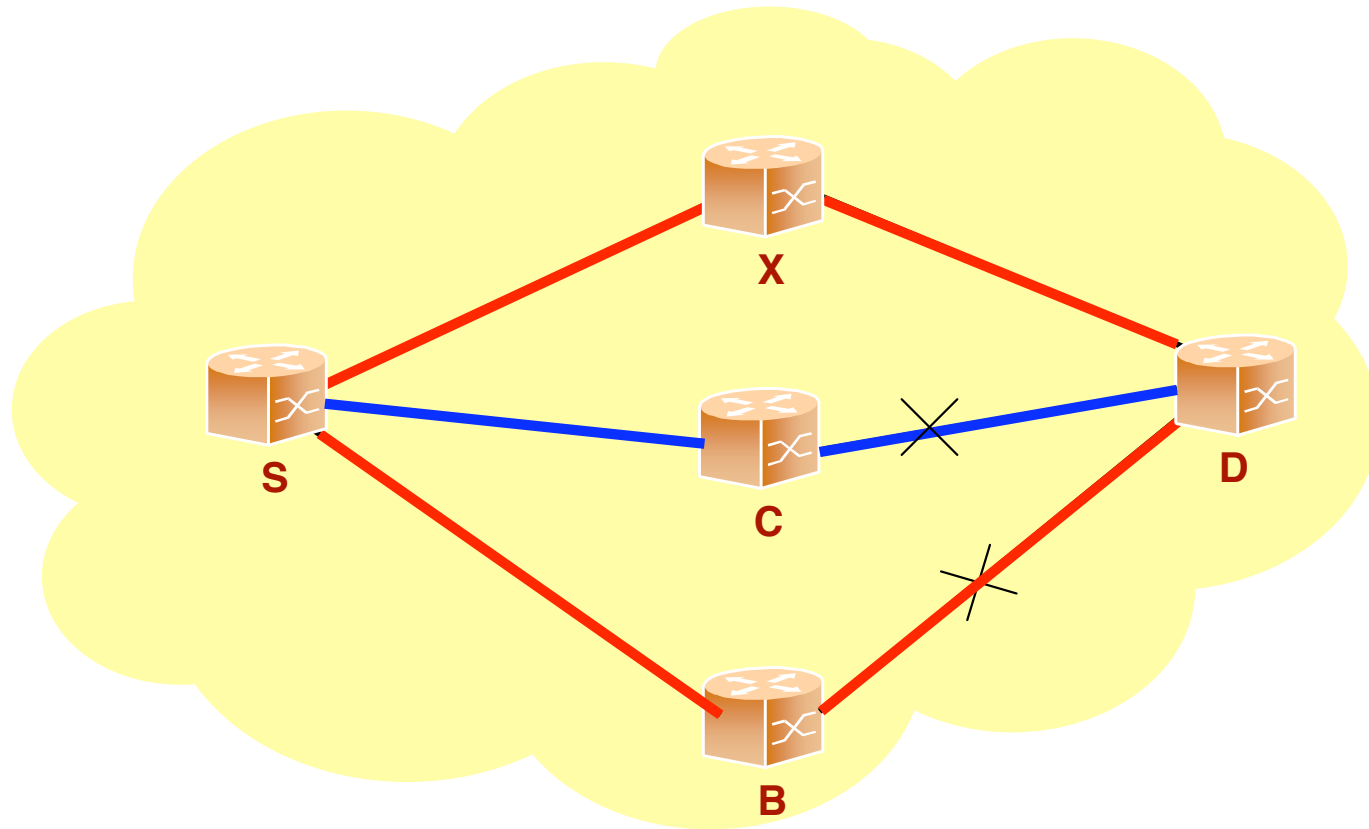
# Protection

---

- Objet de protection
  - Tous les liens d'une FO vs un lightpath
  
- Partagé vs dédié
  - Dédié 1+1 la transmission est dupliquée sur 2 lightpath simultanément, on retient la meilleure réception.
  - Dédié 1:1 un lightpath en opération, un autre en attente
  - Partagé 1:N 1 lightpath en attente pour N lightpaths en opération

# Un exemple 2:1

---



# Plan

---

- Introduction
- WDM, Composantes
- Routage/Grooming
- Protection
- Transport (G.709, Digital Wrapper)**
- GMPLS/ASON
- OPS/OBS

# ITU G.709: Digital Wrapper: interface pour le OTN (optical Transport Network)

---

- Formats actuels de transmission sur les lightpath
  - SONET/SDH
  - Ethernet
- ITU G.709 : Un format unificateur (*protocol agnostic*)
  - le Paquets IP,
  - Trames Ethernet
  - Cellules ATM
  - SONET/SDH
- Trois gammes de débits (Gbps)
  - OTU1=2,666 (>2,4888 OC-48/STM-16 Sonet/SDH)
  - OTU2=10,709 (>9,953 OC-192)
  - OTU3=43,018 (>39,813, OC-768)
- Introduction d'un format plus riche et le FEC (Forward Error Correction)

# G.709: Format

---

- Trame représentée par 4 lignes de 4080 octets chacune (même principe que SONET)
  - 1-14 : Entête OAM
  - 15-16 : Info usager
  - 17-3824 : Données (payload)
  - 3825 -4080: FEC
  
- Temps de transmission différents
  - OTU1=2,666 Gbps @ 48,971 micro-sec.
  - OTU2=10,709 Gbps @ 12,191 micro-sec.
  - OTU3=43,018 Gbps @ 3,035 micro-sec.
  - (*rappel: SONET: 125 micro-sec.*)
  
- FEC (Reed-Solomon):
  - Distingue 16 sous-flux de données
  - Corriger jusqu'à 8 erreurs par sous-flux

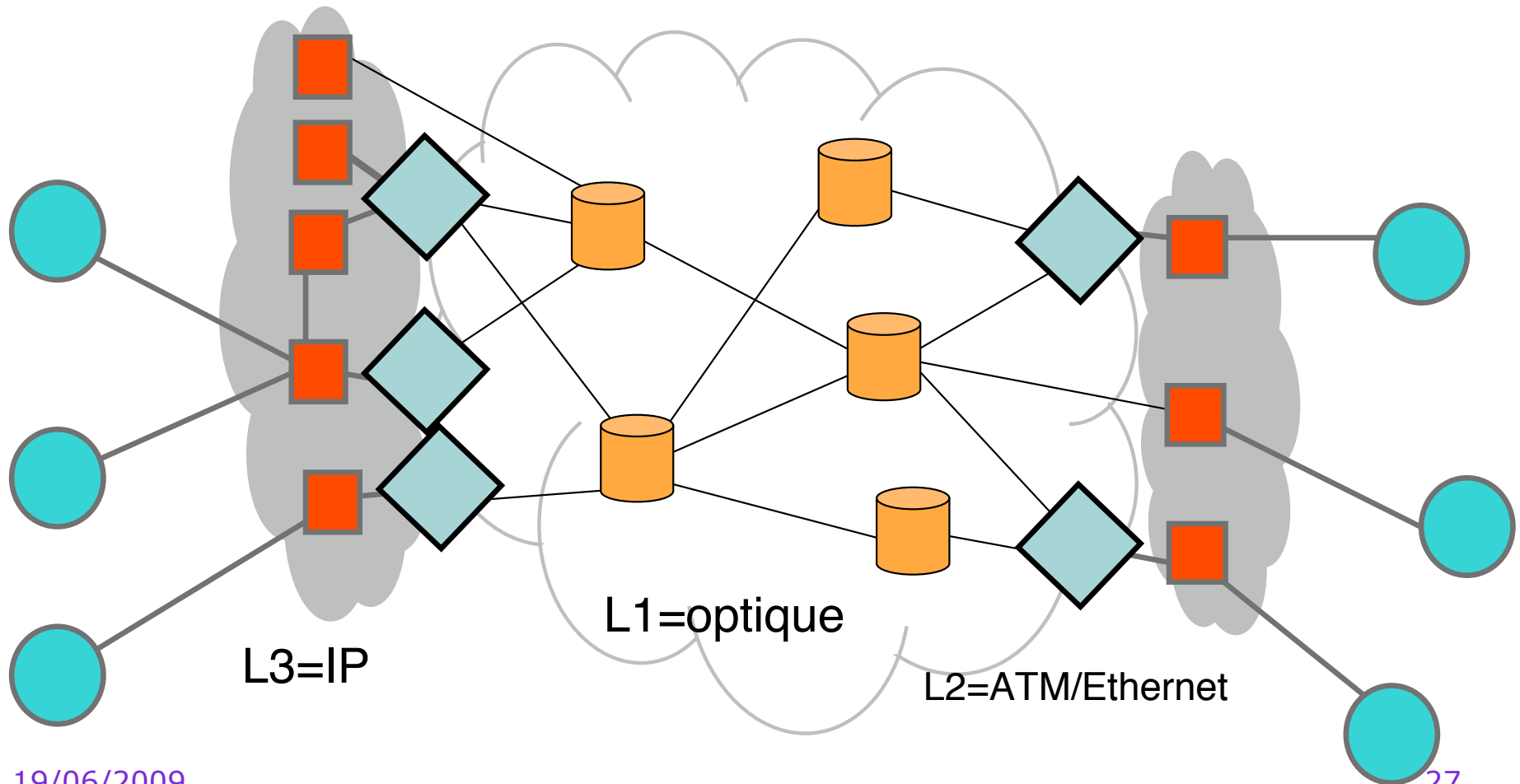
# Plan

---

- Introduction
- WDM, Composantes
- Routage/Grooming
- Protection
- Transport (G.709, Digital Wrapper)
- **GMPLS/ASON**
- OPS/OBS

# Superposition (Overlay) des infrastructures

- Trois niveaux (L1, L2, L3)
- Chaque infrastructure peut être vue comme étant superposé (overlay) à l'infrastructure sous-jacente



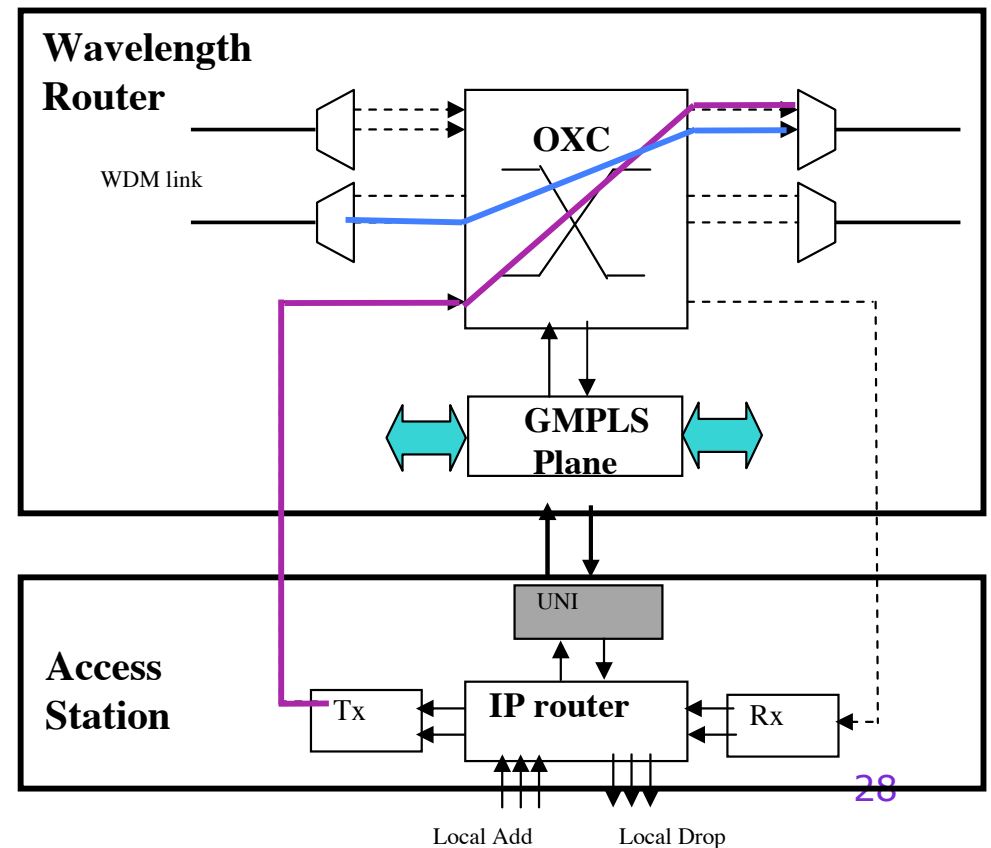
# Vers les réseaux optiques intelligents

## ○ Réseaux optiques classiques : statiques

- Configuration Manuelle
- Temps d'établissement de connexion (setup time): qqe **Jours**

## ○ Réseaux optiques intelligents

- ASON(ITU)/GMPLS(IETF)
- **OXC: Setup time : qqe ms**
- **Convergence avec IP**
- Support la QoS



# ASON

---

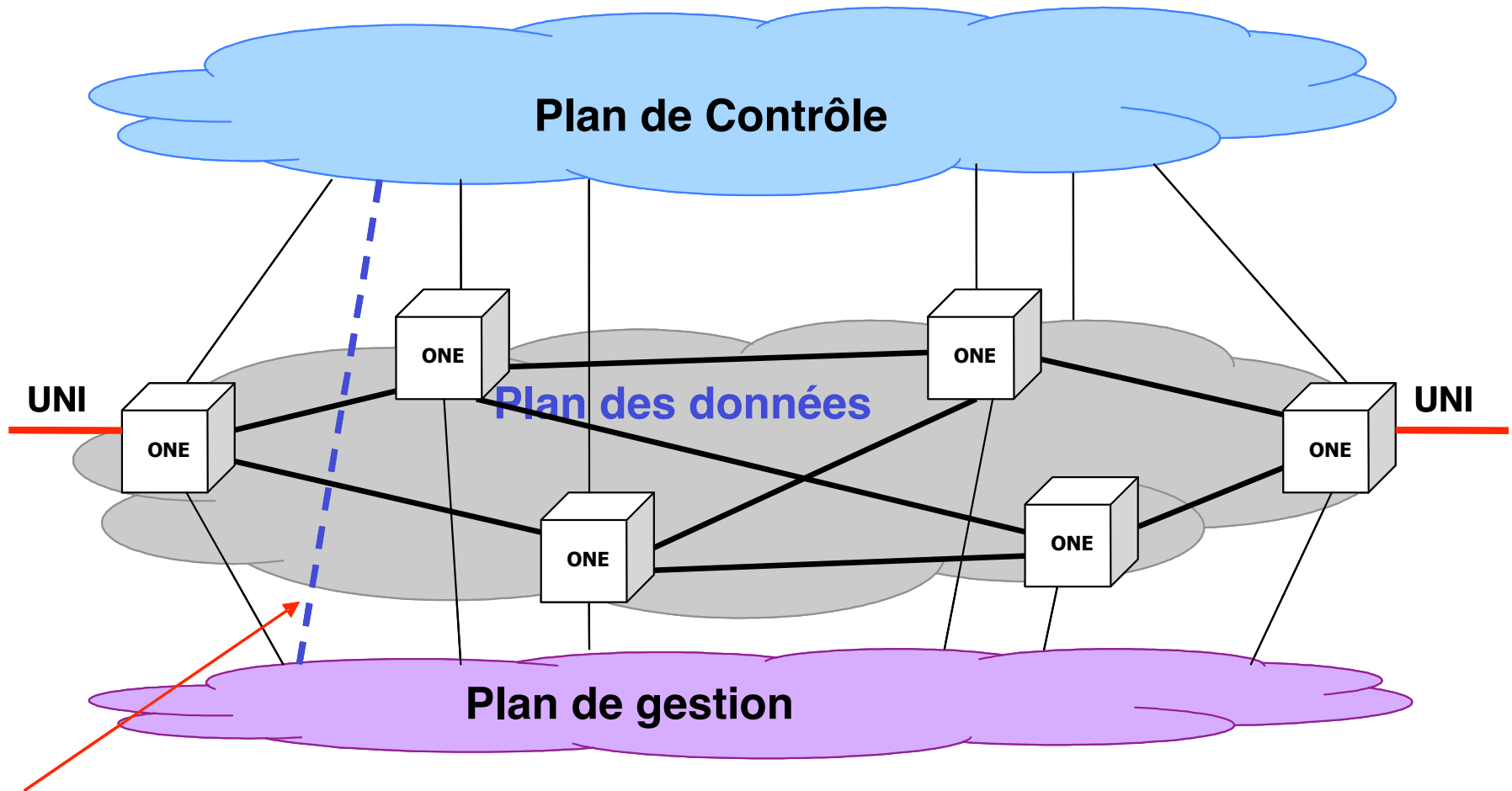
- Automatically Switched Optical Networks
- Une série de travaux très conséquente et complète sous ITU (G.8080=architecture générale)
  - Multi-technologies, multi-vendor, interopérabilité, etc.
- Objectif: introduire l'intelligence dans le réseau optique de transport d'information
- Collaboration avec les travaux de IETF (GMPLS)
- Supporté par OIF (Optical Internetworking forum)

# Architecture sur 3 plans

---

- Plan des données
  - Transport de données de bout-en-bout
- Plan de contrôle
  - mise en place de circuit-virtuel
- Plan de gestion :
  - gestion des équipement (établissement de circuit physique, etc.)

# ASON/GMPLS : Architecture en 3 plans



Interaction plan de gestion/ Plan de contrôle

ONE=Optical Network Element

# GMPLS

---

- GMPLS = Generalized MPLS
- Extension, avec adaptation, des mécanisme MPLS pour contrôler les niveaux plus bas
- MPLS = Acheminement des paquets IP sur des infrastructure de niveau 2 (**L2S** = level 2 Switch )
- On envisage de transmettre un paquet IP directement sur une liaison physique (SONET) voire lien optique
  - Avantage = supprimer la/les couche(s) intermédiaires (ATM, voire SONET)
  - Condition : repérage du flux
  - Possible seulement sur les liaisons physique ayant une référence

# Les liaisons physique

---

- Toutes les liaisons type TDM (Time Division Multiplexing),
  - Référence = numéro de slot
  - On parle des liaison TDMC (TDM Capable)
  - Exemple : SONET, Liaison hertzienne
- Les LSC (Lambda Switch Capable)
  - Cadre = WDM (plusieurs longueurs d'onde) sur une fibre
  - Référence = Lambda (le numéro de la longueur d'onde)
- FSC (Fiber Switch Capable)
  - Cadre : liaison avec un groupe de fibre
  - Référence = numéro de fibre

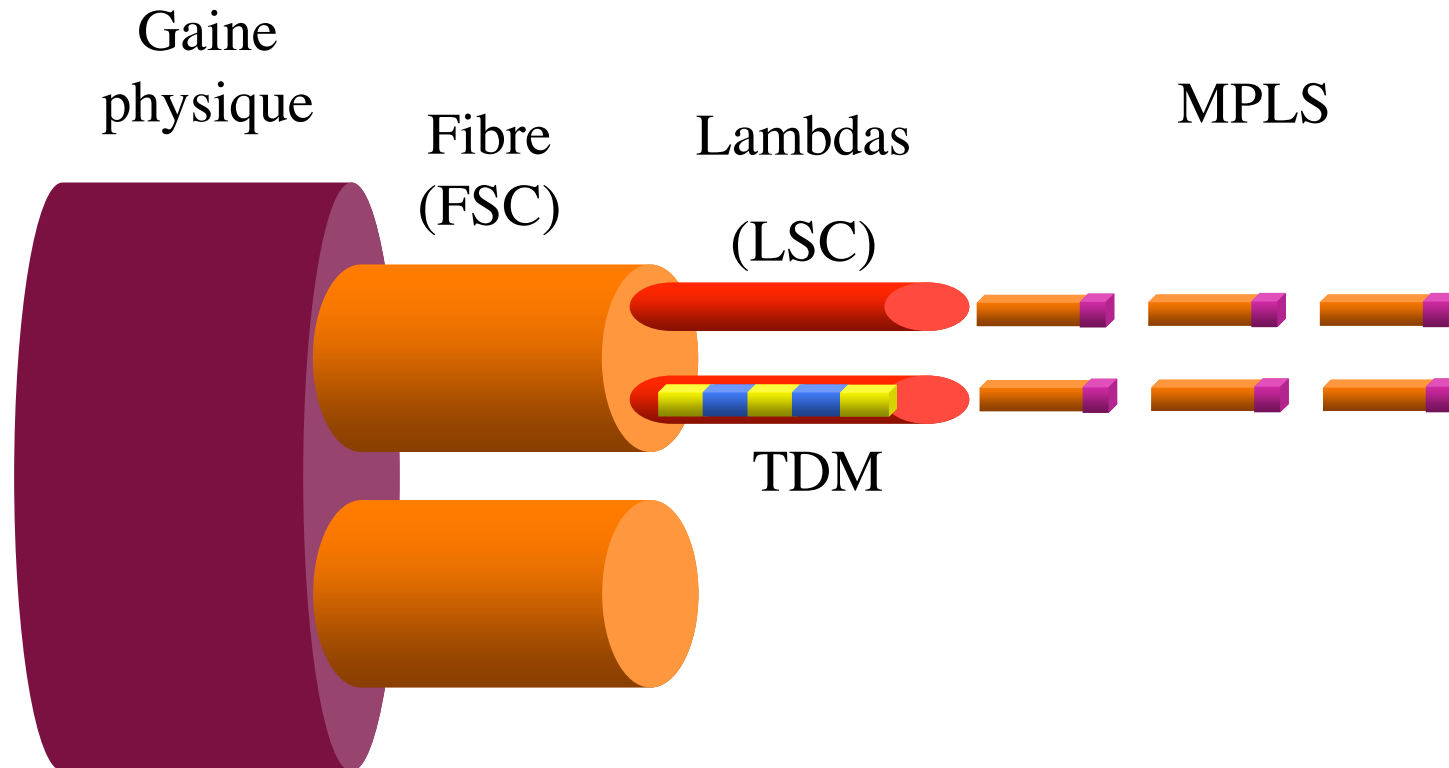
# La hiérarchie

---

- Le plus gros : FSC
- Qui contient des LSC
- Sur un LSC, on a des slots , d'où TDMC
- Sur des slots (SONET par exemple), on met des trames niveau 2, d'où L2S (en pratique MPLS)
- Les MPLS véhiculent les paquets IP qui s'identifient par leur session (e.g. Flot label dans IPv6)
  - On parle de IP Switch

# La hiérarchie

---



# GMPLS: composants

---

- LMP (Link Management Protocol)
  - Découverte des voisins
  - Découverte et mise à jour des info sur les liens physiques
- OSPF-TE
  - Distribution des info de routage, avec info orientées TE
  - Routage avec le plus court chemin (sous contraintes)
- RSVP-TE
  - Signalisation
  - Prise en compte des caractéristiques de divers équipements et liens (optique compris)
  - Pries en compte de ERO et RRO

# RSVP-TE

---

- RFC 3471, 3473 (RFC 3209 = pour MPLS)
- Extension pour le support de GMPLS
- Nouveautés
  - "Notify" pour notification expresse des défaillances
  - Prise en compte des nouveaux types de "labels"
  - Support d'établissement de connexion bidirectionnelle avec l'objet "Upstream\_label"
  - Intégration de "interface ID"

# OSPF-TE

---

- RFC 4202/4203 (GMPLS), RFC 3630 (MPLS)
- Attributs des liens plus riches dans LSA (LS Advertisement)
  - Par le biais des descripteurs TLV (Type Length Values)
  - Véhiculer notamment les information de TE
    - Champ explicite pour Bande passante (comme des réels)
- Extension GMPLS
  - Rajoute la protection des liens
  - Prise en compte des divers types de commutation dans GMPLS
    - Interface Switching Capability Descriptor (ISCD)

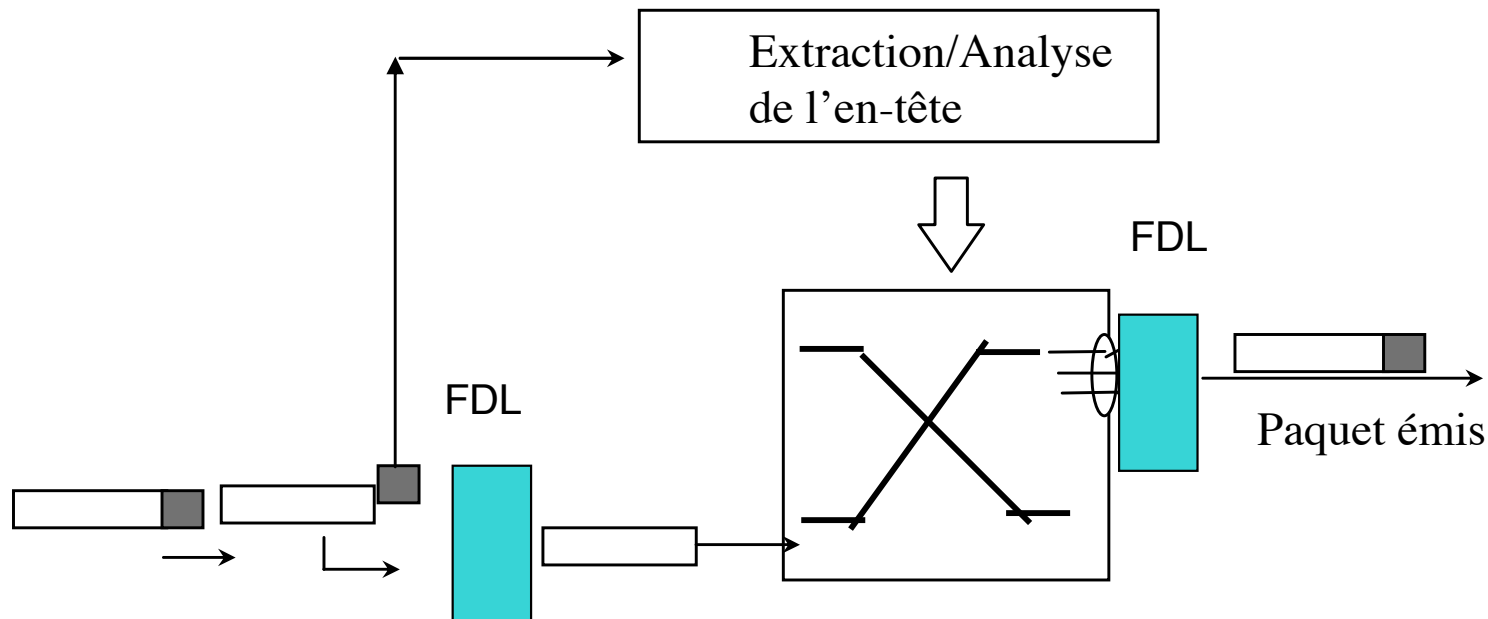
# Plan

---

- Introduction
- WDM, Composantes
- Routage/Grooming
- Protection
- Transport (G.709, Digital Wrapper)
- GMPLS/ASON
- **OPS/OBS**

# OPS

- OPS = Optical Packet Switch
- Principe similaire à la commutation d'une trame/cellule
  - Seule l'entête est extraite pour être convertie sous forme électronique puis analysée
  - Le contenu garde sa forme optique
  - Conflit sur le port de sortie peut être résolu avec ligne à retard (FDL)



# Résolution de conflit à la sortie

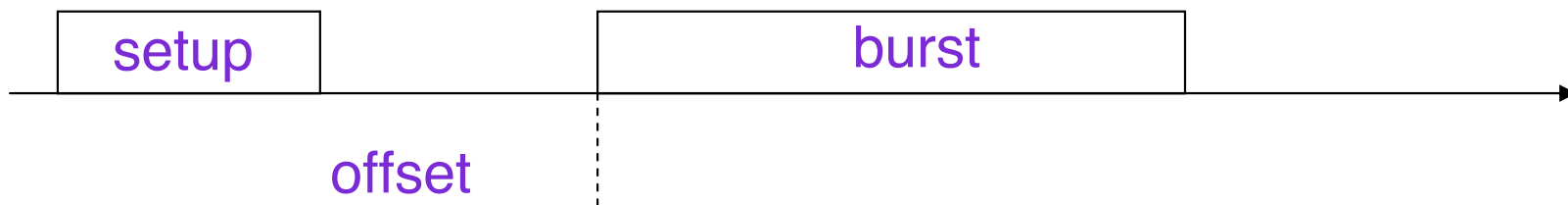
---

- Trois approches
  
- Ligne à retard : tampon temporel
  - Avantage : garder la séquence
  - Inconvenient : dispositif cher et capacité très limitée
  
- Envoi via un autre lambda : tampon spectral
  - Exploiter les caractéristiques de WDM
  - Réclame plusieurs lightpath ou un "converter" de lambda
  - Nécessite le re-séquencement
  
- Routage par déflexion : tampon spatial
  - Envoi vers un port autre que le "bon"
  - Risque d'un délai plus long et aléatoire
  - Nécessite le re-séquencement

# OBS

---

- Optical Burst Switching
  - Situé entre routage de lambda (commutation circuit) et OPS
- Principe: des « connexions » de courtes durées
- Modalité
  - Transmission par rafale [burst]
  - Chaque « burst » est précédé d'un message « setup »
  - Allocation de ressource pour le burst uniquement
  - Similitude avec la commutation électronique (e.g. ATM)
  - Délai de configuration plus long que la commutation électronique
- Durée d'une « session »: offset + durée de burst



# OBS (suite)

---

- Déclenchement du transfert : TAG vs TAW
  - Problème sous-jacent: délai de configuration (sur tous les commuateurs du lightpath) non négligeable
- TAG=Tell-And-G: transmission immédiate
- TAW=Tell-And-Wait: attend confirmation du setup
- Solution alternative :
  - Sans confirmation mais attendre un délai « suffisamment » long pour que l
- Modalité de réservation de ressources par les noeuds : JIT vs JET
- JIT=Just-In-Time : Réservation immédiate
- JET=Just-Enough Time: Estimer le moment le plus indiqué pour réserver les ressources

**Merci**

---

Vos questions

# GMPLS: Functional Blocks

