



Techniques de transport haut débit

- Les services transportés
- Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET
- L'ATM, l'IP MPLS
- Optique et WDM
- L'OTH



Les services transportés

- Services historiques :
 - Dont le transport est basé sur le TDM
 - RTC : Réseau Téléphonique Commuté
 - RNIS ou ISDN : Réseau numérique à Intégration de service
 - LL : Liaisons Louées
- Services en croissance
 - avec adaptation du TDM ou hors TDM
 - IP/ATM/ Ethernet

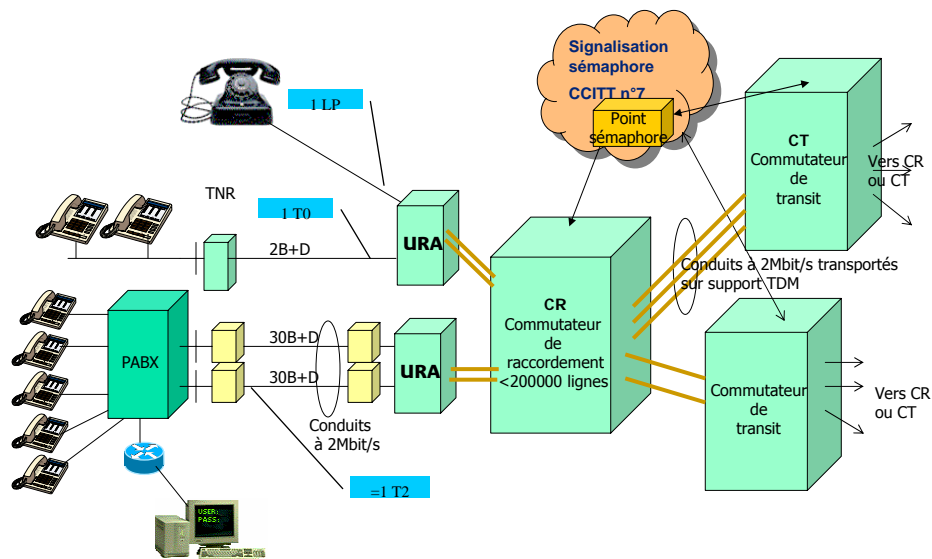


Services historiques : RTC/RNIS

- La numérisation (1970) du réseau téléphonique est à l'origine du transport par TDM. Chaque voie téléphonique est numérisée pour être transportée par un canal à 64 Kbit/s. (codage d'une voie sur 8eb tous les $125\mu\text{s}=64\text{kbit/s}$)
- Le RNIS ou ISDN est l'aboutissement de la numérisation du réseau téléphonique
- Il repose sur 2 bases techniques :
 - La connectivité numérique de bout en bout disponible sur 2 interfaces
 - T0 ou **BRI** ou (Base rate interface) : $2B+D = 2 \times 64 \text{ kbit/s} + 16 \text{ kbit/s}$
 - T2 ou **PRI** ou (Primary Rate interfaces : $30 B + D = 30 \times 64 \text{ kbit/s} + 64 \text{ kbit/s}$)
 - La signalisation indépendante (de la communication)
 - Signalisation N°7 entre commutateurs
 - Protocole D pour les partie terminale
- Il autorise la mise en œuvre de services enrichis par rapport au RTC
- Permet une liaison à $n \times 64 \text{ kbit/s}$ commutée en mode circuit



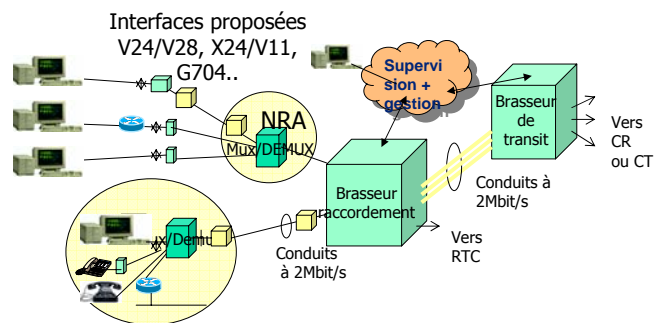
Le Raccordement au RNIS





Le Réseau de liaisons Louées synchrones

- Historiquement basé sur l'architecture des équipements du RTC, d'où la modularité proposée de $n \times 64\text{Kb}$.
- Permet le raccordement Point à Point.



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

5



Services en croissance basés sur ADSL/ATM/IP

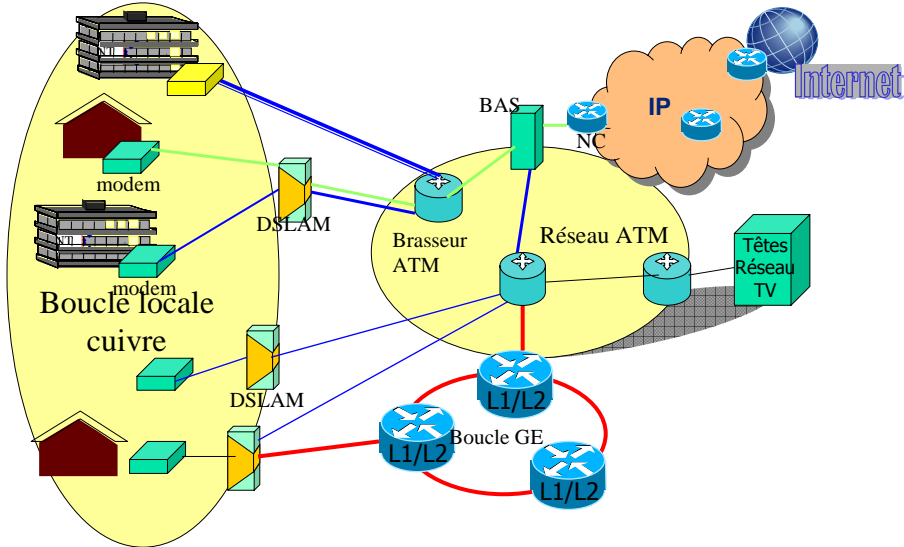
- Services aux particuliers:
 - Accès à Internet
 - TVNUM
- Services aux entreprises:
 - Accès à Internet
 - Intranet
 - Raccordement de LAN (Ethernet, FE et GE)

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

6



Services en croissance basés sur ADSL/ATM/IP



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

7



Techniques de transport haut débit

- Les services transportés
- Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET
- L'ATM, l'IP/MPLS
- Optique et WDM
- L'OTH

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

8



Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET

- La technique de multiplexage TDM,
- La hiérarchie PDH
- La hiérarchie SDH et ses composants,
- Les équipements SDH
- Les topologie de réseaux
- La sécurisation
- La concaténation
- L'évolution des réseaux SDH (POS, GFP)



Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET

- La PDH
- La SDH et SONET
- Ces techniques sont des techniques de multiplexage temporel dont le but est regrouper le plus de trafic possible sur le support physique disponible (paire cuivre, fibre optique et hertzien)
- Ces techniques sont fortement marquées par la nécessité du transport des voies téléphoniques historiques à 64Kb/s.
- Elles permettent des connexions en mode « circuit » (mise à disposition de liaison à débit fixe et garanti)



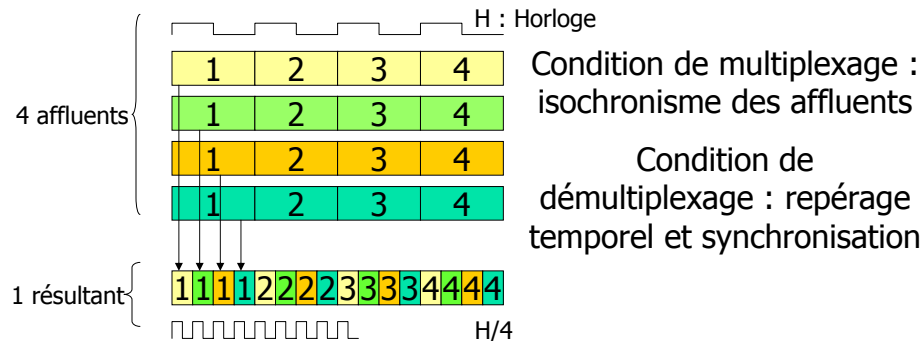
Historique du multiplexage

- Le pourquoi du multiplexage : Les dépenses de génie civil dans les infrastructures de réseau sont les plus lourdes pour un opérateur.
- En 1936 : premier multiplex analogique de 12 voies téléphoniques
- > 1970 : premiers systèmes multiplex numérique (36 voies puis 30 voies téléphoniques)
- En 2000 : multiplex numérique de 120000 voies téléphoniques



Principe du multiplexage synchrone : TDM

- Les données à multiplexer sont réparties dans le temps de manière synchrone (synchrone : les informations d'une même communication se retrouvent dans le temps de façon périodique).
- 2 familles de multiplexage synchrone : PDH et SDH



Le multiplexeur synchrone

- Principe pour un sens de transmission
- Dans un multiplexeur l'émission de données est permanente. En l'absence de signal sur un port d'entrée le multiplexeur génèrera un signal de remplacement « tout à 1 »

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone 13

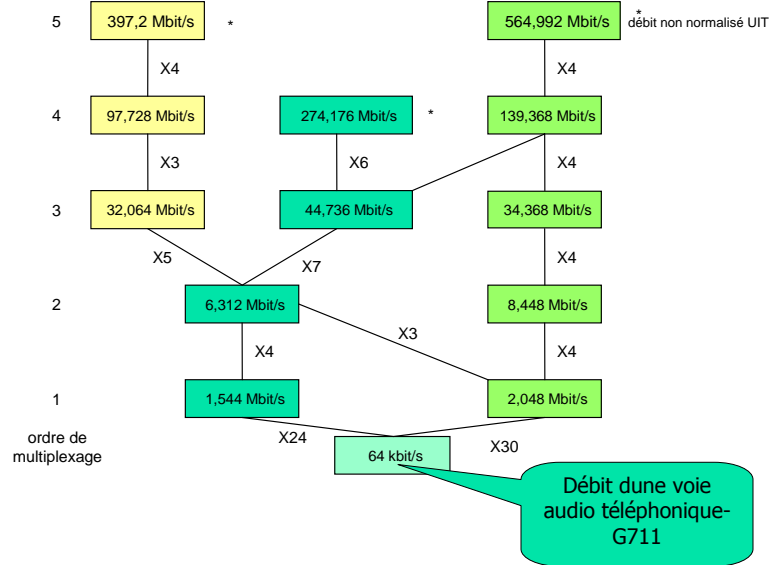
La Synchronisation des systèmes TDM

- Le couple émetteur_récepteur de tout système synchrone doit fonctionner avec le même rythme.
- Solution :
 - Récupération du rythme sur le signal reçu pour synchroniser le récepteur. (sur les systèmes numériques PDH)
 - Distribuer une horloge de référence très stable dans le temps.
 - Utilisation des 2 solutions

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone 14



La hiérarchie numérique Plésiochrone : PDH



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

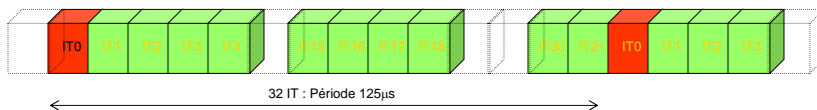
15



La trame G704 à 2048kbit/s et 1544Kbit/s

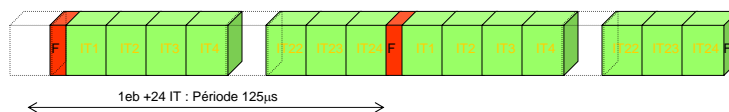
- Trames générées par des commutateurs de réseau et des PABX du RTC/RNIS

G704 à 2048 Kbit/s



1 IT (intervalle de temps) = 8 éléments binaires de Débit $8 \times 8000 = 64000$ bit/s
 Débit de la trame : $32 \times 64 = 2048$ Kbit/s

G704 à 1544 Kbit/s

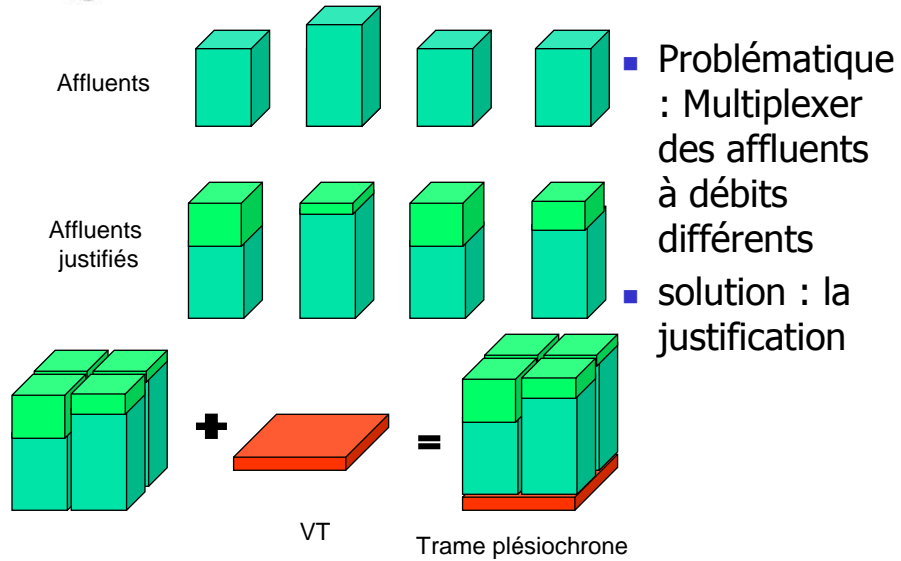


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

16



Multiplexage d'ordre supérieur à 1

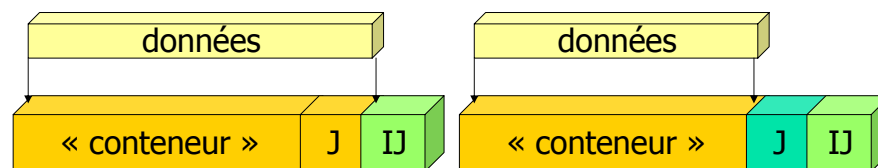


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

17



Principe de la justification



Eb de justification = eb de donné ou bourrage



Eb d'indication de justification = information sur valeur de J (cette info sera redondante en nombre impair compte tenu de son importance)

- 1J/10khz permet de rattraper une plage d'horloge de 10Khz

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

18



La montée en débit : Cascade de multiplexeurs

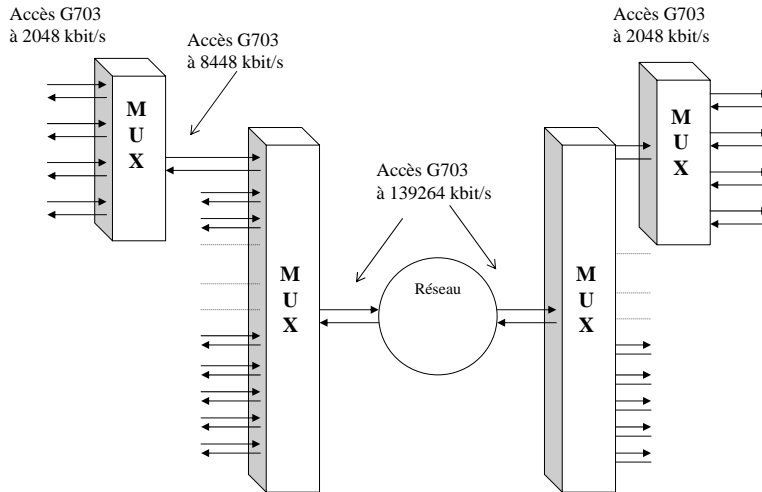
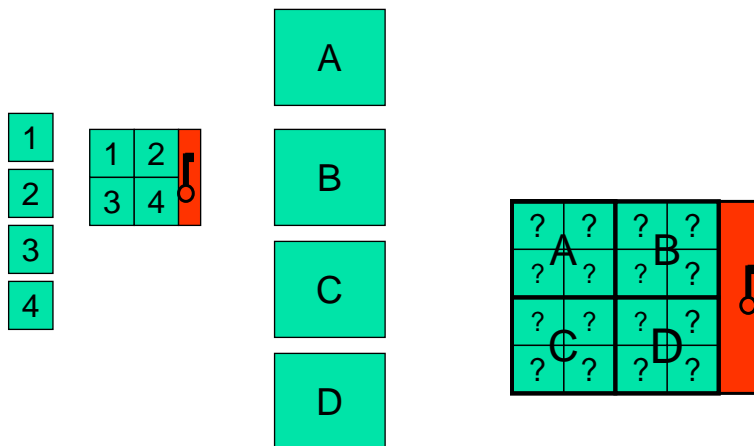


Illustration de la non visibilité en PDH



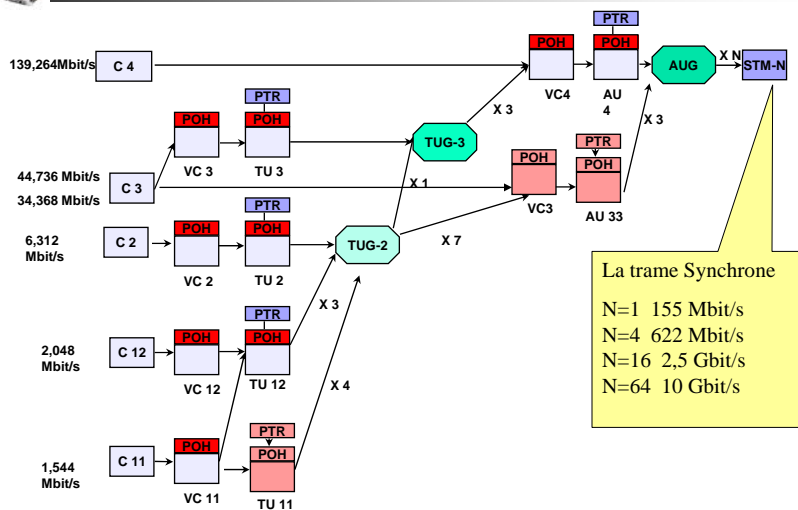


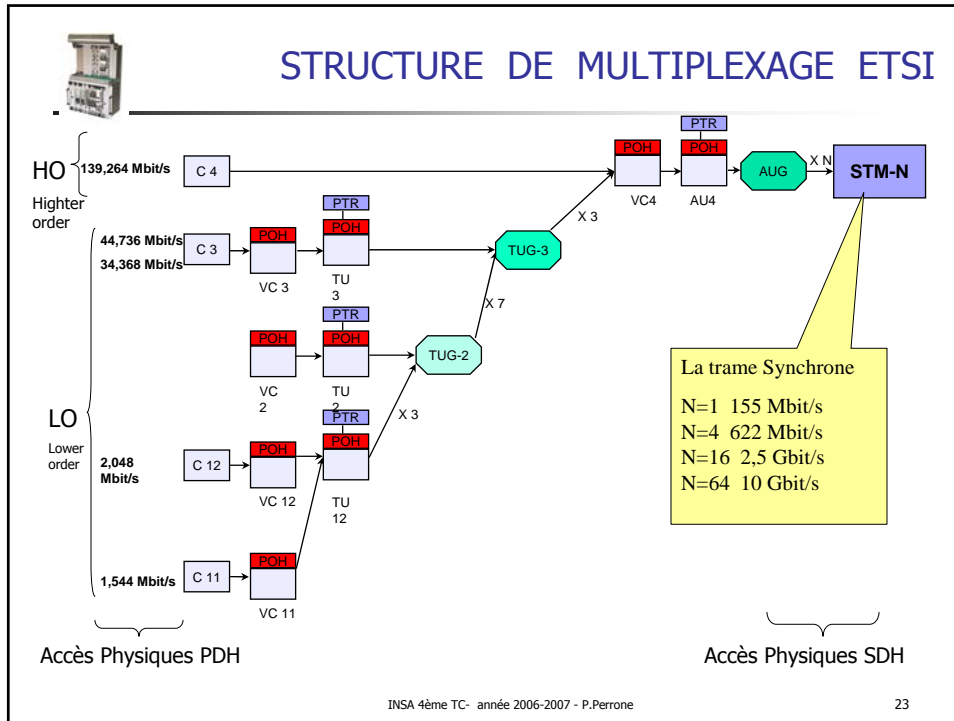
de la PDH à la SDH

- Pour palier les inconvénients de la PDH
 - Non visibilité
 - Absence de normalisation
 - Absence de flexibilité
 - Absence d'aide à l'exploitation
 - Absence de gestionnaire
- Définition d'une nouvelle hiérarchie : SDH
 - S'inspirant du concept SONET
 - s'appuyant sur la technologie optique
 - compatible avec la PDH



STRUCTURE DE MULTIPLEXAGE UIT





Conteneur et conteneur virtuel

- Mise en conteneur = projection = mapping
 - Permet la justification entre données et conteneur

Ex : mise en boîte des données d'un 140 Mbit/s

- Elaboration du VC

Le VCn est l'entité de transport de donnée à travers le réseau SDH. Il ne doit pas être modifié lors de sa prise en charge par les équipements SDH intermédiaires. Seuls les équipements destinataires d'extrémité peuvent et doivent ouvrir la « boîte »

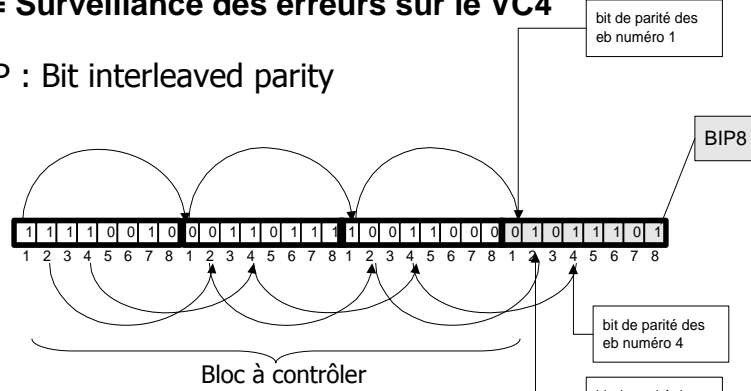
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone 24



OCTET B3

B3 = Surveillance des erreurs sur le VC4

BIP : Bit interleaved parity

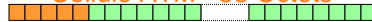


Pour le VC4 : un octet B3 contrôle 2348 octets. Il est calculé et envoyé dans la trame suivante.

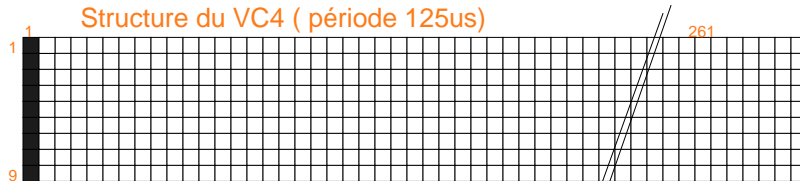


exemple : Projection de cellules ATM dans 1 VC4

Cellule ATM = 53 Octets

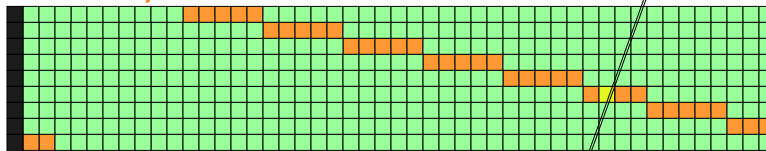


Structure du VC4 (période 125us)



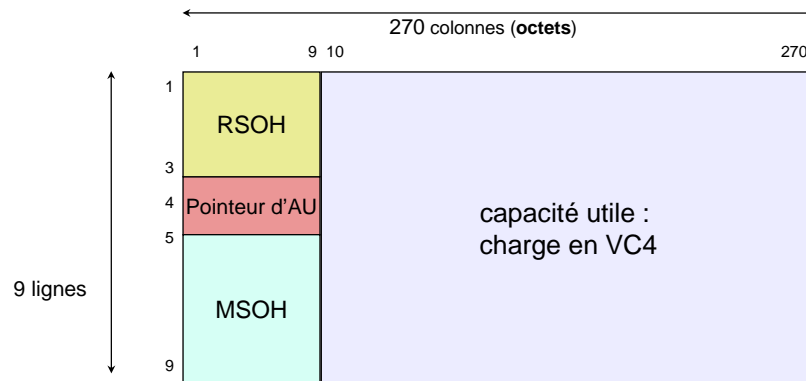
Surdébit du VC4

Projection des cellules ATM dans le VC4





la Trame STM1 et Insertion du VC4



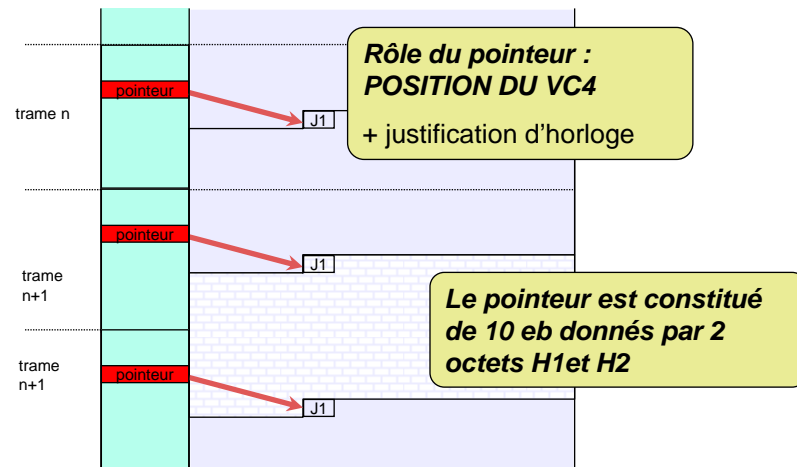
période de la trame : 125us

Débit : $270 \times 9 \times 8 \times 8000 = 155,520$ Mbit/s

Cette trame relie 2 équipements SDH en vis à vis

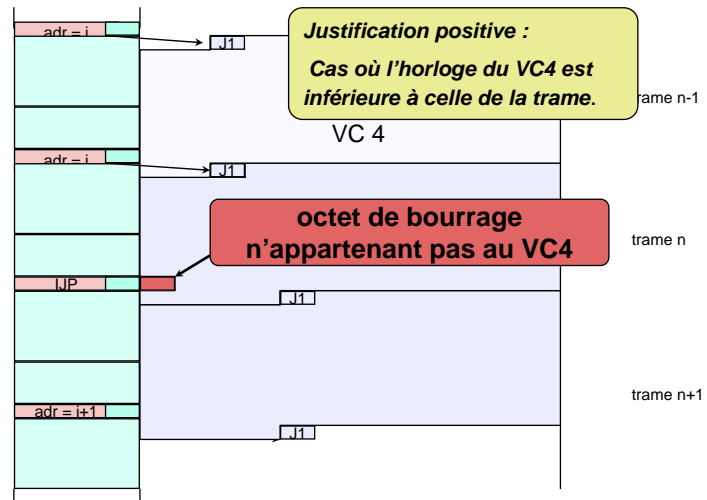


Le POINTEUR

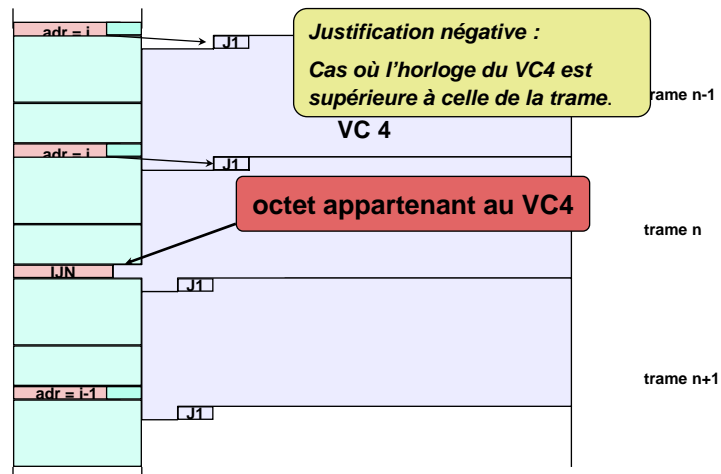




2^{ème} ROLE DU POINTEUR (1)

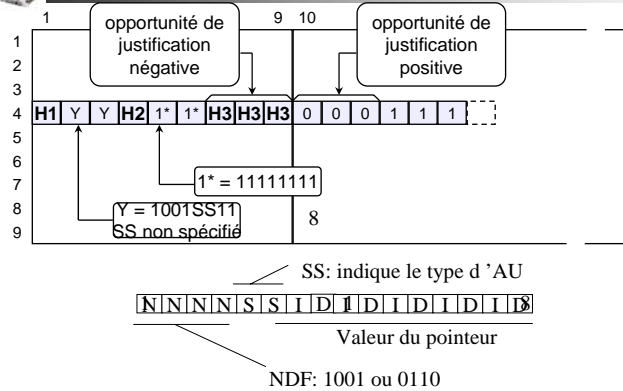


2^{ème} ROLE DU POINTEUR (2)





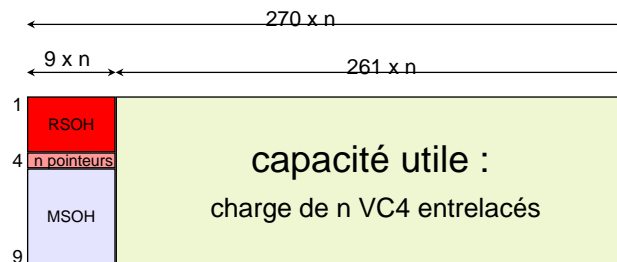
LE POINTEUR D'AU4



- Le rôle principal de l'AU4 de repérer le VC4 dans la trame STM entre 2 équipements SDH adjacents.



La Trame STMn



La périodicité des trames STM-n est toujours de 125 us

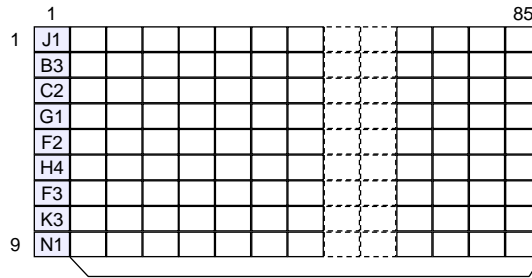
Débit : $n \times 270 \times 9 \times 8 \times 8000$
 Si $n=1$ Débit = 155,520 Mbit/s
 Si $n=64$ Débit = 9953,28Mbit/s



Prise en charge des conteneurs virtuels d'ordre inférieur

Rappel de la capacité de transport d'un VC4 :

3 VC3
 ou 2 VC3 + 21 VC1x
 Ou 1 VC3 ou 42 VCx



C3

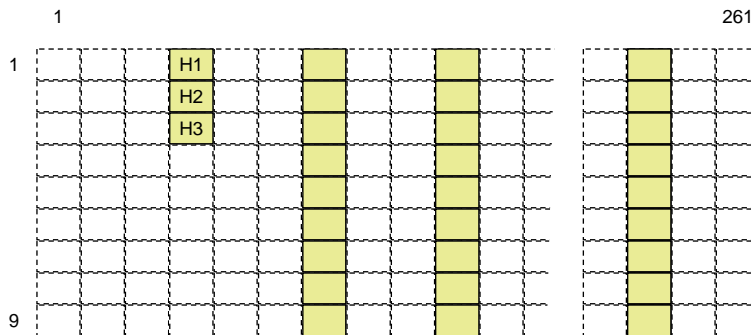
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

35



Constitution du TU3 / TUG3

TUG3 = emplacement du TU3 dans le VC4

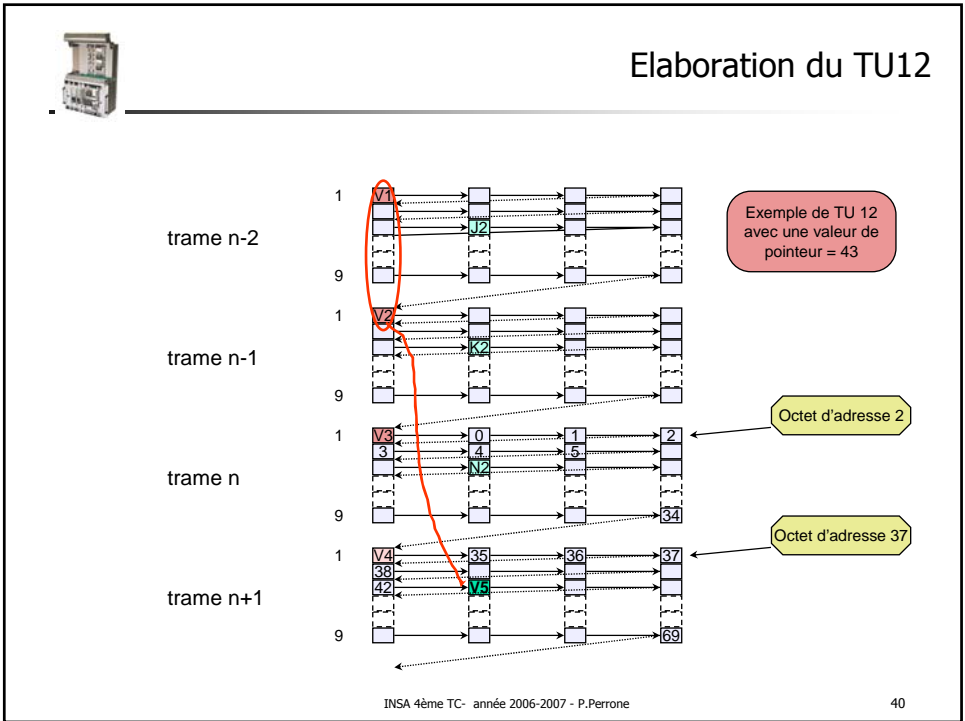
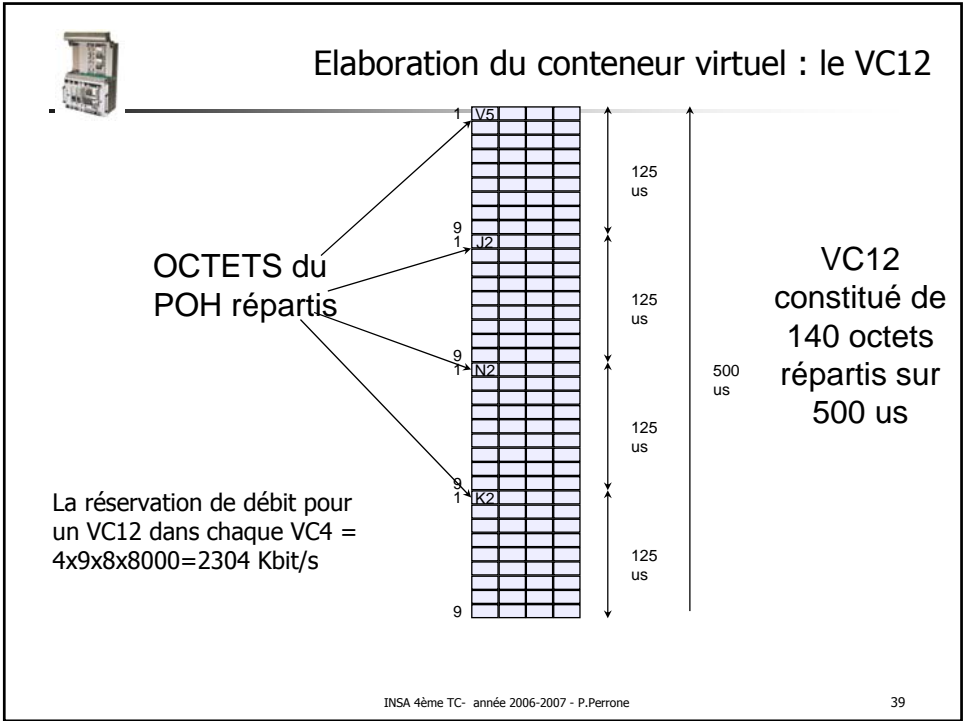


 Octets du TU3

Si H1 et H2 ≠ Nul Pointer indication alors présence d'un VC3

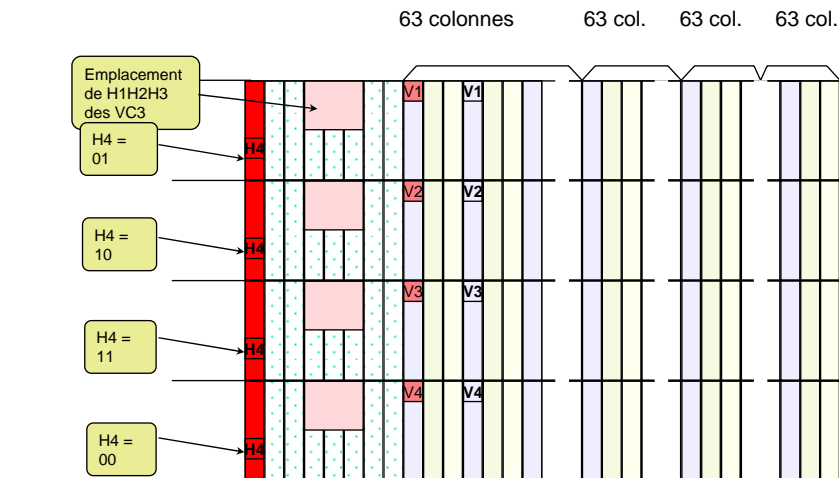
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

36





Insertion des TU12 dans un VC4



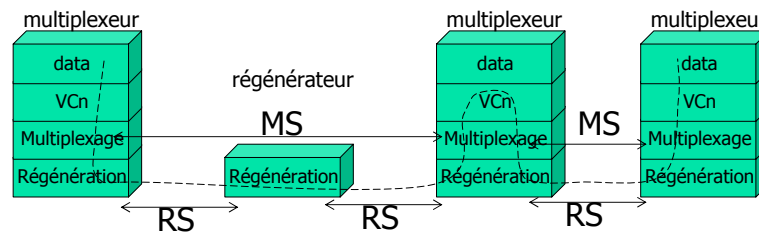
numérotation d'un TU12 dans VC4 donnée par KLM :
K n° TUG3, L n° TUG2, n° TU12

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

41



Sections de multiplexage et de régénération



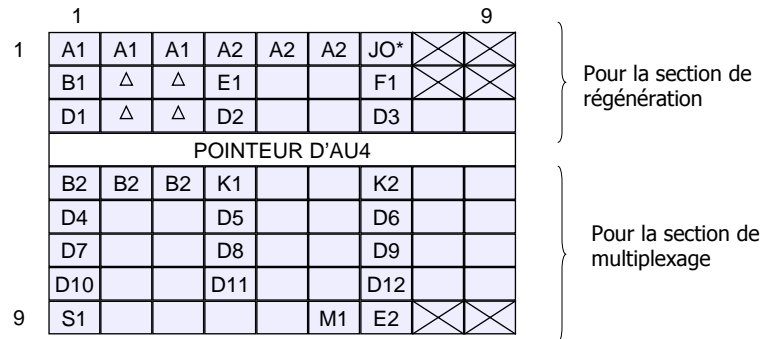
- RS : Section de régénération
 - fonction principale : régénérer le signal, gérer le RSOH (mot de synchronisation, la qualité du signal en ligne entre deux équipements en vis-à-vis) puis donner le reste des données à la couche supérieur : la section de multiplexage
- MS : Section de multiplexage
 - fonction principale : gérer le MSOH élaboré entre 2 équipements de multiplexage (Qualité, état de la section, protection) puis donner le reste de la trame à la couche gérant les VC d'ordre supérieur (VC4 en ETSI)

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

42



SURDEBIT DE SECTION DU STM1



A1A2 : mot de verrouillage trame

B1, B2, M1: contrôle de qualité des sections de régénération et de multiplexage

Dn : canaux de données entre régénérateurs ou multiplexeur

E1, E2, F2 : canaux de donnée pour l'exploitation

S1 : état de la synchronisation



Types d'interface SDH

■ Interface électriques

- Sur paires coaxiales pour des courtes distances <90m (intracentre) et pour le STM1 uniquement

■ Interfaces optiques

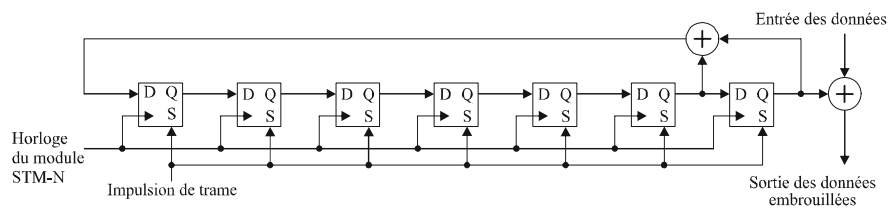
- Plusieurs types d'interfaces en fonction de la portée optique, du débit de la trame et de la longueur d'onde utilisée 1,3µm et 1,55µm , Codifiée par une lettre suivie de 2 chiffres ex L16.1

Type d'application	Système	Longueur d'onde nominale
I=Intra centre	1 = STM 1	1 = 1310 nm (G652)
S=Short hand	4 = STM4	2 = 1550 nm (G652 ou G654)
L=Long hand	16 = STML16	3 = 1550 nm (G653)
	64 = STML 64	



Codage en Ligne

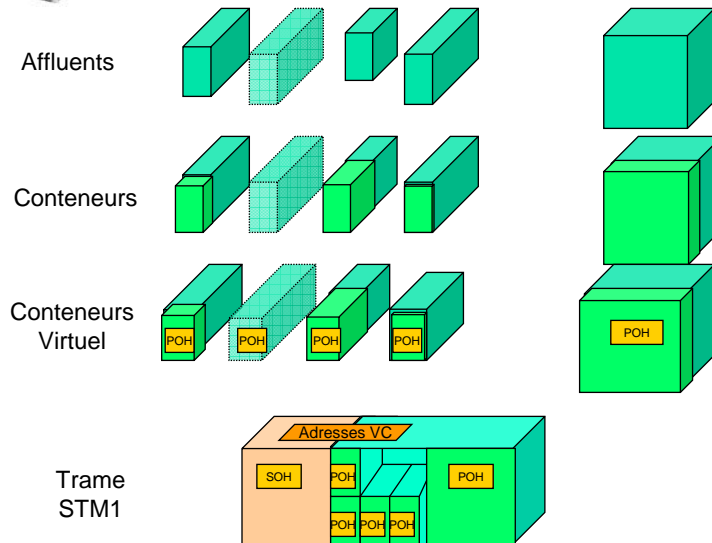
- Le codage en Ligne pour toutes trame STMn : NRZ d'où la présence d'un embrouilleur nécessaire pour éviter les suites de « zéros ou de 1 » incompatibles en transmission synchrone où le résultant peut se synchroniser sur le signal reçu.
- Tous les octets de la trame sauf les octets A1A2 (verrouillage de la trame) passent dans l'embrouilleur



G.707-Y1322_F6-10



Illustration du multiplexage synchrone





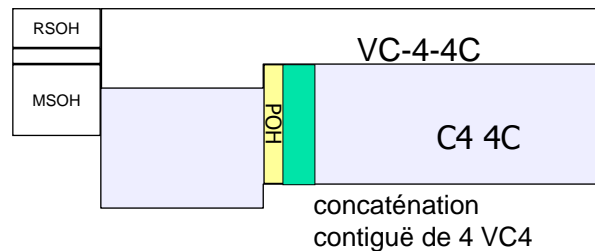
Concaténation

- But de la concaténation : Assurer le transport de débit de modularité n VCi et notamment des débits $> VC4$. Cela permet ainsi d'offrir une modularité plus fine des débits offerts.
- En Associant la charge utile de n VC
- Exemples
 - pour transporter une liaison Ethernet à 10Mbit/s 5 VC12 seront associés
 - Pour transporter une liaison GigaEthernet 7 VC4 seront nécessaires
- 2 types de concaténation sont définis
 - La concaténation contiguë
 - La concaténation virtuelle



Concaténation contiguë

- Les VC sont « liés » dans la même trame.
- Ex pour dans une trame STM4 de concaténation de 4 VC4



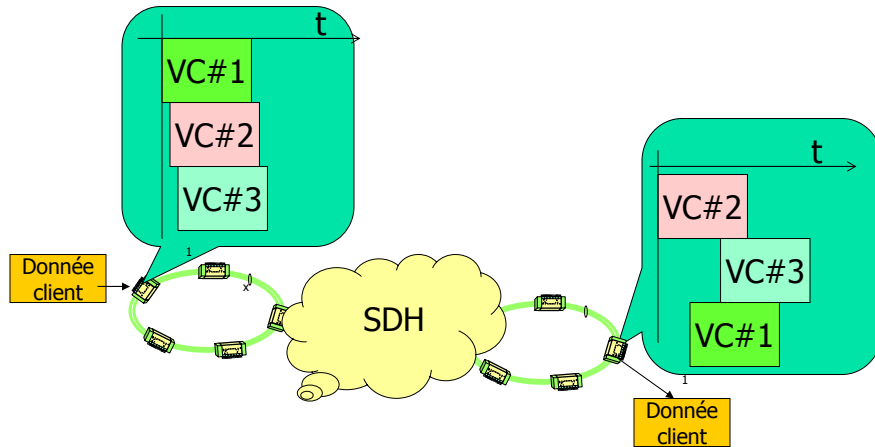
Repérage : Le premier pointeur « actif », les 3 autres = 1001SS111111111

Débit du conteneur C4 4C : $260 \times 4 \times 8 \times 8000 \times 9 = 599 \text{ Mbit/s}$

Inconvénient : nécessite la capacité requise dans tous les équipements du réseau. C'est donc le réseau qui gère cette fonction



Concaténation virtuelle

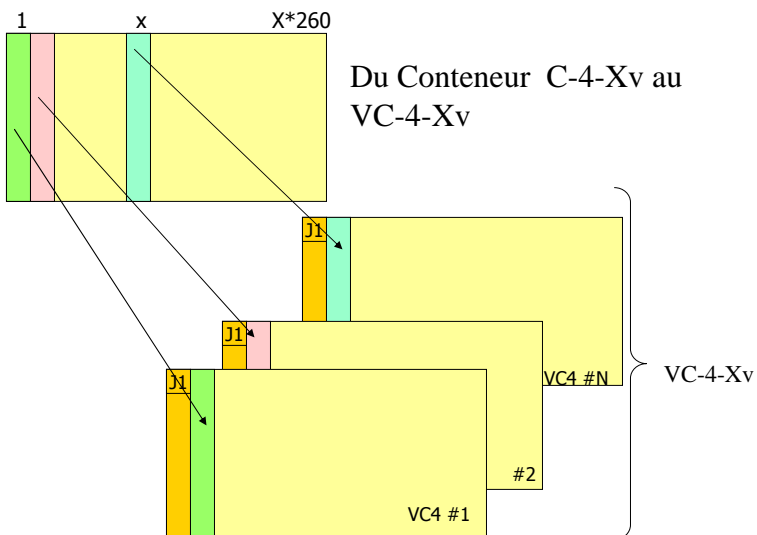


Avantage : la capacité peut être répartie sur le réseau; Ce sont les équipement d'extrémité qui gèrent cette fonction.

Inconvénient : nécessite un processus réaligement (création d'une multitrame)

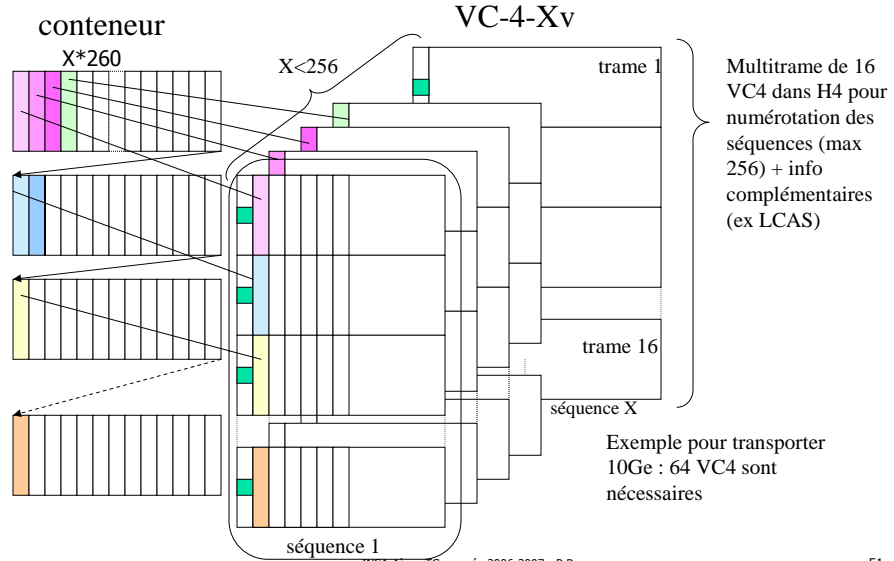


Concaténation virtuelle

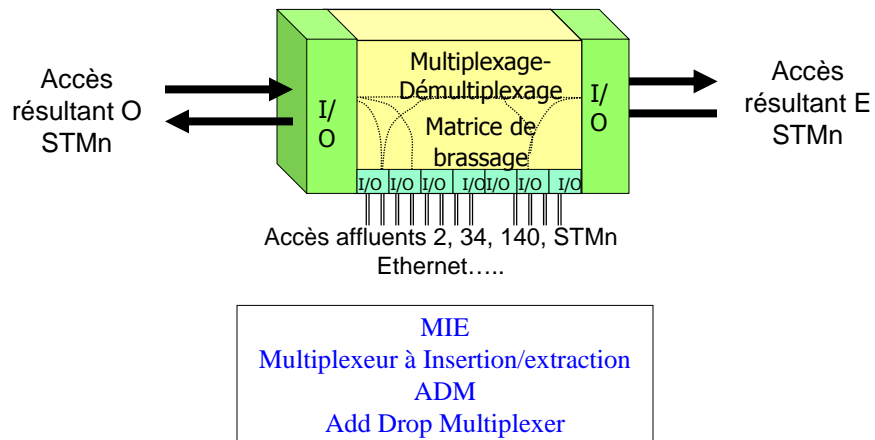




Multiframe pour Concaténation virtuelle

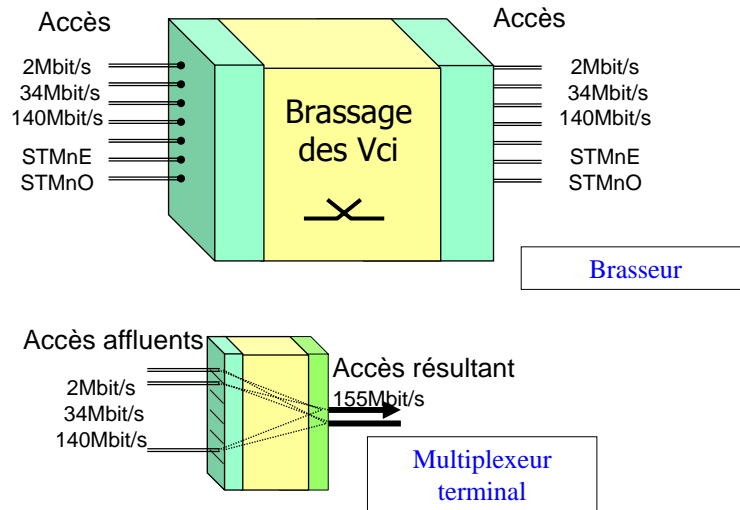


Les principaux équipements de multiplexage synchrone (1)





Les principaux équipements de multiplexage synchrone (2)

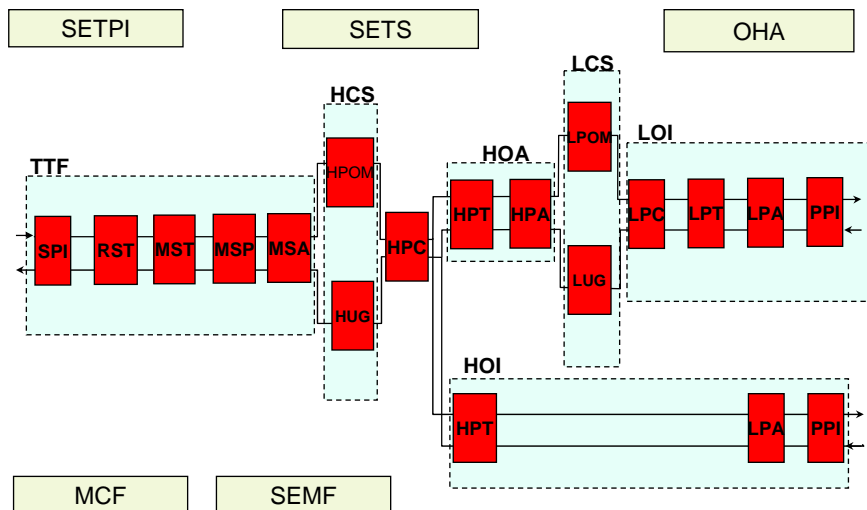


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

53



Description par blocs fonctionnels



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

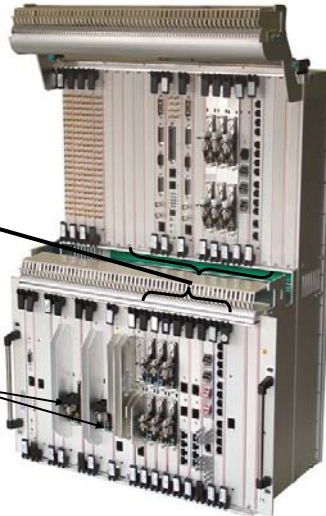
54



Un exemple : Alcatel 1660

Alvéoles banalisée pour accès affluents

Accès résultants optiques

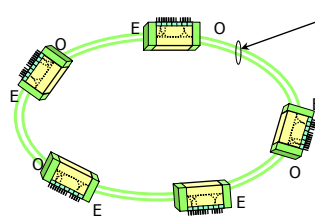


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

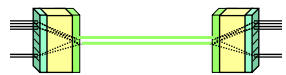
55



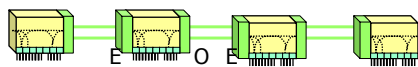
Topologies de réseau SDH



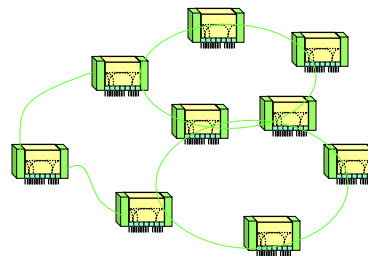
2 fibres optiques
L'anneau bidirectionnel
(Le débit est identique sur tout l'anneau. Ex anneau STM16)



Le point à point



Le bus



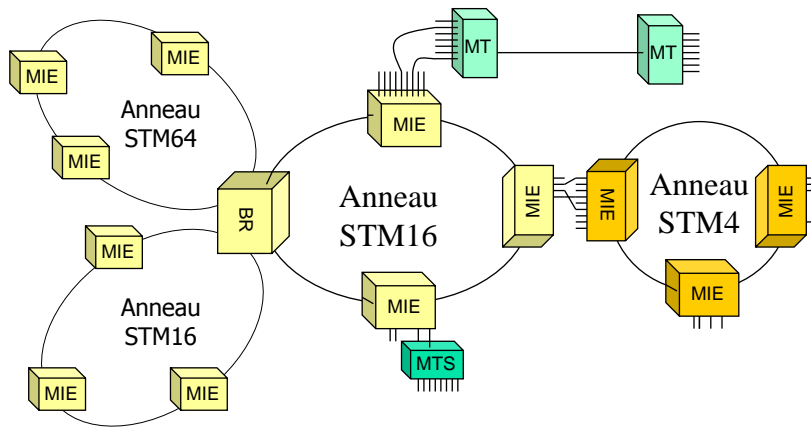
Réseau maillé

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

56



Interconnexion d'équipements SDH



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

57

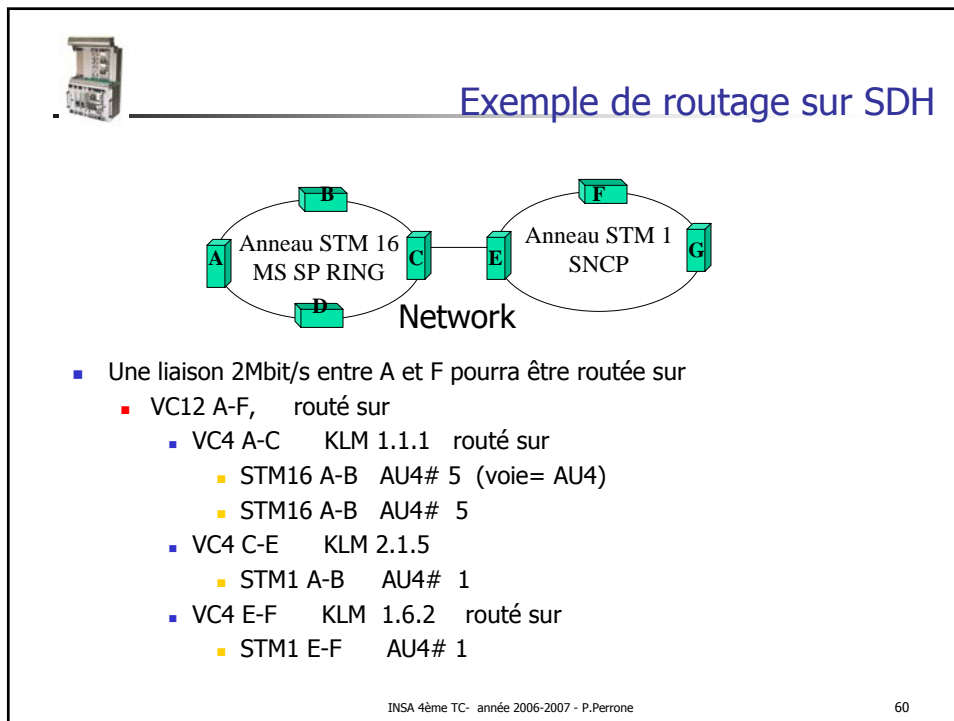
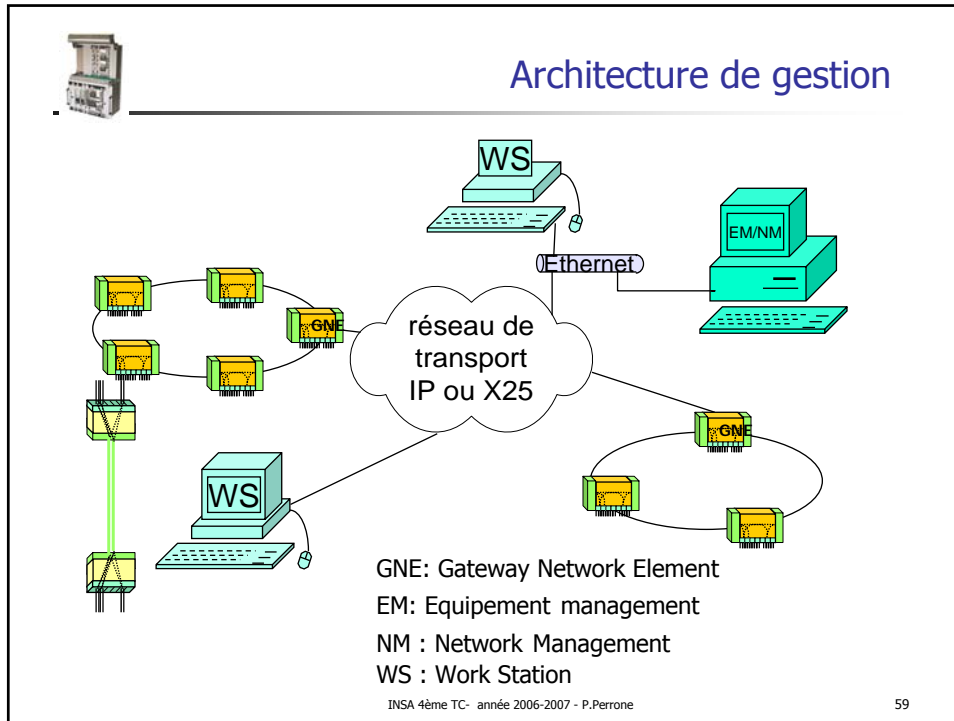


Gestion des équipements et réseau SDH

- Décomposition en 2 niveaux de gestion
- Gestion des équipements
 - Configuration des équipements
 - Visualisation et gestions des alarmes
 - Analyse de la qualité équipement
- Gestion réseau
 - Construction des conduits et de leur protection
 - Gestion des protections
 - Analyse de la qualité du réseau
- Porté par des machines informatiques type serveur

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

58



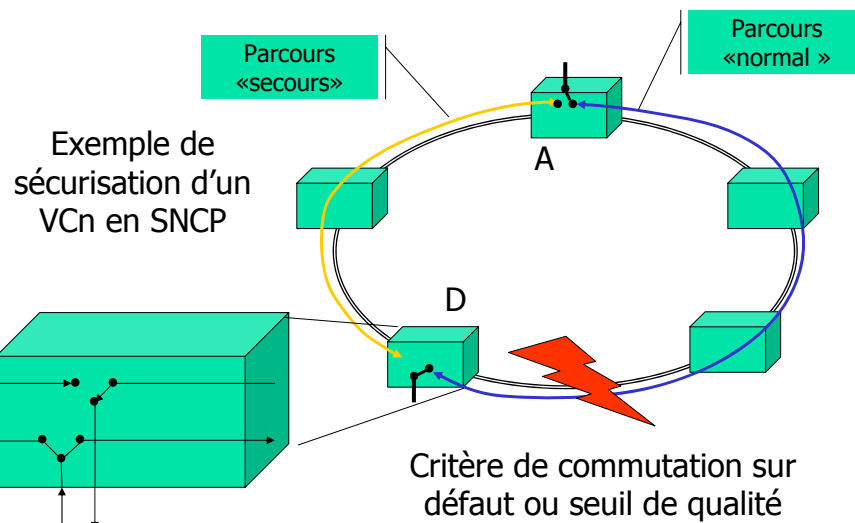


Types et principes de protection

- La SDH a fortement développé la fonction protection qui se décline sous 3 modes
- Protection de conduits SNCP
- Protection de section MSP
- Protection MS SP RING



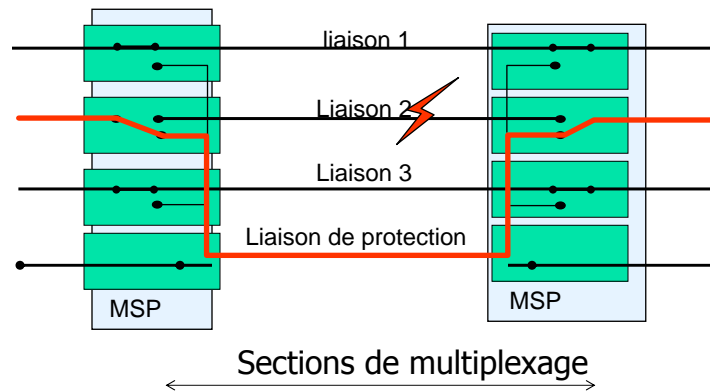
Principe de protection de conduit : SNCP





Sécurisation de section : MSP

Condition d'utilisation de la protection de section :
existence de la fonction MSP commune à plusieurs
sections de multiplexage



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

63

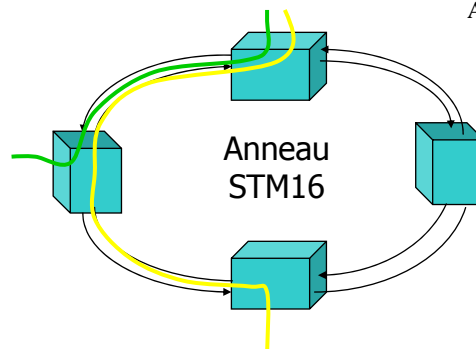


Principe de protection MS SPRING (1)

- Sur chaque section la moitié des AU4 est réservée pour la protection.
- Le routage se fait au plus court

AU4 1 à 8 pour trafic

AU4 9 à 16 pour secours



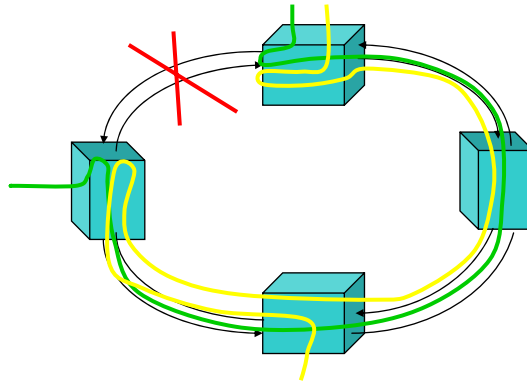
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

64



Principe de protection MS SPRING (2)

- Permet une meilleure occupation de l'anneau / SNCP
- Dialogue de gestion de la sécurisation porté par K1K2



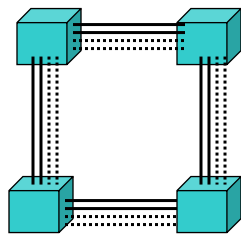
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

65



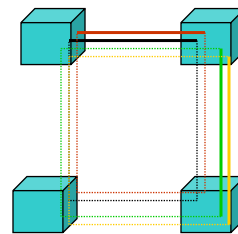
Comparatif SNCP/MS SPRING

Exemple sur anneau STM4



Protection MS SPRING

Possibilité de créer 8
VC4



Protection SNCP

Possibilité de créer 4
VC4

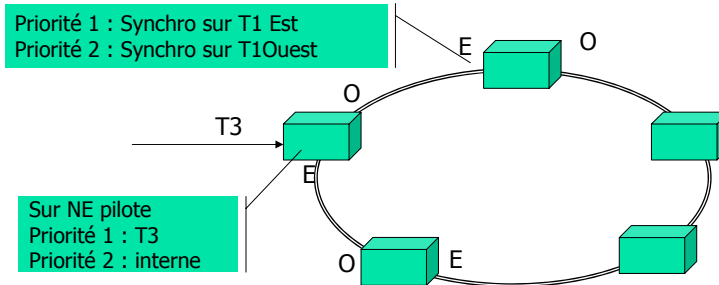
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

66



Synchronisation en SDH

- Sur un équipements SDH
 - T0 : Horloge interne
 - T1 : Horloge issue de résultant STMn
 - T2 : Horloge issue d'affluent PDH
 - T3 : Horloge issue de signal de synchronisation de référence
 - T4 : sortie d'horloge
- Utilisation de l'octet S1 sur un anneau pour éviter les boucles de synchronisation



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

67



Evolution de la SDH : SDH NEXT GENERATION

- Ou l'adaptation d'un réseau synchrone au transport de services « asynchrone » et variable en bande passante (débit) dans le WAN demandé par l'IP, l'Ethernet
 - Nécessité d'évolution du fait de l'omniprésence de cette technique dans les réseaux de transport
 - POS
 - Concaténation virtuelle et LCAS
 - GFP
- SDH
NEXGEN

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

68



POS - PPP over SONET/SDH

- RFC 2615 remplace le RFC 1619
- SDH est adaptée à PPP
- POS utilisé pour les liaisons directes entre gigarouteur

IP

datagramme

PPP

Prot datagramme stuff

RFC
2615

Prot datagramme stuff FCS intertrame

↓ scrambling

VC n

C2= 16, H4=0

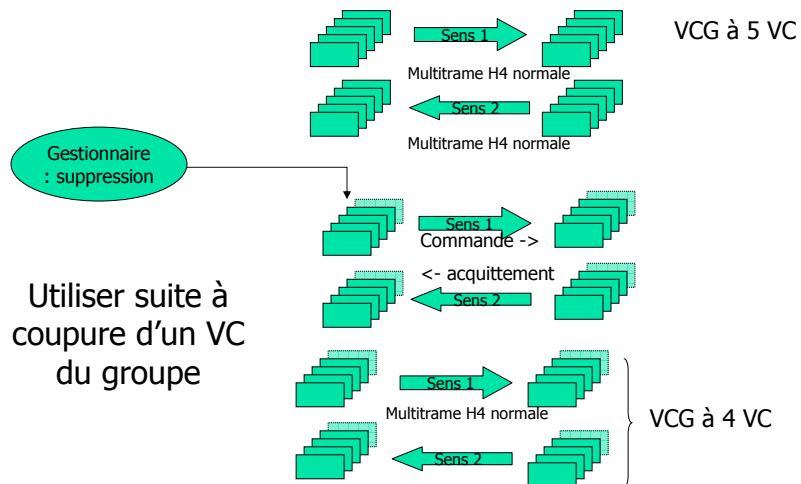


Système d'ajustement de liaison : LCAS Link Capacity Adjustment Scheme

- Permet de s'adapter au débit client par variation de la capacité d'un groupe de conteneur concaténé par suppression ou ajout de VC.
- La variation de la capacité est gérée par un système de gestion « extérieur » aux équipements support des liaisons
- LCAS : mécanisme de commande pour construire ou déconstruire des conduits de bout en bout. Les paquets de commande sont supportés par la multitrame H4
- Permet la suppression temporaire de liaisons membres ayant subi une panne ou de les rétablir après disparition de la panne
- Gestion indépendante des sens de transmission



LCAS : Illustration



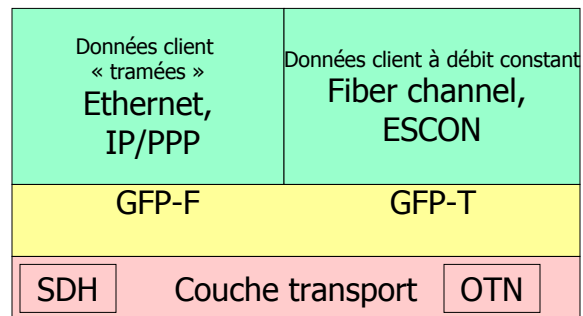
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

71



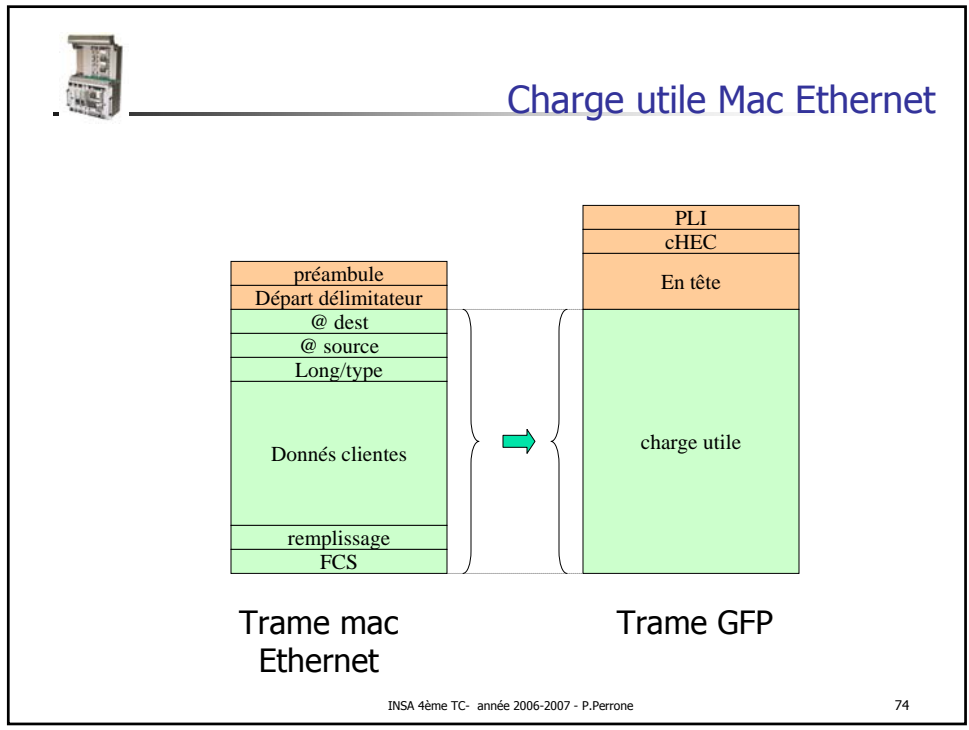
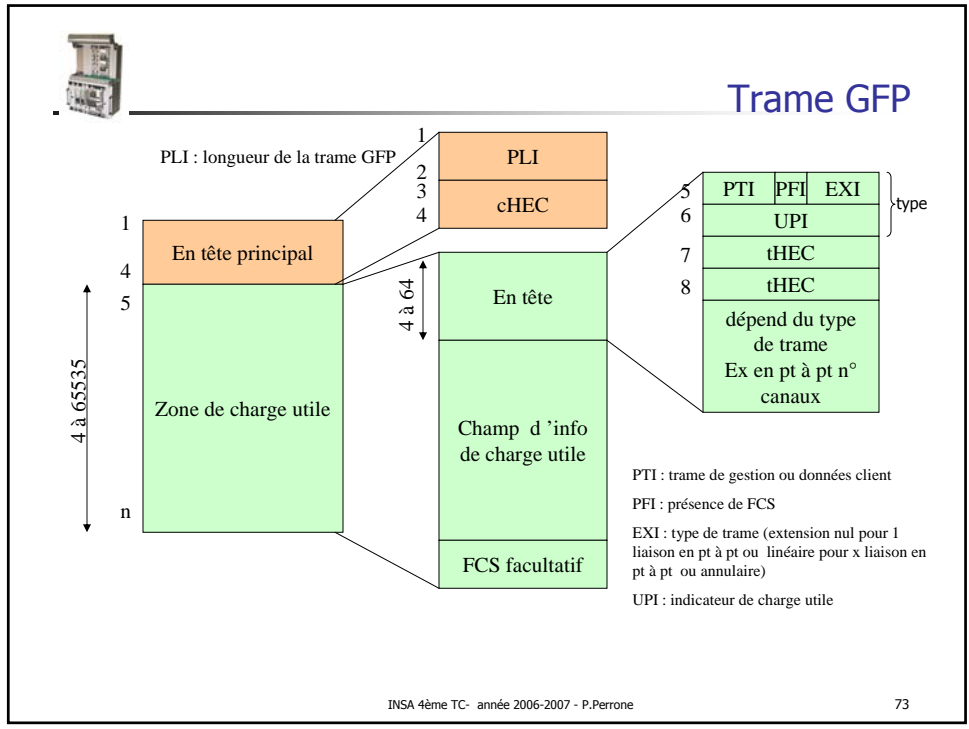
Procédure générique de tramage : GFP

- Recommandation G.7041/Y.1303
- Adaptation du trafic de signaux clients de couche supérieure à un réseau de transport



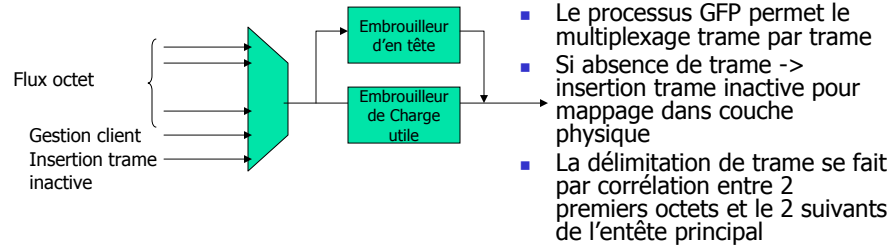
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

72

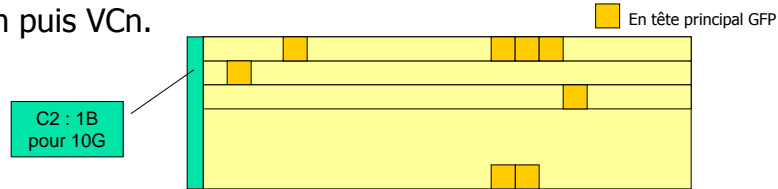




Multiplexage de trame GFP

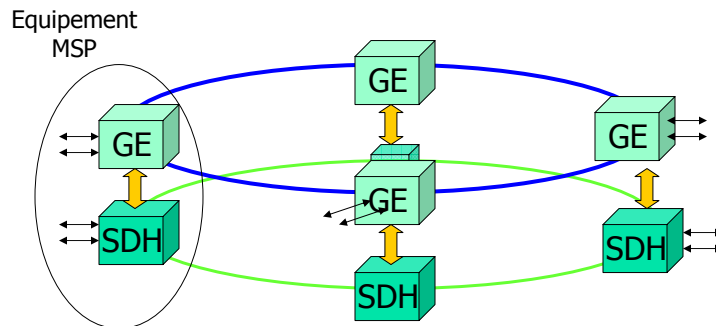


■ Chaîne de trames GFP mappées dans un conteneur SDH Cn puis VCn.



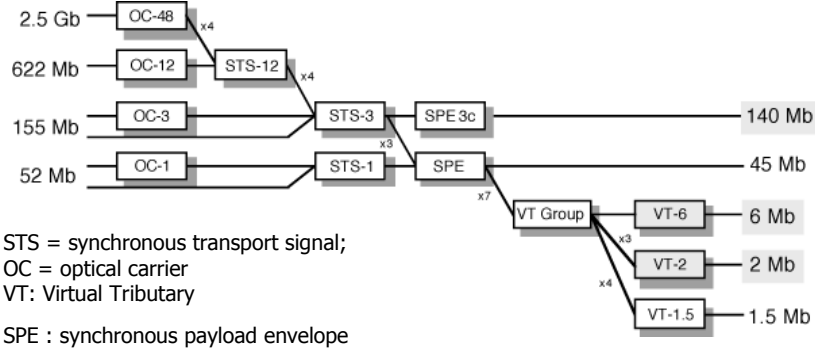
Evolution des équipements SDH

- Influence des MAN (transport de l'Ethernet)
- Equipements MSP





SONET Multiplexing



SONET		SDH	Data Rates
STS-1	OC 1		51.840 Mbps
STS-3	OC 3	STM-1	155.520 Mbps
STS-12	OC 12	STM-4	622.080 Mbps
STS-48	OC 48	STM-16	2,488.320 Mbps
STS-192	OC 192	STM-64	9,953.280 Mbps

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

77



RECOMMANDATIONS UIT-T DE LA SÉRIE G

- **CARACTÉRISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION**
 - Généralités G.600–G.609
 - Paires symétriques en câble G.610–G.619
 - Câbles terrestres à paires coaxiales G.620–G.629
 - Câbles sous-marins G.630–G.649
 - Câbles à fibres optiques G.650–G.659
 - Caractéristiques des composants et sous-systèmes optiques G.660–G.699
- **EQUIPEMENTS TERMINAUX G.700–G.799**
 - Généralités G.700–G.709
 - Codage des signaux analogiques en modulation par impulsions et codage G.710–G.719
 - Codage des signaux analogiques par des méthodes autres que la MIC G.720–G.729
 - Principales caractéristiques des équipements de multiplexage primaires G.730–G.739
 - Principales caractéristiques des équipements de multiplexage de deuxième ordre G.740–G.749
 - Caractéristiques principales des équipements de multiplexage d'ordre plus élevé G.750–G.759
 - Caractéristiques principales des équipements de transcodage et de multiplication numérique G.760–G.769
 - Fonctionnalités de gestion, d'exploitation et de maintenance des équipements de transmission G.770–G.779
 - Caractéristiques principales des équipements de multiplexage en HNS G.780–G.789
 - Autres équipements terminaux G.790–G.799
 - RÉSEAUX NUMÉRIQUES G.800–G.899
 - SECTIONS NUMÉRIQUES ET SYSTÈMES DE LIGNES NUMÉRIQUES G.900–G.999

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

78



Techniques de transport haut débit

- Les services transportés
- Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET
- L'ATM; IP/MPLS
- Optique et WDM
- L'OTH



L'ATM

- Pourquoi l'ATM
- La cellule ATM
- Le modèle de référence ATM
- Les services ATM : CBR, VBR..
- Le réseau ATM
- Les équipements ATM

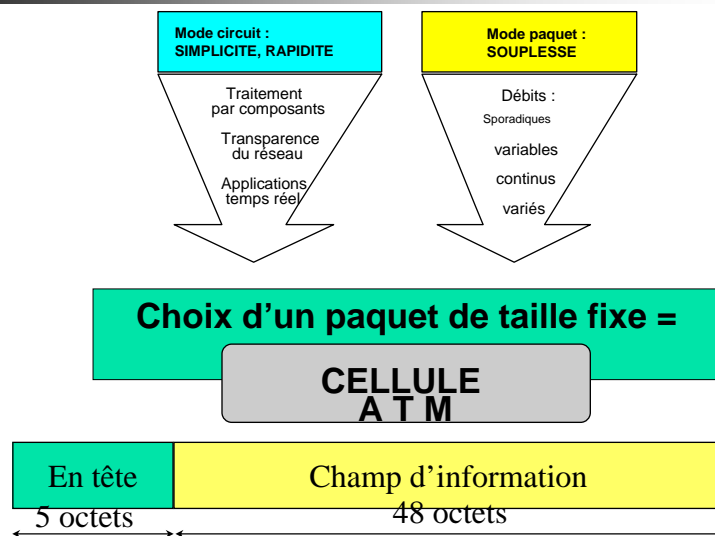


Modes de transfert existants

- Mode circuit
 - Avantages : simplicité du protocole de transfert, transparence du réseau, allocation de ressources dédiées et garanties, très bonne adaptation aux applications temps réel à débit fixe.
 - Inconvénients : débit unique fixé par le réseau, ressources non partagées
- Mode paquet
 - Avantages : souplesse en débit, ressources partagées
 - inconvénients : complexité liée aux protocoles, inadaptation aux applications temps réel à débit fixe, débits limités



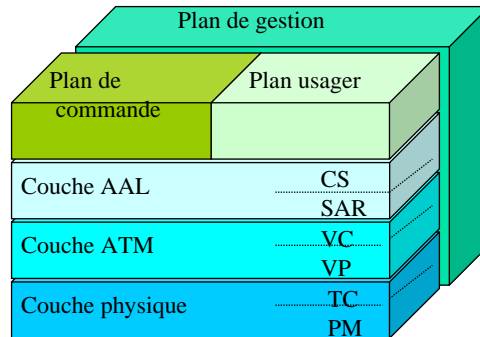
Le mode de transfert ATM : un compromis





DEFINITION I.113 et modèle de référence

- définition : mode de transfert dans lequel les informations sont transférées au moyen de cellules étiquetées. Il est asynchrone parce que la récurrence des cellules contenant des informations provenant d'un même utilisateur n'est pas nécessairement périodique. (I.113)

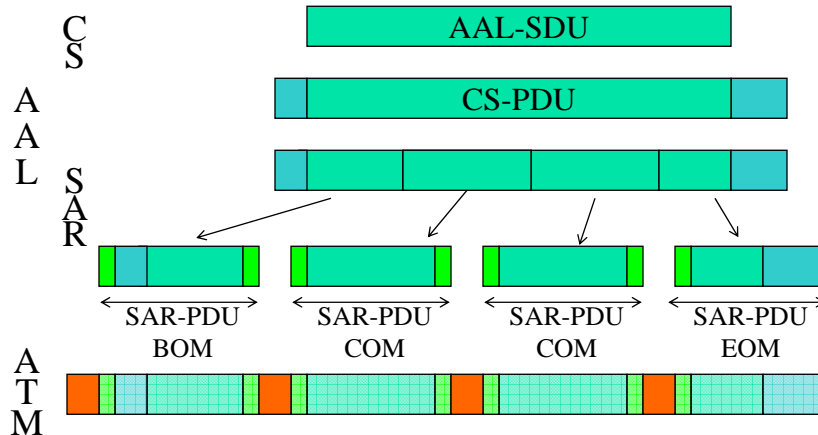


Les plans

- Plan usager
 - assure le transfert des informations de l'utilisateur
- plan gestion
 - gestion des couches
 - gestion des plans
- plan de contrôle
 - traite de la signalisation nécessaire à l'établissement, la supervision et la libération des connexions



L'unité de données à travers les couches



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

85



couche physique

- sous couche PM (physical média): fonctions dépendantes uniquement du support physique.(PDH, SDH)
- sous couche TC (transmission convergence): fonctions nécessaires à la transformation d'un flux de bit en flux de cellules
 - adaptation à la trame transmission
 - cadrage cellule
 - génération de l'HEC (5^{ème} octet de l'en-tête) et vérification des 4 premiers octets l'en-tête des cellules
 - découplage du débit des cellules

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

86



Couche ATM

- Multiplexage / démultiplexage de cellule
- Génération/extraction de l'en-tête de cellule
- Traduction des VPI et VCI
- Établissement des connexions virtuelles et acheminement des cellules
- Insertion / extraction d'informations de maintenance



Identification des cellules

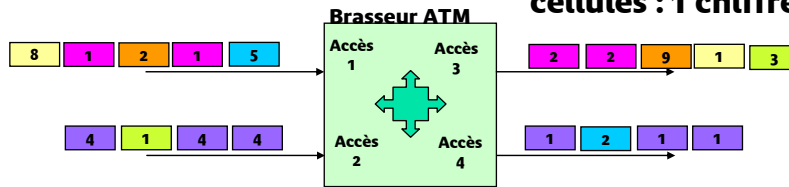
- Ce n'est PAS une adresse
- L'entête = identification d'une cellule assurant le transfert d'information d'une même connexion sur un support de transmission
- Sur un support toutes les cellules d'une même connexion auront le même entête
- Elle peut être modifiée à chaque changement de support



Routage avec identification à 1 niveau

Une couleur : Une liaison

Identification des cellules : 1 chiffre



Liaison	N°Accès/N°cellule	N°Accès/N°cellule
	1/8	3/1
	1/1	3/2
	1/2	3/9
	1/5	4/2
	2/4	4/1
	2/1	3/3

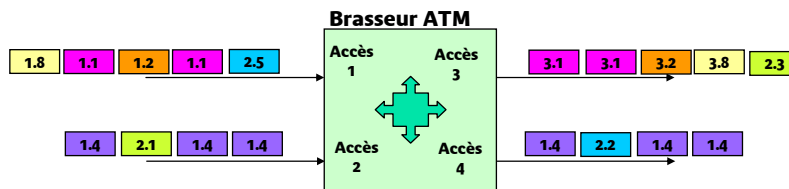
Table de routage à 6 lignes



Routage avec identification à 2 niveaux

Une couleur : Une liaison

Identification des cellules : 2 chiffres

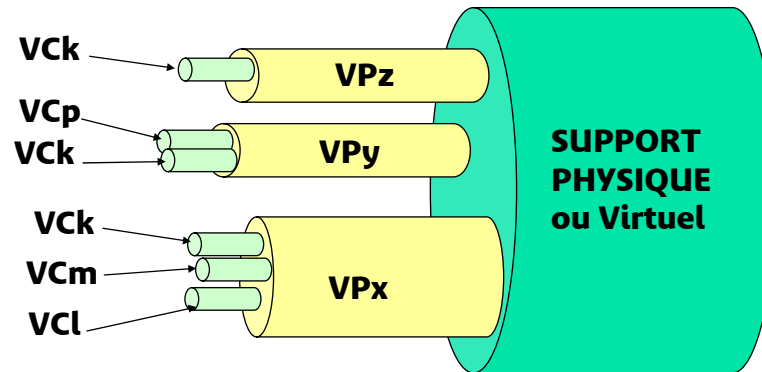


Liaison	N°Accès/N°cellule	N°Accès/N°cellule
	1/ 1.x	3/ 3.x
	1/ 2 .5	4/ 2.2
	2/ 1.4	4/ 1.1
	2/ 2.1	3/ 2.3

Table de routage à 4 lignes



Illustration des liaisons « virtuelles » ATM



Identification des cellules de la même liaison = VCI + VPI



Routage des cellules

- Le transfert des cellules ne peut se faire qu'après établissement d'un « chemin » à travers le réseau. (mode connecté)
- Ce chemin peut être permanent ou provisoire.
- le plan de contrôle assure la mise en place de la connexion ainsi que sa supervision.
- Format d'entête





Couche AAL

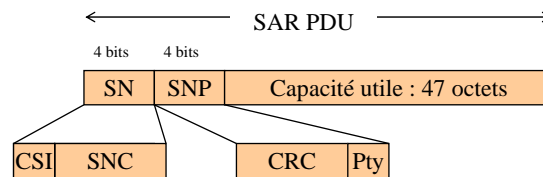
- Couche d'adaptation ATM
- Assure la correspondance entre les données client et la couche ATM
- Différentes types de couche dépendent des services demandés par le client
- Assure la qualité de service choisie par les couches supérieures (QoS) en fonction de critères tels que le débit/le temps/le mode de connexion .

Type	AAL 1	AAL2	AAL3/4	AAL5
Relat temporelle	avec	avec	sans	sans
Débit client	continu	variable		
connexion	avec	avec	Avec ou sans	
application	Voie, émulation de circuit	vidéo	IRLE, transfert fichiers	



I 'AAL-1

- Services fournis par I 'AAL-1
 - Le transfert de données au débit et avec l'horloge client
 - Compensation des variations du temps de propagation
 - Transferts d 'information de structure de trame
 - indication éventuelles d 'information perdues
- AAL-1 : sous couche SAR

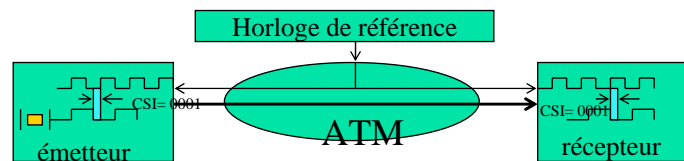


CSI : convergence sublayer information
 SNC : Sequence number countes fourni par CS
 SNP :sequences number protection
 Pty : Parity bit



Deux utilisations du champ CSI

- pour la synchronisation des extrémités par appelée méthode RTS (résiduel Time Stamp)
 - Codage sur les CSI des 4 cellules impaires
 - Codage de la différence d'horloge de la source par rapport à l'horloge de référence du réseau

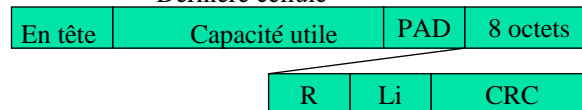


- indication du transport de blocs de données structurées

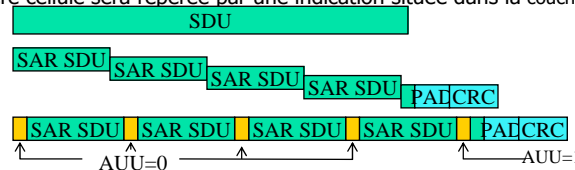


l'AAL5

- Assure le transport en mode connecté de flux de données de longueur variable jusqu'à 65535 octets.
- Version simplifiée de l'AAL3/4: protocole AAL fortement réduit
- La sous couche CS
 - 8 octets sont rajoutés à la SDU, complétés par du bourrage (padding) pour la modularité de 48 octets



- La sous couche SAR
 - Caractérisée par une absence de protocole
 - la dernière cellule sera repérée par une indication située dans la couche ATM (AAU)



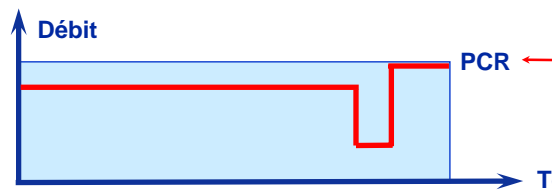


Les plus de l'ATM

- **Souplesse en débit : Granularité des connexions**
 - De 0,5 à 2 Mbit/s : pas de 0,5Mbit/s
 - De 2 à 34 Mbit/s: pas de 1 Mbit/s
 - De 34 Mbit/s et plus : pas de 2 Mbit/s
- **La QOS**
 - L'ATM défini un certain nombre de classes de services auxquelles se rattachent des paramètres qui catégorisent des trafics ATM liés aux applications .
 - * Classes
 - CBR . Constant Bit Rate : Connexion à débit constant
 - VBR . Variable Bit Rate : Connexion à débit variable
 - UBR . Unspecified Bit Rate : connexion à débit non spécifié
 - * Paramètres
 - PCR . Peak Cell Rate : Valeur maximale du débit envisagée
 - MCR . Minimum Cell Rate : Débit minimum acceptable
 - SCR . Sustainable Cell Rate : Débit moyen (souhaité) en VBR



Le service CBR (Constant Bit Rate)



Usage => Applications à fortes contraintes «temps réel» : voix, vidéo

Applications nécessitant une qualité de service élevée : transport fiable de données à haut débit (IP sécurisé, backup informatique...)

Paramètres de trafic :

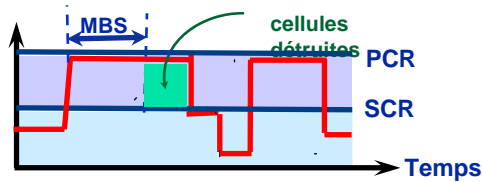
Peak Cell Rate => débit crête

Paramètre de QS :

Cell Delay Variation => gigue de cellules



Le Variable Bit Rate-non real time (type 1)



$PCR/SCR \leq 2$
 $MBS_{max} = x \text{ cellules}$

Usage => Applications de transfert de données sans exigences fortes de « temps réel », trafic variable ou sporadique : interconnexion de LAN, images dans fichiers données, applications multi-média et TCP/IP

Paramètres de trafic

Sustainable Cell Rate => débit garanti ou « soutenu »

Peak Cell Rate => débit crête

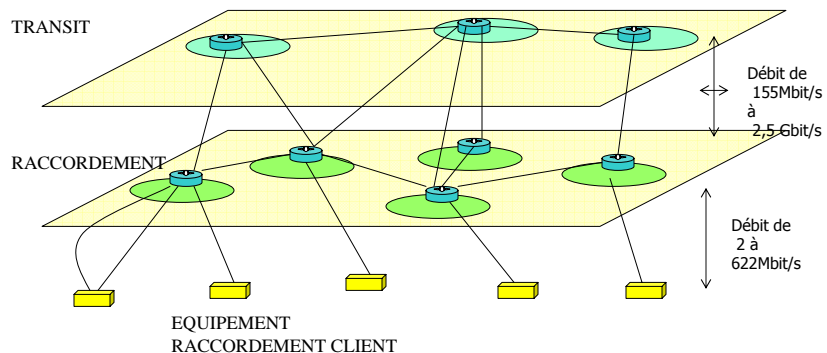
Maximum Burst Size => taille maximum des rafales

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

99



Architecture du réseau ATM



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

100



Les équipements raccordement clients

- Raccordement Réseau:
 - Boucle locale cuivre
 - conduits à 2 à 8 Mbit/s
 - Boucle locale optique
 - Conduits à 34 et 155 Mbit/s
- Raccordement interface client
 - Ethernet, FastEthernet, G703, G657...



Les équipements réseau : brasseurs ATM

- Brasseur de raccordement
 - 12,8 Gbit/s ATM par brasseur
 - Jusqu'à 64.000 connexions (PVC, SPVC) gérées par brasseur.
 - Configuration maximale
 - - 752 ports 2 Mbit/s ou 82 ports 34 Mbit/s ou 94 ports 155 Mbit/s
- Brasseur de transit
 - 448 Gbit/s ATM par brasseur
 - Jusqu'à 768 000 connexions (PVC, SPVC, SVC,) gérées par brasseur
 - 224 ports STM1 ou 56 ports STM-4 ou 14 ports STM-16

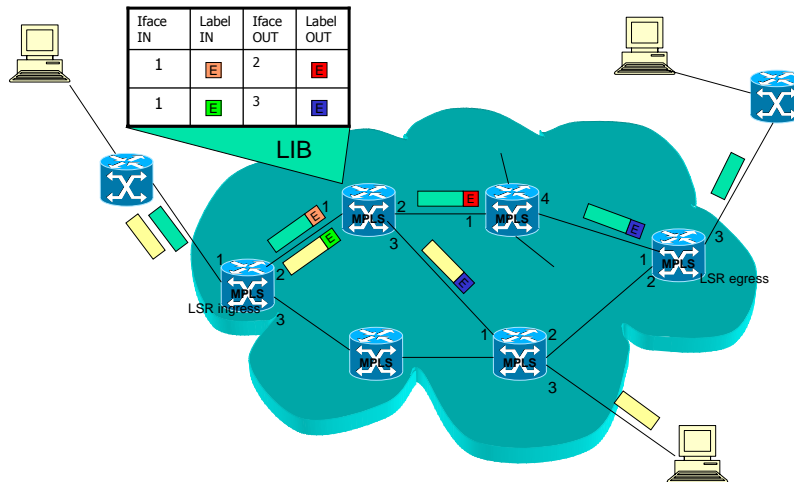


L'IP/MPLS

- Technique très récemment déployée pour la réalisation de réseau pour le transport des hauts débits (liaison de 1 GE)
- Utilise un label rajouté au datagramme IP pour s'affranchir d'un routage pas à pas ⇒ rapidité de transfert car la commutation de trame remplace le routage de paquet. Permet aussi la mise en œuvre d'une qualité de service et de la gestion de VLAN (influence de l'ATM)
- Remplacement des autres techniques synchrones (TDM) et asynchrones (ATM)



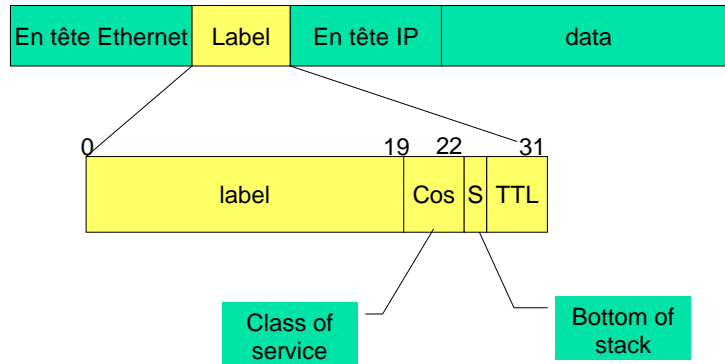
Principe du l'IP/MPLS



LIB : label Information base



Techniques d'encapsulation MPLS





Techniques de transport haut débit

- Les services transportés
- Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET
- L'ATM, IP/MPLS
- **Optique et WDM**
- L'OTH



- Technologie des câbles et fibres optiques
- Les contraintes de la transmission optique
- Le multiplexage en longueur d'onde
- Description d'un multiplexeur et d'un système WDM
- Les mesures d'un système WDM
- Ingénierie
- Etude de cas
- Les réseaux optiques



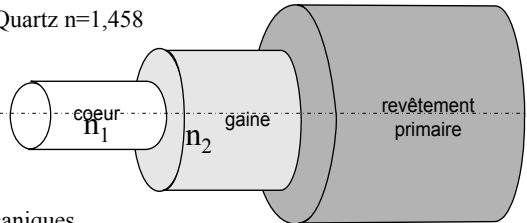
Définition : La fibre optique

Matériaux gaine :

SiO₂ silice, variété amorphe du Quartz n=1,458
+ dopant

Matériaux cœur :

SiO₂ + dopant (ex GeO₂)

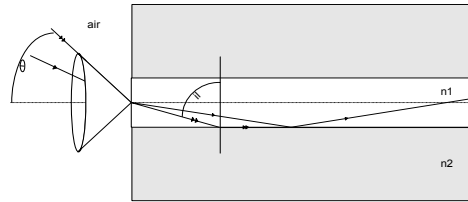


Revêtement primaire:

Amélioration des propriétés mécaniques

Rappel $n = C/V$ (v est fonction de λ)

$n \sim 1.5$



Guidage si $\alpha < \theta$

avec

$$ON = \sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

3



Qualité des verres

■ Dopants utilisés

- Germanium, phosphore accroissent n_1 (cœur)
- Bore, fluor décroissent n_2 (gaine)

	Absorption (dB/km)	Impuretés
Bouteilles	2 000 000	10kg/tonne
Vitres	200 000	1kg/tonne
Lunettes	20 000	100g/tonne
Optique	2 000	10g/tonne
fibres	0.2	10mg/tonne

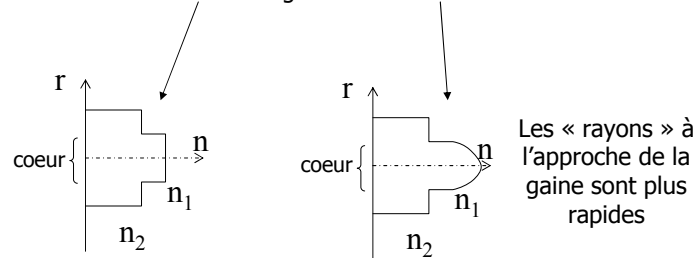
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

4



Fibres optiques multimodes

- Utilisation limitée dans les LAN et les liaisons embarquées
- Première fibre fabriquée (~1975)
- Bande passante limitée ($< 1500\text{Mhz/km}$) due aux interactions des modes de propagation (dispersion intermodale)
- Type 50/125 et 62.5/125 (\varnothing Cœur = $50\mu\text{m}$ ou $62.5\mu\text{m}$ et \varnothing gaine = $125\mu\text{m}$)
- Fibres à saut d'indices ou à gradient d'indice



Fibres optiques monomodes

- Une transmission sera monomode si $\lambda > 1.3\mu\text{m}$ et si diamètre du cœur est $< 10\mu\text{m}$
- Caractéristique d'une FO monomode
 - La longueur d'onde de coupure $\lambda_c = 2\pi a \text{ON}/2.404$
 - Affaiblissement
 - Valeur de dispersions (chromatique et PMD)
 - ON : Ouverture Numérique
 - Surface effective (caractérise sa capacité à supporter de forte puissance)
 - Diamètre de mode : l'énergie lumineuse se propageant aussi en partie dans la gaine. La diamètre de mode mesure cet « élargissement » à mi puissance
- Nombreux profil d'indices apportant des caractéristiques spécifiques : Fibres à saut d'indice, à profil enterrée, en W , à double cœur

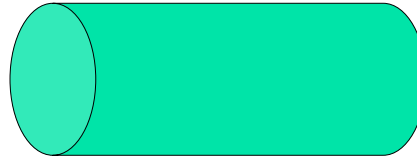
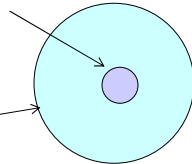


La préforme

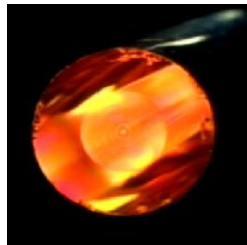
- On retrouve les caractéristiques opto géométriques de la fibre
- une préforme de 1m = 150km de fibre

Cœur = 8mm

Gaine : 80mm



Long ~ : 100mm

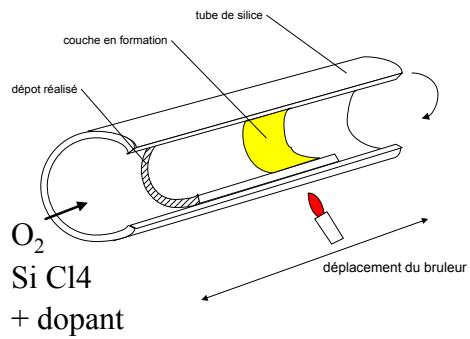


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

7



Fabrication de la préforme : procédé MCVD Modified Chemical Vapor Deposition

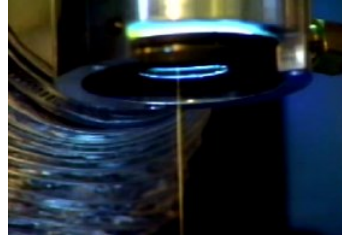
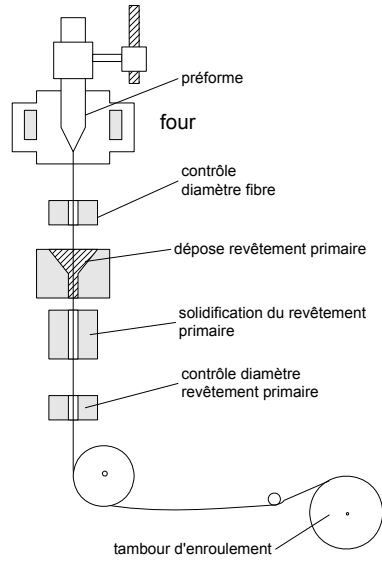


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

8



Le fibrage

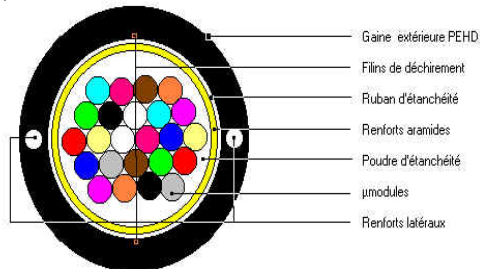
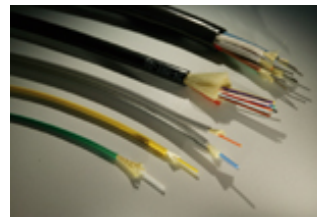
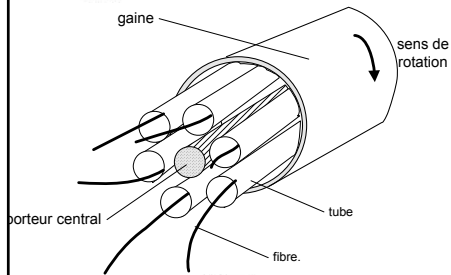


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

9



Câbles à tubes et gaines



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

10



Les raccordements

- Raccordement démontables aux extrémités de câbles pour flexibilité de raccordement sur équipements actifs
- Raccordement non démontable pour aboutement des fibres entre elles (pas de 1200 à 2400m) pour réalisation de parcours optique (< dizaines de km)
- = affaiblissement dont les causes sont diverses :
 - fabrication des fibres (ON, Φ)
 - préparation des faces (convexité, défauts, non//)
 - alignement (écart axial, angulaire,)



Raccordement non démontable : Epissure

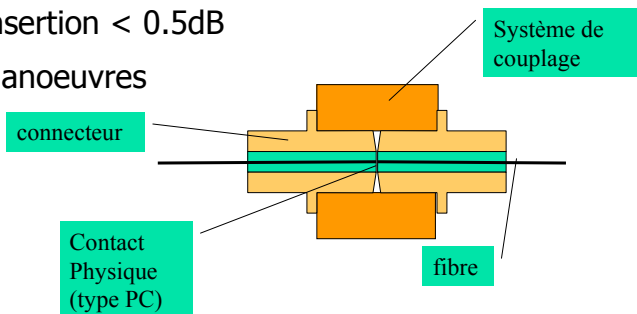
- Préparation de la fibre
- alignement
 - mécanique
 - dynamique
- maintien de l'alignement
 - collage
 - fusion
 - sertissage
- protection par manchon étanche





Raccordement démontable

- Terminaison de la fibre par un connecteur
- utilisation d'une pièce mécanique de précision permettant le centrage et la fixation par collage de la fibre
- perte d'insertion < 0.5dB
- > 250 Manoeuvres



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

13



Types de connecteurs



VFO = Verrane Fibre Optique Taux de réflexion < 20 dB



FC/PC =Fiber Connector/Physical Contact



EC = European Connector



SC-APC 8° Insertion ~0.2 dB Taux de réflexion < 55 dB

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

14



Pose de câbles

- Le Génie civil associé à la pose engendre des coûts importants : les différentes solutions tendent à réduire ce coût
- Techniques dont l'utilisation dépend de l'environnement
 - Tranchés et conduites
 - En milieu non urbain câble posé dans la tranchée ou dans conduite
 - En milieu urbain utilisation réseau de conduite issu du réseau cuivre. Conduites de diam 30mm à 100mm retubées éventuellement en tubes de diam inférieur
 - Micro tranchés tubées
 - larg 50 à 130mm- prof 200 à 500 mm
 - Rainure/ micro rainure
 - 5 à 10mm de larg profond qlq cm
 - Utilisé le long des autoroutes
 - Solution peu flexible (câble accès quasi impossible) mais pose rapide
 - Aérien (sur poteaux technique identique à celle du cuivre)



Les contraintes de transmission optique

- **Apportées par les effets linéaires**
 - L'affaiblissement et réflexion
 - La dispersion chromatique
 - La dispersion de polarisation PMD
- **Apportées par les effets non linéaires**
 - Type Kerr
 - Diffusion non linéaire (Raman et Brillouin)



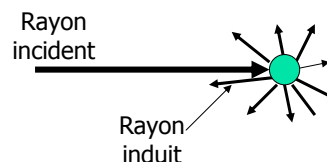
L'affaiblissement et réflexion

- L'affaiblissement se caractérise par la capacité de la fibre à atténuer le moins possible le signal optique
 - paramètre : α s'exprime en dB/km dépend de la longueur d'onde
- les principales causes sont
 - l'absorption
 - la diffusion de Rayleigh
 - les imperfections du guide et courbures et des épissures et connecteurs
- Historique des affaiblissements
 - 1972 $\alpha = 20$ dB/km
 - 1966 fibre optique avec affaiblissement $\alpha = 1000$ dB/km
 - 1975 $\alpha = 3$ dB/km avec $\lambda = 850$ nm
 - 1987 $\alpha = 0,4$ dB/km avec $\lambda = 1300$ nm
 $\alpha = 0,2$ dB/km avec $\lambda = 1550$ nm
- Peut être compensée par l'utilisation d'un amplificateur optique : compensation des affaiblissements sans conversion opto électronique.



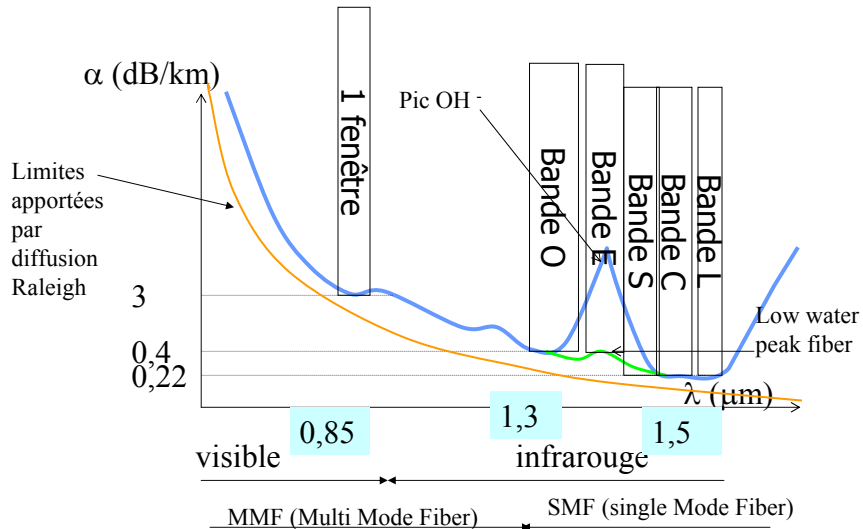
La diffusion de rayleigh

- Le champ électrique de l'onde électromagnétique va déformer le nuage électronique des atomes, le barycentre des charges négatives oscille ainsi par rapport au noyau (charge positive). Le dipôle ainsi créé rayonne, c'est ce rayonnement induit qui constitue la diffusion Rayleigh.
- *l'intensité dispersée* est proportionnelle à $1/\lambda^4$
- *Rayonnement dispersé = pertes*
- *Avantage : La rétrodiffusion sert aux mesures de réflectométrie*





L'atténuation globale et fenêtres optiques



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

19



Les dispersions du signal optique

- se caractérisent par l'élargissement de l'impulsion lumineuse lors de sa propagation:
- Limitation du débit du signal numérique optique
- On distingue la
 - dispersion intermodale (Inexistant avec fibres monomode)
 - dispersion chromatique exprimée en $\text{ps}/\text{km}\cdot\text{nm}$
 - dispersion des modes de polarisation exprimée en $\text{ps}/\text{km}^{-1/2}$

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

20

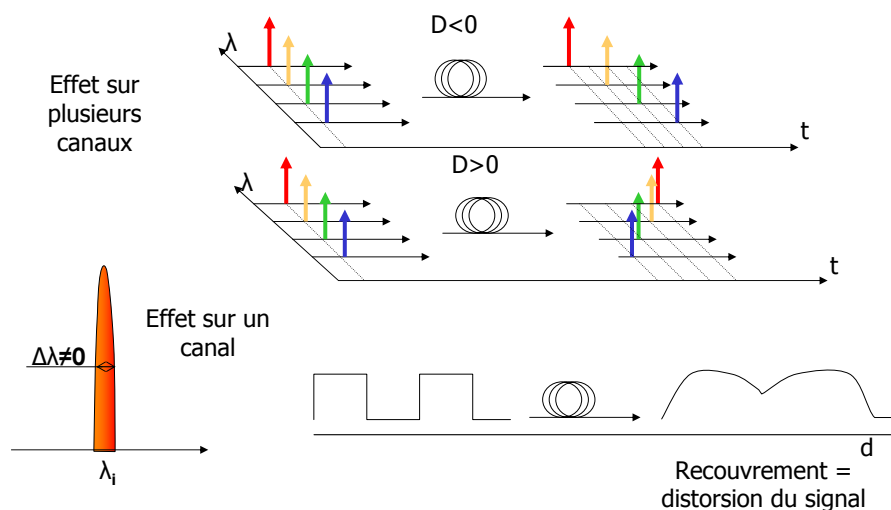


Dispersion chromatique

- la dispersion chromatique (CD) conduit à un élargissement d'une impulsion lumineuse du fait de la variation des vitesses de propagation des longueurs d'onde
- C'est la contribution de la dispersion du matériau ($n=f(\lambda)$), et de la dispersion du guide (profil d'indice)
- S'exprime en ps/(nm.km)
- Valeur usuelle pour une G652:
 - $D@1330\text{nm} < 2.7\text{ps}/\text{nm.km}$
 - $D@1550\text{nm} < 17\text{ps}/\text{nm}$
 - A 1550 2 impulsions espacées de 1nm sont décalées de 17ps après 1km de fibre
- Actuellement phénomène maîtrisé car les fabricants proposent des fibres à dispersion
 - Négative : G652 : $D@1550\text{nm} < 17\text{ps}/\text{nm}$
 - Nulle : G653 : $D@1550\text{nm} \sim 0\text{ps}/\text{nm.km}$
 - Positive : DCF dispersion compensating fiber (jusqu'à $-200\text{ps}/\text{nm.km}$)
- Cette distorsion est nécessaire dans certaine limites pour une transmission large bande (multi longueurs d'onde) ($CD > 5\text{ps}/(\text{nm.km})$) pour réduire les phénomènes non linéaires croisés). On s'intéressera alors à la pente de la dispersion.
 - Fibres NZ-DSF : G655 : $D@1550\text{nm} \sim 5\text{ps}/\text{nm.km}$



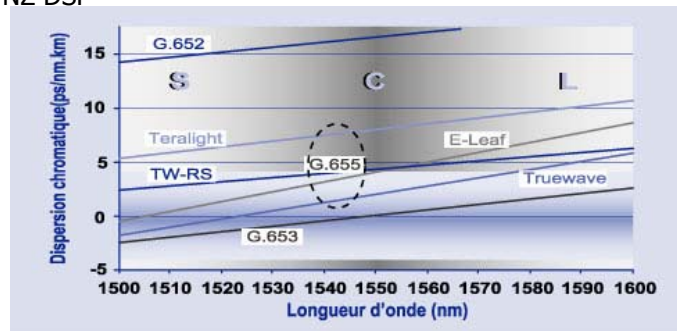
Effets de la dispersion chromatique





Normes UIT des différentes fibres

- G.652: fibre optique unimodale SSMF
- G.653: fibre optique unimodale à dispersion décalée
- G.654: fibre optique unimodale à longueur d'onde de coupure décalée
- G.655 : fibre optique unimodale à dispersion décalée non nulle. NZ DSF



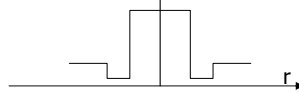
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

23



Compensation de la dispersion chromatique

- Fibre à dispersion nulle à 1550 : type G.653 dite « à gaine enterrée »



- CDC : compensateur de dispersion chromatique
 - Les compensateurs sont réalisés avec des fibres à pentes négatives sous forme de bobines complémentaires associées aux amplificateurs optiques ou sous forme de portions de câble dans les systèmes sous marin (insertion sur 100km d'une fibre à dispersion négative de 30km)
 - Il sont mis essentiellement en oeuvre dans les systèmes DWDM
- Autre systèmes (peu utilisés à ce jour dans les systèmes télécom)
 - Réseaux de Braggs
 - Pré compensation par Conditionnement du signal à l'émission par « chirping » (variation de la fréquence instantanée sur la durée de l'impulsion), utilisation de format de modulation (duobinaire, ULTM)

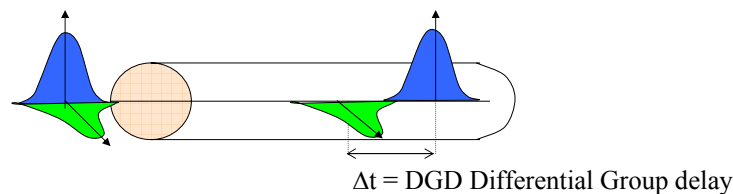
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

24



Dispersion des modes de polarisation

- la dispersion des modes de polarisation ou PMD (Polarization mode dispersion) conduit aussi à l'élargissement d'une impulsion
- Un phénomène de biréfringence (indice de réfraction différent selon la direction de polarisation de la lumière) est observé dans une fibre optique du fait de la légère asymétrie de la section du cœur de la fibre dans la longueur (contraintes de fabrication) et des contraintes externes appliquées sur la fibre (élongation, courbure, micro-courbure), et la température. En général, la biréfringence induite par les contraintes est supérieure à celle induite par la géométrie
- S'exprime en $ps/(km^{1/2})$



Valeurs de PMD

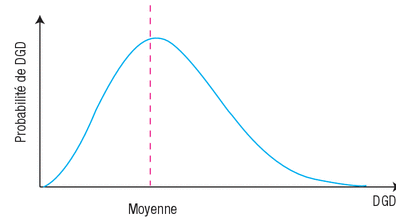
Portée max (km)	< 1995	>1995	Fibre actuelle
avec PMD	2	0.5	0.05
À 2.5 Gbit/s	400	40000	640000
A 10 Gbit/s	25	2500	40000

- C'est une contrainte très forte pour les très hauts débits > 2.5Gbits
- Actuellement pas de compensateur de PMD fiable et économique. Le phénomène étant variable, nécessité de système de correction en temps réel
- Les recherches sur l'amélioration dans la fabrication des fibres ont permis de réduire très fortement cette distorsion
- $PMD = \Delta t/d^{1/2}$ avec d =distance parcourue en km et Δt en ps
- On considère qu'il y a distorsion si Δt est égal à 10% du temps bit.
- A 10 Gbit/s le temps bit = $10^{-10}s$ d'où $\Delta t=10ps$ si $PMD=2$ alors $d^{1/2}=10/2=5$ donc $d=25km$

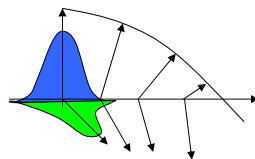
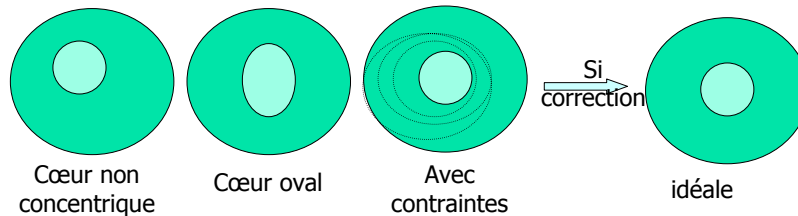


Difficulté de la mesure et correction de la PMD

- C'est un phénomène statistique
- La probabilité d'un DGD (ou RGD) suit une distribution maxwellienne.
- La valeur moyenne est appelée PMD.
- Il existe donc une probabilité non nulle d'avoir un DGD élevé dans le temps générateur d'erreur sur la liaison.
- Pour 100km de fibre avec $PMD=1ps/km^{1/2}$ la valeur moyenne est de 10ps et on pourra avoir 32ps pendant 5 mn/an.
- La PMD totale d'une liaison est la somme quadratique des PMD élémentaires apportées par les portions de fibres et les équipements optiques
- Si tronçon 1=5ps, tronçon2= 2ps, tronçon3=7ps
- la PMD moyenne est $(5^2 + 2^2 + 7^2)^{1/2} = 8.8$ ps



Fibres à faibles PMD



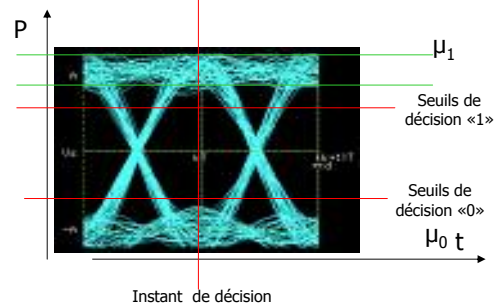
- Alternance des axes rapides et lents par rotation de la fibre lors de sa fabrication.
- L'amélioration des processus de fabrication a permis de réduire fortement la PMD. Mais le problème est très présent dans les premiers réseaux optiques des opérateurs historiques



Visualisation de l'effet de la PMD

- Par le diagramme de l'œil
- La PMD a pour conséquence de dégrader très fortement le diagramme de l'œil (fermeture de l'œil) et donc de générer des d'erreurs de lecture : apparition d'IIS (interférence inter symboles)
- Définition d'un facteur Q
 - $Q = (\mu_1 - \mu_0) / (\sigma_1 + \sigma_0)$ avec μ_i et σ_i l'espérance et l'écart type des distributions de bruit des niveaux haut et bas du signal.

- Si $\mu_1=1$ et $\sigma_1=0.1$; $\mu_0=0.1$ et $\sigma_0=0.05$
- Alors $Q = 6$ et $10\log(Q^2)=15.6\text{dB}$
- Si Facteur Q est élevé l'œil est bien ouvert.



Bruit d'émission spontanée amplifiée

- ASE est généré dans les amplificateurs optiques installés le long de la ligne.
- Ces amplificateurs à fibre dopée sont sujet à un bruit qui est dû à la dés-excitation spontanée des ions. Ce phénomène produit des photons dans des directions aléatoires, mais seule la direction vers l'avant intervient dans le bruit final observé en sortie de fibre.
- Le bruit en sortie d'un amplificateur est vu comme un signal par l'amplificateur suivant il est donc amplifié. Cet accumulation de bruit dégrade le rapport signal/bruit

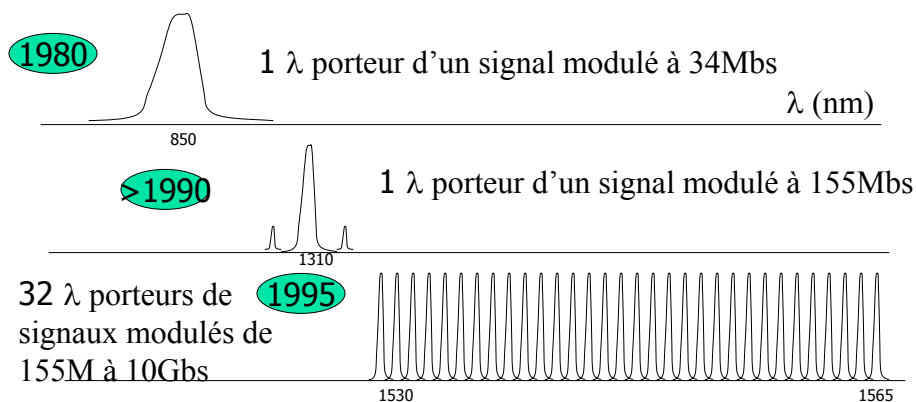


Effet non linéaires

- Effets physiques dus à la réponse non linéaire de la matrice de silice
- Effet Kerr : non linéarité électronique : variation de l'indice de réfraction avec intensité du signal
 - $n = n_0 + n_2 P/A_{\text{eff}}$
- SPM self Phase Modulation :
 - A partir d'une certaine puissance le signal modifie localement l'indice de réfraction qui entraîne une auto modulation en phase du signal. Il y a un retard des composantes fréquentielles de l'impulsion. Les basses fréquences vont plus vites que les hautes fréquences d'où compensation si utilisation d'une fibre avec $D > 0$
- XPM Cross Phase Modulation ou modulation des porteuses voisines des systèmes WDM. C'est le même phénomène que la SPM mais dont l'effet affecte les canaux proches.
- FWM Four Waves Mixing : les longueurs d'onde voisinent génèrent une nouvelle longueur d'onde ce qui provoque de la diaphonie (crosstalk) et de l'IES. Un certain niveau de DC minimise cet effet.
- Les Système WDM nécessiteront l'emploi de fibre avec une $DC > 0$ mais de faible valeur d'où l'apparition des fibres type G.655 (NZ DSF)
- Les effets non linéaires peuvent être limités par l'utilisation de fibre à grande surface effective, mais celle-ci se caractérise par une pente de dispersion chromatique importante difficile à compenser → Recherche de compromis entre surface effective et pente
- Utilisation des effets optiques non linéaire : génération de soliton qui conserve une forme constante lors de la propagation



Principe du multiplexage en longueur d'onde



- Le principe du WDM est de répartir dans une fenêtre optique un « peigne de longueur d'onde ». Chaque λ est indépendant et peut transporter des signaux de types et de fréquences différents (SDH, Ethernet, ESCON, fiber channel, FICON...)



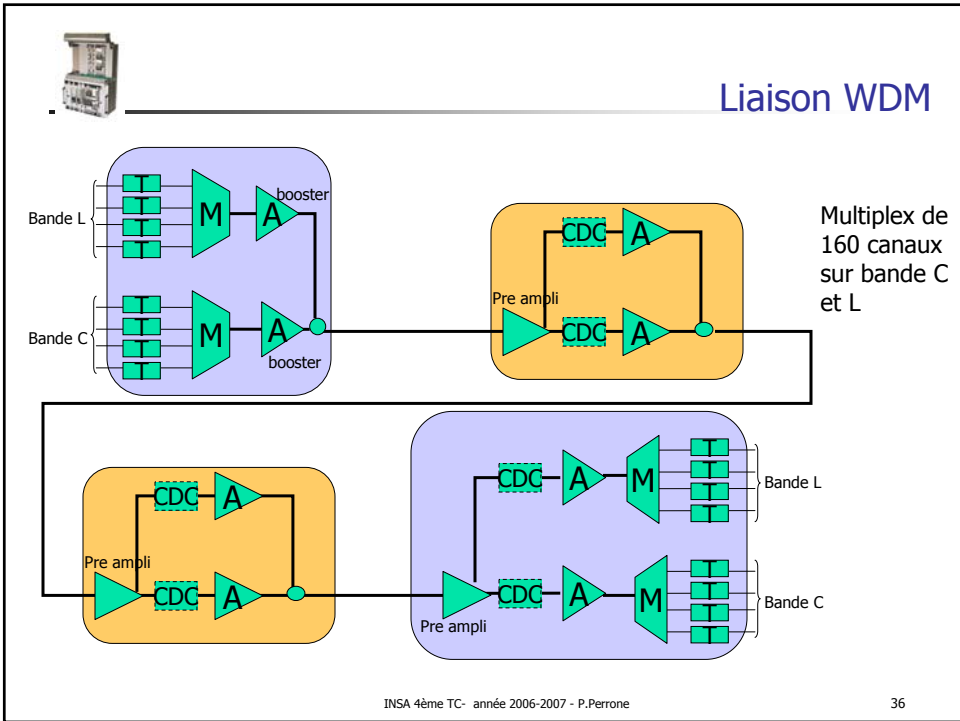
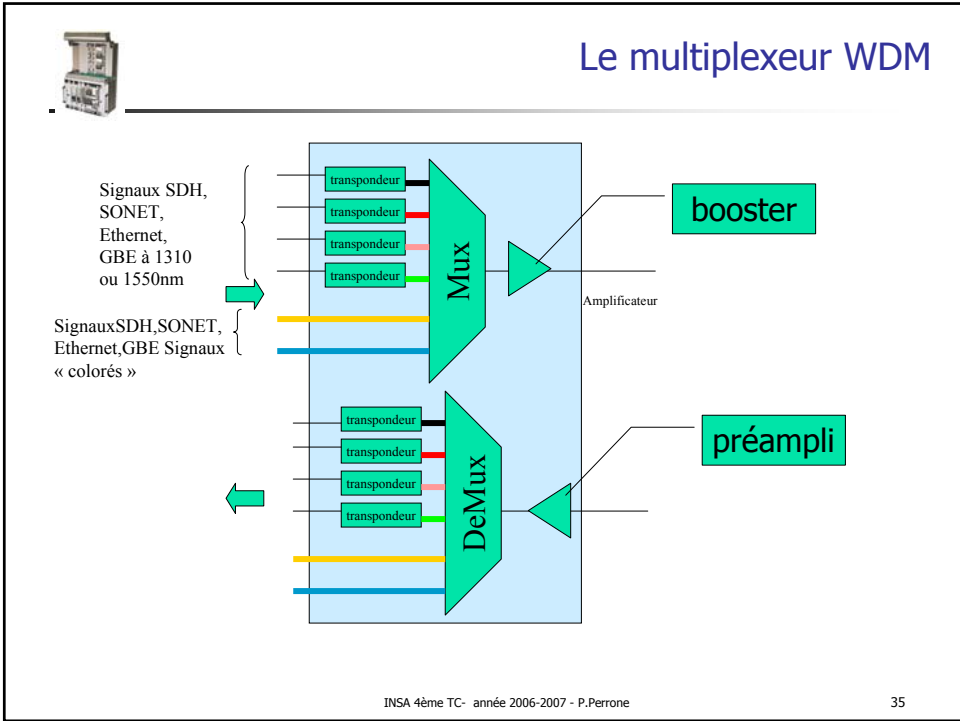
La famille WDM

- Les fréquences des canaux (THz) sont normalisées (rappel : $\lambda = c/f$)
- CWDM
 - 18 λ avec espacement à 2500 GHz \sim 20nm
- DWDM
 - espacement à 200 GHz \sim 1.6nm
 - espacement à 100 GHz \sim 0.8nm
 - espacement à 50 GHz \sim 0.4nm
- Avec 100 GHz dans la bande C 45 lambda sont disponibles
- A venir UDWDM < avec espacement < 25 GHz



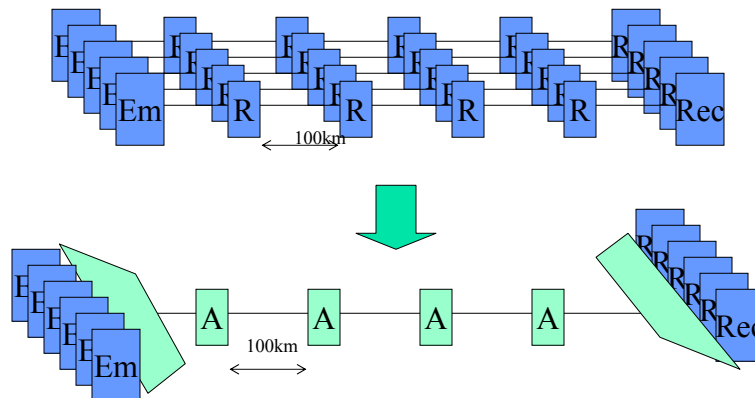
G.692 grille avec espacement de 100GHz

Frequency (THz)	Wavelength h (nm)	Frequency (THz)	Wavelength h (nm)	Frequency (THz)	Wavelength h (nm)
196.1	1528.77	164.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	195.8	1554.94
195.7	1531.9	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194.0	1545.32	195.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	192.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86





Les avantages du WDM



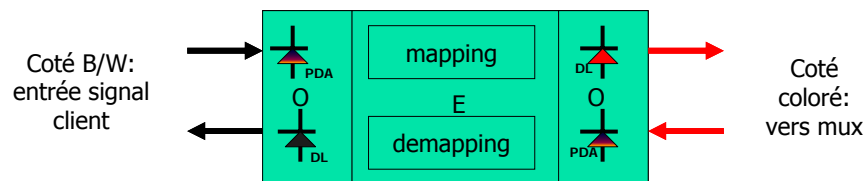
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

37



Le transpondeur

- Les transpondeurs effectuent la transposition en longueur d'onde d'un signal en entrée dans le «peigne» optique.
- Actuellement ce sont des équipements OEO d'où leur coût important. Ils représentent 80% du coût total d'un système WDM.



- L'étage « électrique » permet la préparation du signal client avec une encapsulation et l'ajout possible d'un FEC (code correcteur d'erreur). Certains transpondeurs « multiplexent » dans l'étage « E » 4 signaux clients à 2.5Gbit/s dans un signal à 10 Gbit/s (format de multiplexage propriétaire)

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

38



Emetteurs optiques(1)

- DEL : utilisées sur interfaces clientes ($\lambda \leq 1.3\mu\text{m}$), de faible puissance ($10\mu\text{W}$) et avec perte de puissance à l'injection. $\Delta\lambda(50\%) = 100\text{nm}$
- Diodes lasers type DFB (distributed feed back)
- En WDM apparition de laser accordables en longueur d'onde par l'opérateur (gain pour lot de rechange et facilité d'exploitation du réseau)
- Nécessité d'intégrer un système de verrouillage en longueur d'onde dans les systèmes très denses.

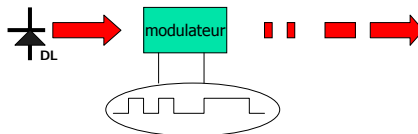


Emetteurs optiques(2)

- Pour les lasers forte puissance : Intégration d'un système de refroidissement par effet
- Transmission de l'information : L'information à transmettre va moduler le signal optique du laser
 - Par une modulation directe des lasers pour débit $< 5\text{Gbi/s}$



- Par une modulation externe





Détecteurs optiques et SFP

- Photodiodes détectrices
 - PIN ; bon marché mais performances limitées donc utilisée sur interfaces « client »
 - APD (avalanche Photo Diode): très performantes donc utilisées dans les systèmes longue portée, plus chères et plus fragiles.
- Intégration des diodes et lasers dans un module indépendant des équipements (transpondeur par ex en WDM): module SFP (small Form plugable)



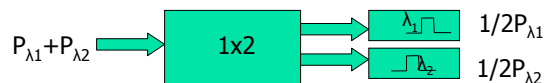
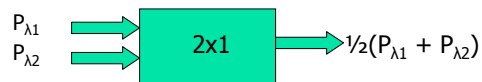
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

41



Le multiplexage et démultiplexage optique

- Par utilisation de Coupleur « 3dB »



- Réalisés par rapprochement des cœurs des 2 fibres pour produire un couplage
- Pour des multiplexage $> 2 \lambda$ la cascade de coupleur introduit trop de perte d'énergie donc limité au multiplexeur à 2 entrées.
- remarque : avec ce type de coupleur on peut faire varier la répartition des puissances : 80/20 utilisé pour des sondes d'observation de trafic)

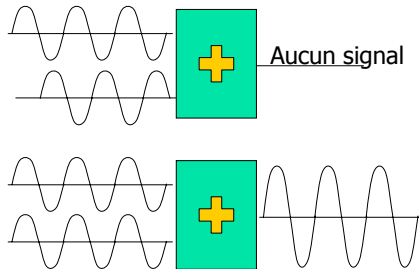
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

42



Propriétés d'interférence

- Utilisation des propriétés d'interférence de la lumière
- Les amplitudes de 2 ondes de même fréquence peuvent par interférence s'ajouter si elles sont en phase ou s'annuler si elles sont en opposition de phase
- Suivant le trajet parcouru l'état de phase sera différent

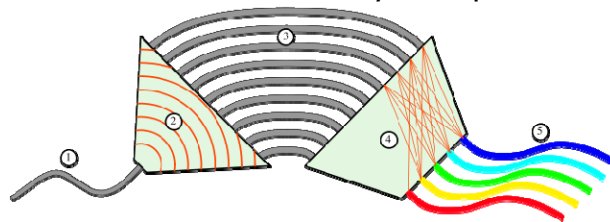


Question :
comment réaliser
simplement un
déphasage de
phase



AWG

- Application dans le composant AWG : Arrayed Waveguide Grating réalisé par technologie Silice sur silicium. fonctionnement symétrique



- En 2 : Répartition de la lumière
- En 3 : Parcours dans des guides de longueur différente
- En 4 : Interférence des ondes déphasées
- Peux de perte (6 dB)

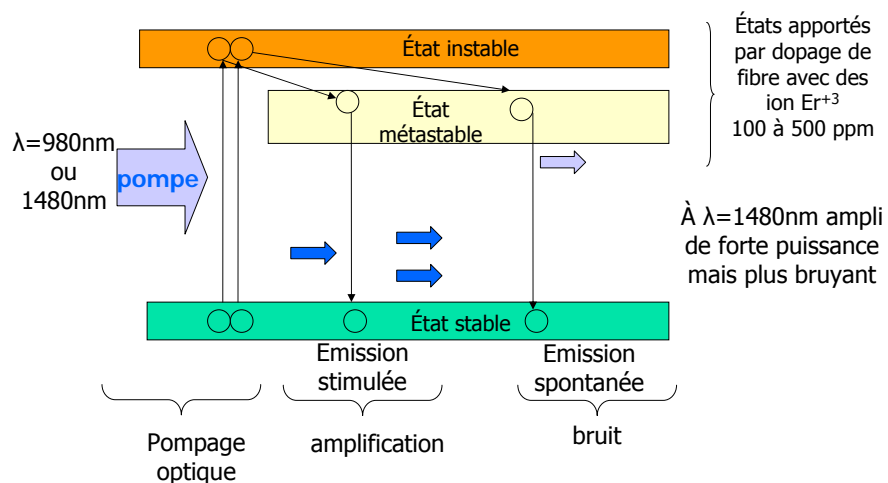


Les amplificateurs optiques

- Pertes à compenser :
 - Affaiblissement de la fibre (@1550nm ; $\alpha \sim 22\text{dB/km}$ en moyenne et pour les meilleures fibres sous marine $\alpha \sim 18\text{dB/km}$)
 - Exemple liaison Martinique/Gaudeloupe sans amplificateurs intermédiaire $l = 230\text{km}$ avec $\alpha_{\text{total}} = 42\text{db}$
 - Les pertes des multiplexeurs et autre compensateur (DC et PMD).
- Les amplificateurs fonctionnent dans le domaine optique : il n'y a donc pas de passage en électrique comme pour les transpondeurs.
- Actuellement le type d'ampli le plus utilisé est le l'amplificateur EDFA (amplificateur à fibre dopée à l'erbium). (phénomène découvert en 1986 par D Payne et mis en œuvre 10ans + tard)
- Les amplificateurs Raman commencent à être intégrés dans les systèmes WDM. (Raman prix de Nobel de Physique en 1930 pour découverte de l'effet Raman en 1928)
- Pour information il existe des amplificateurs à semi conducteur SOA dont l'utilisation est envisagé dans les systèmes WDM faible densité.

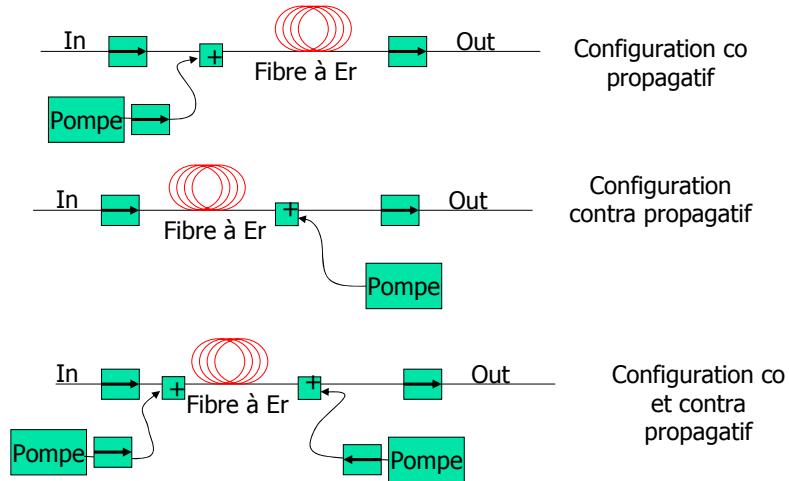


Principe des amplificateurs optiques : EFDA





Réalisation de l'amplificateur



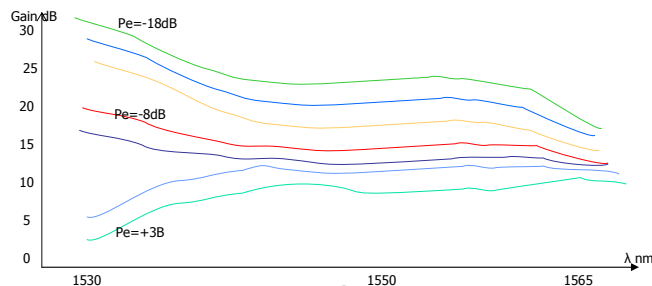
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

47



Gain d'un amplificateur

- Fonction de :
 - Des longueurs d'ondes en entrée et de leur puissance
 - des puissances des pompes
 - Du dopage et de la longueur de fibre à l'erbium



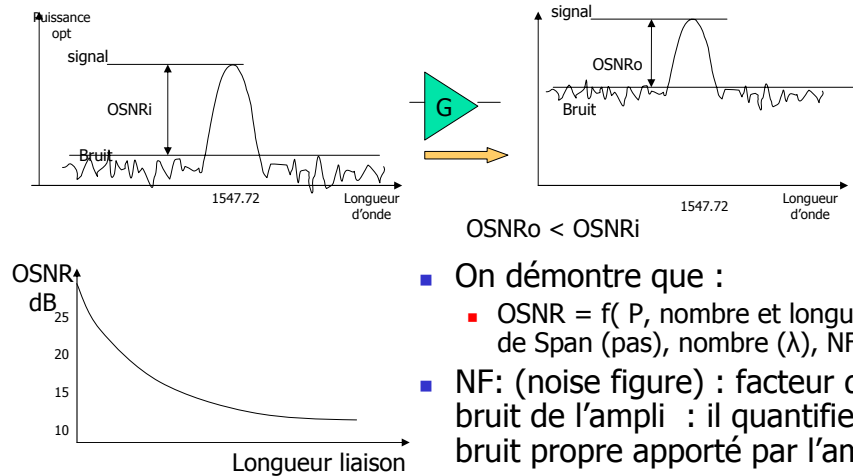
- Avec les faibles puissances d'entrée le gain fort avec pente < 0
- Dans les fortes puissance d'entée le gain est faible et la pente > 0
- Pour obtenir un gain plat on pourra cascader 2 amplis

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

48

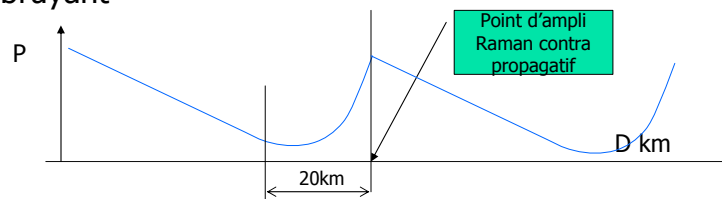


OSNR et Facteur de bruit



L'amplification Raman

- Le phénomène d'émission stimulée provient de la désexcitation des molécules de silice préalablement excitées avec une pompe optique.
- L'amplification est alors distribuée le long de la fibre.
- Le gain est fonction de la puissance de la pompe, de l'aire effective de la fibre (recherche d'une faible aire pour la concentrer l'énergie et favoriser l'excitation « mécanique » des molécules de silice.
- Gain plus faible (<12 dB) que ampli EDFA mais moins bruyant





Comparaison des types d'amplificateur

	SOA	EDFA	RAMAN	
Gain	>30	>40	>25	dB
Wavelength	1280-1650	1530-1560+	1280-1650	nm
Bandwidth (3dB)	60	30-60	<i>pump dependent</i>	nm
Psat	15	20	$0.5 * Pump$	dBm
Sat.Power max	18	22	$0.75 * Pump$	dBm
Polarisation	<0.5	0	0	dB
Noise Figure	8	5	5	dB
Pump Power	<400 mA	25 dBm	>30 dBm	
Time constant	0.2 ns	10 ms	fs	
Size	<i>compact</i>	<i>rack module</i>	<i>bulk module</i>	
Switchable	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>no</i>	
Cost Factor	<i>competitive</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	



Les mesures

- Mesures sur la fibre
 - Affaiblissement
 - Réflectométrie
 - DC et PMD
- Mesures du système WDM
 - Puissance optique
 - Taux d'erreur binaire
 - Facteur Q et OSNR



Affaiblissement et puissance optique



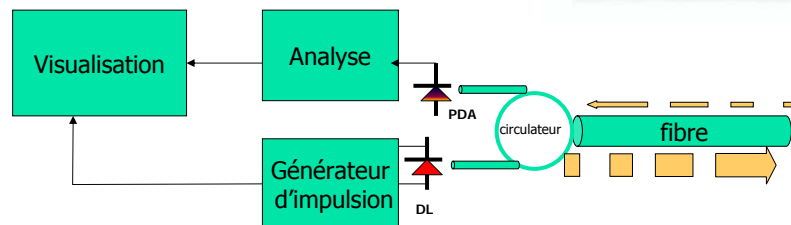
- En général $P_e = 1\text{mw}$
- $0.005\text{mw} < P_r < 500\text{mw}$
- $\alpha = P_r/P_e$
- On préfère utiliser les log :
 $\alpha_{\text{dB}} = 10 \log(P_r/P_e) = P_{r,\text{dB}} - P_{e,\text{dB}}$
- Pour mesurer la puissance on définit la puissance en dBm:
 $P_{\text{dBm}} = 10 \log(P_{\text{mw}}/1\text{mw})$
- pour $P_e = 1\text{mw}$ on a 0 dBm
- Exemple :
- Si $P_e = -7\text{dBm}$ et $P_r = -18\text{dBm}$ alors $\alpha = 11\text{dB}$

Pmw	PdB
0.005	-23
0.05	-13
0.1	-10
0.5	-3
2	3
5	7
10	10
50	17
500	27



Réfectométrie

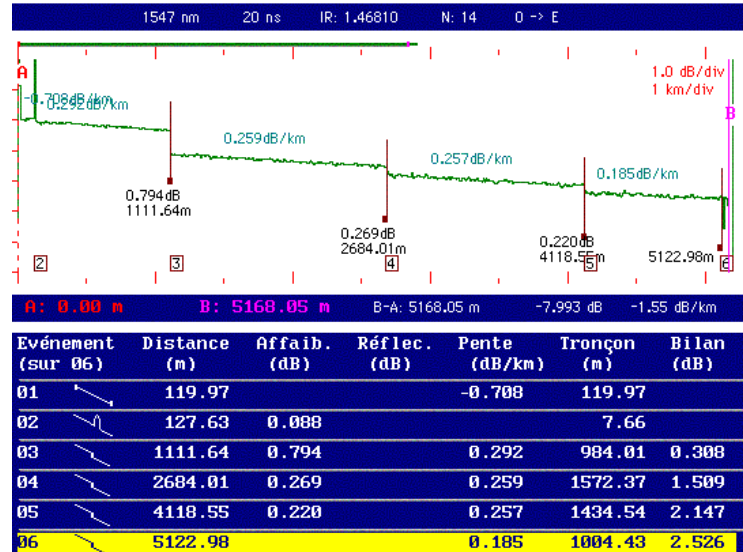
- Pour mesurer les pertes dues à l'affaiblissement et aux réflexions apportées par les épissures, les connecteurs ou les défauts
- Principe d'un Réflectomètre ou OTDR optical time domain reflectometer



La taille (amplitude et fréquence) des impulsions donne la définition de la mesure



Mesure : Réflectométrie



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

55



Mesure de PMD et DC

- Les paramètres de dispersion chromatique sont connus en fonction du type de fibre. La DC peut être déterminée par calcul.
- La PMD pouvant être variable en fonction de la fibre et des contraintes subies il convient de la mesurer « in situ » notamment pour les fibres les plus anciennes. La mesure de la PMD est normalisée

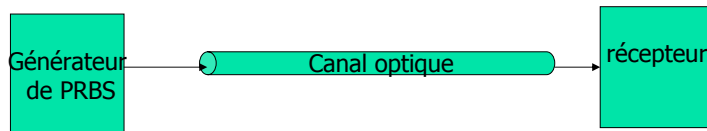
INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

56



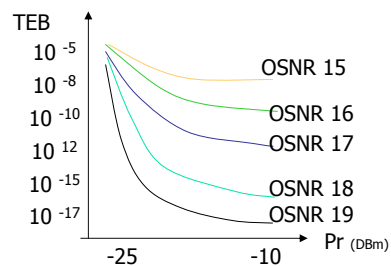
Mesure du taux d'erreur

- Cette mesure permet de qualifier le système : on mesure sa capacité à transmettre l'information avec le moins d'erreur possible.
- On mesure le TE= nombre de bits reçus faux et le nombre de bits transmis.
- La mesure peut se faire en trafic avec une mesure « approchée » avec des codes détecteur d'erreur
- La mesure peut se faire hors trafic avec l'utilisation de séquence pseudo aléatoire (PRBS) Pseudo Random Binary Sequence
- liaison considérée comme sans erreur si $TE < 10^{-15}$
- Pour une liaison à 10Gbit/s avec $TE < 10^{-15}$ il faut 27 heures de mesure pour détecter 1 erreur



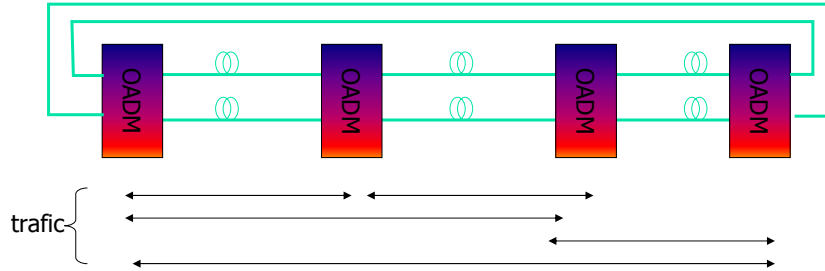
Taux d'erreur, facteur Q et OSNR

- On démontre $TE = f(Q)$.
 - Le diagramme de l'œil permet de connaître le TEB
- Pour une valeur d'OSNR donnée le TE tend vers une valeur limite avec la puissance reçue





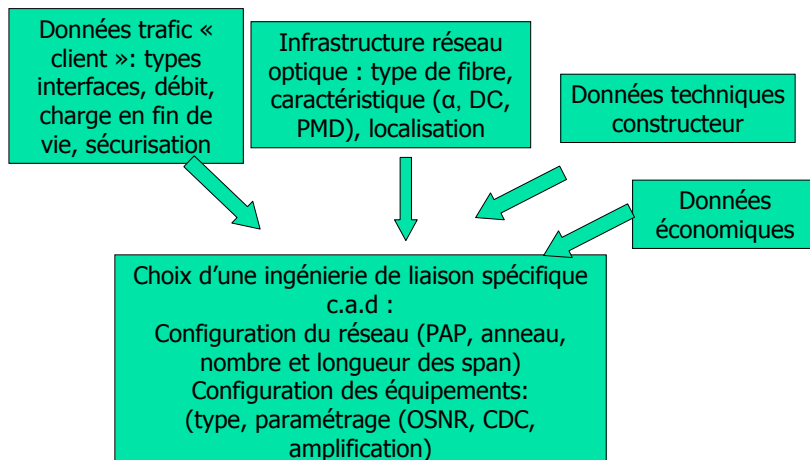
Les OADM et ROADM



- Les OADM (Optical Add Drop Multiplexer) apportent de la flexibilité, de la sécurisation (cf apport de la SDH/PDH).
- Evolution vers des ROADM (reconfigurable) dans lesquels la gestion des λ pourra être dynamique



Ingénierie d'un système WDM





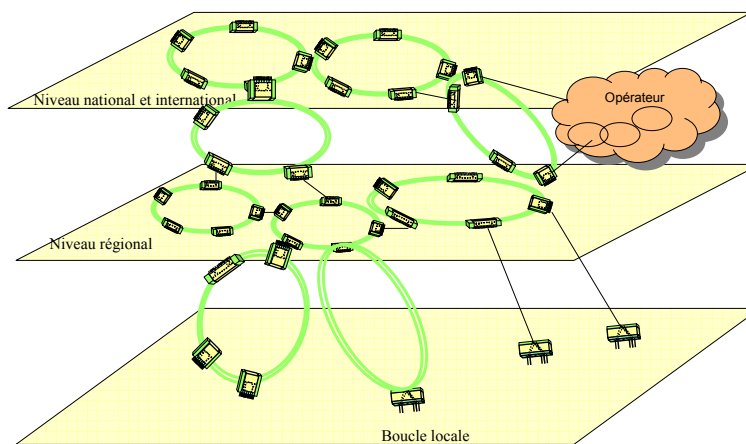
Exemple d'ingénierie DWDM

- Pour un même système DWDM l'ingénierie est fonction du débit, du nombre de λ , de la portée désirée.

Nbre λ	Débit (Gbit/s)	Nbre span	Affaib/span (dB)	Portée optique (km)
40	2,5	13	30	1500
80	2,5	13	26	1350
40	10	11	30	1150
80	10	10	26	1000

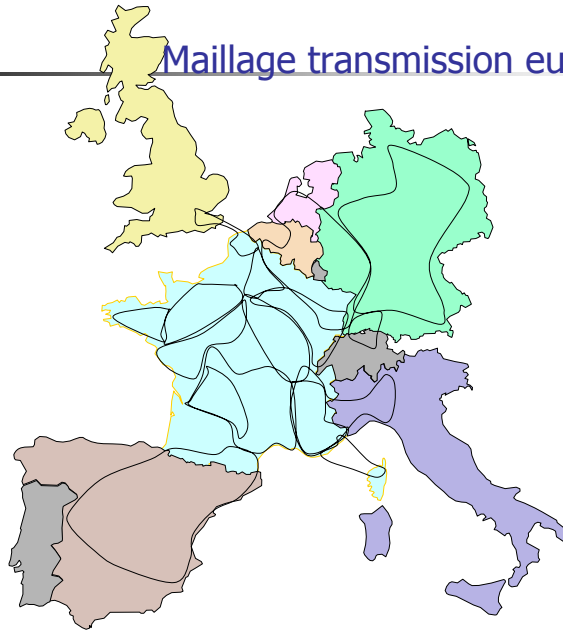


Architecture des réseaux optiques





Maillage transmission européen de FT

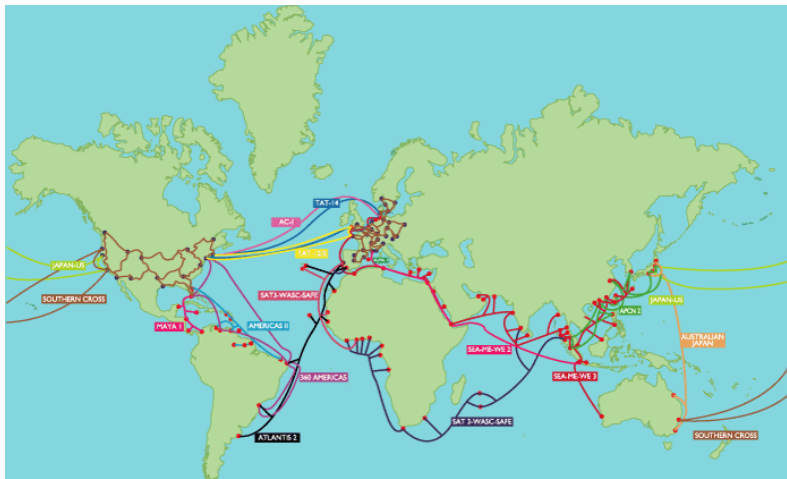


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

63



Quelques câbles sous marin

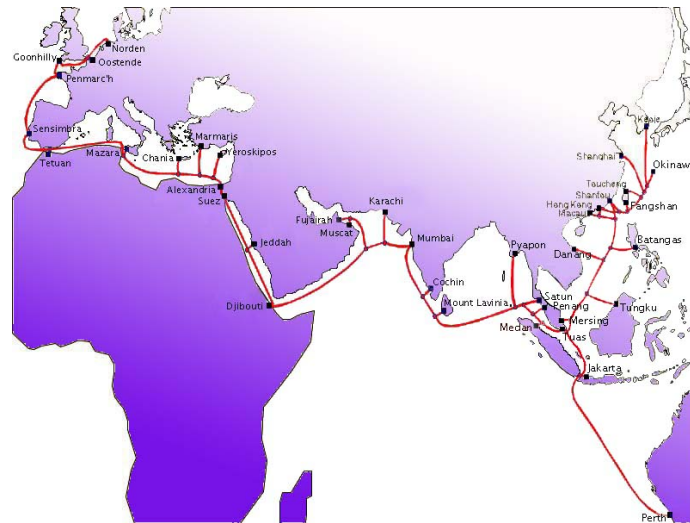


INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

64



Sea-Me-We 3



INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

65



Sea-Me-We 3

- Le réseau complet relie 39 stations câblées à travers 33 pays et régions sur une longueur totale de 40 000 kilomètres. Deux de ces stations sont situées à Taiwan : la première, à Toucheng, au Nord et la seconde à Fengshan, qui se trouve à la pointe sud de l'île.
- Il utilise les technologies de multiplexes par division de longueurs d'ondes, la hiérarchisation digitale de synchronisation (SDH) et amplificateur optiques.
- Il est constitué par 2 paires de fibres transportant 8 longueurs d'onde chacune supportant des débits de 2,5Gbit/s ou 10 Gbit/s. la capacité équivalente totale est de 3232 STM1

INSA 4ème TC- année 2006-2007 - P.Perrone

66



TAT 14



- Il est constitué d'un double anneau bi directionnel utilisant le DWDM sur 2 paires de fibres transportant 16 longueurs d'onde chacune supportant des débits de 10 Gbit/s. la capacité équivalente totale est de 4096 STM1

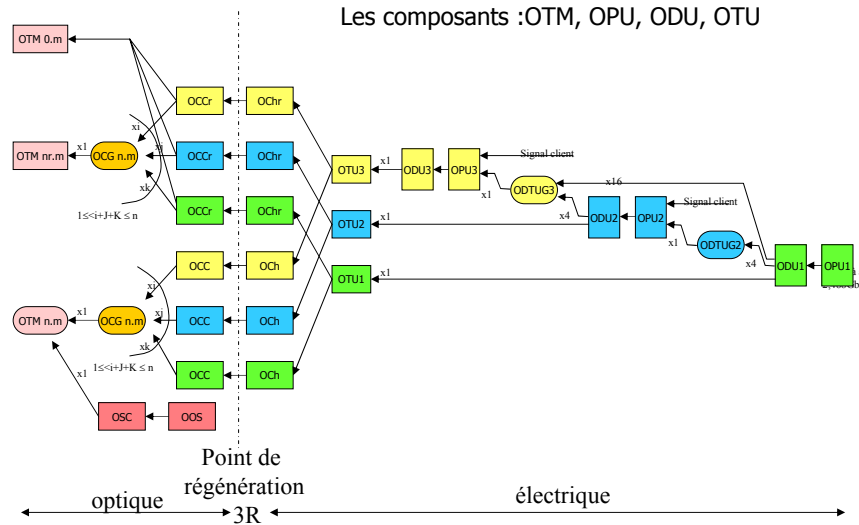


Techniques de transport haut débit

- Les services transportés
- Les techniques synchrones: PDH, SDH, SONET
- L'ATM, IP/MPLS
- Optique et WDM
- L'OTH

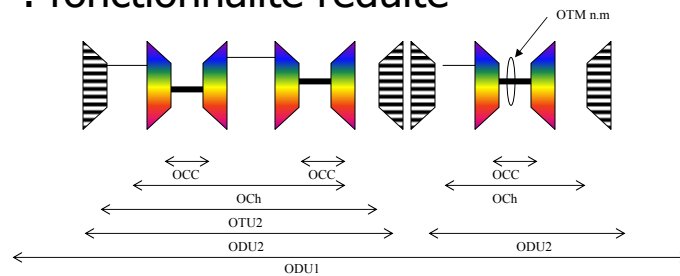


Structure de multiplexage



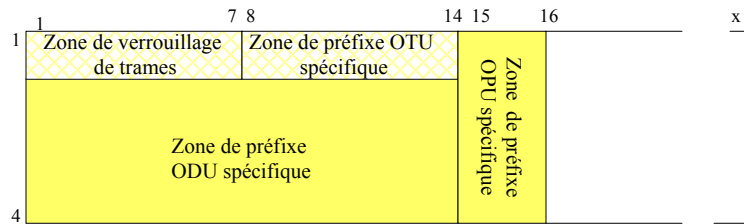
OTM n(r).m

- n : nombre de canaux optiques
- m : indication des débits pris en charge
 - Valeur : 1, 2, 3, 12, 123, 23
 - (1 ≈ 2,5 Gbs, 2 ≈ 10Gbs, 3 ≈ 40Gbs)
- r : fonctionnalité réduite

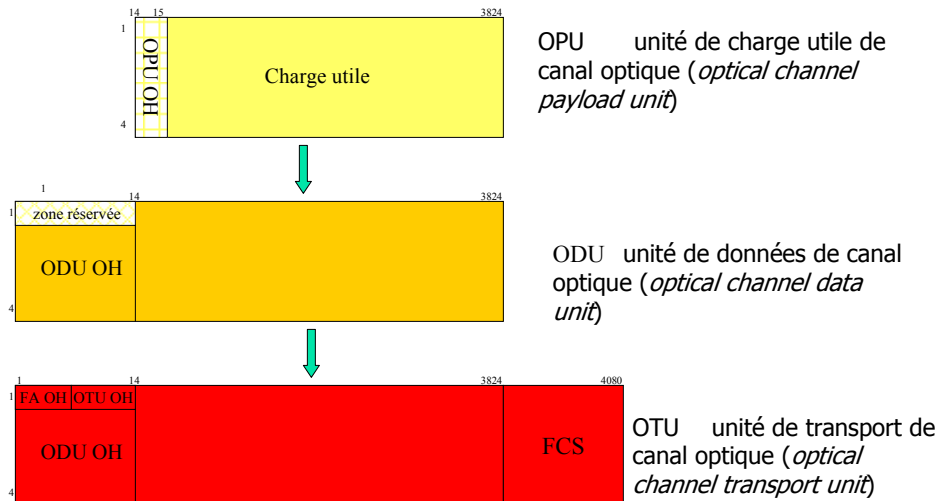




Les préfixes ou OH



OPU /ODU/OTU





Exemple mappage asynchrone dans OPU



■ Octet JC :

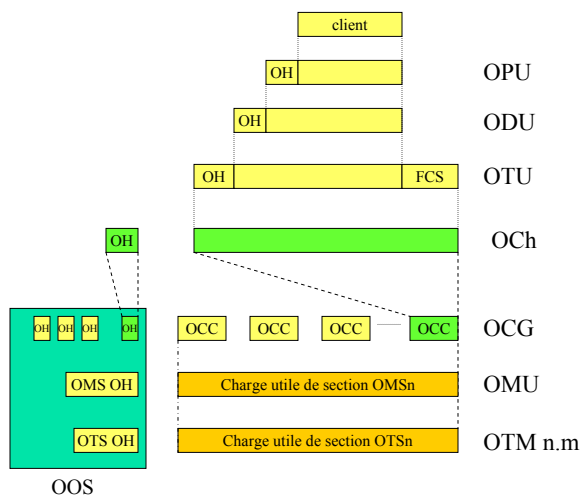
1	R	R	R	R	R	R	R	7	8
	R	R	R	R	R	R	R	jc	jc

jc	NJO	PJO
00	Oct de justif	Oct de donné
01	Oct de donné	Oct de donné
10	Non produit	
11	Oct de justif	Oct de justif

- PSI : indicateur de structure de charge utile placé dans un le premier octet de la multitrame de 256 ODU



Relation d'information dans module OTMn.m





Relation d'information dans module OTMnr.m

