



Nouvelles technologies réseaux

SONET / WDM

**Olivier ADAMUS
Johann COPIN
Eric PANETTA**

IR3 - 2003



Introduction

Au cours de notre formation à ingénieurs2000, filière Informatique-réseaux, nous avons étudié les nouvelles technologies réseaux.

Dans cette matière, nous devons nous mettre par binômes ou par trinômes et réaliser un exposé sur un sujet donné. En complément de cet exposé, présenté devant la promotion entière, nous devons faire une démonstration et/ou réaliser un dossier.

Le sujet que nous avons choisi est : « SONET/WDM » et, faute de pouvoir réaliser une démonstration (coût beaucoup trop élevés), nous avons réalisé ce dossier.

Ce dossier a donc pour but de présenter les réseaux utilisant les technologies SONET et WDM.

Ce type de technologies se trouvant exclusivement sur les réseaux optiques, nous avons décidé de présenter d'abord les réseaux optiques. Ensuite, nous avons détaillé individuellement WDM et SONET pour pouvoir enfin présenter les réseaux les utilisant.



I) Les réseaux optiques

Depuis plusieurs années, les réseaux optiques ont été choisis pour réaliser les transmissions pour des liaisons longues distances mais aussi pour les réseaux MAN (Metropolitan Area Networks). En effet, la fibre optique est le meilleur support parmi toutes les solutions existantes pour réaliser des réseaux hauts débits et supporter les montées en capacités exigées par les clients de ces réseaux.

A) Du cuivre à l'optique

Depuis l'invention du téléphone en 1876, l'essentiel des télécommunications longues distances se font par l'intermédiaire d'un support en cuivre. Mais cette première génération de médiums atteint depuis quelques années ses limites.

En effet, malgré des progrès énormes au niveau des protocoles, des compressions de données, du multiplexage et des codages, nous arrivons à saturation. On arrive au mieux à 2 ou 3 Gbit/s sur des câbles de 8 ou 12 paires.

Aujourd'hui, les recherches s'orientent vers deux autres médiums : l'air (satellite) et les fibres optiques.

Mais au niveau débit et coûts de mise en place, la fibre optique se distingue avec brio.

Ainsi, depuis la fin des années 80, les chercheurs développent de nouveaux protocoles ainsi que de nouvelles techniques de multiplexage qui sont aujourd'hui très utilisées.

B) Les fibres optiques

1) Fabrication

La fibre optique est obtenue à partir d'un tube et d'une barre de verre montés concentriquement. L'ensemble est chauffé pour assurer l'homogénéité.

Il suffit d'un barreau de verre d'un mètre de longueur et de 10cm de diamètre pour obtenir une fibre monomode de 150km de longueur.

Au final, le diamètre de la fibre est d'environ 10um. Le verre est ensuite enrobé d'un revêtement de protection (230 um).

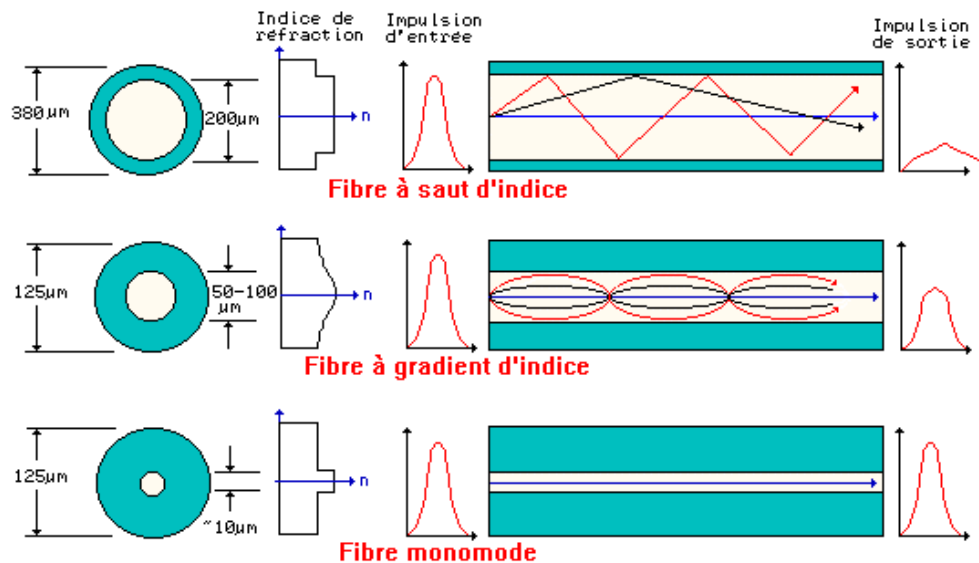
Le câble final peut être composé d'un ou de plusieurs brins.



Il existe trois types de fibre optique :

- *La fibre à saut d'indice 200/380* dont le cœur et la gaine sont en verre d'indice de réfraction différents. Cette fibre génère une grande dispersion des signaux et donc une déformation du signal reçu.
- *La fibre à gradient d'indice* dont le cœur est constitué de plusieurs couches de verre ayant un indice de réfraction proche. La dispersion est alors réduite et les temps de propagation sont égalisés. Bande passante typique 200-1500Mhz/km.
- *La fibre monomode* dont le cœur est si fin que le chemin de propagation est pratiquement direct. La bande passante transmise est presque infinie (> 10 Ghz/km).

Dans le cas de la fibre monomode, le petit diamètre du cœur (10 μ m) nécessite une grande puissance d'émission et donc des diodes laser qui sont relativement onéreuses.



Propagation de la lumière dans les trois types de fibres

2) Les évolutions

Les fibres optiques ont été marquées par deux évolutions importantes :

- *Le passage de la fibre multimode à la fibre monomode.* Cette dernière pose plus de problèmes de connectiques mais offre une capacité potentielle sans rapport avec la première.
- *Le passage de la fenêtre des 800 nm à celle des 1300 nm, puis des 1550 nm,* présentant l'atténuation minimale, qui est la norme aujourd'hui en matière de réseaux de transport.



Au début, les premières liaisons supportaient des débits de 8 à 34 Mbit/s. Mais avec le passage à la fenêtre 1550nm, nous atteignons désormais des débits de 560 Mbit/s.

De plus, par rapport à un système coaxial, l'espace entre les répéteurs passe à environ 70km pour une liaison 560 Mbit/s.

Ce dernier avantage renforce l'intérêt de la fibre optique, notamment dans des liaisons sous-marines.

Depuis les années 90, les chercheurs s'orientent vers des liaisons tout-optiques. Ainsi, les délais de transmissions ne seraient plus limités par les temps de commutations des composants électroniques qui sont utilisés pour régénérer les signaux au niveau des répéteurs.

A la fin du XX^{ème} siècle, deux éléments ont déterminé la promotion des réseaux optiques. Il s'agit du multiplexage en longueur d'onde (WDM) et de la norme SONET.



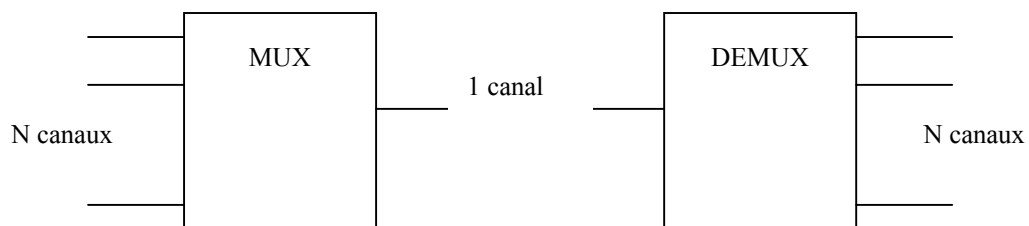
II) WDM

WDM (Wavelength Division Multiplexing) ou multiplexage en longueur d'onde est une technique de multiplexage révolutionnaire qui, en succédant à deux autres modes de modulation, a marqué l'univers des réseaux hauts débits aussi bien au niveau des débits qu'au niveau des équipements.

A) Le multiplexage

Le multiplexage est une technique qui permet de faire passer sur un canal les signaux venant de n canaux.

Les signaux entrant dans le multiplexeur (MUX) et sortant du démultiplexeur (DEMUX) sont dits voies basse vitesse. Entre ces deux équipements se trouve une voie haute vitesse.



Il existe 3 techniques de multiplexage :

- le *multiplexage fréquentiel* : on affecte à chaque signal une bande passante particulière en s'assurant qu'aucune bande passante de voie basse vitesse ne se chevauche.
- le *multiplexage temporel* : on partage dans le temps l'utilisation de la voie haute vitesse en l'attribuant successivement aux différentes voies basse vitesse même s'il n'y a aucun signal à émettre.
- le *multiplexage statistique* : basé sur le multiplexage temporel, on n'attribue la voie haute vitesse qu'aux voies basse vitesse qui ont effectivement quelque chose à transmettre.

B) FDM et TDM

Pour expliquer FDM et TDM, nous avons décidé d'utiliser le mémoire de Franck LUSTEAU sur les multiplexages.

(http://deptinfo.cnam.fr/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les_multiplexages.htm#FDM)



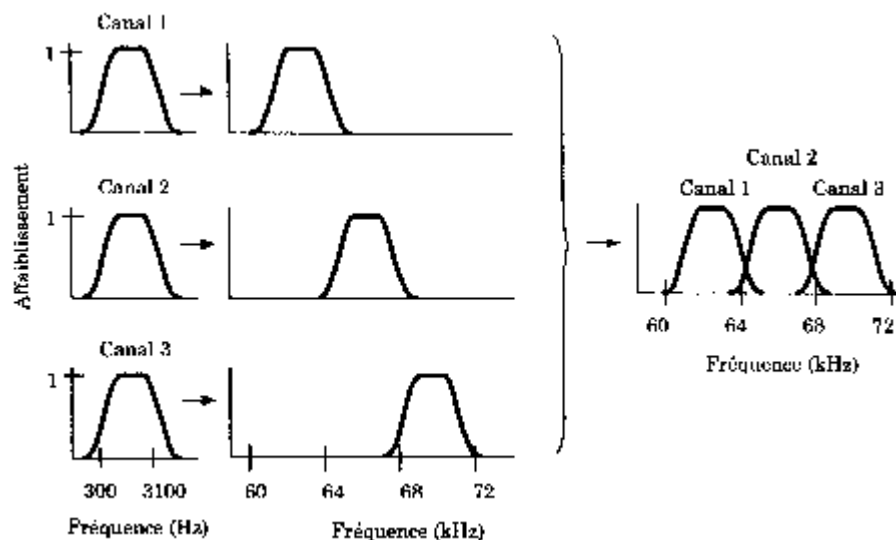
En effet, son explication est très claire et très bien illustrée. Comme il ne s'agit pas du sujet principal de notre document, nous avons préféré le citer.

1) FDM

FDM (Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence (MRF). Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.

Le multiplexage fréquentiel consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes plus étroits et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif.

L'organisation du groupe primaire, ou groupe de base, utilisée en téléphonie est basée sur un multiplexage fréquentiel. Ce dernier consiste à regrouper 12 voix téléphoniques de 4000 Hz chacune (3000 Hz utilisables plus 2 espaces inter-bandes de 500 Hz) ce qui donne une largeur de bande de 48 kHz répartie entre 60 et 108 kHz.



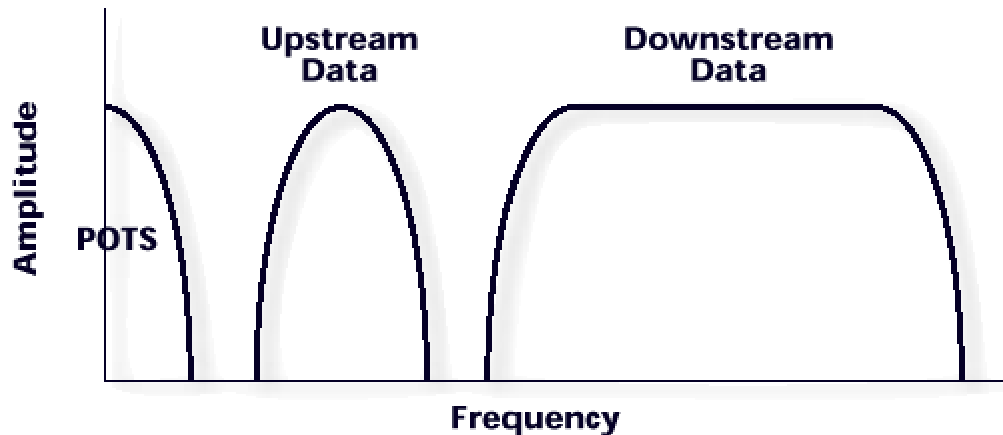
Exemple de multiplexage fréquentiel de trois canaux téléphoniques

On trouve également un bon exemple de l'utilisation de FDM avec ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line). ADSL est né de l'observation qu'une ligne téléphonique possède une bande passante d'environ 1 Mhz dans laquelle seule, une largeur de bande de 4 Khz est utilisée pour les communications téléphoniques. Il reste donc une



bande passante importante disponible pour un autre usage. C'est un multiplexage en fréquence qui va permettre son utilisation :

Frequency Division Multiplexing



Multiplexage des fréquences en ADSL

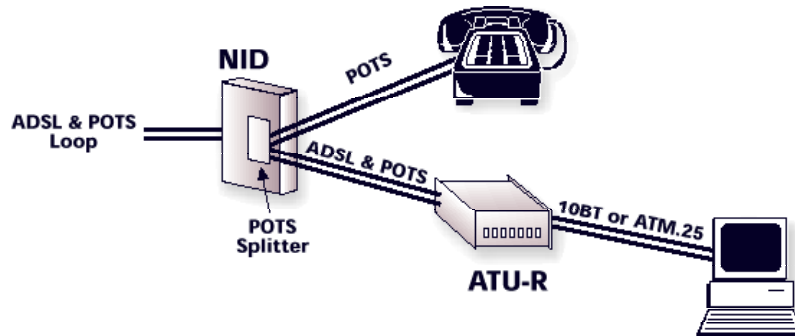
Une bande de 4 kHz est réservée pour la téléphonie classique (POTS : Plain Old Telephone Service)

Une bande est réservée pour le flux de données usager vers réseau. (Upstream Data : Voie montante).

Une bande est réservée pour le flux de données réseau vers usager. (Downstream Data : Voie descendante)

L'ensemble de la bande passante s'étend sur 1,1 MHz.

Le canal dédié au téléphone est séparé des canaux dédiés aux données par un filtre passe-bas (Splitter) passif. Le filtre envoie également l'intégralité du signal au modem ADSL (ATU-R : ADSL transceiver unit-remote). Celui-ci est doté d'un filtre passe-haut qui élimine le canal dédié au téléphone. Le signal est ensuite traité par la technologie DMT pour être transmis à l'équipement informatique via une liaison de type Ethernet 10BaseT ou ATM25.



Séparation du téléphone et des données chez l'utilisateur en ADSL

2) TDM

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing) ou MRT (Multiplexage à répartition dans le temps) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant et à tour de rôle pour chaque utilisateur.

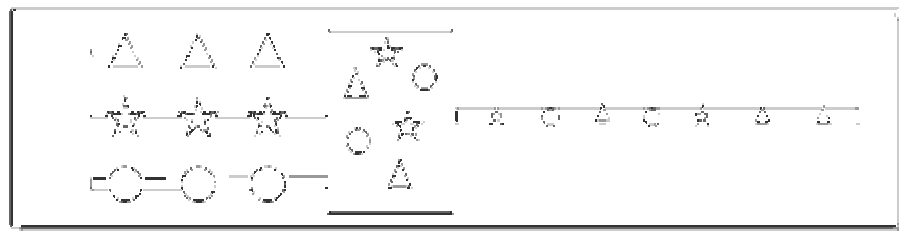


Schéma de principe d'un multiplexage à répartition dans le temps

Le multiplexage TDM permet de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé.

On retrouve ce type d'utilisation sur les canaux T1 aux Etats-Unis qui regroupent par multiplexage temporel 24 voies à 64 kbit/s en une voie à 1,544 Mbit/s ou sur les canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies analogiques en une voie à 2,048 Mbit/s.

Les canaux T1 ou E1 peuvent être multiplexés entre eux pour former des canaux à plus hauts débits, etc. Cette hiérarchie des débits est appelée hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).



Multiplexage temporel dans la hiérarchie PDH en Europe

Cette technique présente toutefois un inconvénient dans le cas de PDH. L'accès ou l'insertion d'une information dans un canal E4 oblige à démultiplexer l'ensemble du train numérique.

De même les technologies SONET (Synchronous Optical NETWORK) et SDH (Synchronous Digital Hierarchy) utilisées comme techniques de transport dans les réseaux téléphoniques des grands opérateurs pratiquent un multiplexage temporel pour assembler plusieurs lignes en une seule ligne de débit supérieur.

Le multiplexage TDM peut être utilisé indifféremment sur paire torsadée ou fibre optique, il est indépendant du média de transmission.

C) Le principe de WDM

La fibre optique possède un avantage non exploité par les deux premiers multiplexages présentés. En effet, sur une fibre optique, il est possible d'utiliser plusieurs longueurs d'onde simultanément. C'est justement sur ce principe qu'une technique de modulation a été mise en place avec de nombreux avantages mais tout de même quelques limites.

1) Fonctionnement

L'idée est de reprendre le multiplexage fréquentiel utilisé dans les réseaux électriques pour l'appliquer dans le domaine optique.

En effet, si un signal électrique est composé de plusieurs fréquences, un signal optique est lui composé de plusieurs longueurs d'ondes.



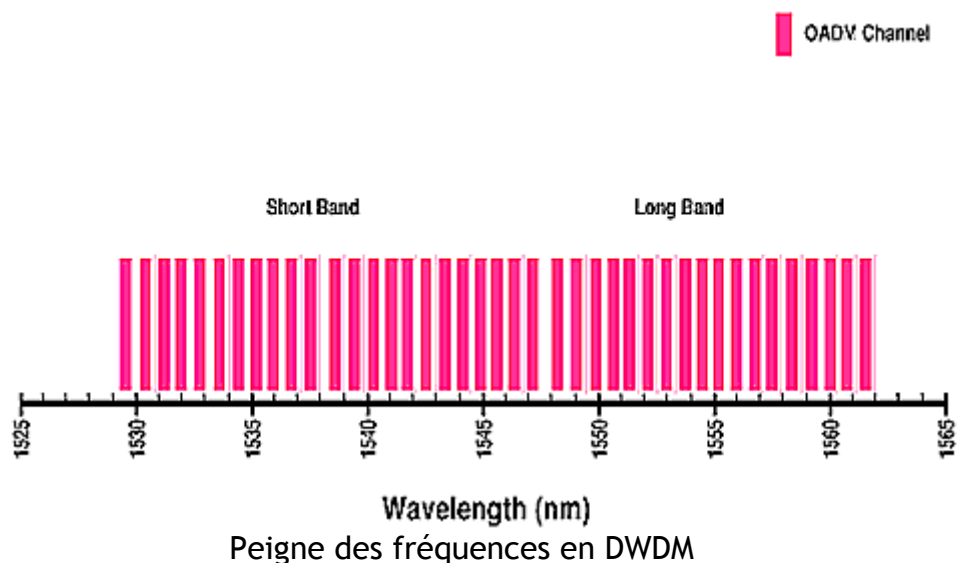
Le principe du multiplexage en longueur d'onde est donc d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes. La fibre optique se prête d'autant plus à cela que sa bande passante est très élevée (de l'ordre de 25000GHz).

La norme ITU-T G692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm et un espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes de 1,6 ou 0,8 nm.

Le multiplexage de longueur d'onde se fait exclusivement sur fibre monomode.

Lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'ondes est égal ou inférieur à 0,8 nm ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés, on parle alors de DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Des tests ont déjà été effectués avec des espacements de 0,4 et 0,2 nm.



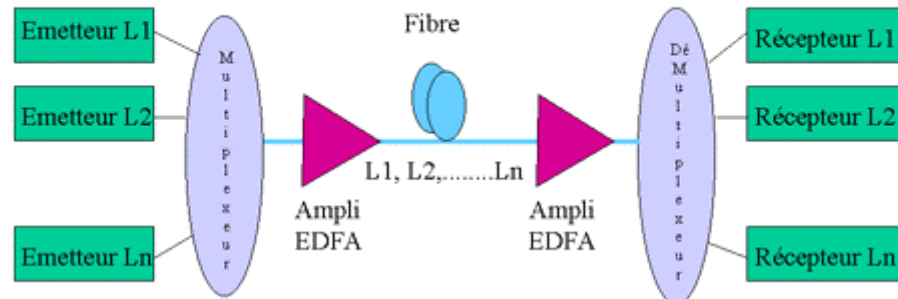
Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller de 10 à 200 Gbits/s. En effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2,5 Gbit/s par canal.

Un système à 16 canaux de 2,5 Gbit/s (soit 40 Gbit/s) permet l'acheminement de 500 000 conversations téléphoniques simultanément sur une seule paire de fibre optique.

Des recherches sont actuellement en cours pour accroître le débit offert sur chaque canal. On pourrait rapidement atteindre 10 Gbit/s.



Principe d'une liaison WDM/DWDM

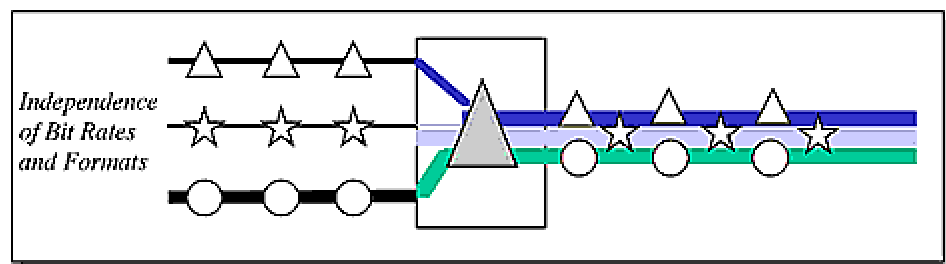


Principe d'une liaison WDM/DWDM

A chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il y a des pertes appelées pertes d'insertion. Pour compenser ces pertes et également réduire le bruit, on utilise un amplificateur à fibre dopée erbium, EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier).

Mais il y a d'autres perturbations qui déforment le signal. En effet, des phénomènes non linéaires se produisent lors de la propagation du signal dans la fibre. Il apparaît des risques de diaphonie et de mélange des canaux. C'est pourquoi la technologie WDM nécessite des amplificateurs tous les 50 à 100 km.

Chaque train de signaux numériques, après multiplexage, est véhiculé sur sa propre longueur d'onde comme sur une seule fibre. Ces trains peuvent donc être de débits et de formats différents.



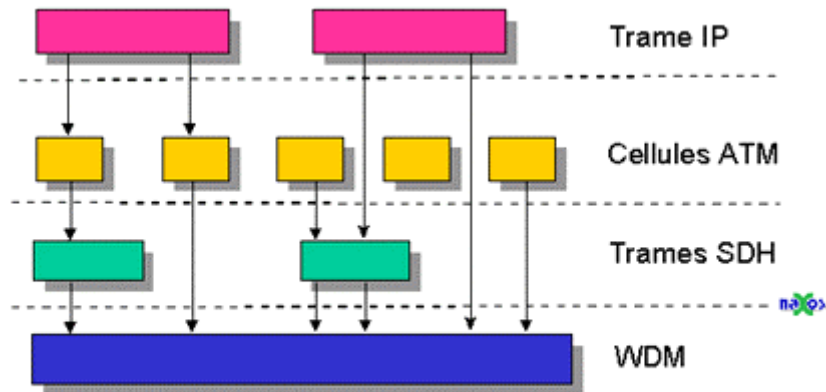
Indépendance des débits et formats de chaque canaux en WDM

Ainsi, on peut trouver sur une même fibre de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM, des données dans des trames IP, etc.

Le multiplexage de longueur d'onde est donc une technologie de transport indépendante des protocoles utilisés : tout signal ce qui peut



être transmis sur une fibre optique peut être multiplexé avec un autre signal.



Combinaisons entre les différentes couches services et transports

Source : <http://www.telcite.fr/hwdm.htm>

Un mode d'utilisation possible de WDM consiste à affecter un usage à chaque canal. Dans le cas d'un réseaux en anneaux, il est possible de déployer des structures logiques maillées, en bus, point à point, en anneau ou en diffusion.

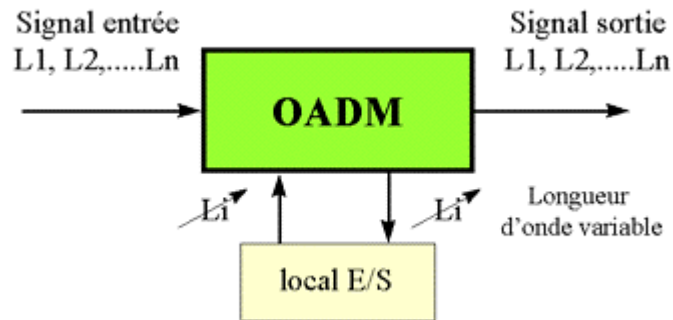
L'attribution d'une longueur d'onde se fait par reconfiguration logicielle du système ce qui n'engendre aucune modification matérielle.

WDM et plus précisément DWDM apporte une réelle solution aux pénuries de bande passante. Jusqu'à présent le développement des réseaux de télécommunications était basé sur l'utilisation de technologies de type SONET/SDH/TDM. Mais avec l'arrivée de cette technologie, on peut désormais multiplier par 16 la bande passante de réseaux optiques traditionnels.

2) Le matériel

Trois équipements sont essentiels dans les réseaux optiques pour qu'ils deviennent " tout optique ", il s'agit :

- les multiplexeurs à insertion/extraction optique
- les brasseurs optiques
- les commutateurs optiques.



Schémas de principe d'un multiplexeur à insertion/extraction optique (Optical Add Drop Multiplexing : OADM)

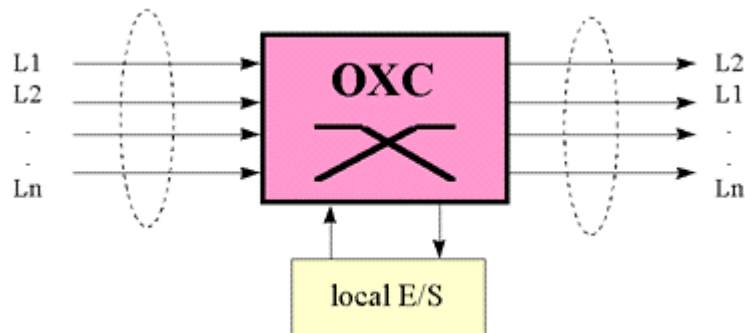


Schéma de principe d'un brasseur optique (Optical Cross-Connect : OXC)

Ces fonctions sont aujourd'hui encore assurées par du matériel électrique; mais le temps de conversion des signaux électriques en signaux optiques et inversement est important. Une meilleure exploitation de la fibre et de DWDM passe donc par la mise en place de réseaux tout optiques.



III) SONET

L'évolution des débits des différents services, les besoins en flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitation-maintenance, l'augmentation continue de la capacité de transmission sur fibre optique et le besoin d'interconnexion entre opérateurs à des débits élevés et normalisés ont montré les limitations de la hiérarchie actuelle et ont conduit à une normalisation.

A) SONET ou SDH ?

Les recherches sur SONET aboutissent à chaque fois sur une autre technologie : SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Il convient donc de bien introduire les origines de SONET et les liens entre SONET, PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) et SDH.

1) Introduction à SONET

SONET (Synchronous Optical Networks) est une proposition initiale de Bellcore, définissant la couche de transport physique d'une architecture à haut débit. SDH (Synchronous Digital Hierarchy) correspond à une vision spécifique de SONET, demandée par les Européens et adaptée à l'ATM.

Nous orienterons nos recherches plutôt vers SDH qui est plus utilisée en Europe et plus médiatisée sur internet. Toutefois, les différences entre ces deux technologies sont très minces.

2) De PDH à SDH

PDH est la technique qui a précédé SDH. Elle consiste à multiplexer et de transporter des éléments binaires de débit inférieur en les transmettant à des débits supérieurs.

Les débits inférieurs sont donc élevés à une valeur supérieure par jonction d'éléments binaires de justification, avec une indication de leur présence dans la trame résultante. Le débit n'est donc pas exactement le multiple de ce qui rentre mais légèrement plus. C'est cela qui l'a qualifié de plésiochrone (en grec, plésio = presque, plésiochrone = presque synchrone).

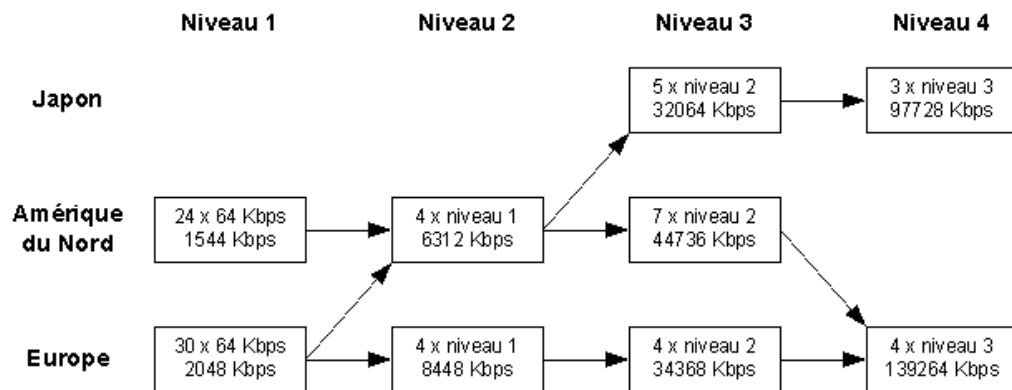
Le principal défaut de cette technique de multiplexage est qu'elle ne permet pas d'avoir accès aux informations d'une voie directement sans démultiplexer l'ensemble des voies.



Par exemple, pour fournir une ligne à 2Mbit/s plusieurs multiplexages et démultiplexages doivent être faits pour l'extraire d'un canal rapide à 140Mbit/s.

C'était un défaut acceptable en téléphonie mais pour l'utilisation sur des réseaux optiques, cela devient inadmissible.

Le Japon, l'Amérique du Nord et l'Europe ont défini des standards différents en terme de multiplexage temporel. En Europe, nous utilisons un multiplexage de 30 lignes à 64 Kbps alors que les deux autres ne font du multiplexage que sur 24 lignes. Ces différences vont générer des standards différents dans chacun des trois pays à chaque niveau de multiplexage.



L'évolution de PDH a donc donné naissance à deux technologies : SDH pour les Européens et SONET pour les Américains.

B) Le principe de SONET/SDH

1) L'arrivée du SDH

Le SDH offre des avantages significatifs sur le PDH. Le SDH repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte, en plus du haut débit (plus élevé qu'en PDH) :

- *Une souplesse accrue* quant à la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex
- *Une facilité d'exploitation-maintenance* (des débits importants sont réservés à ces fonctions)
- *Une possibilité d'évolution vers des hauts débits* (les trames synchrones hauts débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base. Cette entité de base définit implicitement toutes les trames hauts débits, la limitation n'est plus que technologique)



- Une interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes
- Des architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipements
- La modularité des équipements SDH est plus adaptée aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

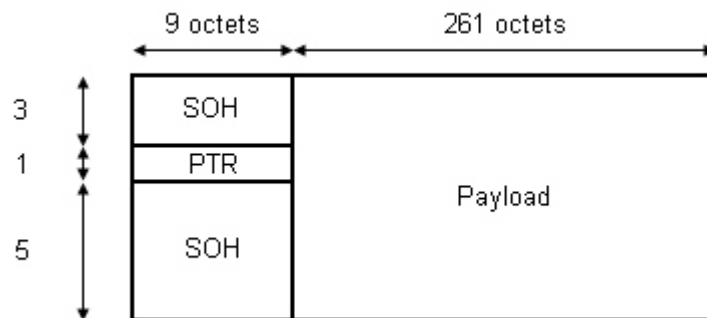
2) Les trames SDH

Il y existe différentes trames en SDH. La trame de base est appelée le STM-1 (Synchronous Transport Module, niveau 1).

STM-1 à une longueur de 2430 octets. Sa fréquence de transmission est de 125ns ; ce qui nous donne un débit de :
 $2430 \times 8 / 125 = 155,52 \text{ Mbit/s}$.

Dans cette trame, 9 octets sont réservés à la gestion et à l'adressage, il reste donc une charge utile de 150,336 Mbit/s.

La trame STM-1 contient 3 blocs. Voici un schéma de cette trame :



SOH : (section overhead) information de transport

PTR : pointeur

Payload : Information à transmettre

C'est dans le pointeur que réside le secret de la hiérarchie numérique synchrone. En effet, c'est le pointeur qui assure à lui seul la synchronisation.

Le principe est simple : SDH utilise des pointeurs et une technique de justification « négative-nulle-positive » pour pouvoir faire « flotter » les informations utiles dans la trame et ainsi les décalages de phase entre les équipements sont absorbés.

Par exemple, si l'horloge utilisée localement a une fréquence supérieure à celle du signal arrivant, une section spéciale de la trame



(le POH) est utilisée pour transmettre le surdébit et le pointeur est décrémenté d'une unité. Et inversement, quand le signal varie plus vite que l'horloge locale, on insère des bits de bourrages et on incrémente la valeur du pointeur.

Lorsque la quantité d'information à transporter est supérieure à la zone disponible dans la trame SDH, elle se continue dans la trame suivante et la fin est indiquée par un "marqueur de fin".

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés en n niveaux appelés STM - n (Synchronous Transport Module, niveau n).

SDH	Débit
STM-1	155 Mb/s
STM-4	622 Mb/s
STM-16	2 Gb/s
STM-64	10 Gb/s
STM-128	20Gb/s
STM-256	40Gb/s

Le niveau STM 4 et STM 16 est formé respectivement de 4 et 16 trames de base STM 1.

3) Les conteneurs virtuels

Pour transporter les signaux, on utilise des conteneurs virtuels (VC : Virtual Container). C'est dans ces VC que se trouvent les sections de surcharge (POH : Path OverHead) qui sont utilisées par les pointeurs.

Le transport des conteneurs sur les trames STM 1 à STM 16 s'effectue par un multiplexage temporel.

Le couple pointeur-VC, appelé AU (Administrative Unit) permet donc de transporter des signaux aussi bien synchrones qu'asynchrones.

En fonction du débit, les unités administratives sont de deux niveaux possibles : AU3 et AU4.

Les conteneurs sont gérés dans le réseau de transmission SDH, indépendamment des signaux qu'ils transportent. Ce packaging est appelé adaptation.



Il existe deux types de conteneurs virtuels :

- *Les conteneurs virtuels d'ordre inférieur* (VC-11, VC-12, VC-2 et VC-3) qui sont transportés dans des conteneurs virtuels d'ordre supérieur.
- *Les conteneurs virtuels d'ordre supérieur* (VC-3 et VC-4) qui sont multiplexés pour former le signal résultant.

Les VC ont donc différentes tailles récapitulées ci-dessous :

Virtual Container	Capacité
VC-11	1,7 Mb/s
VC-12	2,3 Mb/s
VC-2	6,8 Mb/s
VC-3	50 Mb/s
VC-4	150 Mb/s

4) Différences entre SONET et SDH

La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET pour les interfaces ATM.

La hiérarchie des débits étant différente sur les trois continents (USA, CE, Japon), c'est un débit de 51,84 Mbps qui a été choisi pour former le premier niveau de SONET : STS-1 (Synchronous Transport Signal, niveau 1). Les autres niveaux de SONET sont appelés OC-n (Optical Carrier, niveau n).

Il y a donc juste un décalage entre les niveaux de SDH et de SONET : le niveau 1 de SDH (155,52 Mb/s) est le niveau 3 de SONET et le niveau 2 de SDH (622,08 Mb/s) est le niveau 12 de SONET.

SDH	SONET	Débit
STM-1	OC-3	155 Mb/s
STM-4	OC-12	622 Mb/s
STM-16	OC-48	2 Gb/s
STM-64	OC-192	10 Gb/s
STM-128	OC-384	20Gb/s
STM-256	OC-768	40Gb/s

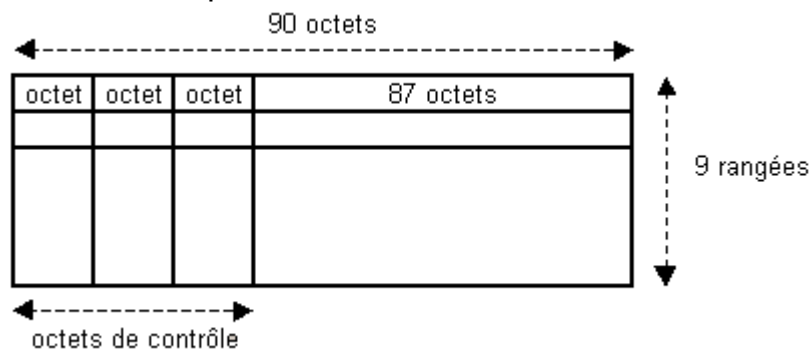


On remarque que comme en SDH, les niveaux supérieurs de la trame de base sont des multiples de celui-ci.

Dans SONET, on décrit la composition d'une trame synchrone émise toutes les 125 μ s. La longueur de cette trame dépend de la vitesse de l'interface.

5) La trame SONET

La trame SONET est composée de 9 rangées. Les trois premiers octets de chaque rangée contiennent des informations de synchronisation et de supervision.



Tout comme en SDH, on retrouve le principe d'adaptation lié à l'encapsulation des données dans des conteneurs virtuels.

C) La sécurité

Selon un article de JJ. Puig, thésard à l'INT :

Différentes techniques peuvent sécuriser l'utilisation de SONET/SDH ; ces techniques sont principalement le contrôle d'accès et le chiffrement, des solutions classiques. Contre les attaques de format par l'insertion de données spécifiquement construites, le brouillage s'avère être une excellente technique, au moins sur le plan théorique.

Cependant, SONET et SDH n'en restent pas moins sensibles à quelques utilisations biaisées, comme l'insertion de séquences d'échappement. A priori, ces limites ne constituent pas réellement des problèmes de sécurité majeurs : elles ne peuvent causer de dénis de service sur le réseau, et la dégradation de la prestation ne devrait pas être significative (cela dépend, en réalité, du type de connexion dont dispose l'attaquant).

En conclusion de cette étude, JJ. Puig affirme qu'utiliser SDH et SONET en toute sécurité est réaliste, la complexité des attaques à mettre en oeuvre étant très élevée.



D) Les équipements

1) Les principaux équipements

Il existe 4 catégories principales d'équipements permettant de réaliser des liaisons SDH :

- *Switch card* : cette carte assure les fonctions de multiplexage et de brassage du trafic entre les interfaces de ligne et les autres interfaces. Sa capacité est de 12x12 équivalents STM-1, sans limitation ("non blocking matrix"). Cette carte peut être dédoublée afin d'assurer la protection.
- *Les cartes de lignes (STM-1,4,16..)* : ces cartes assurent la transmission optique des signaux STM. Elles ne sont pas dédoublées. La défaillance de l'une de celles-ci n'affecte pas le trafic protégé puisque celui-ci est transmis simultanément sur les interfaces "East" et "West".
- *Le multiplexer controller module* : cette carte assure les fonctions de contrôle central et de sauvegarde de la configuration. Elle n'est pas dédoublée car sa défaillance ne perturbe pas le trafic.
- *La carte de communication* : cette carte assure les fonctions de management vers le réseau de gestion. Celui-ci est acheminé au moyen du signal STM en ligne. Cette carte n'est pas dédoublée étant donné que sa défaillance ne perturbe pas le trafic.

2) Les retours d'alarmes

SDH permet de réaliser des remontées d'alarmes sur les différents équipements. Ces alarmes correspondent à différents problèmes qui pourraient exister sur les équipements ou les liaisons.

Les principales alarmes sont :

- AU-AIS (Administrative Unit Alarm Indication Signal)
- AU-LOP (Administrative Unit Loss of Pointer)
- HP-UNEQ (HO Path Unequipped)
- HP-RDI (HO Path remote Defect Indication)
- LOF (Loss of Frame) Perte de trame
- LOS (Loss of Signal, drop in incoming optical power level causes high bit error rate.) Perte de signal
- LOP (Loss of Pointer) Perte de pointeur
- LP-UNEQ (LO Path Unequipped)



-
- MS-AIS (Multiplex Section Alarm Indication Signal)
 - MS-REI (Multiplex Section Remote Error Indication)
 - MS-RDI (Multiplex Section Remote defect Indication)
 - OOF (Out of Frame)
 - TU-AIS (Tributary Unit Alarm Indication Signal)
 - TU-LOM (Loss of Multiframe)



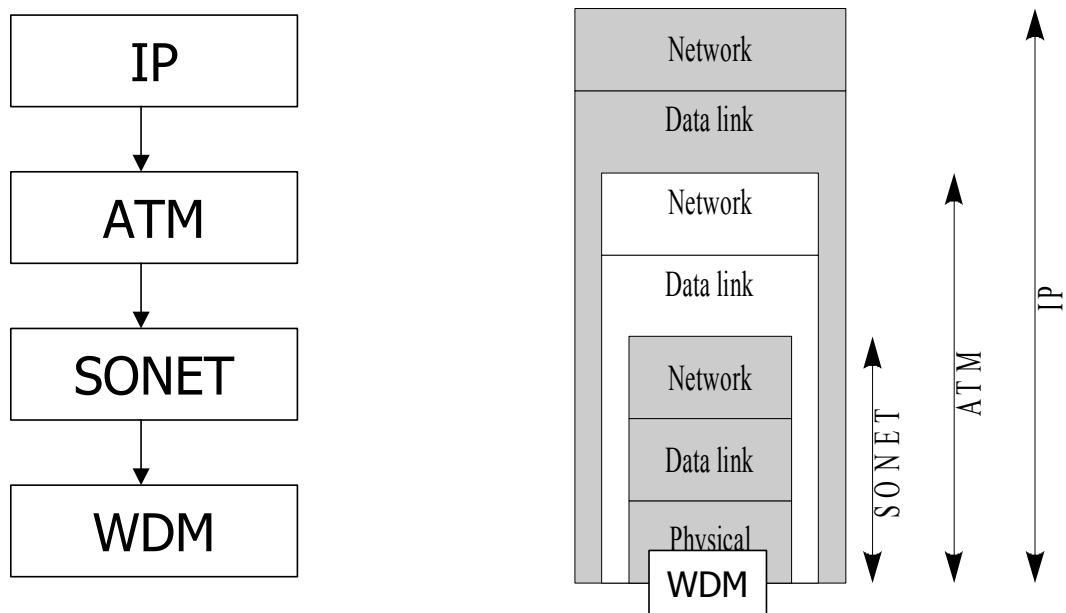
IV) Les utilisations de SONET et WDM

Aujourd'hui, les utilisations de SONET et WDM se multiplient. En effet, l'utilisation couplée de ces deux technologies permet d'obtenir des réseaux optiques intégrant les points forts de SDH : fiabilité des transmissions et gestion de la bande passante.

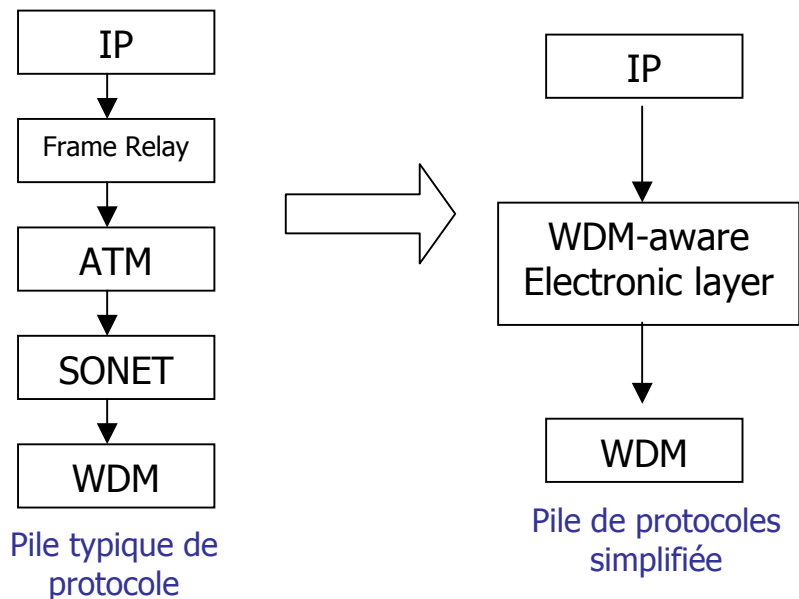
Ces réseaux sont actuellement en pleine expansion partout dans le monde et les exemples sont de plus en plus nombreux.

A) Structure d'un réseau optique

Un réseau optique, utilisant SONET et WDM, se structure ainsi :



Cependant, les chercheurs tentent actuellement de réduire la pile de protocoles utilisés pour arriver dans des solutions tout-optique. On pourrait alors voir bientôt arriver des réseaux construits ainsi :



Les chercheurs se fixent aussi pour challenge de réaliser de l' « Optical buffer » ou autrement dit de pouvoir stocker de la lumière...

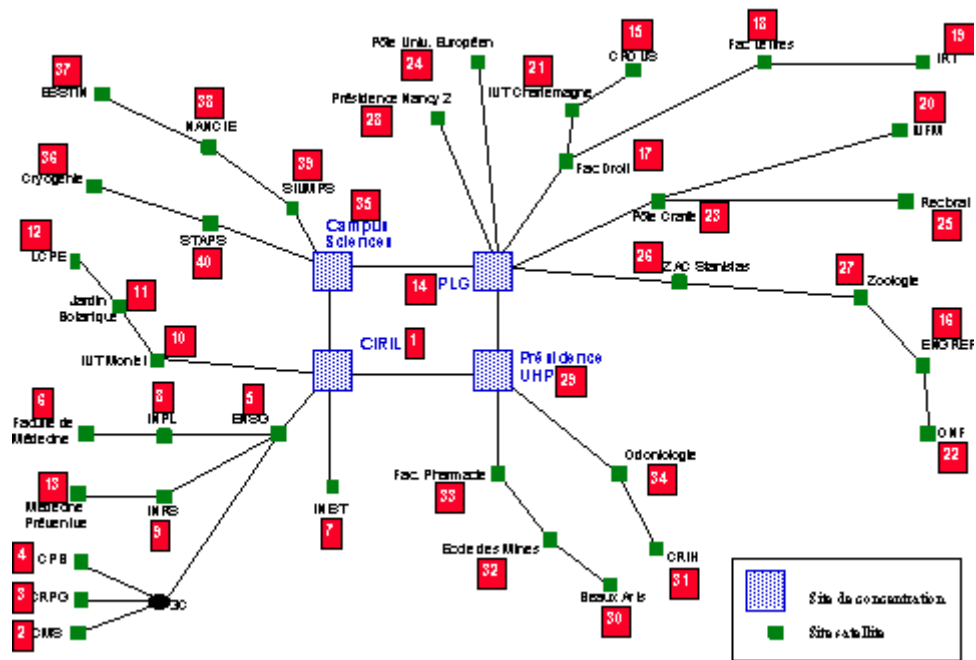
B) Exemple MAN : StanNet2

Le réseau StanNet à été créé afin de favoriser les échanges entre les différents établissements de la communauté de l'enseignement supérieur et de la recherche de Nancy. L'ensemble de cette communauté est répartie sur une quarantaine de sites nancéiens et une dizaine de sites délocalisés (Verdun, Longwy, Epinal,...). Cela représente une population d'environ 50 000 étudiants et 4 000 enseignants-chercheurs utilisant un parc informatique d'environ 10 000 postes.

Le nouveau réseau StanNet2 qui a été mis en place utilise les technologies de transfert (ATM). Ainsi, StanNet2 intègre plusieurs protocoles à de très haut débits et offre sur un même support la possibilité d'applications hautement interactives (télésurveillance, visioconférence, vidéoconférence, vidéo à la demande,...).



StanNet 2 - Schéma physique de l'infrastructure



Topologie StanNet 2 - Phase 1

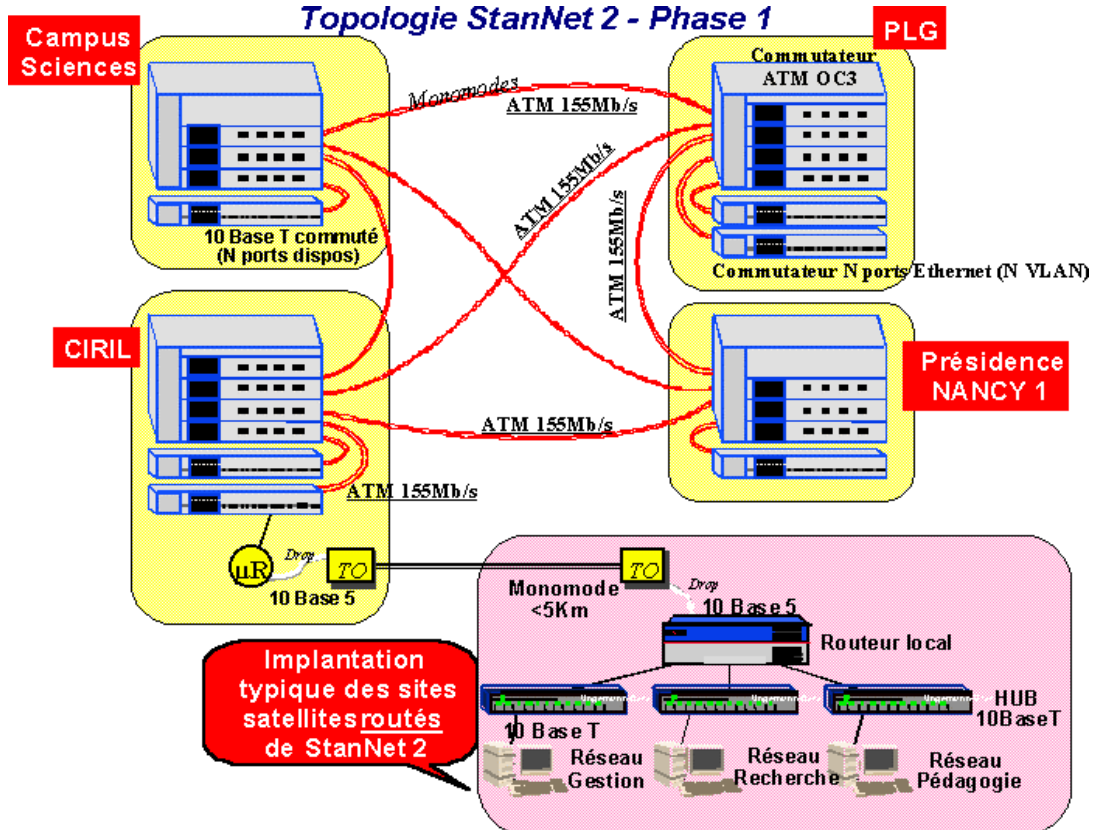
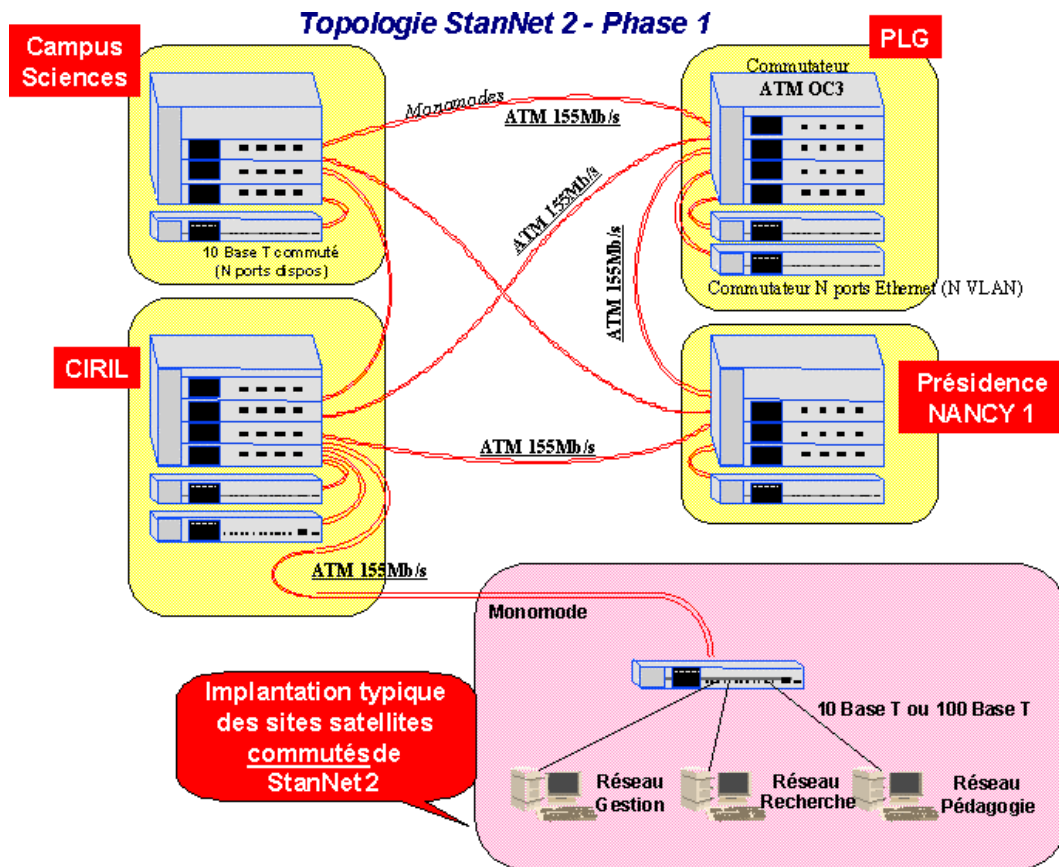


Schéma de principe de raccordement pour les sites équipés de routeurs existants



Seul le protocole IP est utilisé sur ce MAN. C'est pourquoi tous les équipements permettent l'implémentation de LAN Emulation 1.0.

Le LAN Emulation permet de véhiculer plusieurs protocoles LAN sur le réseau ATM (IP, IPX, NetBEUI, etc.).

Par ailleurs, l'ensemble des équipements rend possible la migration des liens SONET/SDH 155Mb/s vers des liens SONET/SDH 622Mb/s.

On constate dans cet exemple que l'utilisation de WDM et SDH permet de répondre à des besoins en haut-débit de plus en plus important.

Dans le cas de StanNet2, toute la souplesse et l'évolutivité de SDH est mise en avant.

C) Les utilisations au niveau WAN

Aujourd'hui, la fibre optique est très utilisée en France, en Europe et dans le monde.



En France et en Europe, nous pouvons citer le réseau LDCOM qui comprend 11000 km de fibre pour relier 60 villes. En utilisant WDM et SDH, il peut atteindre ainsi des débits de plusieurs centaines de Gbits/s.

Prolongé aux extrémités par des MAN, ce réseau s'étend aujourd'hui en Espagne, en Italie et en Suisse.

Au niveau mondial, les liaisons intercontinentales sont en perpétuelles évolutions pour pouvoir supporter l'évolution incessante du trafic.

Aujourd'hui, les travaux récents du C.N.E.T (Centre National d'Etudes en Télécommunications) sur la transmission soliton montrent que l'on peut repousser la limite inter-amplificateurs.

Un soliton une impulsion lumineuse très courtes qui se propage sans déformation remarquable de sa forme ni variation de sa vitesse. Ce phénomène a été remarqué pour la première fois sous la forme d'une vague dans un canal, mais il existe dans de nombreux domaines, dont la lumière.

De ce fait, on peut utiliser une bande passante très large avec des vitesses de transmission de l'ordre du pétrabit par seconde soit un million de gigabit par seconde.

La modulation des impulsions se base sur le codage de l'impulsion correspondant à un un logique à l'aide de deux ou trois niveaux.

Cette technologie a été utilisée par MCI-WorldCom qui a atteint un débit de 10 Gbit/s sur 900 kilomètres et par le CNET, en mars 1999, qui a transporté des données à un débit supérieur à un téra-bit par seconde sur 1000 km via une fibre optique conventionnelle.

La fibre optique semble donc être le médium de l'avenir dans les liaisons longues distances.



Conclusion

Très peu abordés lors de notre cursus scolaire, les réseaux optiques représentent une part non négligeable des transmissions très haut-débits.

Aujourd'hui utilisés dans de nombreux réseaux MAN ou WAN, SONET (SDH pour l'Europe) et WDM sont deux technologies qui ont révolutionné ce type de réseaux.

L'évolution de SDH permet aujourd'hui d'atteindre des records en terme de débits. Pourtant il semblerait que ce protocole soit condamné à disparaître pour laisser place à une nouvelle couche qui permettra la mise en place de réseaux tout optique.

L'utilisation de WDM et de Soliton permettront bientôt d'effectuer des communication à un petrabit/s soit un million de Gigabits par seconde. De tel débits nous semblent aujourd'hui inimaginable et pourtant, ils sont arrivés à notre porté.

Avec de telles évolutions, en si peu de temps, nous pouvons nous demander à quoi ressembleront les réseaux d'ici une vingtaine d'années. Mais il semblerait que la fibre optique soit le support ultime.



Bibliographie

Les supports physiques

<http://www.guill.net/index.php?cat=5&arc=8>

Le haut-débit

<http://eric.jeury.free.fr/DESS/COURS10/Le%20haut%20d%E9bit.htm>
Réseaux haut débit - Marc Boiseau, Michel Demange et Jean-Marie MUNIER
(Eyrolles)
Réseaux haut débit - Pierre Rolin - 2^{ème} édition (Hermes)

WDM

<http://www.spie.org/web/oer/november/nov00/wdm.html>
http://deptinfo.cnam.fr/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les_multiplexages.htm
<http://www.rd.francetelecom.fr/fr/conseil/mento19/chapitre1.pdf>
<http://users.skynet.be/libertad1789/Multiplexages.htm#WDM>
Capteurs à Fibres Optiques et réseaux associés - P. Ferdinand (lavoisier)

SONET/SDH

http://web.wanadoo.be/nono.scal/sonet_sdh/sonet%20sdh.htm
http://www.egs-howto.com/fr/reseaux/wan_sdh.php
<http://www.rd.francetelecom.com/fr/conseil/mento4/m4chap3.pdf>

IP et WDM

<http://www.cs.berkeley.edu/~randy/Courses/cs294.s02/IPWDM.ppt>

SECURITE SONET/SDH

http://www-lor.int-evry.fr/~maknavic/Rapports_Recherche/sdh-rapport/sdh-rapport.pdf

StanNet

<http://www.stannet.net/prestech/cctp/>



Table des matières

Introduction	2
I) Les réseaux optiques	3
A) Du cuivre à l'optique.....	3
B) Les fibres optiques	3
1) Fabrication.....	3
2) Les évolutions	4
II) WDM	6
A) Le multiplexage.....	6
B) FDM et TDM	6
1) FDM	7
2) TDM	9
C) Le principe de WDM.....	10
1) Fonctionnement.....	10
2) Le matériel.....	13
III) SONET	15
A) SONET ou SDH ?	15
1) Introduction à SONET	15
2) De PDH à SDH	15
B) Le principe de SONET/SDH.....	16
1) L'arrivée du SDH	16
2) Les trames SDH	17
3) Les containers virtuels.....	18
4) Différences entre SONET et SDH	19
5) La trame SONET.....	20
C) La sécurité	20
D) Les équipements.....	21
1) Les principaux équipements.....	21
2) Les retours d'alarmes	21
IV) Les utilisations de SONET et WDM	23
A) Structure d'un réseau optique.....	23
B) Exemple MAN : StanNet2	24
C) Les utilisations au niveau WAN.....	26
Conclusion	28
Bibliographie	29