

Les réseaux optiques

■ Jean-Paul GAUTIER, jpg@urec.cnrs.fr
CNRS / UREC

Une des grandes tendances de la fin des années 90 est la demande croissante en bande passante des réseaux d'entreprises et d'opérateurs. Plusieurs facteurs induisent cette demande : de plus en plus d'utilisateurs de l'Internet, les applications de calcul incluant les bases de données distribuées, les communications multimédia, le commerce électronique... L'évolution des capacités de transport des fibres optiques permet de reconsidérer complètement les infrastructures physiques actuellement à 2,5Gb/s ATM et 10 Gb/s SONET-SDH, les réseaux optiques basés sur l'émergence d'une couche de transport optique fournissent une plus grande capacité et réduisent les coûts pour la mise en œuvre des nouvelles applications.

■ Evolution de l'infrastructure transport

Les grandes étapes

Les réseaux de télécommunications numériques ont évolué à travers trois grandes étapes : réseaux asynchrones, réseaux synchrones, réseaux optiques.

Un réseau peut être modélisé de la manière suivante (Fig. 1) :

- une couche service qui fournit les fonctions nécessaires aux communications de l'utilisateur final ;
- une couche infrastructure : ATM, IP, RTC... ;
- une couche transport qui fournit la connectivité entre les équipements (ATM, IP...) sur un média ; physique : fibre optique, radio, hertzien, cuivre.

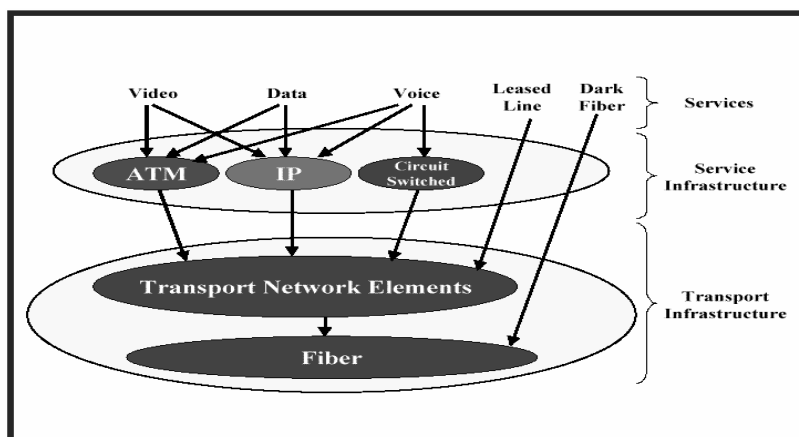


Figure 1. Couches réseaux, modèle actuel (source NORTEL).

Réseaux asynchrones

Chaque élément du réseau a sa propre horloge interne utilisée pour transmettre les signaux, cette indépendance des horloges se traduit par des dérives qui conduisent à des erreurs sur l'information (« bit errors »). Ce type de réseau ne supporte pas le haut-débit.



Réseaux synchrones

L'aboutissement de la standardisation est la création du réseau optique synchrone (SONET aux USA, SDH en Europe). Sont définis : les débits, les codages, la structure de la trame, les fonctionnalités opérationnelles et de maintenance.

Les opérateurs peuvent utiliser des équipements de constructeurs différents. Actuellement les réseaux SONET-SDH des opérateurs utilisent couramment les débits de 2.5 Gbs et 10 Gbs. Cependant les limitations des lasers et la disponibilité de fibre optique font que l'augmentation des débits dans cette technologie n'est pas envisageable.

Réseaux optiques

Les réseaux optiques ont commencé avec WDM (Wavelength Division Multiplexing) puis ont évolué vers DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ces technologies fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes. Les réseaux optiques sont basés sur l'utilisation de multiples longueurs d'ondes ; les composants d'un réseau définiront comment les longueurs d'onde sont transmises, assemblées, mises sur le réseau.

Un réseau optique (réseau de photons) peut pourvoir aux besoins de IP et ATM et transporter SDH, PDH (Fig. 3), chacun de ces protocoles peut être associé à une longueur d'onde (Fig. 2).

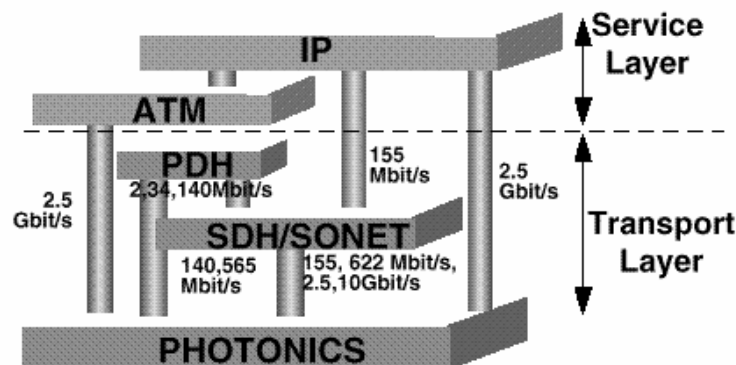


Figure. 2 Réseau optique : modèle (source MARCONI).

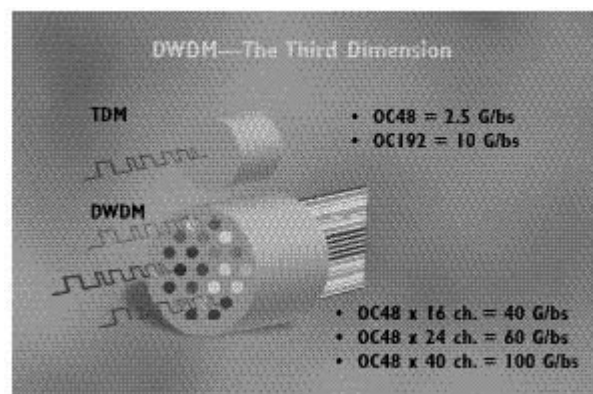


Figure 3. DWDM, incipit (source CIENA).

Le réseau optique futur sera constitué d'une couche de transport optique sur laquelle s'interconnecteront les services IP, ATM. L'élimination de certains protocoles de la couche transport (SDH...) conduira à réduire le nombre d'interfaces spécifiques, la granularité des débits sera plus importante (Fig. 4).

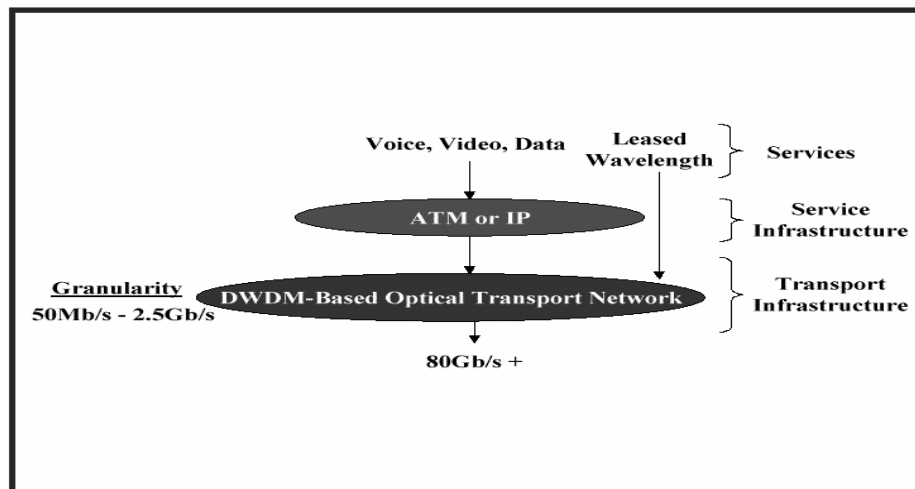


Figure. 4 Vers le réseau futur (source NORTEL).

Facteurs d'évolution vers les réseaux optiques

Les principaux facteurs peuvent être résumés de la manière suivante :

- Exploiter la fibre existante pour réduire les coûts d'installation ou utiliser au mieux l'infrastructure existante sur les chemins où la pose de fibre est très difficile. DWDM fournit plusieurs « fibres virtuelles » sur une seule fibre en associant chaque signal à une longueur d'onde.
- Supporter les standards de l'industrie afin de mettre en œuvre des équipements d'origine différente.
- Déployer des technologies mûres pour réduire les risques opérationnels.
- Augmenter la disponibilité du réseau en minimisant les interruptions de service. En cas de rupture de liaison, c'est la couche optique qui assure la restauration du réseau ; il y a les mêmes fonctionnalités que sur les anneaux Sonet-SDH.
- Faire évoluer la capacité du réseau de manière incrémentale sans investissement important en équipement et management à chaque modification de topologie.
- Simplifier le réseau pour réduire les coûts opérationnels, le nombre d'équipements optiques est inférieur au nombre d'équipements opto-électriques d'un réseau TDM (ex : les amplificateurs de ligne).

■ Technologies

Ce sont les technologies optiques assurant les fonctions nécessaires au « tout optique » qui permettent la mise en œuvre de réseaux optiques. Les technologies continuent d'évoluer augmentant les performances et les possibilités des réseaux ; la figure 5 montre l'évolution depuis l'EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) jusqu'au commutateur optique.

C'est en 1994 que deux signaux ont été combinés sur une même fibre optique (broadband WDM), les fréquences utilisées furent 1310 et 1550 nm ; le débit sur la fibre était de 5 Gbs.

La seconde grande étape, peut-être la plus importante, est l'amplificateur optique dopé à l'erbium (EDFA) qui évite la conversion en signal électrique du signal optique que l'on veut amplifier. L'application immédiate fut l'amplification de signaux sur de très longues distances.



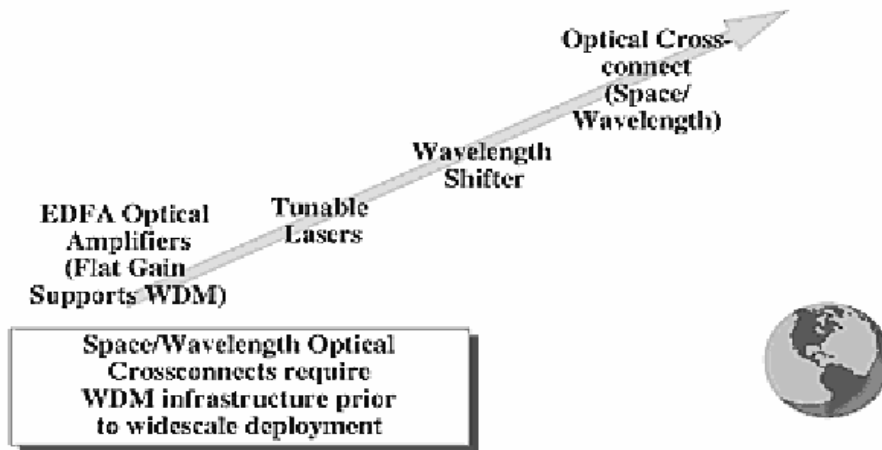


Figure 5. Evènements importants dans le développement de l'optique (source ALCATEL).

DWDM

Actuellement DWDM permet de disposer de 40 à 80 canaux sur une même fibre en multiplexant les fréquences ; on peut ainsi transporter plusieurs OC48 ou OC192 sur une même fibre, il existe des équipements qui autorisent des débits de 400 Gbs.

Les longueurs d'onde utilisées sont toutes dans l'intervalle que les amplificateurs gèrent de façon optimale, typiquement dans la bande 1530 nm à 1565 nm avec un espacement minimal entre les canaux de 200 Ghz (ITU-T Recommendation G.692).

La fibre optique monomode G652 est le support classique de la technologie, une nouvelle fibre G655 qui peut utiliser tout le spectre et non plus uniquement les fenêtres centrées sur 1310 et 1550 nm a été normalisée.

Deux types de DWDM sont implémentés aujourd'hui : uni-directionnel et bi-directionnel (Fig. 6).



Figure 6. Système bi-directionnel

Système mono-directionnel (source ALCATEL)

Composants d'un réseau optique

La figure 7 donne tous les éléments d'un réseau tout optique, certains de ceux-ci (Optical Cross Connect) ne sont pas encore déployés dans les réseaux :

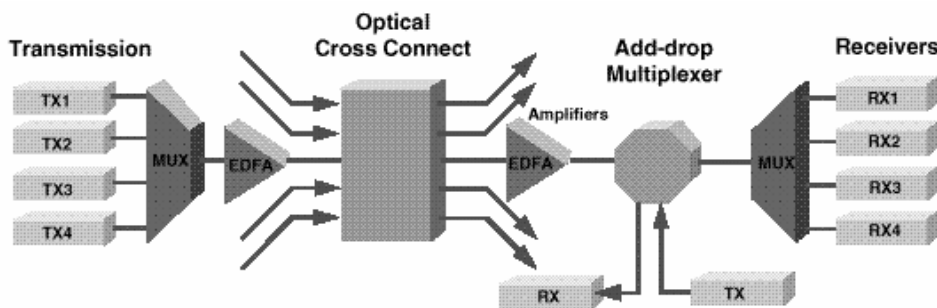


Figure. 7 Composants d'un réseau optique (source MARCONI).

En plus des amplificateurs il y a deux composants fondamentaux : les convertisseurs de longueurs d'onde (Wavelength Converters) et les multiplexeurs de longueurs d'onde (Wavelength Add/Drop Multiplexers).

Convertisseur de longueurs d'onde

A la périphérie d'un réseau optique il faut convertir un signal entrant, Sonet-SDH OC3, OC12, OC48, OC192, Gigabit Ethernet en un signal DWDM, lui associer une longueur d'onde qui va le représenter dans le réseau optique. En sortie on réalise l'opération inverse. Les convertisseurs sont indépendants du protocole ; il existe une interface Sonet-SDH et une interface pour les débits de 100 Mbs à 1.5 Gbs (Eth, Giga, ESCON...).

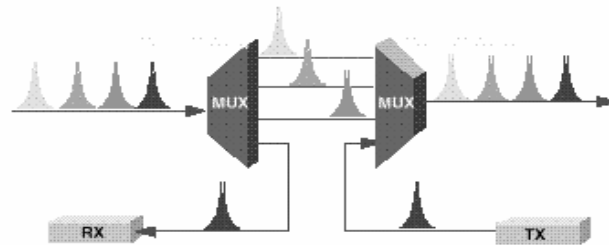
Ces convertisseurs peuvent être intégrés à l'équipement source (routeur IP, commutateur ATM), ou à l'équipement DWDM (« transponder »). Cela correspond aux TX, RX de la figure 7.

Multiplexeur/Démultiplexeur

Le multiplexeur combine plusieurs longueurs d'onde, coté TX, pour une transmission sur une seule fibre optique de tous les signaux, le démultiplexeur opère la fonction inverse, coté RX. Leur première utilisation a été d'augmenter la capacité de transmission sur une fibre optique.

Ils servent de point d'entrée sur le réseau optique et incluront des fonctions « add/drop » de longueurs d'onde et des fonctions de commutation optique (« optical cross connect ») ; il existe aujourd'hui des équipements intégrant les fonctions « add/drop » (Fig. 8), la fonction commutation optique est au stade du laboratoire.

La possibilité de commuter une longueur d'onde est fondamentale pour optimiser la capacité et l'efficacité des réseaux optiques, on s'oriente donc vers des commutateurs optiques possédant des fonctionnalités équivalentes aux commutateurs électriques en commutant une longueur d'onde sur un certain nombre de ports physiques.



Fixed Optical Add/Drop Multiplexer (OADM) (source Marconi).

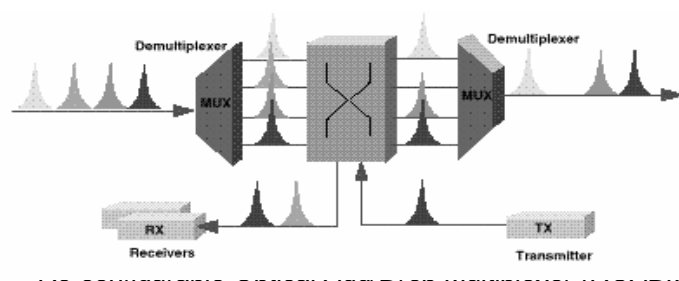


Figure 8.

■ Applications

Réseaux longue distance (Long-Haul Networks)

Ce sont les premiers réseaux à avoir intégré les technologies WDM puis DWDM :

- Utilisation de l'infrastructure fibre existante.
- Utilisation des équipements Sonet-SDH existants.
- Capacité d'évolution incrémental, par pas de 2.5 Gbs par exemple.
- Opération indépendante des débits et des formats de données.
- Première étape vers les réseaux tout optique.
- Répéteur optique tous les 120 km.



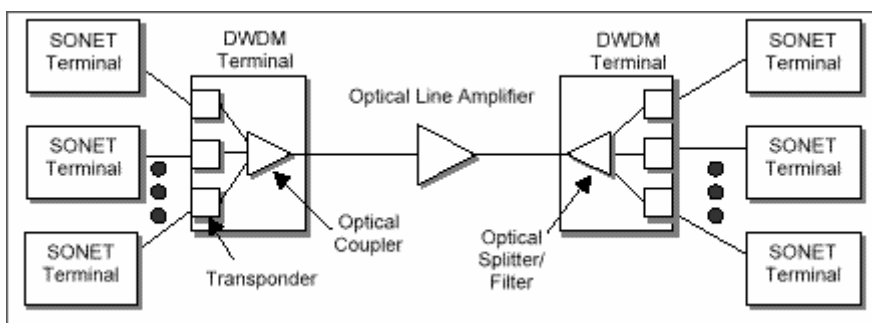


Figure 9. Architecture d'un réseau optique longue distance (source NORTEL).

Réseaux métropolitains (Metro Interoffice Networks)

Pour couvrir les besoins de l'environnement métropolitain, l'orientation vers des anneaux optiques et des multiplexeurs add/drop pour augmenter la flexibilité est impérative. Ces réseaux se connectent également à des réseaux optiques longue distance.

Les interfaces « clients » classiques pour ces réseaux sont OC3, OC12, Ethernet 100 Mbs, Gigabit Ethernet. On construit des réseaux logiques en associant à chaque longueur d'onde un couple interface – protocole (ex : λ_1 =OC12 ATM, λ_2 = Gigabit Ethernet, λ_3 = IP/SDH, λ_4 = multicast) avec une parfaite séparation des trafics (sécurité ...).

Les principaux bénéfices du déploiement de réseaux optiques dans l'environnement régional et métropolitain :

- Réduction des coûts d'infrastructure physique en utilisant la fibre existante.
- Location de « fibres virtuelles » par le client.
- Coût faible par unité de débit (Mb/s).
- Amélioration de la fiabilité du réseau en diminuant les équipements électriques, en bénéficiant de la « restauration optique ».
- Protection par des mécanismes équivalents à ceux des anneaux SDH.

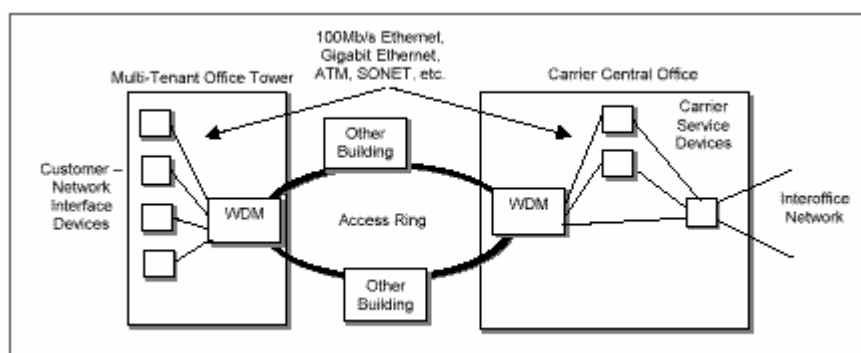


Figure 10. Architecture d'un réseau métropolitain en anneau (source NORTEL).

Exemple d'architecture

Si nous voulons construire une infrastructure réseau qui véhiculera de l'ATM OC3 et du Gigabit Ethernet nous pouvons utiliser :

- La technologie Sonet-SDH généralement fournie par les opérateurs.
- La technologie DWDM.

Architecture Sonet-SDH

Les débits étant normalisés dans cet environnement, seul un anneau OC48 (2.5 Gbs) correspond aux besoins exprimés. Un convertisseur GigaEth-Sonet est nécessaire sur les sites.

Le « backbone » n'est pas indépendant des débits et des protocoles, la bande passante disponible restante (1.2 Gbs) après mise en œuvre du réseau sur l'anneau Sonet ne permet d'accueillir qu'un nombre limité de services (1OC12 + 3OC3 par exemple)

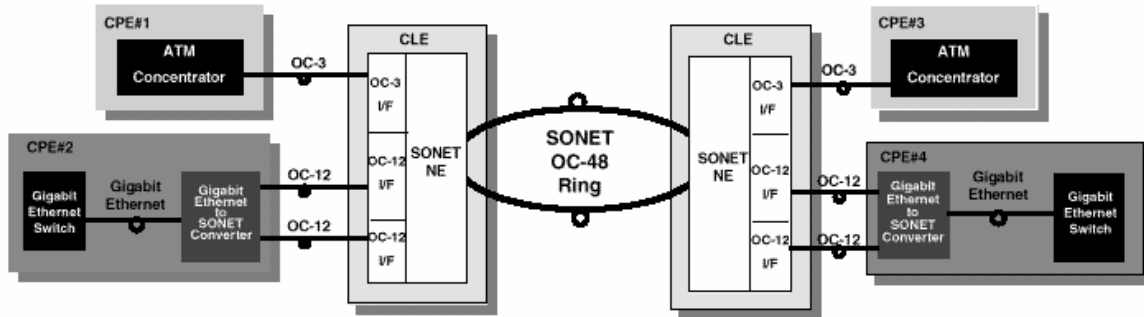


Figure 11. Réseau ATM et GigaEthernet sur un anneau Sonet-SDH (source NORTEL).

Architecture DWDM

Dans cet environnement il n'y a pas d'influence des débits et des protocoles sur le « backbone », l'architecture du réseau s'en trouve simplifiée et le « backbone » a une bande passante « quasi illimitée ». La demande de nouveaux services ne posera aucun problème au niveau du « backbone », la seule limitation vient du nombre de longueurs d'onde que savent gérer les équipements DWDM (8, 16, 40, 80).

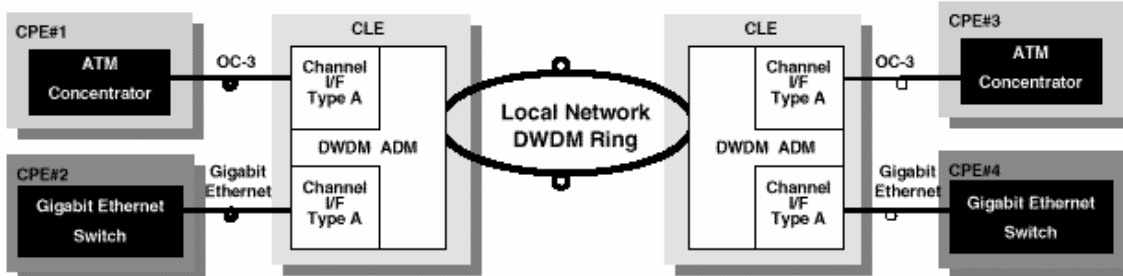


Figure 12. Réseau ATM et GigaEthernet sur un anneau DWDM (source NORTEL).

■ Perspectives pour le monde Education/Recherche

L'évolution vers les réseaux « tout optique » sera certainement un fait marquant pour le début du prochain millénaire, si pour l'instant ces technologies sont réservées aux réseaux WAN et MAN leur introduction dans l'environnement LAN (réseaux d'accès, réseaux d'entreprises) ne relève pas de l'utopie si les constructeurs arrivent à produire des systèmes DWDM à coût faible dans le même temps où le câblage en optique jusqu'à l'utilisateur final devient une alternative économique au câblage cuivre.

Le développement des réseaux métropolitains, voire régionaux imposent à l'ingénierie d'un réseau la prise en compte les constatations suivantes :

- La fibre optique est une ressource rare et chère, il faut donc optimiser l'infrastructure de liaisons.
- Dans une conception traditionnelle, une liaison optique ne permet que le transport d'une technologie (ATM, Ethernet...) en point à point ; la possibilité de construire des réseaux dédiés avec la cohabitation de technologies différentes et de flux différents est difficile.
- Le réseau doit permettre :



- l'utilisation d'applications hauts débits entre sites ;
- l'intégration des technologies réseaux émergentes (IP sur fibre optique...);
- la mise en œuvre de nouveaux services (réseau thématique, réseau IPv6, téléphonie...);
- la possibilité d'accueillir de nouvelles communautés avec des besoins différents (technologies, contraintes sécurité...);
- la cohabitation de réseaux de production et de réseaux d'expérimentation.

L'architecture d'un réseau doit se faire sur la base des services que l'on va utiliser, leur évolution est très rapide leurs besoins futurs mal connus voire inconnus ; seule une infrastructure réseau permettant d'accueillir diverses technologies (IP, ATM, Sonet-SDH) assurera la pérennité des investissements ; les technologies de réseau optique sont à prendre en considération dès maintenant dans les projets qui impliquent notre communauté.

Le projet RAP (Réseau Académique Parisien) a pris en compte cette nouvelle dimension des réseaux.

■ Bibliographie

Il y a un chapitre DWDM sur le serveur de l'UREC (<http://www.urec.cnrs.fr>) dans la rubrique « Hauts débits »

Documents utilisés pour la rédaction de cet article

Optical Networks Tutorial (ALCATEL)

WDM PMA8 Application Note (MARCONI Communications)

Fundamentals of DWDM (CIENA)

The Evolution of DWDM (CIENA)

Optical Transport Networks - Evolution, Not Revolution (NORTEL Networks)

Is WDM ready for Local Networks (NORTEL Networks)

Local Network DWDM Management (NORTEL Networks)

Projet RAP, Réseau Académique Parisien, Stratégie technique et financière, juin 1999