

Multiplexage de longueurs d'onde : la voie vers les réseaux optiques

Autor(en): **Schiess, Marcel / Van Dam, Yvonne / Wickman, Carl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology**

Band (Jahr): **76 (1998)**

Heft 9

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-877318>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Extrait des Programmes d'exploration de Corporate Technology (9)

Multiplexage de longueurs d'onde, la voie vers les réseaux optiques

La technique de transmission par voie optique se trouve actuellement au seuil d'une nouvelle époque: on passe du transport point à point sur un seul canal optique à la technique du multiplexage de longueurs d'onde (WDM). Cette technique est indispensable pour réaliser des réseaux optiques capables d'assurer de nouvelles fonctionnalités. La technique de transmission optique, et particulièrement WDM, équivaut déjà dans bien des situations à la bande passante illimitée. Le présent article désire montrer, en restant réaliste, ce que la technique WDM permettra de faire dans un proche avenir et ce qui nous attend dans un futur plus lointain. La technique WDM ne constitue pas un réseau optique en soi, mais elle va en être le support obligatoire.

Dans le cadre du programme d'exploration* EO97-9 «Transport Network Evolution», divers scénarios sont élaborés en vue de l'utilisation optimale et de l'extension du réseau principal de transport. Les domaines fondamentaux sont l'introduction systématique d'une couche optique de transport, des services basés sur IP/ATM dans le réseau public, ainsi que l'influence des nouvelles technologies de satellites sur l'infrastructure actuelle de réseau. Une structure de réseau optimisée entraîne une réduction des frais d'exploitation et sert de moteur à l'introduction de nouvelles prestations.

* Les Programmes d'exploration sont réalisés par Corporate Technology sur mandat de la Direction du groupe et font l'objet de comptes rendus réguliers. Ce sont des activités à moyen ou long terme, de 2 à 7 ans, suivant les domaines.

En quelques années, la technique de transmission optique a fait un bond en avant considérable en ce qui concerne le volume d'informations transporté. Alors que sur le réseau interur-

MARCEL SCHIESS,
SWISSCOM, CORPORATE TECHNOLOGY
YVONNE VAN DAM, KPN RESEARCH
CARL WICKMAN, TELIA RESEARCH

bain, la vitesse actuelle atteint normalement 2,5 Gbit/s (giga = 10⁹) par fibre, les chercheurs de la firme NEC arrivent à la performance incroyable de 2,6 Tbit/s [1] (téra = 10¹²). Exprimé en nombre de canaux téléphoniques numériques à 64 kbit/s, cela correspond à 32 millions de conversations téléphoniques en parallèle, et cela dans une seule direction. Pareils

chiffres incitent à se poser deux questions:

- Pourquoi a-t-on besoin de cette énorme capacité?
- Comment peut-on techniquement mettre cette capacité à disposition?

La première question comporte à la fois un aspect sociologique et un aspect technique. La seconde est purement de nature technique.

On peut discuter longuement sur le bien-fondé de toutes les utilisations possibles de la transmission de données dans notre société, sans pour autant trouver de réponses évidentes. Par contre, l'aspect technique du sujet est beaucoup plus facile à mettre en évidence.

Voici quelques réponses possibles à nos deux questions:

- L'expérience a montré que le besoin en

capacité est inéluctable. La bonne question serait donc la suivante: quand et où a-t-on besoin de quelle capacité? De simples conversations téléphoniques, des visioconférences, des applications Internet, etc. sont des «consommateurs» de capacités de transmission. Les diverses applications exigent des largeurs de bandes différentes et leurs taux de croissance ne sont pas égaux. Le taux actuel de croissance de la transmission de données – surtout engendré par le trafic Internet¹ – est tel que d'ici cinq ou six ans, il sera équivalent au trafic vocal. Dans ces conditions, force est de constater que ce trafic ne concerne pas seulement le réseau de raccordement, mais que le besoin en capacité se fera également sentir sur le réseau interurbain. On peut trouver d'autres causes à cette croissance, par exemple la concurrence sur le marché des télécommunications et, conséquence logique, les futures modifications de tarifs (à la baisse) dans les services de télécommunication.

- L'augmentation des besoins en capacité peut être maîtrisée de différentes manières. Le choix de la technique dépend entre autres de l'emplacement dans le réseau où il faut augmenter la capacité. La solution la plus simple pour satisfaire cette augmentation con-

¹ Le trafic Internet croît actuellement de manière exponentielle et les besoins en capacité doublent tous les deux mois [2].

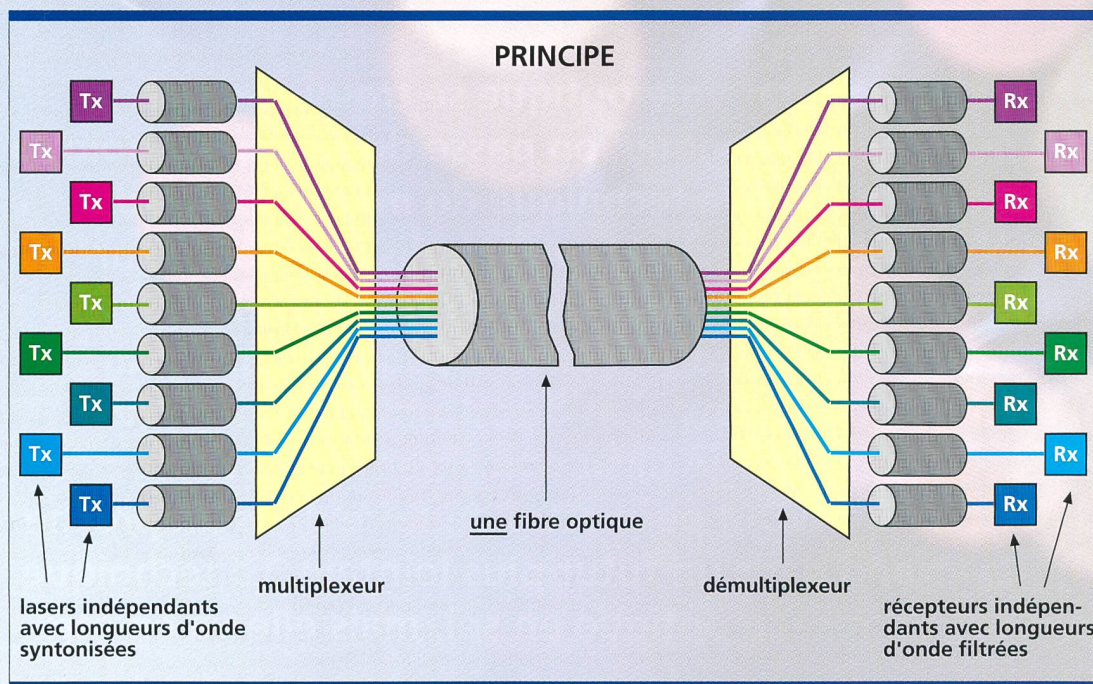


Figure 1. Principe de la technique de multiplexage des longueurs d'onde.

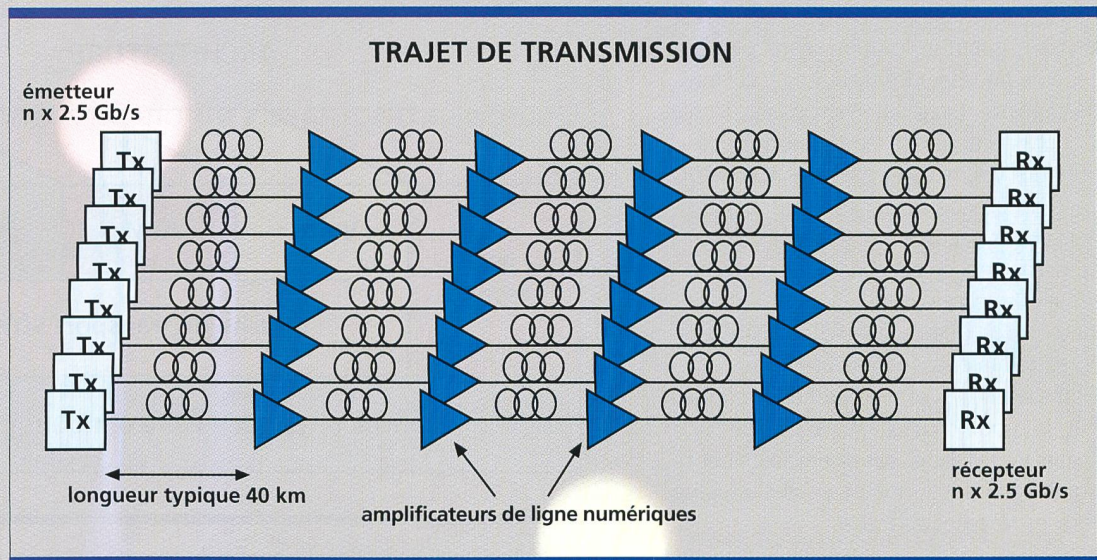


Figure 2. Trajet de transmission avec amplificateurs électroniques numériques.

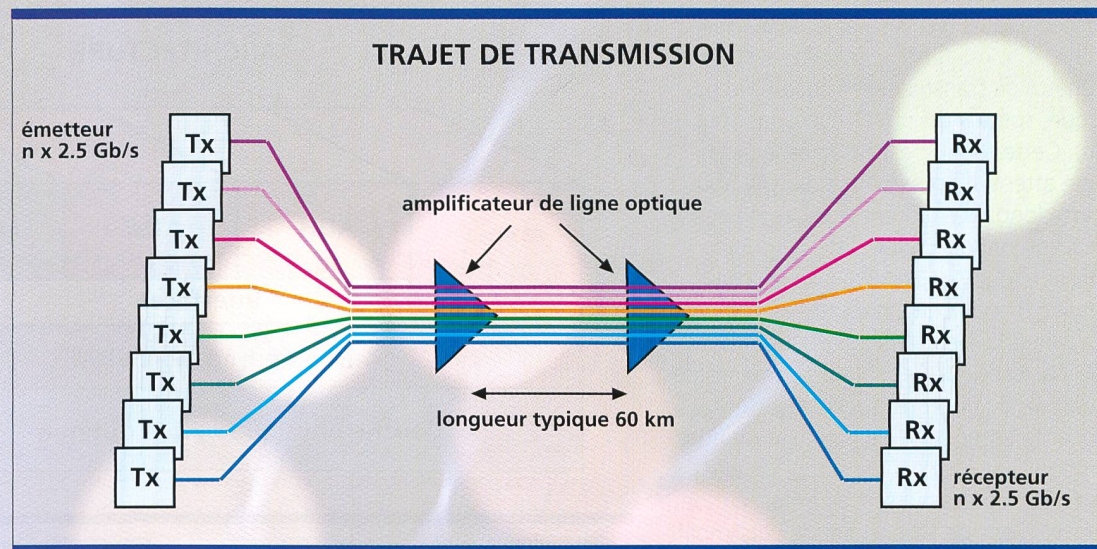


Figure 3. Trajet de transmission WDM avec amplificateurs optiques à l'erbium.

siste à utiliser plus de fibres optiques. Mais l'installation de nouveaux câbles à fibres optiques est une solution onéreuse et de longue haleine. Or, la situation actuelle contraint les exploitants de réseaux à mettre très rapidement à disposition les capacités nécessaires aux bons endroits. Pour toutes ces raisons, l'extension quantitative du réseau existant sur demande n'est pas une solution intéressante et il faut chercher autre chose. Dans l'exemple des chercheurs de NEC, présenté en introduction, on utilise le multiplexage de longueurs d'onde (Wavelength Division Multiplexing [WDM]) sur des fibres optiques. On prévoit actuellement d'utiliser cette technique en premier lieu sur les réseaux à longue distance. Nous allons l'étudier plus en détail dans cet article. Mais on peut déjà s'attendre à

ce qu'à l'avenir la technique WDM s'applique également au réseau de raccordement.

Les systèmes optiques de transmission point à point basés sur la technique WDM sont actuellement en cours d'essais dans le monde entier. Aux USA, ce procédé est en service commercial à grande échelle depuis deux ans. Ces systèmes y sont surtout utilisés parce lasers indépendants, de longueurs d'onde prédéfinies multiplexeur une fibre optique démultiplexeur récepteurs indépendants, avec longueurs d'onde filtrées qu'ils permettent d'augmenter des capacités à moindre frais et dans un laps de temps très court sur des lignes de fibres optiques déjà existantes. En Europe, les premiers systèmes de ce genre sont en service depuis l'année dernière. A part

des avantages économiques très intéressants, l'utilisation de la technique WDM présente une série d'autres avantages, dont le découplage entre l'infrastructure physique de la fibre optique et la structure logique de liaison sur le réseau, une meilleure exploitation de la fibre verre en tant que support de transmission et des possibilités de migration de réseau simples. En règle générale, la technique WDM a le pouvoir de mettre à profit de façon optimale l'infrastructure du réseau. Suite à l'expérience de NEC mentionnée en introduction et à d'autres exemples, la technique de transmission optique, et plus particulièrement WDM, concurrence déjà dans bien des situations la bande passante illimitée, qui est disponible partout. Cet article souhaite montrer au lecteur ce que la technique WDM permet d'obtenir, en restant réaliste. On utilise

très souvent l'expression Optical Networking comme une solution magique, capable de résoudre tous les problèmes de capacité. La réalité n'est pas si simple. Le but de cet article est de montrer ce qui peut vraiment être réalisé avec WDM dans un proche avenir et ce qui pourra l'être dans un futur plus lointain. Il vise aussi montrer que WDM n'est pas identique à la technologie «Optical Networking», mais que la technique WDM en constitue la base incontournable. Comme nous l'avons mentionné au début, le mode d'utilisation actuel des systèmes WDM, basé sur une transmission point à point, est une étape préliminaire vers les réseaux optiques.

WDM: de quoi s'agit-il et quelles sont ses performances actuelles?

La technique WDM s'applique aujourd'hui à ce que l'on appelle la «troisième fenêtre de transmission» de la fibre optique, soit à 1,55 µm (1 micron = 10⁻⁶ m). Cette fenêtre est caractérisée par une atténuation minimale dans la fibre à cette longueur d'onde. Il existe un amplificateur optique pour cette longueur d'onde, que l'on trouve dans le commerce depuis environ quatre ans. Un amplificateur optique est un morceau de fibre optique capable d'augmenter le nombre de photons qui le traversent (quanta lumineux). Ce morceau de fibre optique est enrichi à l'erbium, un élément chimique qui sert à l'amplification. Les versions de laboratoire de cet amplificateur atteignent pratiquement les limites physiques et des produits pourront prochainement être commercialisés. Le principe de la technique WDM est représenté dans la figure 1. Du côté émetteur, les signaux optiques issus d'une série de lasers sont multiplexés avant d'être transmis sur la fibre optique unique. Du côté récepteur, c'est l'opération inverse. Chacun des signaux est séparé des autres (démultiplexé) puis dirigé vers la diode réceptrice correspondante. La caractéristique distinctive utilisable pour le multiplexage et le démultiplexage des signaux optiques est la différence de longueur d'onde (ou de couleur) de chaque émetteur². Dans la figure 1, les longueurs d'onde des différents lasers sont représentées par des couleurs différentes.

² La longueur d'onde d'un laser peut être exprimée, par rapport à la vitesse de la lumière, en tant que fréquence. Fréquence = vitesse de la lumière dans le support/longueur d'onde.

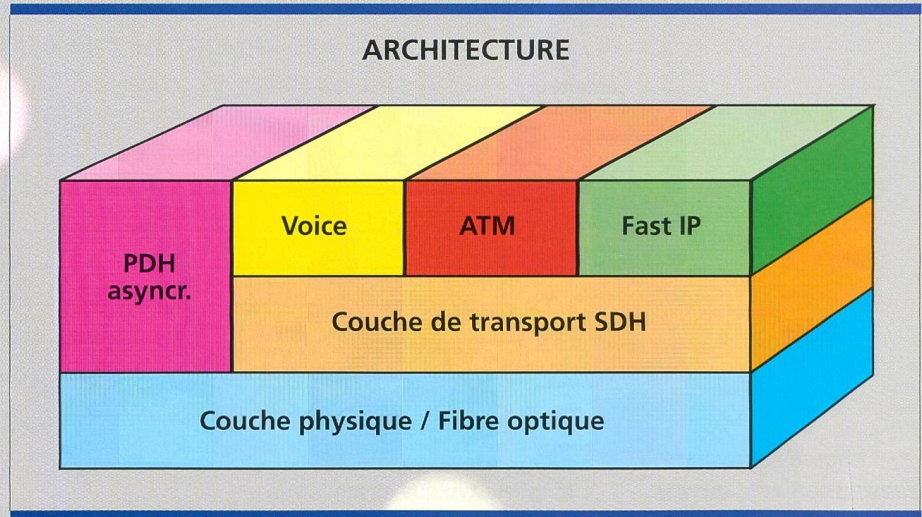


Figure 4. Architecture conventionnelle du réseau de transmission.

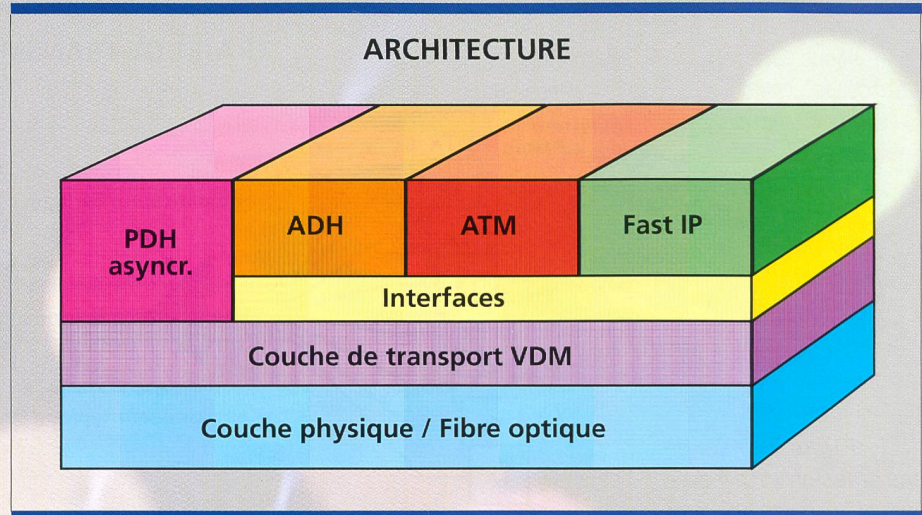


Figure 5. Architecture possible d'un réseau de transmission basé sur la technique WDM.

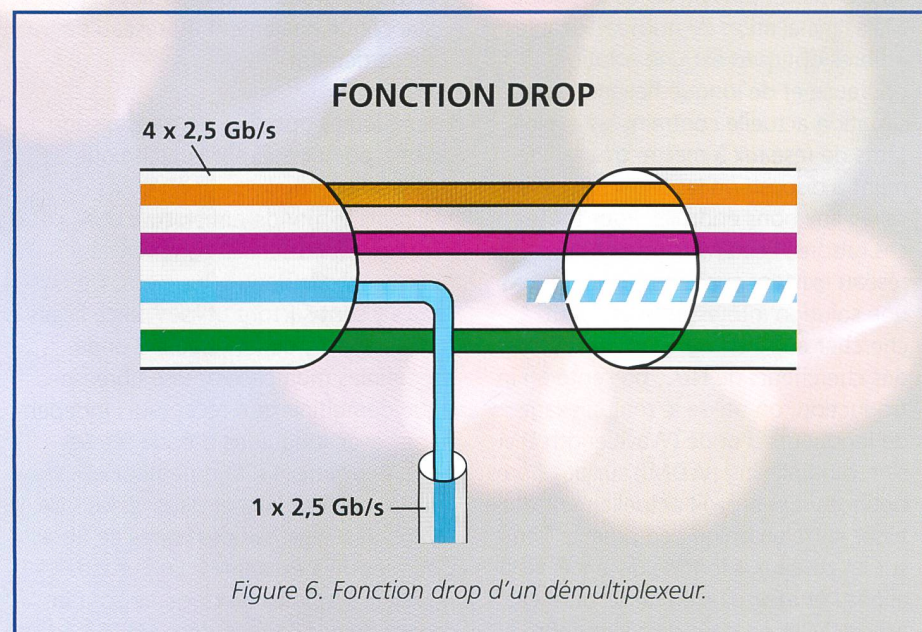


Figure 6. Fonction drop d'un démultiplexeur.

Etat de la recherche au sein de l'alliance Unisource

WDM activities at KPN Research

KPN has put considerable effort in WDM issues, especially at the research department, where the work at this moment focuses on the next-generation WDM systems. This research includes both international and internal KPN Research projects.

The international part of the research is performed within EURESCOM context, which deals with the evolution from current networks towards networks based on an optical layer. KPN Research also participates in ACTS⁴ TOBASCO, where the upgrade of CATV systems with WDM is studied.

The internal KPN projects consist of cost studies and studies about the next-generation WDM system projected on the current Dutch network. KPN Research also works on an experimental investigation in collaboration with a university. This project focuses on the problems expected for the management of the optical transparent networks. Finally, KPN Research provides consulting to the KPN network department regarding the implementation of a WDM system.

Yvonne van Dam, KPN Research, Leidschendam

WDM activities at Telia Research

Telia Research have two categories of projects on WDM, one that supports Telia network department on matters that relate to operational issues, and one that is more concerned with long-term research.

The short-term projects have mainly been focused on point-to-point WDM systems that have currently been put into traffic in the Swedish network.

The main focus of the research activities are aimed at technologies that will be implemented in the network in three to five years time. In this perspective the main issue is: How will a new optical layer be implemented, where functionality and protection is handled optically? In this work a model network around the Baltic Sea and the Scandinavian countries have been used to study properties of optical networks.

Telia Research is also involved in a European project, ACTS METON, where an optical network in a metropolitan area is implemented and evaluated. Cooperation is also carried out within the COST 239, 241 and 246 groups.

Carl Wickman, Telia Research, Farsta

Activités WDM de Swisscom Corporate Technology (CT)

Les activités WDM chez CT se divisent en deux catégories. Les études fondamentales à plus long terme sont menées dans le cadre du programme d'exploration 9, tandis que les activités visant à l'introduction imminente de la technique WDM sur le terrain s'exercent en collaboration avec Network Services, dans le cadre d'un projet innovateur.

Les études fondamentales sont menées en partie dans le cadre de projets EURESCOM (P615, «Evolution Towards an Optical Network Layer», et P709, «Planning of Optical Networks»). Ces projets traitent des possibilités futures de la technique WDM; le mot clé est Optical Networking. Une petite installation WDM a été aménagée en laboratoire l'automne dernier. Elle permet de mesurer techniquement des caractéristiques essentielles de la technologie WDM.

Un essai sur le terrain planifié par NWS pour le printemps/l'été 1998 doit permettre de tester un système commercial WDM. Les préparatifs sont en cours.

Le multiplexage est en principe une opération simple qui peut être implémentée avec des composants bon marché et à faibles pertes. Du côté du démultiplexage, il faut impérativement utiliser des éléments sensibles aux différentes longueurs d'onde, par exemple des filtres à longueurs d'onde³. Ces éléments sont un peu plus chers. C'est de cette façon que l'entreprise NEC a réussi à faire passer 130 longueurs d'onde différentes dans une seule fibre optique. Chacune d'entre elles transportait un signal de données à 20 Gbit/s. L'écart entre chaque longueur d'onde/fréquence était de 20 GHz. Il est en rapport avec la bande passante de chacun des 130 signaux. Pour le type de modulation numérique utilisé – enclenchement/déclenchement des lasers, ou modulation d'intensité – cette dernière vaut environ 10 GHz. Cela signifie que la gamme de longueurs d'onde utilisée pourrait être exploitée à environ 50%. Les chercheurs de NEC ont déjà presque atteint le maximum théorique de 5 THz de bande passante autorisée par l'amplificateur à erbium. Dans les systèmes pratiques, la bande passante maximale de la fibre optique sera imposée par celle de l'amplificateur à erbium. Les plages situées en dehors de l'amplificateur à erbium ne seront pas utilisées dans un proche avenir. Il en résulte que la fibre optique n'offre pas une bande de fréquences infinie, mais «seulement» d'environ 5 THz. Les systèmes commerciaux WDM actuels exploitent au maximum 100 GHz dans cette bande passante d'amplificateur. Le débit de données par longueur d'onde qui prédomine nettement est de 2,5 Gbit/s, mais il existe aussi quelques systèmes WDM à 10 Gbit/s. Les limites sont dictées avant tout par la qualité de la stabilité des longueurs d'onde des lasers et par celle des filtres à sélection de longueur d'onde. Dans les recommandations sur les systèmes WDM actuellement en vigueur, l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) préconise un écart de 100 GHz entre les canaux de transmission, ce qui limite leur nombre à 42.

³ Un prisme, par exemple, constitue un élément permettant de sélectionner les différentes longueurs d'ondes, car il décompose la lumière blanche reçue dans tous les tons de l'arc-en-ciel. La technique WDM utilise toutefois d'autres constituants pour la sélection des longueurs d'onde.

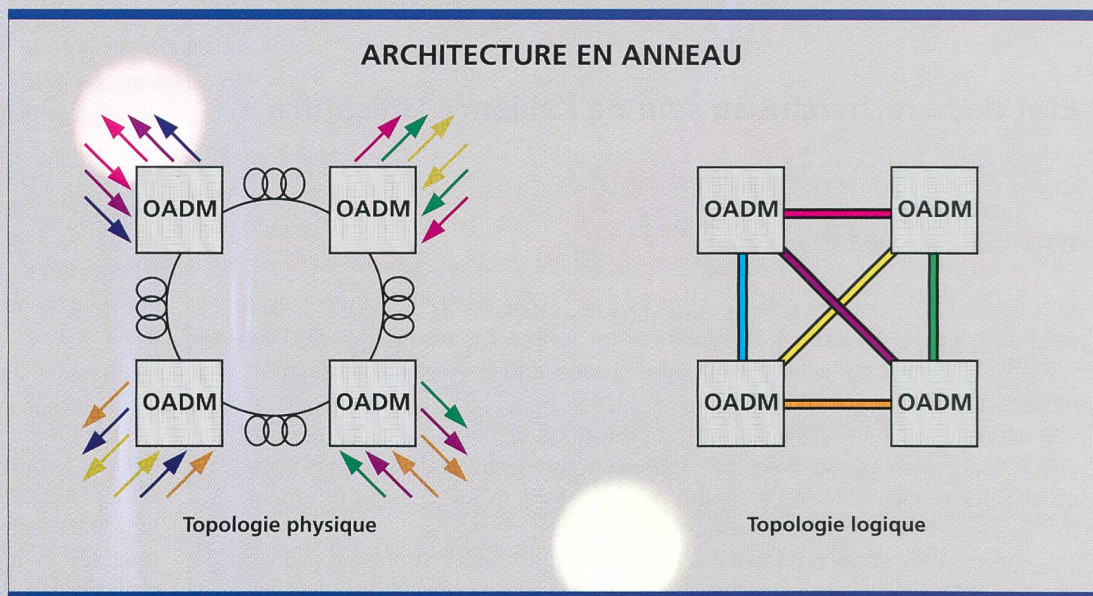


Figure 7. Exemple d'une architecture en anneau entièrement maillée. Chaque nœud peut communiquer avec chacun des autres nœuds du réseau sur une longueur d'onde définie.

Perspectives de développement de la technique WDM

La transmission optique point à point est aujourd'hui la règle, et c'est également valable pour les systèmes WDM. Les perspectives de développement de la technique WDM vont dans différentes directions:

- extension de capacité (à court terme)
- extension des fonctionnalités (à moyen terme)
- extension de l'architecture de réseau
- extension de la flexibilité du réseau (à moyen terme)

Extension de capacité

Les systèmes WDM permettent en premier lieu d'augmenter à peu de frais la capacité des lignes de transmission existantes, car il suffit d'acheter de nouveaux équipements de transmission (émetteurs à longueurs d'onde accordées, multiplexeurs, démultiplexeurs). Il n'est pas nécessaire d'installer de nouvelles lignes de transmission (nouvelles fibres optiques). Utiliser des amplificateurs à erbium permet en outre de remplacer les répéteurs numériques électroniques à peu de frais. Avec des répéteurs électroniques conventionnels, un seul et unique signal optique peut être régénéré. Il est converti au niveau électrique, traité numériquement puis réinjecté sous forme optique. La figure 2 schématise une ligne de transmission avec plusieurs canaux à 2,5 Gbit/s. Un amplificateur à erbium ne nécessite quant à lui aucune conversion optoélectronique du signal multiplexé, puisque tous les canaux de longueurs

d'onde peuvent être amplifiés ensemble. Cette variante est illustrée dans la figure 3.

Un tel mode d'extension de capacité permet en principe une adaptation très rapide aux besoins des clients qui doivent subitement augmenter provisoirement (ou définitivement) leur capacité à un endroit quelconque du réseau.

WDM offre ainsi la possibilité d'attribuer provisoirement (ou définitivement) à ces clients une nouvelle longueur d'onde dans la liaison à fibre optique existante. Cela ne nécessite aucun long délai ni aucun gros investissement pour l'installation d'un nouveau câble à fibres optiques.

Extension des fonctionnalités

La technique WDM permet à moyen terme d'étendre les fonctions du signal optique porteur, car chaque longueur d'onde est isolée des signaux-client qu'elle transporte. WDM permet donc de transmettre de manière quasi naturelle différents signaux-client sur la même fibre. Actuellement, seules les technologies PDH ou SDH peuvent être transportées directement par voie optique. Tous les autres signaux-client sont transmis indirectement via SDH (voir figure 4). L'extension des fonctionnalités est représentée dans la figure 5, où une seule fibre optique peut dorénavant transmettre simultanément toute une

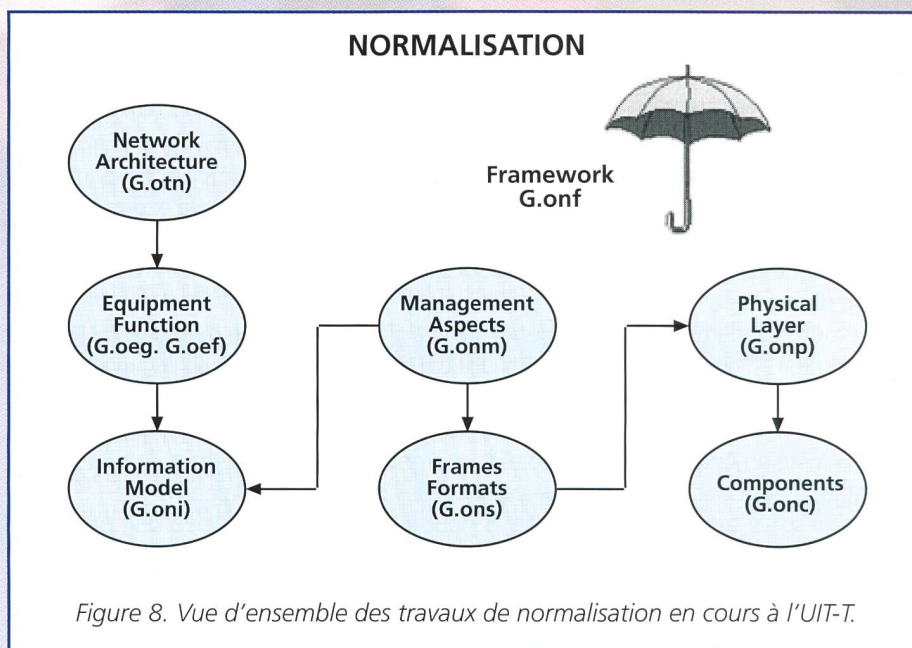


Figure 8. Vue d'ensemble des travaux de normalisation en cours à l'UIT-T.

série de signaux-client différents en mode WDM. Les signaux-client peuvent être différents de par le format et/ou la vitesse de transmission des données. On peut donc dire que la technique WDM est transparente au niveau du signal-client.

WDM permet également de réduire considérablement les coûts de l'infrastructure de réseau, car il n'est pas nécessaire d'utiliser des systèmes ou des installations indépendantes pour chaque signal-client. Un équipement standard de base (fibre optique et technique WDM) permet donc de transmettre des services différents, ce qui contribue à simplifier l'ensemble de l'infrastructure du réseau.

L'amplificateur optique est une fois encore fortement lié à cette réduction des coûts, étant donné que tous les signaux-client peuvent être amplifiés simultanément, quels que soient le format ou la vitesse de transmission des données.

Extension de l'architecture et de la flexibilité du réseau

L'acheminement par voie optique des canaux représente un progrès important par rapport à la transmission usuelle point à point. Il suffit pour cela d'insérer une variante spéciale de démultiplexeur sur la ligne de transmission. Appelé Add-Drop optique, ce multiplexeur ne décompose pas le signal multiplexé en toutes les longueurs d'onde, mais n'en filtre qu'un nombre limité à partir du signal multiplexé. Cette façon de faire permet de déterminer, en fonction de la longueur d'onde, où le signal optique doit être acheminé. Cet acheminement optique est représenté dans la figure 6. Comme l'indique son nom, la fonction inverse est également possible, ce qui signifie qu'avec le multiplexeur Add-Drop on peut aussi ajouter des longueurs d'onde individuelles au signal optique multiplexé. Les multiplexeurs Add-Drop

sont déjà disponibles chez différents constructeurs. Toutefois leur mise en cascade reste pour l'instant limitée, ce qui signifie que le nombre de multiplexeurs Add-Drop qui peuvent se suivre est restreint. La raison en est le caractère analogique des éléments optiques de réseau. Dans un réseau entièrement optique, il n'est pas possible, en l'état actuel de la technique, de traiter numériquement le signal optique. Un accès numérique permettrait de régénérer le signal, donc d'assurer la remise à l'état initial de la qualité du signal-client à intervalles réguliers. Prenons un exemple pour illustrer cet effet. L'amplificateur optique amplifie le signal optique, en y ajoutant toutefois en même temps un bruit de fond optique. Le bruit de chaque amplificateur franchi s'accumule alors dans le réseau jusqu'à rendre insuffisante la qualité du signal. Un répéteur numérique amplifie également le signal,

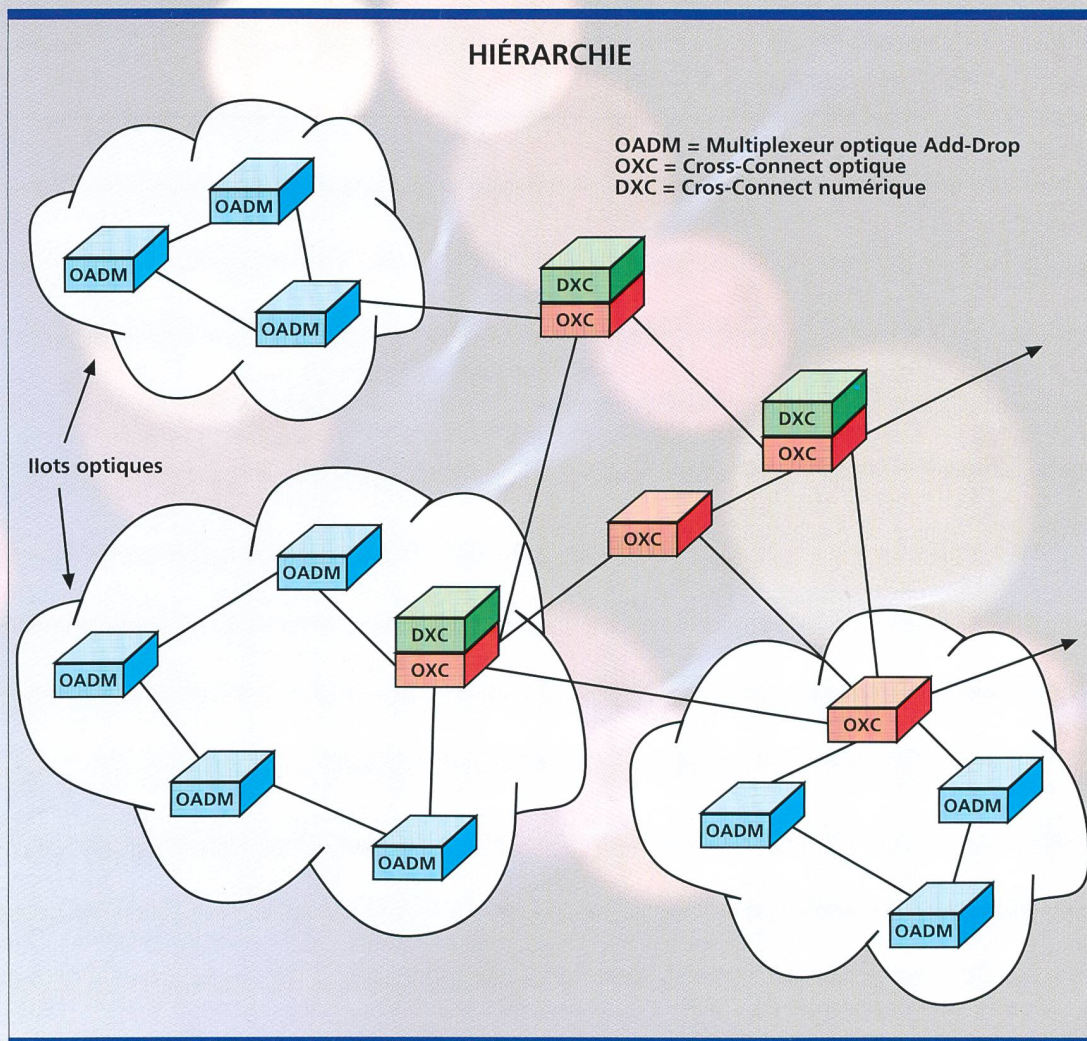


Figure 9. Réseau optique hiérarchiquement structuré en ilots optiques. Les points de jonction sont réalisés avec des éléments Cross-Connects optiques et électriques, qui peuvent également convertir les longueurs d'onde des signaux en transit.

mais en même temps, il le régénère qualitativement. Un dispositif numérique de récupération de rythme et un détecteur numérique de seuil assurent ensuite la réinjection du signal traité.

Avec le multiplexeur Add-Drop optique, on a maintenant la possibilité de construire des topologies de réseau en anneau. Chaque nœud de l'anneau se compose d'un multiplexeur Add-Drop qui extrait par filtrage du signal multiplexé les longueurs d'onde désirées, c'est-à-dire les signaux désirés, les exploite, les traite puis les réinjecte dans le signal multiplexé.

La figure 7 met bien en évidence le fait que la topologie physique du réseau, à savoir la fibre optique disposée en anneau, peut être dissociée de la structure logique du réseau, c'est-à-dire la structure entièrement maillée – chaque nœud peut communiquer avec un autre sans station de conversion. On peut créer des structures de bus selon le même principe. A l'étape suivante de cette évolution, les nœuds optiques pourront être combinés avec des éléments de réseau électriques.

Dans la figure 7, les longueurs d'onde entrant et sortant de chacun des nœuds sont ramenées au niveau électrique du réseau pour y être traitées par des éléments usuels, tels que des équipements SDH-Add-Drop ou SDH-Cross-Connects. Le concept de «Colored Section Ring (CSR)» [3] est un exemple typique de cette classe. Les éléments de réseau qui sont mentionnés sont ici des «Add-Drop-Multiplexers» et des «Cross-Connects» entièrement électriques. Le CSR représente une association simple des principaux avantages de la technique WDM avec la technique de transmission SDH existante. La commande et la surveillance de l'ensemble du réseau se situent au niveau électrique, ce qui signifie que les concepts SDH existants pour les circuits de protection et la gestion du réseau peuvent être repris tels quels. Dans un avenir plus lointain, divers concepts existent déjà en vue de reprendre sur des éléments optiques opposés les fonctions électriques actuelles (SDH-Add-Drop ou SDH-Cross-Connects). Certains projets de recherches ACTS utilisent déjà des premiers prototypes de Cross-Connects optiques [4-7], mais leur mise en service à moyen terme ne se heurte pas seulement à des problèmes d'ordre technique, mais également de conception. L'investissement pour les réseaux actuels basés

Etat de la normalisation

Le travail de normalisation au sein de l'UIT-T a marqué la fin des travaux de base sur les liaisons optiques point à point dans le cadre des réseaux SDH. L'extension de ces réflexions au domaine des réseaux optiques a débuté en octobre 1996, avec pour objectif l'élaboration d'une série de recommandations permettant de couvrir le mieux possible les domaines les plus divers. Chacune des parties de ce document traite de questions concernant les architectures de réseau, les composants, les blocs d'équipement, la gestion des réseaux optiques et les questions relatives à la couche physique de transport. La figure 8 illustre les relations existant entre les différentes recommandations. Une vue d'ensemble des travaux de normalisation peut être consultée dans [10]. Compte tenu de la grande liberté d'application des recommandations édictées par l'UIT-T pour les constructeurs en ce qui concerne le développement du plan des longueurs d'onde et la question du canal optique de surveillance du trajet WDM, il paraît actuellement peu probable que les travaux de normalisation puissent déboucher sur une compatibilité transversale des appareils. Cette interopérabilité reste cependant un objectif à long terme de l'UIT-T. A moyen terme, il est plus important de définir les fonctions de réseaux optiques qui seront utilisées à l'avenir et de déterminer comment ces fonctions seront pilotées et surveillées.

A l'ETSI, on n'établit pas de normes propres à l'Europe pour les réseaux optiques, mais on se base sur les travaux de l'UIT-T. Par contre, on travaille sur deux rapports de l'ETSI qui d'une part mettent en évidence les aspects physiques de la technique de transmission optique et des réseaux optiques, et d'autre part décrivent les fonctions qu'un réseau optique peut ou devrait assurer. Certains aspects de la gestion des réseaux optiques sont également traités dans ce rapport.

sur la technique SDH est énorme et il sera difficile d'envisager de nouveaux investissements du même ordre de grandeur dans quelques années. Les motifs cités dans l'introduction, qui poussent à multiplier les capacités du réseau, pourraient cependant avoir raison à moyen terme de ces restrictions économiques et susciter le besoin en réseaux optiques. Mais il subsiste encore la question de savoir comment gérer au mieux la capacité disponible. Le management des réseaux optiques est probablement à ce jour la principale question non résolue. Le grand avantage de la technique de transmission et de transport électrique habituelle réside dans la possibilité de contrôler pratiquement n'importe quand et n'importe où la qualité du signal numérique. Dans les réseaux optiques, par contre, le système de surveillance n'a aucun accès direct à chacun des signaux numériques. Ces derniers se situent d'une part au «mauvais» niveau, le niveau optique, et d'autre part les canaux électriques sont intégrés dans les signaux optiques multiplexés. La gestion des longueurs d'onde utilisées pose un

autre problème de management des réseaux optiques, qui n'a pas encore été parfaitement résolu. Comme nous l'avons déjà mentionné au chapitre «WDM: de quoi s'agit-il et quelles sont ses performances actuelles?», le nombre de longueurs d'onde disponibles en pratique est limité. Comment peut-on être certain que dans un réseau optique très ramifié, deux voies optiques, c'est-à-dire deux signaux de même longueur d'onde ne vont pas brusquement entrer en collision? Un réseau optique doit d'une manière ou d'une autre être subdivisé en unités, reliées entre elles par quelques points bien définis. Il faudra éventuellement insérer sur ces passerelles un composant capable de modifier les longueurs d'onde des signaux en transit. Dans le jargon spécialisé, on appelle une telle partition un «partage en îlots optiques». Ce concept mène automatiquement à la conclusion qu'un réseau optique ne peut pas avoir une hiérarchie plate, mais que sa hiérarchie doit être clairement structurée [8, 9]. Ce concept actuellement étudié est représenté dans la figure 9.

Conclusions

La technique de transmission optique des données se trouve actuellement au seuil d'une nouvelle époque: on passe du simple transport point à point sur un seul canal optique à la technique WDM, qui permet déjà actuellement d'augmenter à peu de frais la capacité de transport. Mais la technique WDM est aussi le passage obligé vers des réseaux optiques de grande envergure, dotés de nouvelles fonctionnalités. Avant que nous puissions disposer de tels réseaux optiques, il reste des obstacles aussi bien techniques que conceptuels à franchir. Pour la plupart des problèmes techniques, on trouve déjà des propositions de solution, qui ont déjà été partiellement expérimentées. Il existe des démonstrateurs de Cross-Connects optiques et il y a des convertisseurs de longueurs d'onde, etc. Toutefois, certains points importants, comme le management de réseaux optiques, n'ont été traités que partiellement. En fait, il reste à démontrer conceptuellement que les solutions de réseaux optiques sont au moins équivalentes, si ce n'est supérieures, aux réseaux SDH conventionnels, et cela à un prix nettement inférieur, soit dit en passant. De nombreux travaux sont en cours pour en apporter la preuve tant sur le plan technique qu'au niveau de la planification et de la normalisation. Nous renonçons volontairement à émettre un pronostic quant à savoir si et quand les réseaux de transport et/ou de raccordement des exploitants vont se séparer partiellement ou totalement de la technique SDH. Il y a encore trop de facteurs qui pourraient intervenir et qui n'ont pas encore été étudiés à fond. La seule certitude qui subsiste est que la technique WDM va faire une entrée remarquée dans nos réseaux et pas seulement pour le simple transport d'une largeur de bande toujours plus grande. Cette technique va influencer considérablement sur la configuration de nos réseaux de communication. Nous espérons que cet article aura su montrer, en restant réaliste, ce que la technique WDM permettra de faire dans un proche avenir et ce qui nous attend dans un futur plus lointain. La technique WDM ne saurait être comparée aux réseaux optiques, mais elle en est le support incontournable. 8.1



Marcel Schiess a étudié l'électrotechnique à l'EPFZ. Il a ensuite approfondi ses connaissances à la «Haute École Technique Royale» de Stockholm, dans le domaine des télécommunications optiques. Son travail de doctorat était consacré à la simulation de systèmes de transmission optiques à haut débit, ainsi qu'à diverses recherches sur les propriétés non linéaires des fibres optiques. Depuis 1995, Marcel Schiess travaille chez Swisscom dans le domaine «Optical Networking» et collabore à l'introduction pratique de la technique WDM dans le réseau interurbain de Swisscom.



Yvonne van Dam studied Electrical Engineering at the University in Groningen (Netherlands) from 1990 to 1996. She graduated on polymer light-emitting diodes. Since 1996 she has been working at KPN Research. Her research has been focussed on WDM technology, optical access networks (ACTS-PLANET) and trends in optical networking in general.



Carl Wickman received a M.Sc. degree in Electrical Engineering from the Royal Institute of Technology in Stockholm in 1986. He then joined the R&D section of Televerket, which in 1991 formed Telia Research, to work with coherent optical transmission systems. During the years he has been working with research on many aspects of optical transmission technology, and presently he manages projects concerning the evolution of an optical transport network layer based on WDM.

Références

- [1] Y. Yano, T. Ono, K. Fukuchi, T. Ito, H. Yamazaki, M. Yamaguchi, K. Emura: 2.6 Terabit/s WDM transmission experiment using optical duobinary coding, European Conf. On Optical Commun., ECOC '96, ThB.3.1, Oslo, Norway, 1996.
- [2] A. Reid: Understanding how SDH/SONET will survive and thrive in conjunction with ATM and IP, IIR Conference on Planning, Designing & Implementing SDH Networks, London, 1997.
- [3] A. Hamel, V. Tholey, A. Sutter, L. Blain, F. Chatter: Increased capacity in a MS protection ring using WDM technique and OADM, Electronics Letters, vol. 32, no. 3, pp. 234-235, 1996.
- [4] E. Almström, S. Johansson: Results from the Stockholm gigabit network, NOC '96, Heidelberg, Germany, paper 43, 1996.
- [5] M. Koga et al.: Optical path cross-connect demonstrator designed to achieve 320 Gbit/s, European Conf. On Optical Commun., ECOC '96, Oslo, Norway, ThC.3.1, 1996.
- [6] A. Jourdan et al.: Design and implementation of a fully reconfigurable all-optical cross-connect for high capacity multiwavelength transport networks, J. Lightwave Technol., vol. 14, no. 6, pp. 1198-1206, 1996.
- [7] M. Fukui et al.: Field experiment of all-optical WDM ring network up to 70 Gbit/s capacity employing 198 km installed dispersion-shifted fiber, European Conf. On Optical Commun., ECOC '96, Oslo, Norway, ThC.3.2, 1996.
- [8] P. J. Chidgey: Multiwavelength transport networks, IEEE Commun. Mag., no. 12, pp. 28-35, 1994.
- [9] G. R. Hill et al.: A transport network layer based on optical network elements, J. Lightwave Technol., vol. 11, no. 5/6, pp. 667-679, 1993.
- [10] A. McGuire: Mowing towards standards for optical network management, Vision in Business Conference on WDM Technology, London, 1997.