Les grandes tendances

Les bouleversements qui se produisent dans le domaine des réseaux sont principalement dus à l'augmentation des vitesses de transmission, à l'apparition du multimédia, à une demande croissante de qualité de service et de mobilité et à l'utilisation intensive des réseaux dans la vie professionnelle et privée.

Tout d'abord, l'augmentation des débits, passant de quelques bits par seconde à des millions, voire des milliards de bits par seconde, ne fait que suivre avec un certain retard l'évolution des capacités de calcul des processeurs. La raison de ce retard s'explique par les liaisons physiques, qui, du fait des milliers de kilomètres à câbler, ne peuvent être miniaturisées, à la différence des processeurs de calcul des ordinateurs. Le prix de revient du transport d'un bit n'a que peu baissé, contrairement à ce qu'on aurait pu penser au début des années 70, avec l'apparition de la fibre optique, des guides d'ondes et autres technologies extrêmement prometteuses. Le besoin en débit a cependant donné naissance à d'énormes réseaux optiques, dont la capacité est loin d'être utilisée.

Une autre direction pour prendre en charge les applications multimédias a été de travailler sur les techniques de codage et de compression. Le transport des images animées ne demande maintenant que quelques centaines de kilobits par seconde.

La deuxième raison du bouleversement actuel en matière de réseau est l'apparition du multimédia au cours des années 90 et son intégration dans un réseau unique. Les applications multimédias ont des caractéristiques tellement différentes des transports classiques de données ou de voix que le pari de l'intégration de toutes ces applications en un même réseau n'était pas une évidence. L'ATM a été le premier choix technique pour cette intégration. Internet, au contraire, a misé sur une évolution consistant à passer d'une technique de transfert adaptée à l'informatique à une solution de routage-commutation pour le multimédia. La technologie Internet s'est améliorée et est devenue plus appropriée pour le transport des informations isochrones.

La synchronisation entre les médias a été un problème qui a plutôt avantagé la solution Internet, c'est-à-dire le contrôle du réseau par les machines terminales. La raison de cet avantage est simple. Prenons comme exemple la transmission des deux voies d'un canal stéréophonique. L'oreille humaine est sensible à une légère désynchronisation des sons qui arrivent dans les oreilles gauche et droite. Cette désynchronisation devient perceptible à l'oreille à partir d'une vingtaine de microsecondes. Pour l'application stéréophonique, il faut redonner les octets correspondant aux deux voies à des instants extrêmement précis. Si cette resynchronisation s'effectue au niveau des logiciels du réseau, elle doit être répétée au niveau terminal. Il est possible d'en déduire qu'une seule resynchronisation peut être effectuée directement au niveau de l'équipement terminal. En d'autres termes, s'abonner chez un opérateur à une fonctionnalité de resynchronisation n'est pas vraiment utile, puisqu'il faut de toute façon recommencer le processus de resynchronisation dans la machine terminale.

Le multipoint a aussi été fortement introduit par le multimédia et ses applications coopératives. Pour réaliser une application multipoint, la technique ATM est bien adaptée au niveau physique : à une porte d'entrée d'un commutateur peuvent être associées plusieurs portes de sortie. Cela s'exprime par l'association de plusieurs références de circuits et de conduits virtuels à une même référence d'entrée. Dans Internet, le multipoint, tout en restant simple, se gère à un niveau logique, ce qui lui confère une puissance bien supérieure.

Le multiplexage s'effectue naturellement dans Internet, où tous les clients sont jugés équivalents, avec les mêmes droits et les mêmes contraintes. Du côté de l'ATM, le multiplexage s'effectue en fonction de la qualité de service. C'est là que s'exprime le mieux l'avantage de la technique ATM, puisqu'elle a, depuis sa naissance, pris en compte la qualité de service demandée par l'utilisateur, au contraire d'Internet, qui offre uniquement, dans sa première génération, le service best-effort. La solution Internet s'est fortement améliorée avec l'apparition de la nouvelle génération Internet, ou Internet NG (Next Generation), comme on l'appelle parfois, par l'introduction de techniques de réservation et de contrôle de la QoS, permettant de donner une garantie aux utilisateurs.

La gestion de la mobilité et du nomadisme est aussi une propriété essentielle des réseaux du XXIe siècle, dans lesquels les clients veulent se déplacer tout en restant connectés. Le monde IP apporte des solutions à ce problème avec IP Mobile et Cellular IP, qui gèrent la mobilité lente aussi bien que rapide. Des progrès restent à faire pour simplifier le processus de suivi du client dans des environnements ad-hoc ou dans des réseaux de capteurs.

La nouvelle génération de réseaux NGN doit intégrer tous les réseaux existants, c'est-à-dire les réseaux de données de type Internet, les réseaux téléphoniques, que ce soit le réseau téléphonique commuté ou le réseau cœur d'un opérateur de mobiles, et les réseaux de vidéo pour effectuer de la diffusion de télévision ou de la vidéo à la demande, ou VoD. Avant d'examiner les directions techniques de ce réseau NGN, nous allons examiner la période transitoire que nous vivons, pour entrer ensuite dans une vision plus futuriste.

Les architectures 2005

Trois types d'architectures sont disponibles en ce début des années 2005. Elles se placent toutes sur l'interface IP ou, ce qui est équivalent, transportent toutes des paquets IP :

MPLS-GMPLS, IP natif, et Ethernet. Cette génération n'est pas celle de l'intégration globale voix, données, vidéo. C'est une génération essentiellement liée aux données, et les réseaux de cette génération transportent encore plus ou moins difficilement la parole téléphonique et la vidéo.

Trois solutions sont envisageables en ces années 2005 afin de réaliser un réseau complet et cohérent :

- **MPLS-GMPLS.** C'est la solution la plus souvent choisie par les grands opérateurs pour mettre en place une ingénierie forte du réseau. Cette ingénierie permet de contrôler le réseau et d'apporter de la qualité de service. L'interface externe est une interface IP, correspondant bien aux besoins des utilisateurs. L'inconvénient de la génération MPLS 2005 vient du manque de compatibilité entre équipementiers. Cette lacune n'a pas pour origine la structure interne d'ATM dévolue au transfert de l'information mais le système de signalisation fondé sur IP, qui comporte trop d'options.
- **IP natif.** Le protocole IP est utilisé aussi bien à partir des équipements terminaux que dans les routeurs internes du réseau de transport. Toutes les machines terminales produisent des paquets IP et envoient ces paquets directement sur le réseau, sans les encapsuler ou en les encapsulant dans une trame très simple, vers des nœuds de routage performants, ou gigarouteurs, qui les acheminent à très haute vitesse.
- **Ethernet.** Restreinte durant de longues années aux environnements locaux, la technique Ethernet a explosé avec l'arrivée des versions Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10GbE et Ethernet commuté. Il est possible de réaliser des réseaux Ethernet de grande dimension grâce aux différentes adresses qui peuvent être mises dans la trame Ethernet : l'adresse de niveau MAC, ou adresse physique, l'adresse IEEE et le shim-label pour réaliser une véritable commutation. Ethernet est à la fois la norme la moins bien implantée dans les réseaux d'opérateurs et la plus prisée dans les réseaux privés d'utilisateurs. La technologie Ethernet gagne du terrain vers les réseaux métropolitains, avec des standards comme IEEE 802.17, et devient le socle de l'Internet ambiant avec la norme IEEE 802.11.

Les deux premières solutions, MPLS-GMPLS et IP natif, semblent être les plus prometteuses à plus long terme, en raison de leur intégration et de leur cohérence. Cependant, comme les trois architectures ne sont pas de même niveau, nous allons voir que le grand gagnant à long terme pourrait bien être Ethernet.

Les tendances 2010

Les réseaux des années 2010 devraient converger vers un réseau unique, intégrant l'ensemble des services nécessaires à la vie d'une entreprise ou à la satisfaction des besoins des utilisateurs d'un opérateur. L'objectif principal d'un tel réseau unique sera la réduction des coûts de gestion et de maintenance grâce à l'intégration des réseaux téléphoniques circuit, des réseaux cœur des réseaux de mobiles, des réseaux de données, des réseaux de vidéo, etc.

Cette intégration vers un réseau unique a cependant déjà échoué à plusieurs reprises au cours de l'histoire des télécommunications. L'objectif du RNIS était déjà d'intégrer les réseaux du début des années 80. Ensuite, avec l'apparition de l'ATM en 1988, beaucoup pensaient que l'intégration se ferait autour de cette norme, conçue dans cette optique, et

nombre de prédictions annonçaient un réseau unique ATM pour le début des années 2000. Le monde IP a perturbé cette progression de l'ATM en dominant le marché de l'interface utilisateur. On peut désormais envisager, mais cela n'est qu'une hypothèse, que les années 2010 verront l'arrivée d'un réseau unique avec une interface utilisateur IP. La section suivante esquisse les directions possibles pouvant mener à ce réseau unique.

Les deux grandes familles de réseaux

Penchons-nous d'abord sur les deux grandes familles de réseaux toujours représentées schématiquement par l'informatique et les télécommunications : les réseaux sans signalisation et les réseaux avec signalisation. La figure 40.1 illustre les principaux réseaux de ces deux catégories.

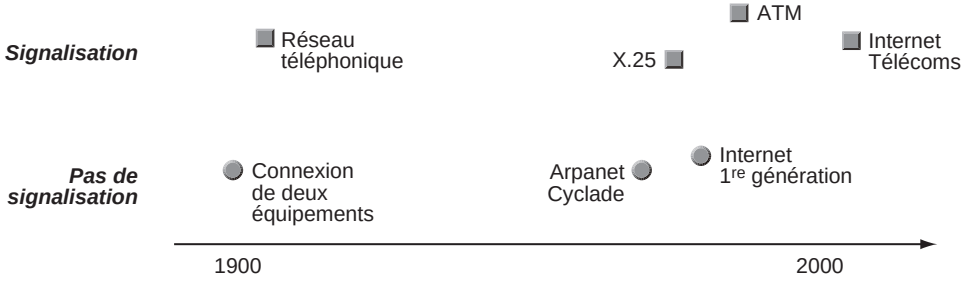

Figure 40.1
Les deux grandes familles de réseaux, avec et sans signalisation

Les réseaux sans signalisation vont d'une communication simple d'individu à individu jusqu'à Internet. L'information est véhiculée dans des paquets, qui portent l'adresse complète du destinataire, de telle sorte que ces paquets se suffisent à eux-mêmes pour atteindre ce dernier. Au contraire, dans un réseau avec signalisation, aucune information ne peut transiter d'un émetteur vers un récepteur tant que la communication n'a pas été signalée au récepteur. Dans pratiquement tous les cas, on profite de la signalisation pour mettre en place dans le réseau un chemin, sur lequel des ressources peuvent être réservées.

Les réseaux avec signalisation sont nombreux dans le monde des télécommunications. Le premier d'entre eux a dû être le réseau téléphonique, la gestion de la signalisation par des opératrices ayant été remplacée par une signalisation automatique par la suite, utilisant le protocole CCITT n° 7. Les réseaux à commutation de type X.25 puis relais de trames et ATM proviennent d'idées émanant du secteur des télécommunications. Comme nous allons le voir, une des idées fortes du monde des télécommunications a été de construire un réseau IP avec une signalisation, que l'on appelle le réseau Internet Télécoms. C'est l'une des raisons d'être du groupe de travail NSIS (Next Step In Signaling) de l'IETF que de normaliser une signalisation forte dans le monde IP.

Une fois le domaine des réseaux séparé en deux grandes familles, on peut rechercher les différentes directions que peuvent prendre les réseaux de demain. Dans chacune de ces familles, deux grandes possibilités s'offrent aux architectes réseau, ce qui donne quatre architectures.

Les quatre architectures du NGN

Les quatre architectures possibles pour réaliser le NGN sont illustrées à la figure 40.2. La partie haute de la figure regroupe les deux possibilités de la famille sans signalisation, le surdimensionnement et les priorités, et la partie basse celles de la famille avec signalisation, le chemin MPLS et le contrôle par politique.

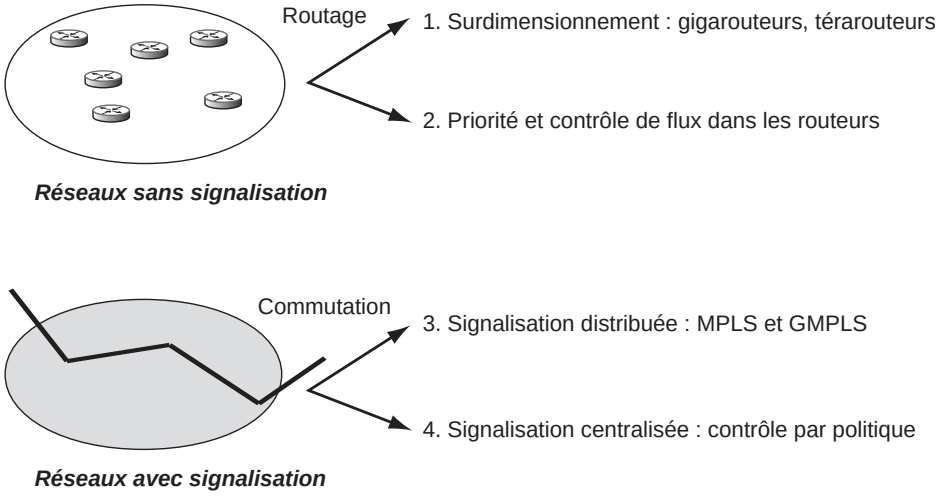

Figure 40.2
Les quatre architectures du NGN

Le surdimensionnement

La première de ces solutions concerne un réseau IP natif dans lequel les artères du réseau ainsi que les nœuds de transfert, les routeurs dans le cas présent, sont surdimensionnés. Cette possibilité est réaliste puisque les progrès technologiques depuis le début des années 2000 conduisent à un débit des tuyaux de communication qui augmente plus vite que la demande des utilisateurs. Les routeurs suivent le même chemin avec les gigarouteurs et même les térarouteurs dans lesquels un million voire un milliard de paquets peuvent être routés chaque seconde. En 2004, la capacité totale des réseaux était utilisée approximativement à 50 p. 100 au moment des pointes de trafic.

Le surdimensionnement est assez couramment utilisé mais d'un coût élevé. En effet, les équipements de transmission permettant de dépasser le gigabit par seconde restent très chers. Le surdimensionnement entre 2005 et 2010 devrait encore être une pratique courante.

Les priorités

Toujours dans le domaine des réseaux sans signalisation, et donc avec routage, une seconde solution s'est mise en place à partir de l'idée suivante : au lieu de surdimensionner le réseau pour l'ensemble des utilisateurs, pourquoi ne pas le surdimensionner uniquement pour les applications qui ont besoin d'une forte qualité de service ? En adoptant un environnement avec priorités et en limitant le nombre de flots utilisant la plus

haute priorité, les clients prioritaires auront l'impression d'avoir un réseau surdimensionné, comme s'il leur était quasiment dédié, et obtiendront en conséquence une très bonne qualité de service.

Cette solution nécessite qu'il n'y ait pas de congestion pour les clients les plus prioritaires et impose donc de trouver un moyen de limiter le nombre de ces derniers. La solution la plus souvent évoquée consiste à imposer aux clients prioritaires un tarif suffisamment dissuasif pour que leur nombre soit limité. On avance la valeur de 15 p. 100 de l'ensemble des ressources d'un réseau affectées aux clients prioritaires. Cette valeur provient de modèles mathématiques, qui montrent que la probabilité de congestion dans les moments de pointe reste négligeable.

Une architecture NGN pourrait consister à choisir une technologie IP native avec une gestion des priorités de type DiffServ en limitant le nombre de clients dans la classe Premium ou EF (Expedited Forwarding).

MPLS-GMPLS

Dans les réseaux avec signalisation, une première solution provient de MPLS-GMPLS, présentée en détail au chapitre 19. Elle revient à tracer des circuits virtuels, ou LSP (Label Switched Path), sur lesquels circulent des paquets IP encapsulés dans différents types de trames, mais plus spécifiquement ATM et Ethernet. L'avantage de cette solution est l'ingénierie de performance qu'on peut lui appliquer, permettant de bien dimensionner les chemins.

Les extensions GMPLS seront très en vogue entre 2005 et 2010, avec des commutations diverses, comme les commutations en longueur d'onde. Une autre innovation, présentée au chapitre 12, concerne la commutation par burst, ou burst-switching, c'est-à-dire par un ensemble de paquets représentant une transmission de quelques dizaines de millisecondes. Cette solution peut se placer entre la commutation de paquets et la commutation en longueur d'onde.

L'idée est de commuter un ensemble de paquets sur un chemin mais pour une durée non pas de quelques nanosecondes mais, comme nous venons de l'indiquer, de quelques dizaines de millisecondes. La commutation d'un seul paquet demande en effet beaucoup de temps de supervision puisqu'il faut modifier les chemins de chaque paquet. Dans une commutation en longueur d'onde, la bande passante est très mal utilisée puisque les applications travaillent par à-coups. La commutation par burst est un bon compromis entre ces deux techniques, qui se rapproche de la commutation de paquets lorsque les bursts sont très courts et de la commutation en longueur d'onde lorsqu'ils sont très longs.

Le contrôle par politique

Le contrôle par politique à été introduit au chapitre 30. Il consiste à centraliser les commandes dans un serveur de politiques, le PDP (Policy Decision Point). Ce serveur gère un domaine administratif et connaît l'ensemble des ressources de son domaine. Il peut donc affecter ces dernières à la demande des utilisateurs, qu'ils aient négocié ou non un SLA (Service Level Agreement). Cette solution représente un tournant important dans le domaine des réseaux IP puisque le système se centralise et que les décisions sont prises en un point central. Les difficultés proviennent, bien sûr, de cette centralisation même et du besoin d'une importante signalisation pour transporter les commandes. La signalisation concerne aussi bien les commandes de supervision allant vers le centre que celles partant du centre et destinées à configurer les nœuds du réseau.

L'avantage important de ce contrôle par politique réside dans la possible automatisation de l'ensemble des configurations du réseau, évitant de recourir à des ingénieurs réseau très coûteux pour l'entreprise et les opérateurs.

Les technologies 2010

En 2010, il pourrait ne rester que deux technologies principales dans le monde des réseaux, IP et Ethernet. Ces deux technologies sont complémentaires : le paquet IP a besoin d'une trame pour être transportée et Ethernet pourrait offrir cette trame. La prépondérance d'IP ne fait pas de doute et est facilement explicable bien que, comme nous allons le voir, quelques défauts peuvent encore remettre en cause cette suprématie. L'arrivée massive d'Ethernet n'est pas vraiment surprenante étant donné sa simplicité et son expansion dans tous les domaines : le réseau local, bien sûr, mais aussi les réseaux sans fil, avec notamment Wi-Fi, les réseaux métropolitains, avec IEEE 802.17 et le MEF (Metropolitan Ethernet Forum), et les réseaux étendus, avec les normes du 10GbE et bientôt des 40 et 160GbE. MPLS et GMPLS devraient utiliser de plus en plus la commutation Ethernet au détriment de la commutation ATM.

La remise en cause du monde IP pourrait provenir de la consommation d'énergie. En effet, les protocoles TCP/IP demandent beaucoup de puissance électrique et donc une forte consommation d'énergie. On pourrait résumer cette propriété par le fait que l'architecture TCP/IP a été conçue pour les réseaux riches en énergie. On a pu montrer que le protocole TCP consommait beaucoup d'énergie à cause de sa gestion de la communication, qui utilise de nombreux temporisateurs et recourt à des algorithmes complexes. Ce problème n'est pas visible dans les équipements de réseau et les terminaux qui sont reliés directement à l'électricité. Même les portables qui ont des batteries importantes ne sont pas sensibles à ce phénomène. Il faut descendre au niveau des terminaux mobiles, tels les PDA, smartphones, etc., pour commencer à sentir l'inconvénient de l'architecture TCP/IP lorsque celle-ci est utilisée dans toute sa puissance.

Le problème apparaît clairement lorsqu'on considère les réseaux de capteurs *(voir le chapitre 21)*, qui ont une infime réserve d'énergie et pour lesquels la transmission d'un seul octet nécessite un effort important. Comme il y aura de plus en plus de réseaux de ce type dans l'Internet ambiant, on peut se poser la question du besoin d'une nouvelle architecture de communication qui consommerait 10 à 50 fois moins que l'environnement TCP/IP. Les recherches dans ce domaine ne font que commencer.

Conclusion

Ce chapitre a présenté les grandes tendances des années à venir. On s'aperçoit que certaines techniques vont disparaître à plus ou moins long terme, comme le relais de trames et ATM, tandis que d'autres vont se conforter, comme MPLS et Ethernet. On peut cependant prévoir plusieurs types d'architectures de réseau en fonction de l'objectif à atteindre. On restera sûrement en IP, avec une forte utilisation d'Ethernet pour le transport des paquets IP, dans le cadre des réseaux sans signalisation destinés au grand public. Il y aura aussi des réseaux beaucoup plus orientés vers les professionnels, dotés de fortes garanties, obtenues grâce aux chemins mis en place par la signalisation et par une configuration automatisée par des contrôles par politique. MPLS et GMPLS devraient prédominer dans cette catégorie de réseau, qui utilisera également de plus en plus la commutation Ethernet.

Dans un avenir plus lointain, la suprématie du couple IP-Ethernet devrait s'étendre dans les deux mondes, sans signalisation aussi bien qu'avec signalisation. La remise en cause de l'architecture Internet pourrait survenir pour des questions de consommation d'énergie ou plus généralement de complexité, en proposant de revenir aux origines d'IP, c'est-à-dire de se servir d'IP comme d'un protocole d'interconnexion de réseaux. Chaque réseau serait doté d'un protocole sur mesure optimisant certaines caractéristiques importantes pour l'utilisateur. Nous introduisons cette vision lointaine au chapitre suivant.

Références

Le livre suivant permet de bien comprendre l'arrivée en force de MPLS :

V. ALWAYN – *Advanced MPLS Design and Implementation,* Cisco Press, 2001

Une vision du développement des mobiles dans les quelques années qui viennent :

J. P. CASTRO – *The UMTS Network and Radio Access Technology: Air Interface Techniques for Future Mobile Systems,* Wiley, 2001

Le livre suivant est dévolu à la technique du Gigabit Ethernet. Cette solution a un potentiel important pour s'implanter aussi bien dans l'entreprise que chez les opérateurs :

D. CUNNINGHAM, W. G. LANE, B. LANE – *Gigabit Ethernet Networking,* Pearson Higher Education, 1999

Un livre à lire pour comprendre les directions prises par les réseaux optiques :

S. DIXIT – *IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet,* Wiley-Interscience, 2003

Excellente étude sur les prochaines générations du réseau Internet :

A. FARREL – *The Internet and Its Protocols: A Comparative Approach,* Morgan Kaufmann Publishers, 2004

Le futur est toujours difficile à prédire. Le livre suivant propose une vision autour de l'augmentation des débits des prochains réseaux étendus :

S. FEIT – *Wide Area High Speed Networks,* Pearson Higher Education, 1999

Un excellent livre, qui prédisait bien ce qui est en train de se passer aujourd'hui :

A. GLOWINSKI – *Télécommunications, Objectif 2000,* Dunod, 1980

Un livre sur l'environnement IP Mobile, qui semble devenir l'un des très grands standards de l'IETF :

A. S. MONDAL – *Mobile IP: Present State and Future,* Addison Wesley, 2002

L'article suivant a été utilisé pour écrire une partie de ce chapitre :

G. PUJOLLE – *« Les réseaux : bilan et avenir », TSI,* 16, 1, janvier 2000

Un excellent livre effectuant une synthèse des solutions bâties au-dessus d'un environnement ATM :

G. C. SACKETT, C. Y. METZ – *ATM and Multiprotocol Networking,* McGraw-Hill, 1997

Les réseaux de mobiles devraient devenir des réseaux IP natifs ; ce livre nous en montre les raisons :

A. SAKIB MONDAL – *Mobile IP: Present State and Future*, Plenum Publishing Corporation, 2003

Excellent livre à lire pour comprendre l'automatisation des futurs réseaux IP :

J. STRASSNER – *Policy-Based Network Management: Solutions for the Next Generation*, Morgan Kaufmann Publishers, 2003

Livre simple mais indiquant bien les avantages et inconvénients d'Internet et les solutions pour le futur :

F. T. HOFSTETTER – *Internet Technologies at Work*, McGraw-Hill, 2004

Excellent livre sur les stratégies potentielles de développement des réseaux :

N. WILKINSON – *Next Generation Network Services: Technologies & Strategies*, Wiley, 2002