

## Chapitre 2

# L'infrastructure des télécommunications jusqu'à 2030

*par*

Erik Bohlin\*, Simon Forge\*\* et Colin Blackman\*\*\*

\* Université de Chalmers, Göteborg (Suède).

\*\* SCF Associates Ltd.

\*\*\* Rédacteur de *Foresight and Shaping Tomorrow* (Royaume-Uni).

## Résumé analytique

Ces 35 dernières années, l'investissement effectué dans les infrastructures modernes de télécommunications dans la zone de l'OCDE a été à l'origine d'une croissance économique substantielle. Il a élargi l'accès des consommateurs et des entreprises aux communications de toutes sortes tout en réduisant sensiblement les coûts de transaction<sup>1</sup>. Cela se vérifie pour l'infrastructure fournie par l'Internet comme pour les modes de communication ayant succédé à la téléphonie publique commutée, dont la télécopie, aujourd'hui en voie de disparition, les services mobiles et SMS actuels et les nouveaux services de conciergerie par liaison à large bande. L'importance des télécommunications transparait dans leur part grandissante de la production mondiale. L'OCDE note que l'investissement dans ce domaine a représenté 2.9 % de la concentration moyenne du capital fixe entre 2001 et 2003<sup>2</sup>. Selon d'autres sources, l'investissement au cours du quart de siècle écoulé a augmenté de 1.6 % d'un PIB total estimé à 20 000 milliards USD en 1975 à 2.9 % d'un PIB total estimé à 40 000 milliards USD en 2000<sup>3</sup>.

La pénétration des télécommunications a longtemps été faible dans plusieurs pays de l'OCDE. Ainsi, en 1970, la France, le Portugal et l'Italie ne comptaient respectivement que 8, 6 et 12 téléphones fixes pour 100 habitants, les États-Unis et le Canada étant les seuls à disposer d'un service quasi universel<sup>4</sup>. En 1995, un peu moins de la moitié des membres de l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui regroupe 214 pays, affichait un taux de pénétration inférieur à 8 pour 100 habitants, le niveau atteint par la France en 1970. C'est pourquoi le développement de la téléphonie mobile, dont le nombre d'utilisateurs dépasse désormais celui de la téléphonie fixe, gagne en importance.

Un facteur sans doute déterminant de la demande future d'infrastructures tiendra à la puissance économique grandissante de l'ensemble des pays en développement. En 2025, les économies du Brésil, de la Russie, de l'Inde et de la Chine (les BRIC) pourraient compter pour plus de la moitié du G6<sup>5</sup>. Actuellement, elles n'en représentent que 15 %. Leur PIB augmentera régulièrement par rapport au G6 au fil du XXI<sup>e</sup> siècle, mais sa progression devrait être particulièrement spectaculaire jusqu'à 2030. Les habitants des BRIC devraient néanmoins demeurer plus pauvres, en moyenne, que ceux des pays du G6.

C'est à leur accessibilité par rapport aux autres technologies que les technologies mobiles devront leur succès dans ces pays. Presque partout, le vieillissement démographique appellera la mise en place de services plus diversifiés en matière d'assistance sanitaire et aux personnes, et de soins aux personnes âgées. Les situations d'urgence, qu'elles soient naturelles ou artificielles, imposeront de nouveaux impératifs aux infrastructures de télécommunications.

L'infrastructure sera influencée et déterminée par les besoins de connexion de la grande masse de la population mondiale non desservie – soit 3.5 milliards d'utilisateurs potentiels, en plus des quelque 2 milliards qui utilisent actuellement les télécommunications sous toutes leurs formes. En conséquence, les pays en développement et leurs besoins façonneront de plus en plus les infrastructures des communications de demain : il se pourrait bien que leurs technologies d'infrastructure deviennent plus perfectionnées que celles des pays de l'OCDE aujourd'hui. Les futures infrastructures seront beaucoup moins onéreuses que les infrastructures fixes et cellulaires actuelles, et leur déploiement sera nettement plus rapide.

La majeure partie de l'infrastructure à venir sera consacrée au transport de paquets IP, acheminés sur des réseaux de fibre optique et, dans une large mesure, sur des réseaux d'accès radio à l'horizon 2030. L'essentiel des investissements ira aux multiples configurations de réseaux de radiocommunication mobile par paquets, ce qui répondra aux besoins du plus gros client de la nouvelle infrastructure, le monde en développement. Le réseau fixe, pour les communications par paquet et par circuit commuté, servira de complément aux réseaux longue distance et d'accès.

En principe, les pays de l'OCDE ne devraient examiner qu'ultérieurement les avantages que présente, sur les plans technique et financier, la nouvelle infrastructure légère. Le schéma consistant à remplacer les technologies peu accessibles par d'autres plus faciles d'accès a un parallèle dans l'histoire des transports, lorsque les canaux ont cédé la place au transport routier privé. Ainsi, l'infrastructure de raccordement au réseau fixe restera généralement identique en termes de structure topologique et géographique, mais sa capacité se développera avec le remplacement des technologies de signalisation – de sorte que la même liaison physique par fibre optique transportera davantage de trafic.

L'architecture de l'infrastructure de télécommunications évoluera vers des réseaux plus simples, moins intelligents, l'intelligence se situant à la périphérie, dans les serveurs et les terminaux des utilisateurs. La commutation par paquets adaptée aux communications isochrones sera le mode de commutation dominant. L'infrastructure devra comporter des dispositifs de contrôle de la sécurité des sources et des adresses, ainsi que des appareils de

surveillance et d'identification des interfaces usagers pirates et piratés (machines « zombies » et « botnets »). Pour répondre aux besoins d'utilisateurs beaucoup plus nombreux, les nouveaux protocoles IPv6 fourniront un espace d'adressage bien supérieur aux 4 milliards d'adresses des protocoles IPv4.

Les infrastructures de télécommunications continueront de rivaliser dans la phase initiale de cette évolution, jusqu'en 2030. Les exploitants d'infrastructures fixes s'efforceront de concurrencer les opérateurs de services mobiles en offrant des services de convergence (fixes et mobiles). Les câblopérateurs et les fournisseurs d'accès Internet (FAI) poursuivront leur implantation dans le secteur des télécommunications, les uns *via* un réseau de raccordement optique, les autres par une offre de services sous forme de téléphonie IP, en utilisant la capacité dégroupée. La concurrence sur les prix et la baisse des coûts d'entrée devraient modifier les modèles économiques des opérateurs; la concurrence sur les services de nouveaux intervenants tels que les FAI, les entreprises du secteur des médias et les câblopérateurs jouera donc un rôle de poids.

Souvent surestimées par le passé, les télécommunications seront néanmoins de plus en plus jugées aptes à remplacer les transports, ce qui pourrait réduire la dépendance à l'égard des véhicules et de leurs carburants et les effets de la pollution. Les retombées potentielles du télétravail, du téléachat, de l'enseignement à distance et du commerce électronique sont telles qu'elles pourraient modifier sensiblement la géographie de l'habitat et des chaînes logistiques du commerce de détail. Cette évolution aura des conséquences sur d'autres services d'infrastructure, notamment la distribution de l'électricité, du gaz de chauffage, l'approvisionnement en eau et l'évacuation des eaux usées, puisque les régions reculées, avec l'abrogation des distances, se rapprocheront en fait du lieu de travail. Cela dit, comme on l'a déjà indiqué, les télécommunications stimulent également l'économie, génèrent des déplacements et font consommer de l'énergie. Leurs effets de substitution seront donc moindres que ce que l'on imagine.

### Introduction – le champ de l'étude

Notre étude a pour objet d'étudier les télécommunications en tant qu'élément de l'infrastructure, leur évolution jusqu'en 2030 et leurs répercussions sur d'autres secteurs tels que le transport et l'énergie. Nous définissons d'abord le champ de l'étude sur deux plans : en termes de sous-secteurs des télécommunications pertinents pour l'infrastructure, et en termes géographiques.

L'étude se concentre sur trois des nombreux sous-secteurs des télécommunications susceptibles de jouer un rôle majeur à l'avenir :

- Téléphonie et transmission de données sur réseau fixe – la principale composante de l'infrastructure aujourd'hui.
- Téléphonie et transmission de données sur réseau mobile – y compris les technologies sans fil autres que cellulaires.
- Communications mobiles, notamment à haut débit sans fil.

D'autres technologies seront brièvement évoquées au passage, notamment les communications par satellite, les liaisons hyperfréquence, les systèmes HALES (haute altitude et longue endurance) et la câblodiffusion, mais seulement en tant que supports de réseaux à large bande et multiservices et de liaisons de raccordement pour les systèmes radiomobiles.

Sur le plan géographique, l'étude examinera les infrastructures dans les économies suivantes :

- Les pays de l'OCDE.
- Plusieurs des « cinq grands » pays nouvellement industrialisés, à savoir la Chine, l'Inde et le Brésil.

### **Champ sectoriel**

#### ***Transmission de la voix et de données sur liaison fixe***

**Innovations et modernisation.** Depuis la création du système Bell aux États-Unis en 1875, il y a 130 ans, l'essentiel du réseau d'infrastructure des télécommunications repose sur les technologies fixes, à l'origine la téléphonie analogique. Celle-ci comportait trois grandes composantes : la boucle locale, les commutateurs et un réseau interurbain ou longue distance<sup>6</sup>.

**Numérisation de l'infrastructure.** Le renouvellement du stock de technologie qui s'est en grande partie effectué entre 1973 et 2000 sous l'impulsion des pays de l'OCDE a fait évoluer une part substantielle de l'infrastructure mondiale des systèmes de signalisation et de commande analogiques vers des systèmes de commutation et de transmission numériques. La numérisation a notamment permis de développer la capacité des lignes grâce aux techniques avancées de multiplexage, de perfectionner les systèmes de commutation, d'accélérer l'établissement d'appels de bout en bout et, surtout, d'accroître considérablement la fiabilité du réseau. D'autres caractéristiques pourraient s'ajouter grâce à l'introduction de la programmabilité dans les équipements d'abonnés et dans les éléments de réseau. La numérisation des réseaux de télécommunications est quasiment achevée dans la zone de l'OCDE, la plupart des pays ayant mené cette opération à terme en 1999. Dans ces pays, 99 % des lignes fixes étaient

connectées à un commutateur numérique en 2005, mais la Hongrie (88 %), l'Espagne (90 %) et la Turquie (90 %) comptent parmi ceux dont les réseaux font baisser la moyenne de l'OCDE<sup>7</sup>. Dans les pays en développement, la situation est bien différente. Du fait qu'ils ont commencé à investir très tard dans l'infrastructure de télécommunications (dans les années 90), ils se sont pour l'essentiel dotés d'équipements numériques dès le départ. L'Inde et la Chine, par exemple, disposent des équipements de commutation numérique les plus modernes, lesquels coexistent avec des équipements analogiques nettement antérieurs, surtout en Inde et, dans une certaine mesure, au Brésil.

**L'avenir du réseau fixe.** Bon nombre d'opérateurs historiques voient le nombre d'abonnés au réseau fixe diminuer du fait que ceux-ci renoncent à leur deuxième ligne ou migrent entièrement vers les réseaux mobiles. Compte tenu de ce phénomène et de la concurrence des services mobiles, dont la pénétration est sensiblement supérieure à celle des réseaux fixes, les opérateurs historiques enregistrent une perte de recettes sur la téléphonie, perte qu'aggrave l'évolution des marchés de la téléphonie IP. Les marges bénéficiaires de la téléphonie fixe ont ainsi tendance à rétrécir sous la pression de la concurrence de l'infrastructure mobile, de la rivalité de la téléphonie IP et de la réglementation visant à ouvrir la bouche locale de manière à ce que le dégroupage puisse avoir lieu et à ce que les prestataires de services puissent se poser en concurrents.

Face à cette situation, les opérateurs historiques de réseaux fixes envisagent des architectures « convergentes » afin d'établir une « coopération » avec les services mobiles et la téléphonie IP. On citera à titre d'exemple l'architecture du réseau 21st Century Network (21CN) de BT, destinée à assurer à la fois des connexions aux réseaux mobiles et fixes au domicile et au bureau (système Bluephone). Elle fait appel à un réseau interurbain conçu pour assurer l'interconnexion et le transport du trafic mobile pour d'autres opérateurs. La convergence fixe-mobile modifie ainsi l'architecture de l'infrastructure de tous les grands opérateurs de réseaux fixes.

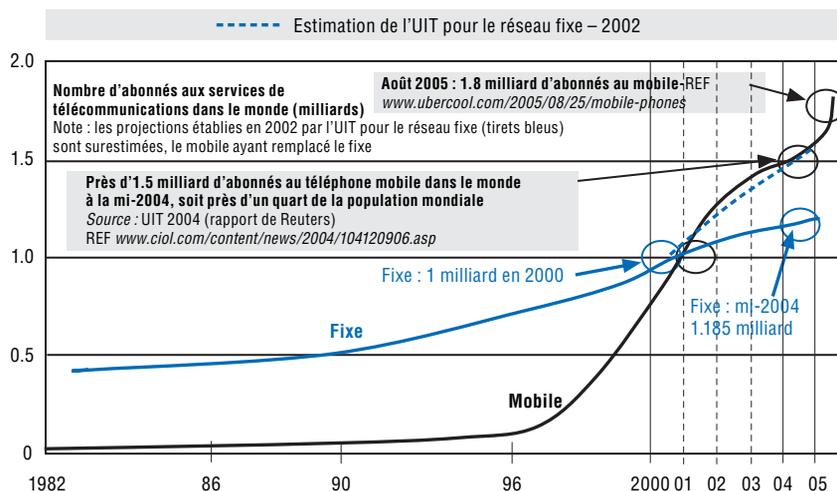
### ***Services mobiles de téléphonie et de transmission de données, nouvelles technologies hertziennes comprises***

Le service mobile est désormais le secteur le plus dynamique dans les télécommunications. Il représente aujourd'hui plus de la moitié des nouvelles dépenses d'infrastructure de télécommunications, et le nombre de ses abonnés a dépassé dès 2001 celui des abonnés au réseau fixe, comme l'illustre le graphique ci-dessous. Presque tous les réseaux mobiles et hertziens sont désormais numériques, même s'il existe encore un pourcentage modéré, mais en diminution rapide, de services analogiques au Mexique et aux États-Unis.

Près d'un tiers de la population mondiale possédait un téléphone mobile à la fin de 2005. Seuls 23 % disposaient d'une ligne fixe<sup>8</sup>.

Le réseau mobile a accompli en une dizaine d'années autant de progrès que le réseau fixe en 130 ans :

Graphique 2.1. **Abonnés aux services de télécommunications dans le monde**

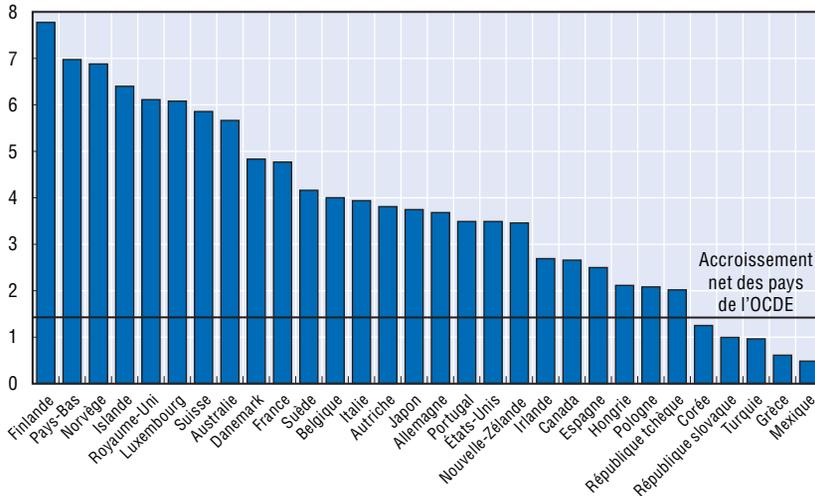


Source : ITU World Telecommunication Development Report, 2002; ITU World Telecommunication Database and IUT Projections.

### Communications mobiles à large bande (par voie hertzienne notamment)

La mise en service des réseaux à large bande, qui offrent un débit compris entre plus de 100 kbit/s et 2 Mbit/s, s'est accélérée ces cinq dernières années. Si, dans un premier temps, ils ont été survendus sous l'effet du « déterminisme » technologique, la demande est enfin arrivée, mue par les besoins des usagers désireux d'accéder plus rapidement à l'Internet. Dans les pays de l'OCDE, le haut débit s'est essentiellement vendu par le biais de la technologie DSL (ligne d'abonné numérique), sous ses différentes formes, et de la câblodiffusion. D'autres technologies permettent d'accéder à l'Internet en haut débit : accès à large bande par satellite, système à fibre optique chez l'abonné (FTTH), fibre au point de concentration (FTTC), réseaux locaux Ethernet et réseau à large bande fixe hertzien (à des débits descendants supérieurs à 256 kbit/s). C'est dans le domaine de l'accès à large bande sans fil destiné à une utilisation fixe que les progrès les plus récents sont intervenus, avec la mise au point de services nomades et mobiles au moyen de technologies telles que le WiFi et le WiMax. Le graphique 2.2 et le tableau 2.1 indiquent les taux de croissance et de pénétration du haut débit dans les pays de l'OCDE (pour 100 habitants).

Graphique 2.2. **Pénétration du haut débit (pour 100 habitants) dans les pays de l'OCDE – Accroissement net T2 2004-05, par pays**



L'évolution de l'infrastructure haut débit filaire classique est déterminée par les technologies hertziennes, comme le réseau WiBro en Corée du Sud, mais surtout par les bornes d'accès WiFi qui offrent aux usagers nomades un accès Internet à partir de points d'accès.

### Champ géographique

#### OCDE

La zone de l'OCDE a de tous temps été à la pointe du progrès et de la création d'infrastructures de télécommunications. Depuis 1875, c'est elle qui définit le modèle à suivre. Dans bon nombre de pays de l'OCDE, il existe une surcapacité de réseaux longue distance en fibre optique qui n'est toujours pas économique en ce sens que les recettes dégagées ne permettent pas de couvrir les investissements initiaux, mais il est très difficile d'évaluer cette surcapacité, les fibres noires n'étant pas toujours déclarées. Qui plus est, une bonne part de la capacité transocéanique internationale a été vendue après l'éclatement de la bulle Internet; en Asie, elle a été achetée par la Chine, l'Inde et d'autres pays en développement. S'agissant de la capacité restante dans la zone de l'OCDE, le développement du trafic Internet a favorisé la hausse des investissements dans les réseaux de transmission à haut débit. Malgré la concurrence, tant sur le plan des services que de l'infrastructure, les prix sont ainsi maintenus à un niveau artificiellement élevé dans certains domaines (pas seulement les communications fixes, mais les redevances de terminaison des réseaux mobiles, les frais d'itinérance internationale et pour l'utilisation du réseau

Tableau 2.1. **Nombre d'abonnés au haut débit pour 100 habitants dans les pays de l'OCDE, par technologie, juin 2005**

	DSL	Câble	Autres	Total
Corée	13.9	8.9	2.7	25.5
Pays-Bas	13.6	8.9	0.0	22.5
Danemark	13.2	6.1	2.4	21.8
Islande	21.0	0.3	0.4	21.7
Suisse	12.7	7.2	0.4	20.3
Canada	9.4	9.7	0.1	19.2
Finlande	16.3	2.2	0.2	18.7
Belgique	11.0	7.3	0.0	18.2
Norvège	14.8	2.5	0.9	18.2
Suède	11.3	2.7	2.5	16.5
Japon	11.0	2.4	3.0	16.4
États-Unis	5.5	8.0	1.1	14.5
Royaume-Uni	9.7	3.8	0.0	13.5
France	11.9	0.8	0.0	12.8
Autriche	7.0	5.4	0.1	12.5
Luxembourg	10.4	1.3	0.0	11.8
Australie	8.5	2.4	0.1	10.9
Allemagne	9.9	0.3	0.1	10.2
Italie	9.4	0.0	0.6	10.0
Portugal	5.1	4.7	0.0	9.9
Espagne	7.0	2.2	0.1	9.3
Nouvelle-Zélande	6.4	0.3	0.3	6.9
Hongrie	2.9	1.6	0.1	4.6
Irlande	3.5	0.4	0.5	4.3
Pologne	2.5	0.7	0.1	3.3
République tchèque	1.8	1.0	0.0	2.8
République slovaque	1.2	0.3	0.1	1.6
Turquie	1.1	0.0	0.0	1.2
Mexique	0.8	0.2	0.0	1.0
Grèce	0.8	0.0	0.0	0.8
<b>OCDE</b>	<b>7.2</b>	<b>3.8</b>	<b>0.8</b>	<b>11.8</b>

Source : Site Internet de l'OCDE, consulté en janvier 2006 : [www.oecd.org/document/16/0,2340,en2649\\_34225\\_35526608\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/16/0,2340,en2649_34225_35526608_1_1_1_1,00.html).

d'un autre opérateur, par exemple). Cela dit, les tarifs des communications fixes évoluent rapidement depuis quelques temps, de nombreux opérateurs proposant désormais des forfaits avec appels illimités. En ce qui concerne les tarifs de terminaison d'appel mobile, de nouveaux terminaux bimodaux (mobile/WiFi) devraient être introduits sur le marché à la fin de 2005 (le terminal Nokia N92 par exemple), ce qui pourrait exercer une pression sur le marché de l'itinérance dans certains pays de l'OCDE, selon les réglementations en vigueur.

Tableau 2.2. Répartition mondiale des points d'accès WiFi  
– Points d'accès commerciaux en 2004

États-Unis	20 488
Corée	18 000
Italie	415
Suède	435
Australie	539
Canada	572
Taiwan	643
Japon	1 022
Allemagne	1 167
France	1 676
Royaume-Uni	4 620
<b>Total</b>	<b>49 577</b>

Source : François Bar, « Divergent patterns of global innovation: WiFi in the US », Annenberg School for Communication, University of Southern California, États-Unis, présenté à l'ENST (Paris) en avril 2004; et l'étude EC/IPTS, « Mapping European Wireless Trends and Drivers », 2005, une étude de cas portant sur la Corée.

Tableau 2.3. Diffusion des télécommunications  
dans la population de la zone de l'OCDE

OCDE 2003	2003							Population (millions) 2030
Population (millions) 1970	Population (millions) 2004	Lignes fixes (x 1 000)	Densité téléphonique (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (x 1 000)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles en % du nombre d'abonnés au téléphone	Internaute (% de la population)	
875 <sup>1</sup>	1 153	503 435	43.67	741 343	64.2	59.6	22.4	1 275 <sup>1</sup>

1. Population des pays actuellement membres de l'OCDE.

Source : US Census Bureau, OCDE, Union internationale des télécommunications.

Or, comme nous le verrons plus loin, il se pourrait que la place prépondérante longtemps occupée par la zone de l'OCDE dans le domaine de la technologie et du déploiement de l'infrastructure soit aujourd'hui remise en cause. En outre, la position technologique de pointe qu'elle a acquise de bonne heure pourrait freiner l'évolution de certains États membres en raison de « l'intense inertie politique » visant à protéger les investissements à fonds perdus dans une infrastructure nationale commutée fixe, à faible débit et coûteuse. Cette inertie ne s'est d'ailleurs pas dissipée face à la récente déréglementation si l'on en juge par la prochaine génération de réseaux DSL numériques à commutation de paquets. Les États-Unis, le Japon, et maintenant l'Allemagne (mais la CE a contesté cette démarche) proposent des mesures visant à mettre les opérateurs historiques à l'abri du dégroupage et

du partage de leurs nouveaux réseaux optiques à haut débit et xDSL de la boucle locale<sup>9</sup>. Des mesures de cette nature risquent d'empêcher la concurrence d'accéder à la nouvelle infrastructure pour offrir ses propres services, l'objectif affirmé étant d'encourager les gros opérateurs à investir.

### Chine

Nous avons choisi la Chine parce qu'elle est la plus avancée des grandes économies en développement. Le nombre d'abonnés aux services sans fil y augmente chaque mois de 3 millions, chiffre qui a atteint 4.8 millions en août 2005. Les dépenses dans l'infrastructure progressent rapidement. Le nombre total d'abonnements aux réseaux mobiles avait atteint 373 millions en août 2005<sup>10</sup>.

Tableau 2.4. **Diffusion des télécommunications en Chine**

Chine		2004						Population (millions) 2030
Population (millions) 1970	Population (millions) 2004	Lignes fixes (x 1 000)	Densité téléphonique (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (x 1 000)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles en % du nombre d'abonnés au téléphone	Internautes (% de la population)	
820	1 313	312 443	23.79	334 824	25.49	51.7	7.2	1 462

Source : US Census Bureau, OCDE, Union internationale des télécommunications.

### Inde

L'Inde a été retenue parce qu'une accélération substantielle des investissements dans l'infrastructure y est prévisible, ce pays affichant le plus gros déficit d'infrastructure de télécommunications par rapport à la demande potentielle. Le PIB moyen par habitant est de 640 USD pour 1.1 milliard d'habitants, et devrait augmenter de 7.5 % selon les projections<sup>11</sup>.

Les services mobiles ont un rôle capital à jouer dans cette évolution – en juin 2005, le nombre d'abonnés avait atteint 7.4 millions<sup>12</sup>, ce qui montre la rapidité à laquelle l'Inde intensifie ses investissements dans l'infrastructure. Jusqu'à présent, le pays a fondé une grande part de sa croissance sur les entreprises de services de haute technologie (l'externalisation des services de soutien aux entreprises par exemple) implantées dans des parcs industriels dotés d'un réseau de communications par satellite, équipés d'antennes VSAT et de quelques liaisons internationales par fibre optique de manière à pallier l'insuffisance de l'infrastructure locale. Ce modèle de « communications enclavées » ne suffit plus. Une infrastructure nationale de télécommunications locales est de plus en plus nécessaire, pour assurer des liaisons internationales

Tableau 2.5. Diffusion des télécommunications en Inde

Inde	2004							Population (millions) 2030
Population (millions) 1970	Population (millions) 2004	Lignes fixes (x 1 000)	Densité téléphonique (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (x 1 000)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles en % du nombre d'abonnés au téléphone	Internautes (% de la population)	
555	1 080	43 960	4.07	47 300	4.37	51.8	3.2	1 421

Source : US Census Bureau, OCDE, Union internationale des télécommunications.

d'une part, mais aussi des communications permettant d'opérer en réseau au sein de l'économie locale.

### Brésil

Le Brésil a été sélectionné parce qu'il présente un point de comparaison intéressant, et pour essayer de comprendre en quel sens il va évoluer, selon le modèle suivi par la Chine ou selon celui que pourrait adopter l'Inde. Ses fondements économiques sont nettement plus avancés que ceux de ces deux derniers pays puisqu'il affiche un PIB de 3 200 USD par habitant en 2005, et que les projections prévoient une croissance de 3.5 % du PIB cette même année<sup>13</sup>, ce qui donne une indication de la façon dont l'investissement dans l'infrastructure augmente. Le développement du Brésil a été lent en raison des crises politiques et financières qui l'ont secoué. Sa population a doublé au cours des 30 dernières années, bien que le nombre moyen d'enfants par mère ait reculé de 6 en 1970 à 2 aujourd'hui, de sorte qu'une part plus élevée de la population connaît aujourd'hui une prospérité modérée. Étant donné le revenu disponible, la pénétration du réseau mobile a atteint plus de 35 % de la

Tableau 2.6. Diffusion des télécommunications au Brésil

Brésil	2004							Population (millions) 2030
Population (millions) 1970	Population (millions) 2004	Lignes fixes (x 1 000)	Densité téléphonique (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (x 1 000)	Nombre d'abonnés aux services mobiles (pour 100 habitants)	Nombre d'abonnés aux services mobiles en % du nombre d'abonnés au téléphone	Internautes (% de la population)	
96	181	42 382	23.46	65 605	36.32	60.8	12.2	223

Source : US Census Bureau, OCDE, Union internationale des télécommunications.

population, dépassant de loin celle des lignes fixes (moins de 25 %). La déréglementation a favorisé une vive concurrence dans ce domaine, entre les opérateurs de services cellulaires mais aussi entre infrastructures.

## 1. Évolutions antérieures en matière d'investissement dans l'infrastructure

Nous examinons ici brièvement l'évolution de l'infrastructure de télécommunications au cours des 25 dernières années et nous penchons pour cela sur quatre domaines particuliers :

- La demande passée et ses principaux moteurs.
- L'état actuel de l'infrastructure.
- La persistance éventuelle des tendances antérieures en termes de demande.
- Les tendances qui ne sont manifestement pas soutenables.

### *Influence des principaux moteurs sur la demande passée d'infrastructure*

Depuis 1980, de nombreuses tentatives ont été faites de mettre au point et de lancer de nouvelles infrastructures et de nouveaux services. Celles qui se sont avérées fructueuses répondaient à des besoins réels, exprimés ou latents, des usagers – le versant « demande » de l'économie. D'autres peuvent être inscrites à la liste des aspirations technocentriques du secteur, désireux de vendre ses produits au consommateur. Le tableau ci-dessous analyse sous cette angle certaines des grandes innovations :

Tableau 2.7. **Incidence des principaux déterminants sur la demande passée**

Infrastructure et développement de services associés à l'infrastructure	Principaux moteurs	Incidence globale
Numérisation.	L'amélioration des coûts et de la performance grâce aux progrès technologiques – répondait aux besoins des usagers en termes de fiabilité, de perfectionnement du réseau et de services tels que le courrier vocal.	Fondamentale – a satisfait au besoin de télécommunications fiables, pointues, intégrant la voix et les données sur un canal.
RNIS – Réseau numérique à intégration de services, un protocole voix/données numérique à commutation de circuits pour la boucle locale, assis sur des normes du CCITT.	Le déterminisme technocentrique des fournisseurs et opérateurs – mais malgré cela, un certain succès en France et en Allemagne, surtout sur le marché des entreprises, et sur celui des lignes T1 aux États-Unis. L'acronyme anglais (ISDN) a parfois été traduit par « idiot services users don't need » (services idiots dont les usagers n'ont pas besoin) aux Royaume-Uni et aux États-Unis.	Minime – pour le RNIS en bande étroite, sauf en ce qui concerne certains marchés professionnels, notamment celui des lignes louées T1 dans les années 90.

Tableau 2.7. Incidence des principaux déterminants sur la demande passée (suite)

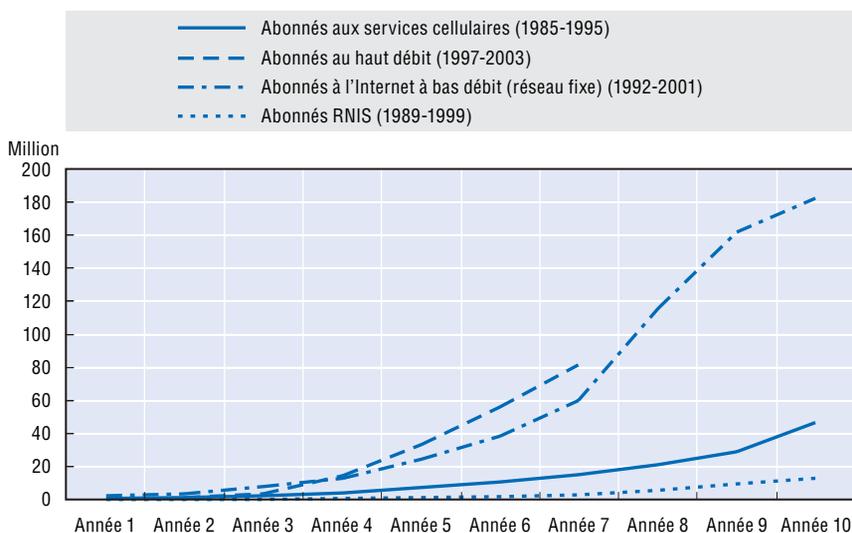
Infrastructure et développement de services associés à l'infrastructure	Principaux moteurs	Incidence globale
Réseaux mobiles – essentiellement le GSM, 2G et 2.5G (GPRS).	La demande des usagers finaux désireux d'établir une connexion n'importe où, de disposer facilement d'un accès universel et d'assurer leur sécurité personnelle (associée à 50 % des ventes).	Fondamentale – en une décennie (1995-2005) les réseaux mobiles ont créé une base d'abonnés entièrement nouvelle, représentant plus du double de celle des lignes fixes, et ont ainsi remodelé une infrastructure plus que centenaire. Ils se sont aussi posés en concurrents de l'infrastructure de réseaux fixes.
Réseaux de transmission longue distance à haut débit, nationaux et internationaux, équipés de protocoles HNS sur des réseaux optiques avec multiplexage WDM.	Les avantages financiers et techniques (facilité à augmenter la capacité) pour un trafic international de données croissant, surtout avec la hausse du nombre d'internautes à compter de 1996-97, lorsque l'interface World Wide Web a mis l'Internet à la portée du grand public.	Essentielle – a réduit le coût réel d'un appel téléphonique de plusieurs ordres de grandeur (voir le coût de fourniture d'un appel téléphonique transatlantique, 1946-2005).
Technologie de bouche locale à large bande, en grande partie sur des réseaux téléphoniques (FTTH, FTTC, DSL et radioélectriques, mobiles ou fixes) traditionnels (CCITT), mais aussi <i>via</i> la câblodiffusion.	Un déterminisme technocentrique initial (avant 2002) qui fait que la capacité déployée a dépassé la demande; par la suite, après 2004, la demande d'accès à plus haut débit des usagers finaux s'est concrétisée avec le développement de l'Internet.	Gagne lentement du terrain.
Le WiFi, développé par des organismes non opérateurs (hôtels, aéroports, municipalités, etc.) ainsi que par les opérateurs traditionnels.	Il y en a deux : l'offensive du fournisseur de microprocesseurs Intel pour la vente de PC, et la demande d'accès à l'Internet des usagers nomades, surtout pour le transport de données et, plus récemment, de la voix avec la téléphonie IP (Skype, Vonage).	Substantielle, gagne lentement du terrain avec la multiplication des bornes d'accès WiFi et l'amélioration de la qualité de la téléphonie IP.

Source : S. Forge, « The macroeconomic effects of near-zero tariff telecommunications », étude multiclients, SCF Associates, Paris, 1998.

Nous observons ici la forte incidence des moteurs de la demande, sur le segment des consommateurs notamment, suivi de celui des entreprises. L'évolution récente de la demande d'infrastructure montre de plus en plus que l'influence primordiale ne vient pas de la décision des opérateurs et prestataires de fournir certains équipements ou services; le pouvoir de l'offre a diminué. Il convient de noter que dans la communauté de l'OCDE, la boucle locale à haut débit affiche désormais une progression nettement plus rapide que celle du réseau mobile à ses débuts, comme l'indique le graphique 2.3 sur la diffusion des services.

La demande porte essentiellement sur l'accessibilité – comme le montre clairement l'évolution vers les services mobiles numériques. Le succès remporté par le réseau mobile numérique fondé sur la norme GSM a été nettement supérieur aux prévisions malgré sa création dans le cadre d'une procédure de normalisation réglementée des nouvelles technologies mobiles

Graphique 2.3. Dans les pays de l'OCDE, l'adoption du haut débit au cours des dix premières années a été plus rapide que celle des autres services



numériques plutôt que d'un marché technologique concurrentiel. En revanche, plusieurs tentatives de déploiement de réseaux à haut débit ont échoué. La première s'est inscrite dans le cadre du RNIS (réseau numérique à intégration de services), qui prévoyait le remplacement de la boucle locale du réseau téléphonique public commuté (RTPC) par des câbles haut débit (coaxiaux ou à fibres optiques). Plus récemment, on a fait appel à divers protocoles DSL<sup>14</sup> transportés par des systèmes hybrides fibre optique/câble coaxial (câbles HFC), ou par la paire torsadée d'origine dans certaines installations, pour moderniser les boucles locales existantes à un coût nettement moindre. Mais là encore, le haut débit DSL n'a vraiment pris son essor que lorsque est apparue une demande concrète d'accès à l'Internet. L'absence de demande concrète explique en grande partie l'échec des services mobiles de troisième génération (3G). D'une part, les opérateurs ont été lents à déployer le réseau; d'autre part, la disponibilité et le prix des terminaux ont soulevé des problèmes, tandis que le marché du 3G semble s'être développé bien plus lentement que ne l'escomptaient les opérateurs. Le prix de l'accès aux données est un obstacle majeur, auquel s'ajoutent la complexité des terminaux et des services et les craintes concernant la tarification<sup>15</sup>.

Le point essentiel ici est qu'un facteur sous-jacent est à l'origine des innovations réussies de ces dernières années. La libéralisation a été un déterminant majeur du développement de l'infrastructure au cours du dernier quart de siècle; elle a ouvert la voie à une nouvelle ère d'infrastructures multiples. Les facteurs de la demande, notamment le pouvoir des

consommateurs qui agissent sur l'équilibre politique du gouvernement, ont entraîné une révolution dans les trois domaines qui influencent au premier chef le développement de l'infrastructure des télécommunications :

- En tout premier lieu, comme indiqué, vient la réglementation, ou plutôt la déréglementation. La libéralisation du marché a permis de limiter le pouvoir des opérateurs historiques et d'ouvrir le marché à de nouveaux intervenants, ce qui a servi de déclencheur aux deux facteurs suivants.
- Une concurrence tous azimuts – dans le domaine des services, des équipements et, notamment, de l'infrastructure.
- De nouvelles technologies – dont l'introduction, jusqu'à la déréglementation, était entièrement contrôlée par les opérateurs historiques.

Le *Modified Final Judgement* édicté en 1983 par le juge Harold Greene aux États-Unis et le démantèlement de l'opérateur et fournisseur d'équipements dominant, AT&T, ont sonné le glas d'une époque et ouvert la voie à la libéralisation des services. Une concurrence limitée dans le secteur de l'infrastructure était apparue aux États-Unis avant le jugement, qui faisait appel à une technologie différente pour établir une infrastructure longue distance parallèle – les pylônes hertziens de Microwave Communications Incorporated (MCI) – et ce dès le milieu des années 70, grâce au financement du marché des obligations à haut risque.

Les années 80 ont ainsi ouvert les marchés des télécommunications aux prestataires de services concurrents et, dans une certaine mesure, à la concurrence dans la boucle locale via le dégroupage et les infrastructures parallèles. Dans certaines villes américaines, une infrastructure de réseau optique a été construite dans les années 80 sur les marchés locaux déréglementés – le Nebraska comptant parmi les premiers<sup>16</sup>. Pour autant, l'engagement des ESLC (entreprises de services locaux concurrents) américaines du début des années 90 de fournir des services sur l'infrastructure de l'opérateur en place n'a toujours pas été tenu. Aux États-Unis, les sociétés exploitantes Bell (à l'origine sept entreprises de télécommunications créées à la suite du démantèlement d'AT&T) n'ont jamais véritablement abandonné leur contrôle sur l'infrastructure de la boucle locale, et se sont ainsi attaché une clientèle. Grâce au pouvoir suffisant qu'ils exercent sur l'instance de réglementation (la FCC et les Public Utility Commissions – PUC – locales) et sur la législation des États, les opérateurs historiques ont freiné ou interrompu le dégroupage. Il n'est donc pas surprenant que AT&T, qui avait conservé son activité d'opérateur longue distance après la scission, n'ait pu survivre puisqu'elle ne pouvait établir sa propre clientèle; elle a récemment été achetée par SBC, l'une des « descendantes » des sociétés exploitantes Bell.

Au Royaume-Uni, cependant, la récente révision stratégique de l'instance de réglementation, l'OFCOM, a obligé l'opérateur historique, BT, à établir une division séparée sur le plan opérationnel et comptable, Openreach, au lieu de créer une société indépendante responsable de l'infrastructure de boucle locale. Cette division aura pour mission de revendre la capacité dégroupée de la boucle locale à des tiers dans des conditions d'égalité avec la société mère, dispositif qui a exigé des négociations approfondies. L'infrastructure de BT avait été spécialement conçue, à partir de la fin des années 70, pour rendre la séparation de la boucle locale et de l'infrastructure longue distance très difficile, surtout en termes de facturation et de services de soutien opérationnel pour la gestion du réseau et des services. Si le Royaume-Uni est le pays qui est allé le plus loin dans ce domaine, la plupart des pays de l'Union européenne ont des projets en matière de dégroupage de la boucle locale. Dans la pratique, tous doivent encore y procéder<sup>17</sup>.

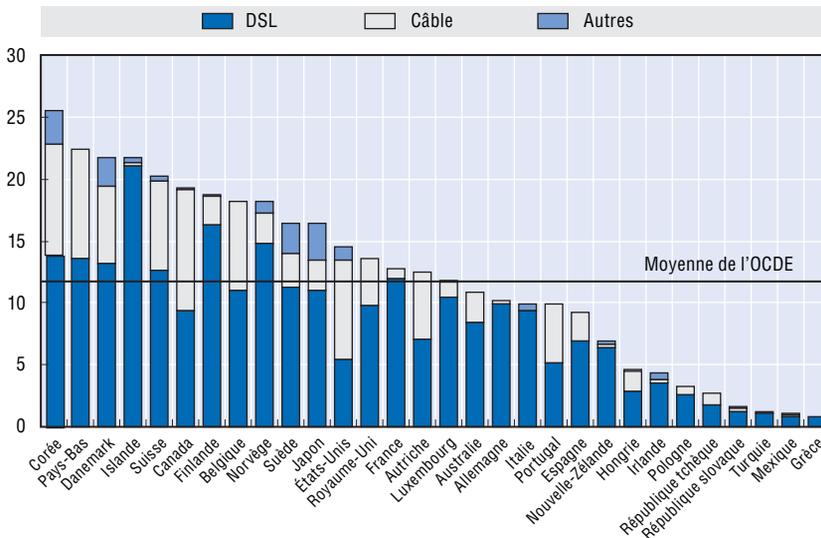
L'évolution réglementaire radicale à laquelle on a assisté ces 25 dernières années tranche sur les cent années de téléphonie vocale qui ont précédé en ce qu'elle montre que les pouvoirs publics et les instances de réglementation ont prêté l'oreille aux demandes du public pour une infrastructure mieux adaptée à leurs besoins, et ce malgré le fait que ces demandes pour une infrastructure améliorée moins coûteuse, qu'elles émanent du public ou des entreprises, n'étaient pas exprimées de manière concrète ou détaillée. Il s'agissait au mieux de demandes latentes, d'un besoin de services qui correspondraient aux normes des installations d'abonnés en termes de données, de mobilité et de souplesse. Plus profondément, ces attentes exigeaient des opérateurs historiques qu'ils renoncent à leur emprise sur le mode de prestation des services et à leurs coûts élevés, l'utilisation de l'infrastructure de boucle locale constituant pour eux un moyen de presser le client jusqu'à la moelle.

### ***L'état actuel de l'infrastructure***

Dans les pays de l'OCDE, les ménages ont un nombre grandissant de PC reliés au réseau Internet ; la boucle locale offre donc de plus en plus souvent des connexions à haut débit. La technologie DSL a renforcé l'infrastructure de réseau fixe dans la boucle locale pour assurer des services téléphoniques, d'accès Internet et de télévision. Dans bon nombre de ces pays, les câblopérateurs ou les opérateurs multiservices offrent leur propre connexion à haut débit par câble coaxial ou optique pour distribuer des services FTTH (fibre jusqu'au domicile) ou FTTC (fibre au point de concentration avec terminaison en cuivre). La bande passante est ainsi disponible dans la boucle locale, à un prix correspondant au coût du déploiement, et convient à la plupart des besoins des consommateurs résidentiels en termes de téléphonie et d'accès Internet. Les entreprises aussi réclament davantage de bande passante pour satisfaire leurs besoins en matière de téléphonie et de

commerce électronique. La téléphonie IP commence à assurer une part modeste du trafic vocal (moins de 5 % en général) dans certains pays de l'OCDE, dont l'essentiel consiste en appels internationaux entre eux<sup>18</sup>. Le dégroupage de la boucle locale dans la zone de l'OCDE a non seulement amené la baisse des prix promise du fait de la concurrence sur le marché de détail, mais aussi l'arrivée de nouveaux concurrents offrant des débits de plus en plus importants et des services groupés, notamment la fourniture de programmes de télévision sur xDSL.

Graphique 2.4. **Abonnés au haut débit, pour 100 habitants, par technologie, dans les pays de l'OCDE, juin 2005**



Source : OCDE, Site Internet de l'OCDE : [www.oecd.org/dataoecd/60/47/35527500.xls](http://www.oecd.org/dataoecd/60/47/35527500.xls).

La demande de communications des entreprises varie selon les pays. De manière générale, la capacité en fibre optique du réseau longue distance a connu une expansion phénoménale, de sorte qu'il existe aujourd'hui un excédent de bande passante dû au surinvestissement des opérateurs historiques, également confrontés sur ce marché à l'arrivée de petits concurrents qui ciblaient le marché de gros des FAI et les grands réseaux d'entreprise. Les nouveaux venus, comme COLT, Level 3 et Global Crossing, se sont développés à une époque où la demande d'infrastructure semblait illimitée, et ont été financés, durant la période de forte expansion du secteur de l'Internet et de l'essor parallèle des télécommunications, par d'importants emprunts bancaires. Il est extrêmement difficile de définir l'ampleur exacte de la surcapacité dans la mesure où il y a tout intérêt à garder le silence sur la fibre noire excédentaire. La situation est compliquée par le fait qu'il n'existe

pas de consensus sectoriel quant à savoir si la fibre noire doit être intégrée à l'évaluation du réseau optique total disponible – d'aucuns ont avancé que dans la mesure où des investissements supplémentaires sont nécessaires pour allumer la fibre noire, celle-ci ne doit pas être prise en compte dans la capacité disponible. Néanmoins, le coût d'installation du réseau optique doit être de une à deux fois supérieur à celui de sa mise en service.

### **Dans quels domaines l'infrastructure est-elle donc insuffisante aujourd'hui ?**

Si nous examinons d'abord le secteur qui a le vent en poupe, celui du mobile, nous observons que les nouvelles technologies de troisième génération fondées sur les normes 3GPP ne rencontrent pas aujourd'hui le succès escompté en 1999 – période d'optimisme débridé – et de ce fait de nombreux opérateurs misent aujourd'hui sur des mises à niveau de ces technologies. En 1999, les normes 3GPP initiales étaient quasiment achevées et les investissements étaient réunis pour l'achat de licences aux premiers tours d'enchères qui se sont déroulés au Royaume-Uni et en Allemagne en 2000. Il en est résulté une technologie, non un service, qui présente des coûts élevés et un débit relativement faible (2 Mbit/s) et appelle des mises à niveau 3.5G appelées HSDPA (High Speed Downlink Packet Access – accès par paquet en liaison descendante haut débit) et HSUPA (High Speed Uplink Packet Access – accès par paquet en liaison montante haut débit) pour assurer un débit réel de 2 Mbit/s. À l'heure actuelle, la clientèle des services 3G de Vodafone augmente d'un million d'abonnés par trimestre; à ce rythme, il faudrait plus de 40 ans pour que la clientèle mondiale de la société (165 millions d'abonnés environ) se convertisse à ce système<sup>19</sup>. Certains relèvent toutefois que cette situation est comparable à celle des premiers mois du GSM à 900 Mhz, quand seules les entreprises adoptaient ce service; on aurait pu alors aboutir à la même conclusion en ce qui concerne le réseau GSM par rapport au réseau analogique, de même qu'en 1994, avec le réseau PCS à 1 800 MHz par rapport au réseau GSM à 900 MHz.

Coûteux et peu intéressant, le 3G présente aussi des problèmes de réception universelle et d'évanouissement de la transmission durant les communications qui peuvent compromettre la mise en réseau de paquets de bout en bout. Ainsi, bon nombre des premiers réseaux 3G sont-ils toujours commutés par circuits, tout au moins sur le réseau d'accès radio. Entre le coût élevé des services mobiles cellulaires 3G à large et très large bandes et le faible débit des services mobiles populaires 2G et 2.5G, il existe ainsi un vide à combler – des services mobiles à haut débit et à coût modéré.

Une autre lacune à pallier est le besoin en services d'urgence capables de fonctionner à n'importe quel endroit lors d'une catastrophe. Les besoins en termes d'accessibilité et de résistance aux catastrophes sont les éléments

moteurs à l'établissement de réseaux *ad hoc* adaptatifs reposant sur une architecture maillée.

Un examen plus approfondi indique que la boucle locale, les réseaux d'accès et les réseaux interurbains de nombreux pays de l'OCDE comportent aujourd'hui des éléments à commutation de circuits très divers, conjugués à différentes technologies de commutation de paquets (relais de trame, X25, RNIS E1 et T1, T3, et d'autres comme les liaisons Kilostream et Megastream, routeurs TCP/IP, etc.). S'y ajoutent un ensemble de réseaux interurbains ATM et HNS à plus haut débit qui font appel à des systèmes de signalisation entre réseaux SS7, et toute une gamme de RGT (réseaux de gestion des télécommunications) et d'OSS (systèmes d'appui à l'exploitation). En conséquence, beaucoup d'architectures de réseau actuelles sont desservies par leur complexité et des coûts élevés d'entretien et de réparation. Pour remédier à cette situation, il conviendrait de fournir un modèle unique d'accès au réseau et d'exploitation du réseau interurbain, reposant sur un seul protocole et un seul mode de commutation. Ce système devrait avoir la simplicité conceptuelle de l'Internet, fondée sur la communication de données et l'universalité des protocoles et des modes d'adressage, mais, contrairement au réseau Internet conçu pour un monde naïf et confiant, offrir une sécurité et une résistance renforcées aux attaques délibérées.

Le besoin insatisfait le plus important a peut-être trait au coût. Les futurs marchés de croissance se situent à l'extérieur de la zone actuelle de l'OCDE. La Chine et l'Inde représenteront au moins la moitié de l'économie mondiale en 2025, la Chine évinçant le Japon du deuxième rang de l'économie mondiale à l'horizon 2020<sup>20</sup>. Leur infrastructure est défaillante en ce qu'elle ne répond pas à leurs besoins – en termes de rapidité de déploiement, de modicité des coûts et de grande accessibilité. La nature de leur demande favorise les technologies radio, naissantes ou pas encore développées, faisant appel à des infrastructures de raccordement ou interurbaines moins coûteuses. Les infrastructures actuelles ne peuvent que leur proposer des solutions fragmentaires pour satisfaire leurs besoins.

Dans la communauté de l'OCDE, par contre, la croissance revêtira peut-être une autre forme. Pendant que les pays nouvellement industrialisés (PNI) développeront leurs nouvelles infrastructures technologiques, ceux de l'OCDE pourraient procéder à une intensification du capital – et mettre en place de nouvelles technologies, éventuellement développées dans les PNI, pour introduire de nouveaux services et de nouvelles fonctions. Un tel réseau de prochaine génération (NGN) modifiera la nature et l'utilisation des réseaux de communication dans les pays de l'OCDE (comme déjà indiqué, pour le télétravail, le commerce électronique, etc.). Ce processus, du fait qu'il s'agira d'un remplacement progressif, pourrait s'avérer très différent du déploiement rapide de réseaux à faible coût en Chine, qui ouvrent des perspectives

nouvelles sur les nouveaux marchés gigantesques de PNI avides d'infrastructures.

### **L'évolution antérieure de la demande d'infrastructure va-t-elle se poursuivre ?**

Avec l'expansion de l'économie du savoir, la demande de télécommunications et d'infrastructures connexes continuera de croître bien au-delà de 2030. Mais quelles évolutions antérieures continueront jusqu'à cette date ? Trois demandes essentielles sont identifiables, qui continueront de déterminer les dépenses d'infrastructure.

Depuis vingt ans, le développement des services radio mobiles compte parmi les moteurs essentiels de l'expansion de l'infrastructure des télécommunications. On peut toutefois se demander si le modèle cellulaire existant se maintiendra sous sa forme actuelle. Il est possible que les revers du système 3GPP UMTS<sup>21</sup> signifient que le mobile cellulaire a atteint ses limites, et que la technologie ne peut aller plus loin. La réponse réside peut-être dans l'adoption de nouvelles technologies plutôt que dans le développement des technologies actuelles. La demande d'accessibilité élevée se maintiendra – plus l'accès aux communications est répandu et universel, plus son utilisation se généralise. L'accès comporte des coûts pour de nombreux usagers potentiels ; la baisse du coût d'accès à l'infrastructure par abonné constituera donc un paramètre stratégique, autre caractéristique persistante du passé.

La deuxième grande tendance a été la généralisation du haut débit, y compris pour les services de médias dans la boucle locale, dont l'accès à l'Internet. Nous pouvons observer ici une évolution de la demande, la fonction de téléphonie ordinaire des télécommunications cédant la place aux données multimédia. Cette évolution devrait également se poursuivre. Les pouvoirs publics sont en outre conscients de ce que les télécommunications (comme le développement actuel de l'accès local à large bande) présentent des avantages sociaux et économiques substantiels. La large bande a été décrétée clé de voûte de l'économie numérique, et de nombreux responsables politiques ont reconnu que sans la fourniture concurrentielle d'accès à large bande, les prix d'accès demeureraient élevés et la diffusion du haut débit limitée. Il faut donc définir par quel moyen la mettre en service. La démarche actuelle, qui consiste à utiliser le réseau fixe, soit par un système hybride coaxial/fibre (HFC), soit par la seule fibre optique, ou éventuellement la paire torsadée sur de courtes distances, risque d'être remise en question si les technologies hertziennes moins coûteuses, comme le WiBro en Corée, peuvent remplir la même fonction.

La troisième tendance des dernières décennies susceptible de se maintenir concerne l'élément stratégique du progrès des télécommunications

– le renforcement de la concurrence dans les services, les technologies et les infrastructures grâce à des mesures de libéralisation des télécommunications. La déréglementation comportera le dégroupage des éléments d'actifs liés dans les cas où ils constituent une pratique restrictive, et visera à encourager les technologies d'infrastructures concurrentes.

### **Quelles sont les tendances qui ne pourront apparemment pas se maintenir ?**

L'élément peut-être essentiel est une base de coûts infrastructurels viable pour les futurs usagers. La base de coûts instaurée dans la communauté de l'OCDE constitue aujourd'hui un point de référence, mais elle est trop élevée pour le segment d'usagers qui présente le plus gros potentiel de croissance – les pays nouvellement industrialisés (PNI) – et ne peut donc être maintenue.

Ces dernières décennies, le marché a souvent été défini par le déterminisme technocentrique des principaux intervenants, les opérateurs et équipementiers par exemple, qui proposaient des technologies sous l'angle de l'offre, et non en tant que produits et services consommables. S'il est peu probable que ce comportement disparaisse, la puissance des consommateurs est aujourd'hui reconnue, et ce phénomène de domination de l'offre ne pourra vraisemblablement durer.

Les deux points évoqués ci-dessus résultent dans une très large mesure du contrôle exercé par les entreprises dominantes, qu'il s'agisse des opérateurs ou des équipementiers. Face à l'intensification de la concurrence, ceux-ci ne pourront probablement pas maintenir leur emprise sur le marché, de sorte que le rôle des opérateurs historiques nationaux devrait diminuer à mesure que de nouveaux groupes se constitueront, qui dépasseront souvent les frontières nationales. Cette évolution devrait amener un renforcement de la concurrence entre infrastructures, le réseau mobile cellulaire, les nouveaux réseaux mobiles, la fourniture en gros d'accès Internet pour les FAI, la câblodiffusion, etc., élargissant leur champ concurrentiel.

S'agissant des architectures de réseau, l'idée que s'en faisait auparavant le secteur des télécommunications, à savoir une extension de la téléphonie à commutation de circuits aux données, est balayée par les architectures orientées données. Par ailleurs, l'arsenal de normes de télécommunications émanant d'organismes tels que l'UIT et la CEPT, qui a déjà diminué, devrait encore perdre en importance. Les normes de communications de données émanant des organismes de la communauté Internet et du secteur de l'informatique, comme l'IEEE aux États-Unis, qui privilégient un marché ouvert et déréglementé, devraient constituer le fondement des infrastructures de télécommunications. Un excellent exemple en est donné par la commutation par paquets, et notamment le nouveau protocole IPv6. Qui plus

est, l'Internet lui-même comporte des caractéristiques qui ne sont pas durables, tout particulièrement l'infrastructure logicielle sur laquelle il s'est développé, qui est fondée sur la notion d'un monde bienveillant et présente donc de graves lacunes en termes de sécurité; elle devra être en grande partie remplacée.

Plus généralement, le rôle dominant des pays de l'OCDE dans la conduite et l'établissement de normes de télécommunications mondiales et la création des technologies ne saurait persister. Les normes et les technologies mondiales d'infrastructure viendront de plus en plus souvent des PNI. L'OCDE risque donc de se voir distancée. De plus, les investissements précédemment effectués dans les technologies classiques pourraient freiner l'évolution de certains pays membres compte tenu de l'inertie politique dérivant de la volonté de protéger les investissements à fonds perdus dans une infrastructure nationale fixe, à faible débit, à commutation de circuits et coûteuse.

## 2. Les facteurs déterminants de la demande future et de l'investissement dans l'infrastructure

Dans les prochaines décennies, la demande de services d'infrastructure sera en grande partie déterminée par des facteurs majeurs d'évolution, notamment dans les domaines suivants :

- Géopolitique.
- Sécurité.
- Macroéconomie.
- Finance.
- Démographie.
- Environnement.
- Technologie.
- Gouvernance.
- Tarification des télécommunications.
- Microéconomie – inflation des produits de consommation primaires.

### **Géopolitique**

La géopolitique (la façon dont le pouvoir politique est exercé à l'échelle mondiale) a une incidence majeure sur les télécommunications. Celles-ci exercent à leur tour une influence grandissante sur la scène géopolitique, tant par le biais des communications directes que de leur diversification sous forme de contenu multimédia qui permet de diffuser le savoir, les informations et les opinions politiques. L'accès à l'Internet ouvre en effet la

voie à des idées et des cultures nouvelles, voire opposées, par exemple en ce qui concerne le rôle des femmes dans la société. Grâce aux communications mobiles, aucun événement ne passe inaperçu. Les communications personnelles ont permis de relater ceux qui se sont produits en Chine, en Ukraine, en Géorgie, ou d'y coordonner des mouvements politiques populaires, en opposition aux informations officielles. Le mobile instaure un dialogue (par téléphone ou par SMS) qui se substitue au monologue de l'État. Les télécommunications, qui remplissaient traditionnellement une fonction stratégique et militaire en temps de guerre, ont ainsi acquis une fonction politique pour les mouvements populaires et modifient l'équilibre politique des gouvernements. D'une certaine façon, elles accélèrent le déclin de l'État-nation en favorisant des échanges plus complexes sur le plan social, économique et structurel. Du fait que la démocratie et les télécommunications semblent associées au progrès économique, leur généralisation stimulera la croissance économique des PNI jusqu'à ce que ceux-ci en arrivent à mettre en question la prépondérance économique mondiale des États-Unis. En 2030, la capacité mondiale ne sera plus une prérogative américaine puisque la Chine et l'UE étendront aussi leur pouvoir dans le monde. L'infrastructure de télécommunications sera ainsi plus internationale et des entreprises d'envergure mondiale surgiront, comme aujourd'hui dans le secteur des services mobiles (Vodafone, Orange, Telefonica, Hutchison, etc.). Au plan international, les télécommunications demeureront un élément moteur de la délocalisation et de la migration de l'emploi par le biais de l'externalisation, les pays occidentaux de l'OCDE ayant déjà exporté cinq millions d'emplois vers l'Asie<sup>22</sup>. Les délocalisations continueront de stimuler le développement des télécommunications. Pour des raisons militaires, comme les menaces terroristes, on cherchera à mettre en place des infrastructures de télécommunications *ad hoc*. Par ailleurs, les infrastructures de télécommunications comporteront de nouvelles fonctions de protection et de sécurité standard, comme l'interception légale et le décodage des communications, qui seront introduites dans les réseaux partout dans le monde.

### **Sécurité**

Les politiques fondamentalistes, la migration de groupes religieux et ethniques distincts, la persistance des inégalités sociales et la criminalité organisée entretiendront les tensions internationales au travers d'opérations terroristes et criminelles. Les questions de sécurité occuperont une place de premier plan. Elles déterminent en grande part la conception de l'infrastructure des télécommunications, et surtout la prochaine génération de technologies hertziennes comme le montre, par exemple, le système WARN (Wireless Accelerated Responder Network), un réseau mobile à large

bande fondé sur la technologie Flash-OFDM (multiplexage par répartition en fréquences sur des porteuses orthogonales avec technologie Flash) et destiné à assurer des services publics de sécurité et d'urgence qui a été mis en place à Washington. Par ailleurs, avec l'intensification des échanges sur la Toile et la multiplication des possibilités de vol d'identité, de détournement des transferts électroniques de fonds et le blanchiment de capitaux qui deviendront un problème quotidien touchant la majeure partie de la population, la sécurité des télécommunications *via* l'Internet viendra en tête des risques économiques. Pour que le commerce électronique, national et international, prenne son essor, il faut que l'infrastructure de télécommunications soit assise sur une architecture de sécurité qui garantit la sécurité des opérations d'une part, mais aussi la protection de la *vie privée* de chacun.

### **Macroéconomie**

Sur le plan macroéconomique, la richesse des pays en développement tendra à augmenter jusqu'en 2030. La richesse est un moteur fondamental de l'expansion des télécommunications et de leur infrastructure. La hausse des revenus stimule la diffusion des télécommunications sous toutes leurs formes, et tout particulièrement celle des services mobiles.

Pour des raisons d'accès, la technologie mobile est la technologie de pointe à deux titres (les déterminants de l'accès font l'objet d'un examen détaillé à la section 4). Sur un marché de masse, elle permet d'offrir un accès universel à un coût nettement moindre. Ensuite elle peut, de par sa nature (la propagation radioélectrique pour la boucle locale) être déployée rapidement, en quelques années, pour assurer une couverture nationale, et non en dix ans ou plus comme ce serait le cas d'un réseau filaire dont le coût de déploiement pour l'accès local serait de plusieurs fois supérieur, ce qui se traduirait par des charges fixes inabornables pour la plupart des citoyens. Cet aspect revêt une importance cruciale pour les pays d'envergure continentale comme l'Inde, le Brésil et la Chine. Dans les pays de l'OCDE, où l'infrastructure fixe est déjà installée, il est probable qu'avec la convergence des réseaux fixes et mobiles l'usager final ne pourra déterminer par quel moyen il accède au réseau, ni le canal que son appel ou sa session emprunte. Cela dit, l'accès universel rend déjà le réseau mobile plus intéressant que le réseau fixe pour les usagers actifs et, selon les chiffres de l'UIT, le déploiement des lignes fixes s'effectue plus lentement que prévu (voir les projections de l'UIT, graphique 2.1).

Par ailleurs, un cycle vertueux s'établit : la diffusion des télécommunications, qui permet la diffusion d'informations de meilleure qualité sur les marchés, stimule l'économie, ce qui augmente le revenu global par habitant<sup>23</sup>. L'inégalité des revenus se creuse, mais le nombre de personnes disposant d'un revenu quotidien de moins de 2 USD pourrait bien diminuer

plus rapidement que prévu avec l'amélioration des télécommunications. En principe, c'est en dehors du groupe des nations développées que l'infrastructure et les technologies de télécommunications devraient enregistrer leur plus forte croissance, d'autant que les activités économiques en expansion se déplacent vers la Chine, l'Inde et le monde en développement. Le déploiement de l'infrastructure de télécommunications accélérera le développement de systèmes d'assainissement efficaces assurant la distribution d'eau potable aux populations les plus démunies. Plus la part des services augmentera dans les économies en développement, par opposition à l'industrie manufacturière, plus la demande de télécommunications augmentera. Ce phénomène se vérifie déjà en Inde, dans le cadre de l'exportation des services logiciels.

### **Finances publiques, investissements et marchés financiers**

Le développement des télécommunications, en termes d'infrastructures notamment, est étroitement lié aux marchés financiers du fait que la privatisation, accompagnée de la déréglementation, a gagné une place de premier plan dans le secteur, de sorte que l'État n'y est plus l'investisseur dominant. Aux États-Unis Worldcom (ex-MCI), créée pour faire concurrence au monopole de AT&T dans les années 70, a dû s'autofinancer et s'est tournée pour cela vers le marché des obligations à haut risque, dans les années 80, plutôt que de recourir au crédit bancaire direct. L'essor du secteur des télécommunications à la fin des années 90 et son effondrement en 2000-01 ont mis les systèmes bancaires américain et mondiaux en péril compte tenu des sommes colossales prêtées aux opérateurs (WorldCom, Level 3, etc.) pour qu'ils déploient des réseaux optiques et achètent d'autres opérateurs et des sociétés Internet. Les prix faramineux versés pour les licences 3G en Europe s'expliquent en bonne part par la disposition des banques prêteuses à apporter le capital nécessaire (quelque 100 milliards EUR) et par les encouragements qu'elles ont dispensés aux opérateurs dominants, dont elles détenaient souvent des titres, pour qu'ils se portent acquéreurs d'une licence 3G. La santé des marchés du crédit (boursiers et bancaires) est donc un élément capital pour l'expansion de l'infrastructure de télécommunications. Néanmoins, les besoins massifs en investissements dont le secteur était tributaire (1 à 2 milliards USD par an pour le déploiement d'un grand réseau mobile 3G sur un ou deux ans par exemple) pourraient bien évoluer. Certaines technologies nouvelles appellent des investissements nettement moins élevés dans l'infrastructure et sont beaucoup plus adaptées au niveau des finances locales et des entrées d'investissement étranger des économies en développement. Une défaillance du système bancaire est cependant toujours possible dans le cas où une autre bulle se créait dans le secteur des télécommunications.

## Démographie

Comme c'est toujours le cas pour les technologies de masse, la croissance démographique et la modification de la structure d'âge sont deux facteurs déterminants de l'évolution d'un secteur. Deux éléments essentiels dopèrent le développement de l'infrastructure: l'expansion démographique globale et le taux de vieillissement des populations. L'assistance soutenue à une population vieillissante au sein de l'OCDE (et, de plus en plus, en Chine et en Inde) appellera de nouvelles formes d'utilisation des télécommunications en matière d'aide aux personnes âgées et de soins médicaux. L'urbanisation favorisera aussi la croissance du marché. La migration urbaine, surtout dans les pays qui connaissent une forte expansion démographique et une industrialisation rapide, à savoir les pays en développement, stimulera la demande d'infrastructures de télécommunications afin de desservir le nombre grandissant d'habitants. Les migrations internationales des pays en développement vers les pays développés se traduiront par un accroissement démographique dans la communauté de l'OCDE et y dopèrent le développement des infrastructures de télécommunications. Les chiffres sont significatifs : en 2000, la population migrante a atteint 13.5 % de la population mondiale<sup>24</sup>.

## Environnement

Le changement climatique s'accélère avec l'augmentation de la consommation d'énergie, qui est de 1.8 % par an environ dans l'Union européenne. Cette évolution devrait se poursuivre jusqu'en 2035, avec les effets polluants concomitants comme les émissions de gaz à effet de serre. C'est l'Asie qui affiche la plus forte hausse (3 % par an), une progression de 41 % des émissions ayant déjà été enregistrée entre 1973 à 2002<sup>25</sup>. Le continent nord-américain est le plus gros consommateur d'énergie et pollueur en 2005, mais devrait être doublé par l'Asie à compter de 2010<sup>26</sup>. Le changement climatique va certainement entraîner une hausse du niveau des mers, lequel s'accompagnera d'une perte définitive de terres, d'un nombre grandissant d'inondations, de raz-de-marée et d'ouragans qui redoubleront de puissance suite à l'augmentation de la température moyenne des mers et à l'évolution des courants marins, comme dans le cas d'El Niño, tandis que les incendies de forêts se multiplieront et que la désertification progressera. C'est dans les pays en développement que la pollution augmente le plus rapidement, mais elle demeure élevée dans la région nord-américaine. L'équilibre alimentaire risque d'être compromis, les céréales et d'autres cultures étant très sensibles à la hausse des températures moyennes, ce qui influera sur les échanges alimentaires. L'infrastructure des télécommunications cherchera à résister aux effets météorologiques extrêmes et à amortir dans toute la mesure du possible les catastrophes; de nouveaux types d'infrastructure pourraient apporter une contribution essentielle durant et après les événements catastrophiques. L'intégration d'un réseau d'alerte

civile à la nouvelle infrastructure s'imposera probablement. Dans le cadre de la lutte contre la pollution, le télétravail pourrait gagner du terrain dans les pays de l'OCDE puisqu'il entraîne une baisse de la consommation de carburant.

### **Progrès technologiques, y compris dans le secteur des télécommunications**

L'approche traditionnelle aux technologies destinées aux infrastructures de télécommunications évolue lentement à mesure que de nouvelles générations et de nouveaux types de technologies informatisées remplacent les infrastructures filaires fixes à commutation de circuits par des radiocommunications par paquets, de sorte que des infrastructure parallèles complémentaires vont apparaître. L'influence capitale de la technologie (en termes de baisse des coûts) est observable dans les modèles Internet de tarification téléphonique avec la téléphonie IP. Toute une nouvelle infrastructure devrait voir le jour, dont le déploiement sera dopé par le niveau nettement inférieur des tarifs. Une telle infrastructure nécessite également un accès à haut débit, de sorte que les mises à niveaux technologiques pour la boucle locale en cuivre (xDSL) et les technologies d'accès hertzien pour la boucle locale gagneront en importance. Le facteur technologique majeur est sans aucun doute la fibre optique, et les progrès constants en matière de capacité de propagation, grâce à de nouvelles variantes du multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), continueront de diminuer de plusieurs ordres de grandeur les coûts par canal. Vient en parallèle le développement prodigieux de l'utilisation des TIC, l'accès à l'Internet stimulant l'investissement dans l'infrastructure et son utilisation, comme le montre le tableau ci-dessous, même dans des régions comme l'Afrique.

**Tableau 2.8. Utilisation de l'Internet (septembre 2005) et statistiques démographiques mondiales<sup>1</sup>**

Région	Population (estim. 2005)	Population (% mondial)	Utilisation Internet (derniers chiffres)	Progression de l'utilisation (2000-05)	% Population (Pénétration)	% Monde (Usagers)
Afrique	896 721 874	14.00	23 867 500	428.70	2.70	2.50
Asie	3 622 994 130	56.40	327 066 713	186.10	9.00	34.20
Europe	731 018 523	11.40	273 262 955	165.10	37.40	28.50
Moyen-Orient	260 814 179	4.10	21 422 500	305.40	8.20	2.20
Amérique du Nord	328 387 059	5.10	223 779 183	107.00	68.10	23.40
Amérique latine/ Caraïbes	546 723 509	8.50	70 699 084	291.31	12.90	7.40
Océanie/Australie	33 443 448	0.50	17 655 737	131.70	52.80	1.80
<b>Total mondial</b>	<b>6 420 102 722</b>	<b>100.00</b>	<b>957 753 672</b>	<b>165.30</b>	<b>14.90</b>	<b>100</b>

1. Les statistiques sur l'utilisation de l'Internet et la population mondiale ont été actualisées le 30 septembre 2005. Les chiffres relatifs à la population sont tirés du site Internet de World Gazeteer. Les données concernant l'utilisation de l'Internet proviennent de Nielsen//NetRatings, Union internationale des télécommunications, 2005, et de Miniwatts International, LLC, [www.internetworldstats.com](http://www.internetworldstats.com).

Le progrès le plus proprement technologique réside peut-être dans les différentes formes de radiopropagation pour la transmission de données à large bande avec utilisation efficace du spectre qui font appel à des techniques avancées de traitement numérique des signaux. Une capacité de traitement accrue conjuguée aux techniques modernes de signalisation est appliquée au niveau des protocoles de commutation (pour la commutation de paquets pour transmission sécurisée). Cela dit, l'intensification des échanges économiques, dans le cadre du commerce électronique, sur ces nouveaux réseaux ouvrira également l'infrastructure de télécommunications à différentes formes d'attaques. Les réseaux mobiles offriront d'autres services que les communications, par exemple du contenu multimédia et des services de positionnement par satellite et de localisation par téléphone cellulaire. Ils se développeront dans de nouvelles directions avec les applications commerciales, médicales et d'assistance de la technologie RFID (identification par radiofréquence); de nouvelles infrastructures seront éventuellement déployées pour gérer ces applications, comme dans le port coréen de Busan. D'autres technologies novatrices, comme les nanotechnologies pour la fabrication de composants de terminaux, les accumulateurs notamment, pourraient s'avérer utiles. Les technologies énergétiques innovantes – surtout dans le domaine des batteries destinées aux terminaux mobiles, avec des composites polymères à plus forte densité de puissance – joueront un rôle essentiel. Les réseaux distants feront appel aux technologies énergétiques locales, comme l'énergie solaire et éolienne. Les technologies spatiales, dans l'optique de lancements très sûrs moins coûteux, pourraient être à l'origine de flottes de satellites sur orbite terrestre basse (LEO) – ce qui devrait modifier les fondements des modèles économiques inopérants de la première génération de LEO (Iridium, Teledesic, etc.). Il en résulterait une infrastructure de satellites à faible coût pour les régions en développement et les zones urbaines denses. Sur le plan social et industriel, l'existence d'une nouvelle génération de réseaux universels de radiocommunication en mode paquet à large bande modifiera d'autres composantes de l'infrastructure; par le biais du télétravail peut-être, la RFID transformera les services logistiques et les services médicaux et de soins.

### ***Processus de décision public et réglementation des télécommunications***

La notion d'intérêt public dans les télécommunications a évolué au cours des vingt dernières années. La libéralisation et la démocratisation ont considérablement influencé la structure de propriété, l'organisation et l'exploitation des réseaux de télécommunications pour les améliorer sur le plan technique, des services et de l'accès. De nombreux pays ont renoncé aux modes de réglementation contraignants ou aux monopoles pour ouvrir le secteur à la concurrence des opérateurs, et d'autres à celle des infrastructures.

Dans ce dernier cas, de nouveaux intervenants, les opérateurs de services mobiles, sont arrivés sur le marché.

La séparation entre les services et l'infrastructure, qui ouvre la voie à la concurrence entre infrastructures (et, surtout, l'intensifie par le biais de la déréglementation) est depuis longtemps l'objectif visé par les instances de réglementation, notamment avec la tentative d'ouverture aux entreprises de services locaux concurrents (ESLC) aux États-Unis. Celle-ci a en grande partie échoué, les opérateurs historiques ayant maintenu leur emprise sur les éléments dégroupés. C'est seulement en 2005 qu'un grand pays de l'OCDE (le Royaume-Uni) a entrepris d'imposer à son opérateur historique un dégroupage de la boucle locale géré de l'extérieur. Cette mesure, si elle semble constituer une simple séparation comptable, repose sur la dissociation des systèmes de gestion du réseau et d'appui aux entreprises d'une part, et des systèmes de soutien opérationnel de l'opérateur historique d'autre part. On relèvera que le démantèlement d'AT&T, intervenu très tôt, s'est essentiellement soldé par un échec, et que les entreprises issues de la fusion des sociétés exploitantes Bell en sont venues à dominer le marché américain lorsqu'elles ont commencé à fournir des services longue distance et mobiles, luttant efficacement contre le dégroupage de composantes de la boucle locale dérivant de la déréglementation pour servir des prestataires tels que les ESLC. Les décisions des pouvoirs publics gouverneront toutefois les futures infrastructures de télécommunications, à un degré variable selon les régions et pays. Pour que la concurrence s'exerce utilement dans le domaine des services, des équipements et des infrastructures, une harmonisation mondiale des normes d'infrastructure est nécessaire.

Cette harmonisation consistera en partie en une ouverture mondiale ou régionale du spectre radioélectrique, probablement pour accroître le nombre de bandes de fréquences sans licences. De manière générale, on devrait observer un affaiblissement des instances nationales de réglementation face au renforcement de la réglementation régionale (Europe, Asie, Amérique du Nord et Amérique latine), et à la montée en puissance d'une instance de coordination mondiale, à l'instar de l'IETF (Groupe d'étude sur l'ingénierie Internet), qui a de fait acquis une place prépondérante dans l'établissement de normes et de processus dans le domaine de l'Internet. Les régulateurs ont dégagé des enseignements de leurs expériences respectives dans le cadre d'échanges informels; les économies en développement, en particulier, se sont rapidement inspirées des principaux cadres réglementaires des pays de l'OCDE. On peut se demander s'il existera une gouvernance mondiale, avec un régulateur universel, dans un domaine quelconque en 2030. On peut aussi se demander s'il accordera le même traitement aux communications et au contenu média, compte tenu de leur convergence. La réglementation et la conception technique de l'Internet, étant donné sa nouvelle forme d'infrastructure mobile, feront sans doute l'objet d'un long débat d'envergure mondiale, le rôle dominant des

États-Unis s'amenuisant dans ce domaine. Il nous faut noter ici qu'avec l'expansion de la téléphonie en mode paquets jusqu'à 2030, l'Internet et ses successeurs seront le principal canal de transmission du trafic téléphonique, tant au niveau des flux mondiaux qu'à celui des connexions locales.

À l'échelon local, en revanche, la prochaine génération de réseaux (assise sur les nouvelles technologies hertziennes) devrait en principe appartenir aux municipalités, qui en assureront l'exploitation. La réglementation a connu une transformation radicale ces dernières années, évoluant de la protection de l'opérateur national historique et de l'infrastructure dont il était intégralement propriétaire à celle du consommateur (contre les abus sur les tarifs de terminaison d'appels à l'échelon international par exemple), et va ensuite s'orienter sur l'application des mesures de sécurité. On peut toutefois s'attendre à ce que, face à l'assaut de la téléphonie IP et de ses tarifs, les opérateurs historiques se livrent à un combat d'arrière-garde pour protéger leurs investissements à fonds perdus dans les infrastructures existantes et tout nouvel investissement dans l'infrastructure des réseaux de nouvelle génération; ils soutiendront que la VoIP va détruire les coûts de l'obligation de service universel et doit donc être réglementée, et qu'il convient d'appliquer des prix de terminaison élevés. Les États-Unis et le Japon ont déjà accepté que la nouvelle infrastructure de réseaux à large bande ne soit pas mise à la disposition des prestataires concurrents de services à des prix de gros.

### **Tarification des télécommunications**

Les prix sont l'un des moteurs, sinon le moteur déterminant, de la demande future de télécommunications et, partant, de l'investissement dans l'infrastructure. Les sommes faramineuses récemment déboursées pour l'acquisition de sociétés de téléphonie IP témoignent du succès escompté de ces services à bas prix. Les prix et la concurrence sur les prix résultant de l'ouverture du marché des télécommunications à la concurrence au niveau des infrastructures et des services sont à l'origine de cette évolution. Avec la convergence des médias et des communications, des offres multiservices de téléphonie, messagerie et maintenant de télévision assurées par plusieurs infrastructures d'accès à large bande sont aujourd'hui proposées par l'intermédiaire d'infrastructures concurrentes :

- Réseaux mobiles à large bande (3.5G et technologies hertziennes parallèles).
- Réseaux mobiles à bande étroite (2G, 2.5G et les premiers 3G).
- Câblodiffusion – interactive et autres.
- Accès hertzien fixe à large bande.
- Boucle locale xDSL à large bande.
- RTPC numérique (connexion à un débit pouvant atteindre 56 kbit/s).

Bon nombre de ces technologies de boucle locale ramènent à des technologies communes de dorsale optique pour l'accès Internet, mais peut-être au travers de réseaux de transmission en bloc rivaux, une concurrence s'exerçant au niveau des services d'accès à l'Internet (par liaison à large bande ou commutée). Dans ce cas, les tarifs actuels des services pourraient être remis en cause. Aujourd'hui, les tarifs téléphoniques varient en fonction de la durée des communications, de l'heure, de la distance, du caractère national ou international de l'appel, et de l'offre de services groupés, surtout dans le cas des services mobiles. Les tarifs d'accès à l'Internet, en revanche, revêtent le plus souvent la forme de forfaits mensuels couvrant tous les services disponibles. Pour facturer la téléphonie IP, par exemple, le prestataire de services Skype a structuré ses tarifs en fonction de la seule destination de la communication et des frais de terminaison associés plutôt qu'en fonction de la destination et de l'origine, comme c'est le cas de la téléphonie RTPC et de la téléphonie mobile cellulaire. Avec Skype, le coût d'une communication à destination du Japon est identique, que l'appel provienne d'Australie, de France ou du Japon.

Tableau 2.9. **Tarifs internationaux de Skype, 2004**

Destination	1 minute, USD + Taxe	Destination	1 minute, USD + Taxe
Australie	0.019	Canada (Mobile)	0.019
France	0.019	Corée (Mobile)	0.066
Italie	0.019	Japon (Mobile)	0.14
Japon	0.022	France (Mobile)	0.184
Corée	0.027	Espagne (Mobile)	0.263
Finlande	0.033	Italie (Mobile)	0.281
Turquie	0.125	OCDE (moyenne des pays où la communication est à la charge de l'appelé)	0.037
Moyenne de l'OCDE	0.031	OCDE (moyenne des pays où la communication est à la charge de l'appelant)	0.23

Source : SKYPE/OCDE, *Perspectives des communications*, 2005.

Il en résulte une diminution considérable des marges de l'opérateur, les tarifs de Skype dans les pays de l'OCDE s'élevant en moyenne à 20 % de ceux des opérateurs qui assurent des appels internationaux via le RTPC<sup>27</sup>.

### **Conséquences microéconomiques de l'inflation**

Les facteurs économiques qui agissent sur les pays de l'OCDE et sur les pays en développement pèsent davantage à l'heure où les cours du pétrole augmentent sous l'effet des catastrophes naturelles et des conflits mondiaux, dans un contexte d'inflation généralement rapide des prix de l'immobilier à

l'échelle planétaire. L'inflation immobilière dans les pays de l'OCDE et dans certains pays en développement influencera à la fois les schémas de dépenses et la probabilité d'une récession si la bulle immobilière explose. Les économies sont de plus en plus consuméristes et, partant, de plus en plus vulnérables aux fluctuations du marché du logement, celui-ci faisant fonction de patrimoine et de garantie pour des prêts à la consommation. Dans certains pays, le recours aux obligations hypothécaires a transformé le marché du crédit au logement en un marché titré. Dans ceux où ces instruments sont négociés sous forme de CDO (*collateralised debt obligations*), ils peuvent entrer sur le marché des dérivés utilisé par les fonds de couverture, de sorte que des problèmes microéconomiques risquent de prendre une dimension macroéconomique en cas de fléchissement de l'activité, comme l'a montré la récession persistante du Japon. Les prix du logement limitent ainsi les dépenses de consommation dans d'autres domaines, comme les services de télécommunications, bien que les dépenses des ménages dans ce secteur soit le poste qui a affiché la croissance la plus rapide.

De plus, le prix des logements est fonction de la proximité du lieu de travail; les distances entre le travail et le domicile sont donc inversement proportionnelles aux prix immobiliers, ce qui crée des rentes de rareté qui risquent à l'avenir de déterminer la demande de télécommunications si le télétravail est envisageable quelques jours par semaine. À cela s'ajoute le prix de l'essence<sup>28</sup>. Les ménages ont accepté de vivre plus loin des centres d'activité pour bénéficier des prix inférieurs du logement tant qu'ils pouvaient assumer les frais de déplacement. Aux États-Unis, par exemple, les trajets de plus de 100 milles par jour sont courants. En octobre 2005, le prix du carburant y a atteint 3 USD le gallon, de sorte que le prix d'un trajet de 100 milles dans un véhicule américain type parcourant 16 milles au gallon en cycle mixte est passé à 407 USD par mois, contre 231 USD en octobre 2003<sup>29</sup>. Or, ce prix ne représente que 38 % environ du prix appliqué dans un pays membre de l'OCDE comme le Royaume-Uni. Toute forme de télétravail apporterait un soulagement – la conjugaison des prix du logement et du carburant favorisera le développement des télécommunications. Les moyens de transport publics n'offrent pas de solution puisque, dans de nombreux pays, ils n'existent pas.

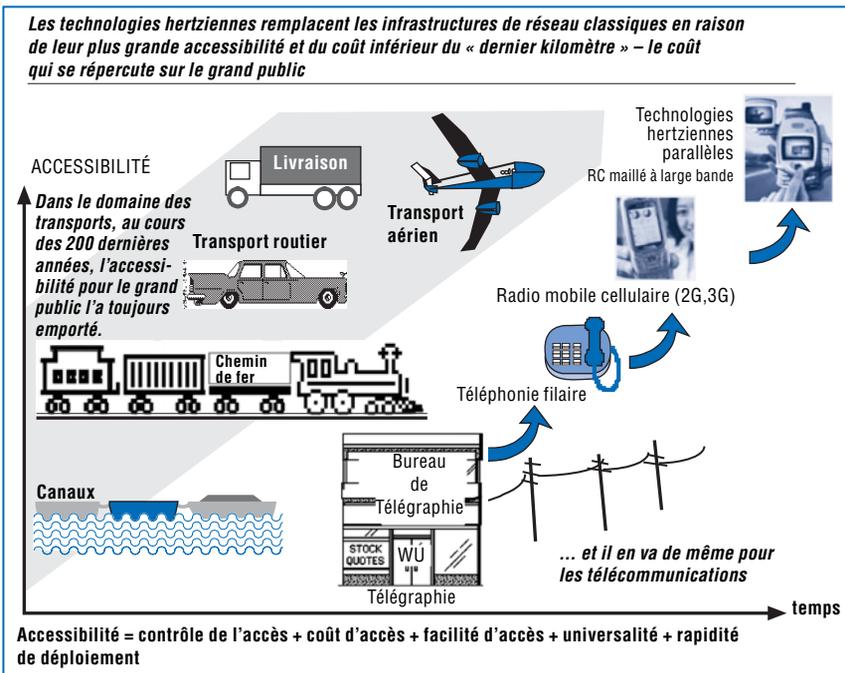
### 3. Évolution projetée de la demande de télécommunications et des investissements jusqu'à 2030

Nous examinons ici l'évolution projetée de la demande de télécommunications qui modifiera l'investissement dans l'infrastructure. Nous nous appuyons pour cela sur les résultats et projections de diverses études émanant de nombreuses sources, dont la Banque mondiale, la Commission européenne, l'OCDE et l'Union internationale des télécommunications<sup>30</sup>.

### Accessibilité, convergence fixe-mobile et prépondérance des réseaux mobiles

Tout au long de l'histoire des technologies de masse, les services d'accès difficile ont été remplacés par des services plus accessibles<sup>31</sup>. Dans le secteur du transport, au XVIII<sup>e</sup> et au XIX<sup>e</sup> siècles, les canaux étaient le mode de transport principal puisque les routes étaient à l'époque infranchissables plusieurs mois de l'année. À la fin des années 1820, les canaux ont financé les premières lignes de chemin de fer pour les utiliser comme voies de desserte; dès 1840, le rail était le mode de transport généralement dominant. Dans les années 1920, les chemins de fer américains ont commencé à financer des systèmes locaux de routes de desserte; en 1940, le réseau routier les concurrençait et, en 1950, il était devenu le réseau de transport prépondérant aux États-Unis. Dans le secteur des télécommunications, le principal opérateur de télégraphie américain, Western Union, s'est vu offrir en 1875 les brevets de téléphone de Bell pour 100 000 USD et les a refusés. La téléphonie était alors considérée comme un moyen utile de relayer un message local au bureau de télégraphie de Western Union, lequel en assurait alors la transmission à longue distance en morse sous forme de message télégraphique, selon le schéma ci-dessous.

Graphique 2.5. **Accessibilité et développement des télécommunications**



Parallèlement, la facilité d'accès a induit une deuxième mutation, plus importante, des communications téléphoniques fixes à la téléphonie mobile et à la messagerie textuelle (avec le SMS). Le mobile est beaucoup plus accessible en ce que le terminal mobile est, dans le secteur des télécommunications, l'équivalent de l'automobile : il peut rejoindre « l'autoroute » des communications depuis tous les endroits couverts par le réseau. De plus, le dispositif d'accès au service, le terminal, appartient en propre à son utilisateur. L'accès au mobile est aussi plus développé parce que le déploiement des réseaux est nettement plus rapide que celui des réseaux fixes, l'infrastructure physique de soutien étant plus légère. Celui de la boucle locale est instantané du fait que la mise en service s'effectue à la station de base et nécessite seulement la construction d'un réseau « central » fixe (ou de raccordement au réseau interurbain), laquelle peut s'effectuer très rapidement, surtout s'il est possible d'utiliser en partie une infrastructure interurbaine existante. Ainsi, la consommation de télécommunications et de l'infrastructure d'appui évolue vers des communications toujours plus mobiles. Jusqu'à présent, il s'agissait de réseaux mobiles cellulaires. Mais en 2030, de nouvelles technologies actuellement regroupées sous l'appellation de nouvelles technologies mobiles (AWT), comme le WiMax, qui font appel à des infrastructures plus légères, auront un rôle grandissant à jouer, pour des raisons à la fois économiques et techniques.

***La puissance de l'économie de consommation – la hausse des revenus et la baisse des tarifs jusqu'à un niveau quasiment nul – pour créer une infrastructure mondiale accessible à tous***

Les économies ont évolué de l'agriculture à l'industrie lourde et légère pour devenir aujourd'hui des économies de consommation. La chute des dépenses de consommation n'est plus le signe d'une récession – elle la précipite. L'expansion de l'utilisation des télécommunications est un mouvement de consommation dû à l'adoption des services mobiles par une population mondiale d'utilisateurs. À mesure que les revenus augmentent et que le coût des télécommunications diminue, le nombre d'utilisateurs et leur consommation s'amplifient. Dans les populations les plus pauvres, le mobile offre à beaucoup la première et seule occasion de télécommuniquer. Le moteur essentiel de cette expansion mondiale de la population d'utilisateurs est donc le revenu disponible. Le PIB par habitant, s'il n'est pas un indicateur précis du revenu brut (ou disponible) personnel, est un indicateur de tendance utile. Le tableau 2.10 examine le revenu disponible actuel selon la Banque mondiale.

Le tableau indique que quelque 2.4 milliards de personnes se situent dans la tranche de revenus annuels comprise entre 765 et 3 035 USD. À ce niveau, ils sont sur le point de pouvoir accéder aux télécommunications

Tableau 2.10. **Revenu disponible par région, 2004**

	Population (en milliers)	Pour cent	RNB annuel/habitant (USD)
<b>Population mondiale</b>	<b>6 345 127</b>		
Revenu faible	2 338 083	37	< 765
Revenu intermédiaire	3 006 230	47	765-9 386
Revenu intermédiaire inférieur	2 430 310	38	765-3 035
Revenu intermédiaire supérieur	575 920	9	3 035-9 386
Revenu faible et intermédiaire	5 344 313	84	
Asie de l'Est et Pacifique	1 870 228	29	
Europe et Asie centrale	472,073	7	
Amérique latine et Caraïbes	541,322	9	
Moyen-Orient et Afrique du Nord	293,994	5	
Asie du Sud	1 447 673	23	
Afrique subsaharienne	719 022	11	
Revenu élevé	1 000 814	16	> 9 386
Union monétaire européenne	307 446	5	> 9 386
Moins de 3 035 USD	2 338 083 (revenu faible)	+ 2 430 310 (revenu intermédiaire inférieur)	= 4 768 393
% de la population mondiale		75.15	

Source : Base de données d'indicateurs de la Banque mondiale, 2004, publiée le 15 juillet 2005.

mobiles, ou l'ont déjà fait, avec un téléphone d'une durée de vie de 1 à 2 ans coûtant moins de 40 USD et des dépenses en communications s'inscrivant dans une fourchette de 5 USD à 10 USD par mois au maximum. Bien entendu, le potentiel est bien plus vaste : les 4.8 milliards de personnes qui disposent de revenus annuels inférieurs à 3 035 USD représentent un marché colossal. Il s'agit là du marché de l'avenir pour les opérateurs mondiaux de services mobiles, qui le scrutent tous attentivement compte tenu du développement surprenant du mobile dans les États africains et asiatiques pauvres. En Afrique, par exemple, le nombre d'abonnés, parti d'une base très faible, a augmenté de 1 000 % entre 1998 et 2003, entièrement grâce à des investissements privés, et les services mobiles jouent un rôle de plus en plus central dans le développement économique<sup>32</sup>. La pénétration du mobile dans certains pays pauvres en développement a même atteint plus de 30 % de la population, comme en Afrique du Sud, où elle était de 36 % en décembre 2004.

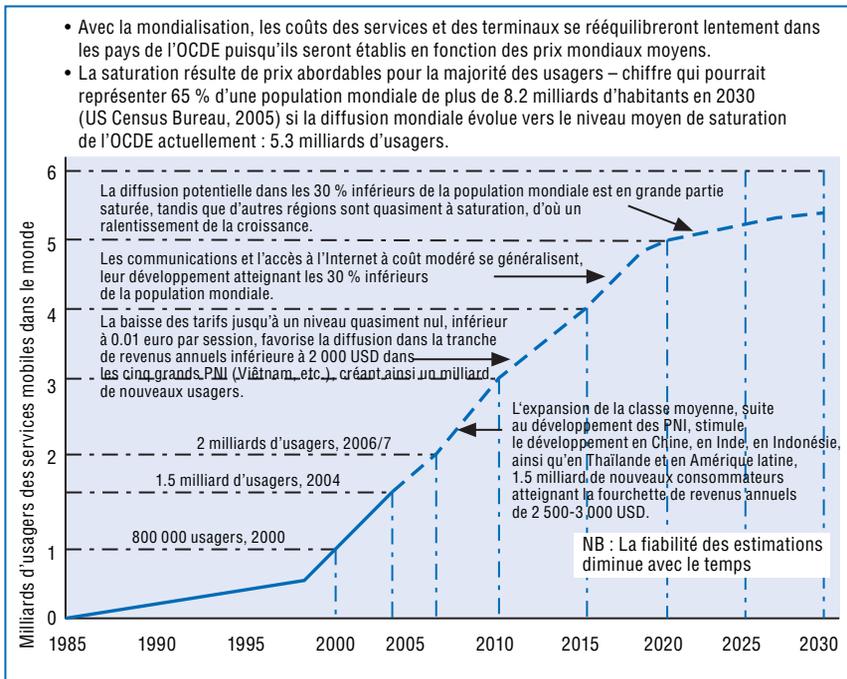
Surtout, la hausse des revenus disponibles dans les PNI devrait s'intensifier d'ici à 2030, modifiant ainsi le tableau ci-dessus. En Chine, par exemple, quelque 90 % des ménages devraient atteindre en 2014 un revenu de près de 5 000 USD aux taux actuels (4 160 EUR en octobre 2005), contre 17 % aujourd'hui, selon une étude de Crédit suisse First Boston<sup>33</sup>, puisque le nombre de ménages disposant de ce revenu devrait augmenter de 24 % par an. Même si ces chiffres sont trop optimistes, l'orientation est claire : il est certain que le nombre de Chinois

capables de participer à l'économie va augmenter. Le seuil de revenu disponible de référence de 5 000 USD est défini en fonction du coût des télécommunications d'après les tarifs actuellement en vigueur. Par la suite, les tarifs seront fixés dans le cadre d'un marché concurrentiel, ce qui signifie qu'ils diminueront.

### **Retombées de la hausse des revenus dans les pays en développement sur la demande mondiale**

En principe, le nombre d'utilisateurs des services mobiles devrait connaître une expansion considérable, d'abord jusqu'en 2010, avec la hausse du revenu disponible de quelque 1.5 milliard de personnes dans le monde, en Chine et en Inde notamment. Au cours de la phase suivante, néanmoins, la puissance de la nouvelle économie de consommation dans les pays en développement détruira, par le biais de la concurrence, les marges que les opérateurs historiques s'étaient constituées au cours du siècle précédent, comme on le voit au graphique 2.6<sup>34</sup>.

Graphique 2.6. **Croissance mondiale du nombre d'utilisateurs**



Après 2010, un milliard environ de nouveaux abonnés, comme indiqué ci-dessus, devraient arriver sur le marché suite à la baisse des tarifs due à la nouvelle technologie de réseau, moins coûteuse et plus rapide à déployer. Le prix

des terminaux, produits en masse, devrait également chuter. Nokia vend déjà des terminaux simplifiés dont la production revient à moins de 30 USD et, d'ici à 2010, l'Asie devrait fournir des terminaux bas de gamme coûtant de 10 à 20 USD.

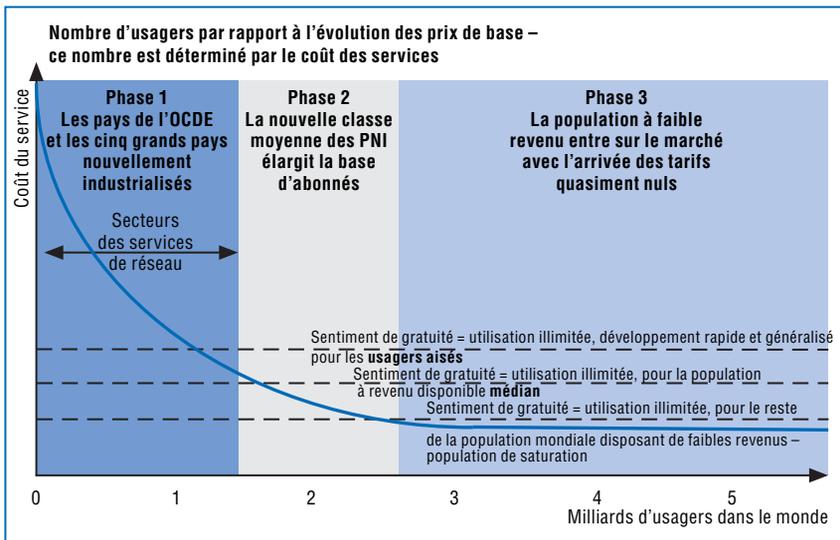
Or quand les tarifs, du fait de la concurrence, reposent véritablement sur les coûts, on peut s'attendre à voir le prix d'une communication baisser à quelques dixièmes d'un centime de dollar. Ce phénomène, dans les années précédant 2015, stimulera le nouveau marché de masse créé par l'augmentation du revenu disponible, essentiellement en Chine et en Inde, mais aussi au Brésil et dans d'autres pays latino-américains, voire en Russie et en Indonésie.

**La tendance dominante – une expansion de la demande accompagnée d'une hausse des revenus et d'une chute des prix**

De manière générale, la tendance qui influera le plus sur l'infrastructure sera une expansion massive de la demande, qui émanera globalement des pays en développement et tiendra, dans une première phase, à l'augmentation des revenus jusqu'à 3 000 USD environ. Par la suite, avec la baisse des prix, elle devrait provenir des personnes dont le revenu est inférieur à ce seuil.

Le graphique qui suit synthétise ce phénomène sous formes de courbes de Dupuit pour la diffusion des services publics. Trois étapes sont à prévoir :

Graphique 2.7. **La demande décolle à partir d'un certain niveau de prix – le sentiment de gratuité**



un développement rapide dans la communauté de l'OCDE, suivi par la croissance de la classe moyenne dans les pays en développement. La baisse des prix suscite une nouvelle phase d'expansion, avec les personnes disposant de revenus inférieurs à 2 000 USD. Néanmoins, on a constaté que la demande n'est pas linéaire et gonfle subitement à partir d'un certain niveau de prix<sup>35</sup> – le *sentiment de gratuité* – qui fait que le consommateur a le sentiment que les appels sont en fait gratuits et ne limite pas ses communications pour des raisons de coût.

### **Les tendances en matière de trafic et leurs conséquences sur l'infrastructure**

Étant donné leur capacité à réduire les coûts, les infrastructures à plus large bande vont se développer, dans un premier temps pour répondre aux besoins en matière d'accès à l'Internet. Les services multimédia tendront à remplacer, dans une certaine mesure, la téléphonie ordinaire, mais cette transition sera lente. La téléphonie et les télémessages resteront prédominants, surtout dans le monde en développement, car ils constituent les services de base bien établis qui satisfont à des besoins essentiels sur le marché bas de gamme. À partir de ces deux services fondamentaux, seule une évolution lente pourra avoir lieu vers le téléchargement de musique, les jeux vidéo (en réseau et par téléchargement), voire vers une utilisation limitée de la radiodiffusion vidéonumérique sur mobile (DVB-H), etc., via des liaisons à haut débit mobiles, qui sera parallèle à la hausse du revenu disponible des consommateurs sur les segments les plus aisés de la population mondiale. En résumé, nous assistons à une évolution vers le contenu à large bande qui nécessite un soutien pour les médias isochrones (flux audio, vidéo et de données où l'ordre des paquets et les délais de transmission sont importants) et une gestion rigoureuse de l'assemblage et du désassemblage des paquets.

Les particuliers produiront aussi leur propre contenu et l'échangeront. Le développement du contenu poste à poste sous toutes les formes de média (vidéo, audio, texte) devrait s'intensifier, autant que la vente commerciale de contenu (télévision, musique, etc.) de la part des intervenants sectoriels – les fournisseurs et agrégateurs de contenu, ce qui augmentera la demande de bande passante et rendra l'utilisation de réseaux asymétriques (où seuls les débits descendants sont élevés) beaucoup moins viable du fait que de nombreux usagers voudront également envoyer du contenu.

Ultérieurement, après 2015, une part grandissante du trafic devrait être constituée de communications et de transactions entre machines via l'Internet, surtout dans le domaine des applications industrielles (chaîne d'approvisionnement, régulation de procédés) et dans celui des opérations financières de personne à machine. Un « Internet des choses » va se développer. Les communications entre machines, pour assurer des fonctions

industrielles et de consommation, et de personne à machine, pour effectuer des achats par exemple, feront partie des activités quotidiennes. En termes d'infrastructure, cela aura pour conséquence d'augmenter le trafic, mais aussi l'espace d'adressage nécessaire pour tous les nouveaux usagers.

### ***L'évolution démographique et ses conséquences pour l'infrastructure***

Le vieillissement de la population va généralement susciter le développement de nouvelles applications de télécommunications, ce qui exigera un renforcement des infrastructures. L'évolution de la demande de services d'assistance aux personnes âgées et de services de santé pourrait entraîner la création d'extensions entièrement nouvelles des infrastructures existantes, surtout en matière de réseaux mobiles – dans le domaine des services de conciergerie et des opérations que les services mobiles cellulaires ne peuvent assurer. Certaines des principales applications reposeront sur des réseaux de capteurs. Deux grandes applications sont envisageables ici : les réseaux hertziens locaux pour les soins de santé et pour l'assistance aux personnes âgées, notamment des liaisons pour l'utilisation des technologies de communication en champ proche dans les réseaux corporels.

### ***Évolution en réponse au réchauffement climatique et aux catastrophes, naturelles et artificielles***

Les évolutions qui entraîneront une multiplication des catastrophes naturelles, comme le réchauffement climatique (qui provoque des ouragans, la perturbation des courants océaniques, la hausse du niveau des mers, des inondations et l'altération du rythme des saisons), les raz-de-marée, les tremblements de terre, etc., réclameront des systèmes de secours et de sécurité plus efficaces et des services d'urgence pour assurer la sécurité physique. Ces événements feront peser de nouvelles demandes sur l'infrastructure, qui devra aussi faire face aux menaces terroristes. Ils feront appel à de multiples infrastructures séparées sur le plan physique, très résistantes et autonomes, susceptibles d'être déployées instantanément pour constituer des réseaux ponctuels, selon les besoins. De nouveaux types de réseaux, faisant appel aux technologies maillées et à des radios logicielles frontales, sont à prévoir, qui pourront être immédiatement déployés.

### ***L'insécurité et les TIC***

Un autre aspect qui influera sur l'infrastructure sera le renforcement de la lutte des usagers contre l'insécurité, sur plusieurs plans : sécurité personnelle, protection contre le vol d'identité et contre le nombre grandissant d'escroqueries perpétrées par le biais des réseaux mobiles et de l'Internet, et sécurité des transactions dans le cadre du commerce et de la banque électroniques. Une question se pose ici : qu'est-ce que

l'infrastructure? Pour assurer un accès sécurisé à l'Internet, il ne s'agit plus uniquement d'une installation externe, mais des différents dispositifs d'adressage, de contrôle de session, d'authentification des expéditeurs et des destinataires. Ainsi, face aux attaques de type « Man-in-the-Middle » et à d'autres mécanismes de fraude plus perfectionnés, l'infrastructure doit comporter un système de sécurité intégré d'authentification et d'autorisation, avec vérification du contrôle d'accès.

### **Conclusion**

Il est notoire que le secteur des télécommunications s'est généralement trompé dans ses prévisions concernant l'adoption des nouvelles technologies et des nouveaux services, essentiellement parce que les prévisions commerciales ont souvent été technocentriques et régies par l'offre, et n'ont pas cherché à comprendre le comportement et les besoins des consommateurs – et ce qu'ils sont disposés à payer. Cette attitude a induit, dans un passé récent, un optimisme injustifié pour des technologies telles que le RNIS et le WAP. Aujourd'hui encore, l'industrie reproduit les mêmes erreurs. Ses prévisions pour les services mobiles 3G, fondées sur une extrapolation des tendances antérieures conjuguée à des vœux pieux, ont été trop optimistes en ce qui concerne l'adoption des services multimédias.

Une méthode de prévision plus efficace consiste à identifier et à analyser les tendances sous-jacentes et les éléments qui les favorisent, et à adopter une perspective axée sur la demande. En premier lieu, une optique plus mondiale du marché est désormais essentielle. Elle permet de comprendre que le marché global des télécommunications peut tripler ou quadrupler, en nombre d'utilisateurs, en se développant à l'extérieur des pays de l'OCDE. La tarification est donc un élément capital qui sera le stimulant déterminant à leur adoption par les consommateurs.

Une deuxième conclusion essentielle est que « le contenu n'est pas roi »; c'est avant tout la connectivité que les consommateurs seront disposés à payer quand ce nouveau marché s'ouvrira. Cela dit, le contenu pourrait par la suite gagner sensiblement en importance avec l'apparition de services multimédias attrayants.

Troisièmement, les technologies hertziennes se développent rapidement et permettent de déployer les infrastructures de manière plus économique que jamais auparavant; elles promettent une connectivité n'importe quand, n'importe où, et des prix toujours plus bas – aspect particulièrement attirant pour les consommateurs. Avec l'intégration des nouvelles technologies sans fil dans un réseau de réseaux et la chute des prix, ces services deviendront accessibles aux classes moyennes (et, par la suite, inférieures) en expansion dans les pays en développement.

## 4. Conséquences des principaux déterminants sur les futurs investissements dans l'infrastructure

Nous analysons ici les retombées éventuelles des déterminants retenus sur la demande future d'infrastructures et d'investissements dans l'infrastructure.

### **Le poids historique des télécommunications dans les dépenses totales d'infrastructure**

Nous pouvons constater que l'évolution vers une société de l'information a redéfini les dépenses d'infrastructure de sorte que la part consacrée aux télécommunications a augmenté au cours des quarante dernières années en pourcentage des dépenses totales. Le tableau 2.11 présente des estimations à court terme de la Banque mondiale qui prévoient que celui-ci sera de 10 % en 2010, contre 2 % en 1960 (quand le rail représentait près du tiers de la valeur des infrastructures). Le pourcentage des dépenses consacrées à l'électricité a en revanche doublé, de 22 % environ à 44 %. Les télécommunications ont plus que triplé jusqu'à 2000, quoique à partir d'un pourcentage initial très faible de 2 %, en raison de leur fonction de plus en plus centrale dans la société actuelle.

Tableau 2.11. **Évolution de la composition des réseaux d'infrastructure – Tous pays**  
En pour cent

	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Électricité	22	32	40	43	44	42
Routes	47	46	45	44	44	43
Rail	29	19	13	9	6	5
Télécommunications	2	3	3	4	6	10
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Note : l'approvisionnement en eau et l'assainissement ne sont pas pris en compte en raison de l'absence de données historiques.

Source : Marianne Fay, Tito Yepes, *Investing in Infrastructure, What is Needed from 2000 to 2010?*, Document de travail consacré à la recherche sur les politiques 3102, Banque mondiale, Vice-présidence Infrastructures, juillet 2003.

De quelle manière le développement des infrastructures de télécommunications va-t-il se poursuivre, en termes d'ampleur et de qualité? Nous analysons ci-dessous l'effet des différents facteurs examinés plus haut, en particulier celui du revenu disponible.

### **Les pressions sur les coûts transforment l'infrastructure**

De nombreuses personnes ont désormais le sentiment que l'utilisation de l'Internet est gratuite. Mais comment en est-on arrivé là? Dans les cinq années qui ont précédé 2000-01, certains événements singuliers, qui ne s'étaient jamais produits auparavant dans le secteur, notamment le déséquilibre temporaire entre l'offre et la demande de bande passante et l'emballement des marchés financiers à financer l'expansion du réseau, ont créé un Internet public à faible coût pour le consommateur. Dans une certaine mesure, cette évolution a été précipitée par des phénomènes ponctuels intervenus sur le marché américain des télécommunications et qui, de par la nature de ce dernier, se sont propagés à l'échelle mondiale. Il est donc probable qu'à long terme la téléphonie IP exercera une pression à la baisse sur les recettes des opérateurs de trafic national et international de l'OCDE, tendance qui sera irréversible. L'important pour les opérateurs historiques de téléphonie et leurs infrastructures est que, compte tenu de la diminution des marges, la technologie de téléphonie IP exigera des mesures rigoureuses de maîtrise des coûts. L'expansion de la téléphonie IP, encouragée par des fournisseurs tels que Cisco et Intel et par les nouveaux prestataires de services concurrents, favorisera l'adoption d'un modèle économique basé sur les opérateurs de services Internet.

Cette baisse de revenus sera compensée par la demande soutenue de services de radiotéléphonie mobiles de toutes sortes partout dans le monde, notamment par leur expansion dans les pays moins développés. La hausse des recettes dans ces segments ne pourra toutefois rétablir des marges d'exploitation en repli puisque les recettes des services téléphoniques diminueront. Seule une réduction des coûts de base permettra d'effectuer ce rétablissement, dans deux domaines essentiellement : le modèle économique utilisé et les dépenses d'investissement dans l'infrastructure d'une part, le coût du capital et les coûts d'exploitation d'autre part. Les premières études ne sont pas encore définitives mais, selon certaines sources, la perte de recettes due à la téléphonie IP internationale s'est élevée, au plan mondial, à 74 milliards USD en 2002, soit 7 % environ des recettes des services, qui se sont chiffrées à quelque 1.04 mille milliard USD<sup>36</sup>. Plus nous avançons dans le temps, plus les avis divergent.

Aux États-Unis, d'aucuns estiment qu'à l'horizon 2011 le manque à gagner dû à la téléphonie IP internationale aura atteint 96 milliards USD – soit 5 % seulement du total des recettes dégagées des services de télécommunications, qui s'élèvera alors à 1.8 mille milliards USD<sup>37</sup>. C'est là un point de vue très optimiste pour les opérateurs historiques. D'autres estiment au contraire que la perte pourrait être nettement supérieure du fait que les grands opérateurs (BT, France Telecom/Orange) installeront de nouvelles

infrastructures tout-IP tandis que les nouveaux concurrents se développeront par le biais d'injections de capitaux et de rachats par de grands groupes dotés de moyens d'investissement (comme l'achat de Skype par eBay) et créeront de nouveaux modèles économiques de FAI en vertu desquels la téléphonie sera un service supplémentaire et non l'offre de base.

Dans ce cas de figure, la baisse du pourcentage des recettes des services internationaux due à la téléphonie IP pourrait être sensiblement supérieure. Les tarifs téléphoniques pourraient en moyenne diminuer de jusqu'à 90 % et atteindre un niveau quasiment nul en 2015. Cet effet serait surtout ressenti à l'extérieur de la zone de l'OCDE où la concurrence s'intensifiera avec la migration de l'ensemble du trafic téléphonique des réseaux à commutation de circuits aux réseaux à commutation de paquets. Le volume de trafic téléphonique international continuerait d'augmenter rapidement mais cette croissance ne saurait compenser la baisse des tarifs en termes de recettes totales, même avec le développement de la base d'abonnés aux services mobiles dans les pays en développement – compte tenu des tarifs que leur revenu disponible autorise. En Asie, en 2004, les recettes de la téléphonie IP ont représenté plus de 33 % des 98 milliards USD dépensés en Chine, en Inde, au Japon et dans d'autres pays asiatiques en communications internationales<sup>38</sup>. Aux États-Unis, on estime qu'en 2011 les recettes de la téléphonie IP devraient rester stables à 30 milliards USD, les recettes totales des communications internationales progressant pour leur part à quelque 160 milliards USD<sup>39</sup>. Selon ce point de vue, seuls 25 % environ des 96 milliards de minutes de communications internationales prévues pour l'Asie en 2011, soit quelque 22.8 milliards de minutes, seraient attribuables à la téléphonie IP. Néanmoins, au vu de la croissance récemment enregistrée (33 % de l'ensemble des minutes de télécommunications depuis 2001), du développement économique régional prévu (de 6 à 8 % par an) et du déploiement de réseaux de meilleure qualité pour la téléphonie IP en Asie, les projections concernant le volume global d'appels et la part de la téléphonie IP dans ce volume paraissent modiques si l'on tient compte du faible coût des appels et de l'intensification des échanges, de la délocalisation et de la migration de la main d'œuvre. La baisse des coûts pourrait doper le trafic téléphonique international (sous forme de téléphonie IP) de 10 % à 20 % par an au minimum, de nouveaux consommateurs atteignant la fourchette de revenu disponible qui donne accès aux communications internationales à faible coût (24 % par an en Chine selon les prévisions). Pour compenser la perte de recettes téléphoniques, il se peut que les tarifs des lignes fixes augmentent et que les opérateurs instaurent des forfaits de téléphonie illimitée. Une telle démarche aurait cependant pour effet d'accélérer la migration de l'utilisateur ordinaire vers les services mobiles.

### **Le rôle des pouvoirs publics et du secteur privé dans un modèle conforme aux lois du marché**

La hausse des investissements d'infrastructure sous l'impulsion du secteur privé a révolutionné l'accès aux services de télécommunications partout dans le monde ces dix dernières années. Dans la communauté de l'OCDE, la déréglementation a ouvert la voie à de nouveaux systèmes de tarification non contrôlés par les opérateurs historiques et a notamment permis l'essor du marché de la téléphonie IP, malgré les efforts déployés pour l'interdire ou le restreindre dans certains pays. Dans les pays en développement, néanmoins, deux principes dominant en ce qui concerne le développement de l'infrastructure de communications : « le secteur privé seul suffit » et « les pouvoirs publics doivent guider les opérations ». Bien entendu, le secteur privé et les pouvoirs publics ont tous deux un rôle crucial à jouer pour permettre à un pourcentage croissant de la population de ces pays d'avoir accès aux communications modernes. Grâce au secteur privé, toutes les régions en développement bénéficieront des investissements et du déploiement de l'infrastructure<sup>40</sup>. En conséquence, cet équilibre en matière de financement des nouvelles infrastructures devrait se maintenir, les pouvoirs publics guidant l'utilisation des capitaux privés dans le cadre de directives souples.

Comme indiqué plus haut, ce sont les pays en développement qui présentent le plus fort potentiel de croissance pour les infrastructures de télécommunication. S'ils ont en partie réussi à combler leur retard en termes d'offre de télécommunications, il leur reste beaucoup à faire pour parachever cette opération et pour satisfaire à la demande grandissante de services mondiaux de télécommunications. Pour maintenir les taux de progression récemment affichés et atteindre une télédensité fixe et mobile de 11.4 % dans les pays à faible revenu, et de 91.2 % dans les pays à revenu intermédiaire à l'horizon 2010, le monde en développement devra encore investir 1.2 % de son PIB annuel environ, soit plus de 100 milliards USD, dans de nouvelles infrastructures<sup>41</sup>. La seule Afrique subsaharienne devra y consacrer chaque année 3.8 milliards USD, et ces chiffres ne tiennent pas compte des besoins grandissants pour financer les réseaux à large bande par exemple.

**Tableau 2.12. Besoins annuels, à court terme, en matière d'investissement dans les télécommunications dans les pays en développement, 2005-10**

	Nouvelle capacité	Maintenance
Pays en développement – millions USD	104 986	82 040
Pays en développement – % du PIB	1.24	0.96
Afrique subsaharienne – millions USD	3 814	2 834
Afrique subsaharienne – % du PIB	0.82	0.61

Source : Fay et Yepes, 2003.

## **Adéquation des technologies actuelles aux futures infrastructures**

### **Fibre optique dans la boucle locale**

Dans les années 70, les opérateurs de télécommunications ont commencé à offrir des services téléphoniques de meilleure qualité aux abonnés des zones rurales reculées grâce à une nouvelle topologie d'infrastructure qui installait les dispositifs électroniques dans le réseau extérieur plutôt qu'à l'intérieur de l'environnement protégé du commutateur central classique. Par la suite, dans les années 80, les observateurs du secteur ont prédit que dans de nombreux pays l'investissement dans l'infrastructure de la boucle locale permettrait de délivrer des services à haut débit jusqu'au domicile de l'abonné (FTTH) ou au bureau (FTTO) sur un réseau tout fibre optique (l'AFN) dont le déploiement devait être achevé en 2005 dans les pays de l'OCDE.

Au milieu des années 80, les opérateurs de câblodiffusion équipés de réseaux optiques commutés en étoile permettant d'assurer une interactivité complète ont pris l'initiative<sup>42</sup>. L'AFN n'a cependant pas connu le développement que beaucoup attendaient. Si d'aucuns voient dans la FTTH ou la fibre proche de l'usager la technologie d'accès privilégiée à l'avenir, cette évolution n'est en rien garantie. Les réseaux hybrides fibre-cuivre coaxial dans la boucle locale sont pris leur essor dans l'OCDE, d'autant que la demande de haut débit explose avec la signalisation *via* DSL. Au rythme actuel, il faudrait des décennies avant que la FTTH soient couramment disponible dans les pays de l'OCDE. La lenteur de ce démarrage tient aux coûts, présentés dans le tableau 2.13 pour les équipements distants (blindés) et les environnements protégés (non blindés).

Il convient de noter que les coûts indiqués pour la FTTP, ou même pour le DSL-HFC, dépassent largement les coûts d'infrastructure des pays en développement, qui risquent en outre de ne pas disposer d'une topologie favorable au raccordement des domiciles et des bureaux. Le coût d'équipement par domicile ou par bureau varie en fonction de la longueur de la boucle (et donc des densités de logements et de bâtiments). Il convient donc d'envisager trois scénarios de déploiement : urbain, périurbain et rural. Selon le tableau ci-dessous, le coût moyen de l'infrastructure de boucle locale aux États-Unis pour assurer la FTTH à quelque 200 millions de logements et de bureaux serait de l'ordre de 3.4 mille milliards USD. Dans le cas de la fibre coaxiale hybride, qui utilise un sous-répartiteur commun (pour 300 connexions), il pourrait descendre à quelque 200 000 millions USD, aux prix actuels, somme qui n'est pas excessive pour une infrastructure dans ce pays. Mais d'autres technologies permettraient-elles de la déployer de manière plus économique? Qui plus est, pour minimiser la distance jusqu'à chaque abonné (un facteur critique pour la quantité de bande passante

Tableau 2.13. **Coûts du déploiement des réseaux tout-optique et des réseaux hybrides pour la boucle locale, États-Unis, avril 2005<sup>1</sup>**

Déploiement de la fibre jusque chez l'abonné, FTTP (FTTH, FTTO)	Réseau optique passif	Réseau optique actif
Longueur maximale du câble en cuivre	0 mètre	0 mètre
Bande passante estimée minimale	62.5 Mbit/s	62.5 Mbit/s
Taux d'utilisation supposé	50 %	50 %
Coût par abonné	7 104 USD	3 970 USD
Coût par abonné, domicile câblé	2 802 USD	1 782 USD
<b>Réseau hybride fibre-coaxial depuis un sous-répartiteur distant</b>	<b>DSLAM distant non blindé (multiplexeur de ligne d'abonné numérique)</b>	<b>DSLAM distant blindé</b>
Interface pour la zone de desserte, déploiement de cette interface ou de la fibre jusqu'au nœud (FTTN) 1 524 mètres depuis le sous-répartiteur distant <i>via</i> une connexion ADSL2+ à 20 Mbit/s		
Longueur maximale du câble en cuivre	1 646 mètres	1 646 mètres
Bande passante estimée minimale	16 Mbit/s	16 Mbit/s
Taux d'utilisation supposé	30 %	30 %
Coût par abonné	668 USD	496 USD
Coût par abonné, domicile câblé	169 USD	114 USD
<b>Réseau hybride fibre-coaxial – Fibre jusqu'au trottoir (FTTC), puis câble coaxial jusqu'au domicile ou au bureau</b>	<b>DSLAM distant non blindé</b>	<b>DSLAM distant blindé</b>
Longueur maximale du câble en cuivre	274 mètres	274 mètres
Bande passante estimée minimale	35 Mbit/s	35 Mbit/s
Taux d'utilisation supposé	50 %	50 %
Coût par abonné	2 382 USD	1 778 USD
Coût par abonné, domicile câblé	953 USD	758 USD

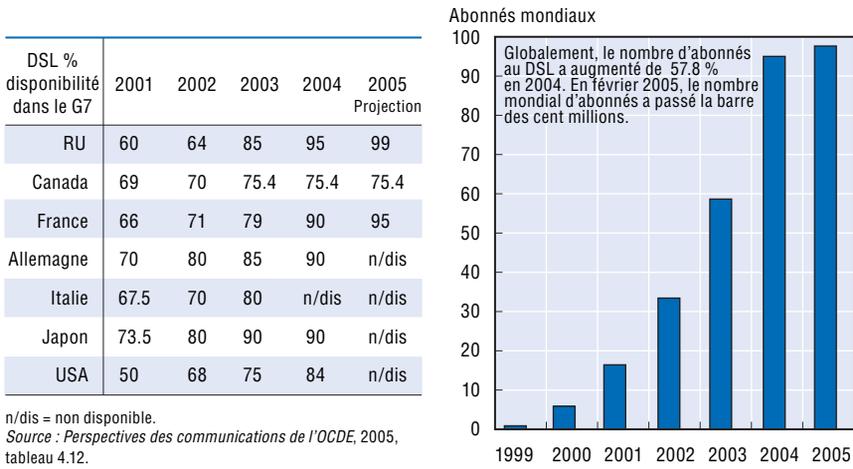
1. Mark Labbé, « Laying the Fiber: A Detailed Cost Analysis - Plan to reuse and adapt infrastructure as fiber evolves to the home », *Broadband Properties*, avril 2005, disponible sur le site [www.broadbandproperties.com](http://www.broadbandproperties.com); présente un modèle qui utilise une topologie nord-américaine standard.

délivrée) les prestataires de services doivent installer les composants électroniques nécessaires au DSL-HFC en un plus grand nombre de points du réseau; or, plus leur densité augmente, plus les coûts montent.

Le déploiement de réseaux à haut débit capables de distribuer des triservices (télévision, Internet et téléphonie) entraînera peut-être, pour les boucles locales optiques, l'installation de la fibre à un point plus avancé du réseau d'accès, plus proche de l'abonné. La décision des prestataires de services quant à l'endroit où installer les composants électroniques et où faire aboutir la fibre aura une influence déterminante sur le coût du réseau. Les pays pionniers, comme la Corée du Sud, installent la fibre plus près de l'utilisateur – à moins d'un kilomètre, *via* la fibre jusqu'au point de concentration, jusqu'au sous-répartiteur, jusqu'à l'immeuble – et utilisent le câble en cuivre (coaxial généralement) pour assurer une connexion DSL sur les dernières centaines de mètres. Sur cette boucle de cuivre courte, la

technologie VDSL peut assurer un débit descendant de jusqu'à 30 Mbit/s, ce qui correspond à la capacité de bande passante de la FTTH<sup>43</sup>. Au cours des prochaines décennies, le DSL sur cuivre sera donc l'un des moyens utilisés pour délivrer des services à large bande à de nombreux abonnés dans les pays de l'OCDE. À l'heure actuelle, comme l'illustre le graphique 2.8, le DSL y est en forte progression, du fait qu'il s'agit d'une nouvelle composante de l'infrastructure dont l'offre augmente, mais son développement est bien loin d'être terminé, comme le montre son expansion en 2005, année au cours de laquelle il a atteint les 100 millions de connexions d'abonnés.

Graphique 2.8. **DSL % disponibilité dans le G7**



Dans le domaine de l'accès à l'Internet via le réseau mobile cellulaire, le Japon est en tête du peloton, avec 70 millions d'abonnés à la mi-2004 pour l'ensemble des services Internet mobiles, dont plus de 40 millions font appel à l'i-mode de DoCoMo<sup>44</sup>. La Corée vient en deuxième place, avec d'autres systèmes hertziens à large bande fondés sur la norme IEEE 802.16 (WiBro), que les États-Unis et les pays européens envisagent d'adopter, de même que la technologie cellulaire 2.5G en i-mode (France, Belgique, Pays-Bas, Espagne, Grèce, etc.). Il apparaît en outre que la dernière technologie mobile cellulaire pourrait être utilisée pour la boucle locale à large bande; il s'agit de la technologie mobile 3G/UMTS qui assure un débit de 2 Mbit/s, lequel peut par ailleurs être amélioré pour la transmission de données, en sens ascendant et descendant (HSPUS et HSPDS). Néanmoins, si on l'examine de près, la technologie mobile 3G semble onéreuse, même si les coûts d'équipement diminuent actuellement pour les réseaux extérieurs. Mais le coût des

systèmes multimédias, notamment l'IMS (IP Multimedia Subsystem) pourrait augmenter celui de chaque réseau de plusieurs milliards de dollars.

Pour qu'il couvre 95 % d'un pays à densité démographique assez forte de l'OCDE, les coûts de démarrage d'un tel système sont élevés. Les dépenses d'équipement initiales et les dépenses immobilisées d'exploitation préalables à sa mise en service peuvent atteindre 10 milliards USD, comme l'indiquent les estimations du tableau ci-dessous. Après dix ans d'amortissement de l'investissement initial, le coût par abonné, dépenses d'exploitation comprises, est encore de 545 USD, sans compter les frais de licence, tandis que le prix (subventionné par l'opérateur) par communication peut être de jusqu'à 18 USD à la mise en service, comme le montre l'exemple d'un réseau UMTS d'un pays de l'OCDE présenté au tableau ci-dessous. Les dépenses d'exploitation seront éventuellement plus élevées si l'acquisition des clients coûte plus cher, en subventions des terminaux notamment.

Tableau 2.14. **Coûts de l'infrastructure cellulaire mobile UMTS-3G**  
Budgets de dépenses d'un réseau mobile 3G couvrant 95 % de la population d'un pays de l'OCDE, hors frais de licence

Année	Avant mise en service	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abonnés (milliers)		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000	10 000
Appels mensuels par abonné		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Appels par année (millions)		600	1 800	3 000	4 200	5 400	6 600	7 800	9 000	10 200	11 400
Infrastructure (millions USD)	6 000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dép. exp. immobilisées (millions USD)	3 000										
Dépenses exploitation (millions USD)		2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Nbre total d'appels (millions)	0	600	2 400	5 400	9 600	15 000	21 600	29 400	38 400	48 600	60 000
Dép. totales en équipement (millions USD)	9 000	9 100	9 200	9 300	9 400	9 500	9 600	9 700	9 800	9 900	10 000
Dép. exp. totales (millions USD)	0	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000
Coûts cumulés (millions USD)	9 000	11 100	13 200	15 300	17 400	19 500	21 600	23 700	25 800	27 900	30 000
Dép. équip. par appel (USD)		15.17	3.83	1.72	0.98	0.63	0.44	0.33	0.26	0.20	0.17
Dép. expl. par appel (USD)		3.33	1.67	1.11	0.83	0.67	0.56	0.48	0.42	0.37	0.33
Coût total par appel (USD)		18.50	5.50	2.83	1.81	1.30	1.00	0.81	0.67	0.57	0.50
Coût total par abonné et par année (USD)		11 100	4 400	2 550	1 740	1 300	1 029	846	717	620	545

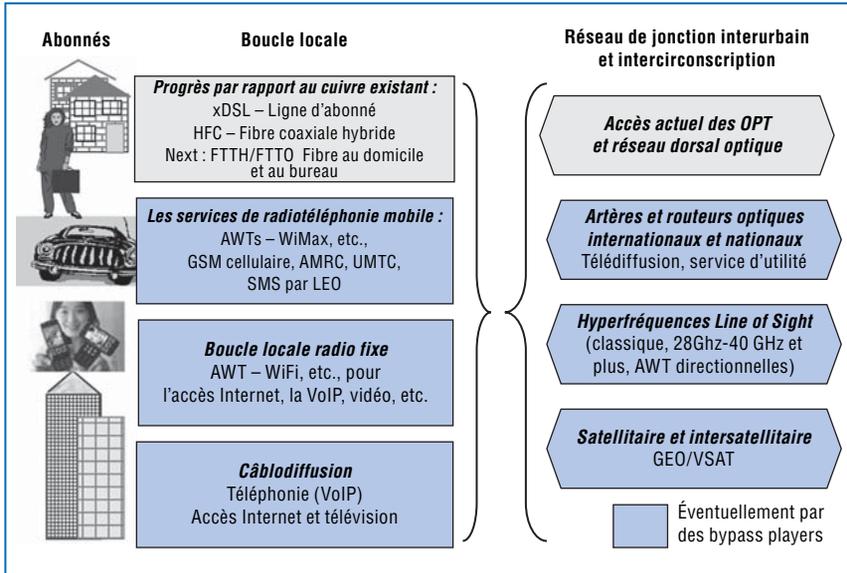
Source : SCF Associates Ltd., estimations de sources sectorielles.

### **Le nouvel éventail de technologies présentes dans l'infrastructure à court et moyen termes**

En conséquence, dans les pays de l'OCDE, la concurrence entre des infrastructures, des technologies et des opérateurs divers devrait persister

pendant les dix prochaines années au moins. Le graphique ci-dessous illustre l'éventail de technologies prévu.

Graphique 2.9. **L'infrastructure à coût modéré jusqu'en 2015 – Une diversité de technologies, d'infrastructures et d'opérateurs**



Il se peut toutefois qu'il existe d'autres technologies susceptibles de délivrer à la fois des services de boucle locale et de longue distance à un prix encore plus modéré. La base de coût est telle que la situation illustrée ci-dessus ne durera guère, surtout avec les nouvelles technologies mises au point dans les PNI et appelées à se diffuser ensuite dans les pays de l'OCDE. Déjà, la Chine lance son propre système mobile 3G, le TD-SCDMA, et de nouvelles technologies hertziennes devraient arriver de Corée, du Japon, et de Chine. La Corée, par exemple, a mis au point et installe actuellement une version bas débit de son réseau hertzien à large bande, le WiBro, qui fournira un débit de transmission de 1 Mbit/s.

### **Nouveaux modèles d'infrastructure pour de nouveaux rendements du capital investi**

L'investissement infrastructurel s'oriente vers un nouveau modèle d'infrastructure de longue durée, qui fera appel à des technologies moins coûteuses pour assurer un accès à large bande et offrira bien d'autres services que les services téléphoniques (et SMS) en bande étroite. De manière assez surprenante, c'est la direction que suivent à la fois les opérateurs historiques

de télécommunications classiques et leurs rivaux du monde de l'Internet, qui ont grandi avec le routage de paquets IP. On s'oriente généralement vers un modèle de communications de données – même si la téléphonie IP met fin à la mainmise des opérateurs historiques sur la boucle locale. Dans les pays de l'OCDE, il se peut que la téléphonie IP réduise progressivement leur emprise sur le marché. Certains pays font exception, qui sont plus avancés dans ce domaine; on citera la France où les opérateurs de téléphonie IP, comme Free, une filiale du groupe Iliad, recensent 8 % des abonnés connectés par DSL, et où la pénétration de la téléphonie IP devrait augmenter pour atteindre 40 % en 2007, France Telecom étant obligée d'offrir des services de communication résidentiels concurrents depuis juin 2004<sup>45</sup>. La boucle locale restera un élément essentiel de l'accès et continuera donc de former un goulot d'étranglement que seules pourront contourner des technologies parallèles comme le réseau mobile direct chez l'abonné ou l'infrastructure fixe concurrente (en France, Iliad dessert 70 % de ses abonnés par l'intermédiaire de ses propres réseaux optiques et lignes DSL). Les opérateurs historiques sont prêts à suivre cette orientation parce que le marché des communications téléphoniques coûteuses diminue, mais que celui de la connexité Internet est en plein essor. BT a même été contraint de concurrencer les tarifs de Skype, et se sert de son offre pour vendre des connexions à haut débit sur la boucle locale<sup>46</sup>. Comme souligné plus haut, le marché d'avenir le plus important est celui des pays en développement dont le revenu disponible augmente, mais pour atteindre un niveau qui requiert des prix nettement inférieurs. Le montant des investissements tendra donc à diminuer, plutôt qu'à croître, du fait que des modèles d'infrastructure meilleur marché doivent surgir pour répondre à l'évolution vers des tarifs d'acheminement quasi nuls. Manifestement, un nouveau modèle s'impose, mais en quoi consistera-t-il?

Bien qu'il soit peu probable que la boucle locale radio offre les mêmes débits large bande que la boucle locale filaire (en France, Iliad assure des débits pouvant atteindre 24 Mbit/s), les conglomerats multimédias (télévision et divertissement) ne disposant pas d'accès filaire essaient déjà d'atteindre le client par le biais des réseaux hertziens à large bande. Les futures technologies de compression du signal numérique joueront ici un rôle déterminant. À titre d'exemple, DirecTV, une branche de Next Corp, envisage de recourir au WiMax pour offrir un service bidirectionnel<sup>47</sup>, ceci afin de fournir un accès interactif à l'Internet ainsi que de la vidéo de divertissement. Les opérateurs historiques de réseaux fixes voient également dans la large bande hertzienne une technologie complémentaire d'accès à l'Internet qu'ils peuvent déployer rapidement. Bell Canada et Rogers Communications (câblodiffusion) ont créé une coentreprise pour offrir à 40 villes et à 50 communautés rurales canadiennes un accès sans fil à l'Internet via la technologie ClearWire, essentiellement pour concurrencer l'infrastructure de l'opérateur titulaire local Telus dans l'Ouest du Canada<sup>48</sup>.

### Réseaux tout-IP

Manifestement, beaucoup de grands opérateurs historiques de réseaux fixes, sinon tous, s'orientent vers ce nouveau type d'infrastructure. Il est intéressant de constater que celle-ci facilite considérablement la création ultérieure de grands groupes d'opérateurs mondiaux. La plupart des opérateurs historiques de réseaux fixes se penchent actuellement, ou se sont penchés, sur les possibilités de créer le « réseau public commuté de l'avenir ». Cette démarche a été motivée par la nécessité d'examiner en détail les coûts d'investissement associés à une refonte complète du réseau pour le transformer en réseau IP.

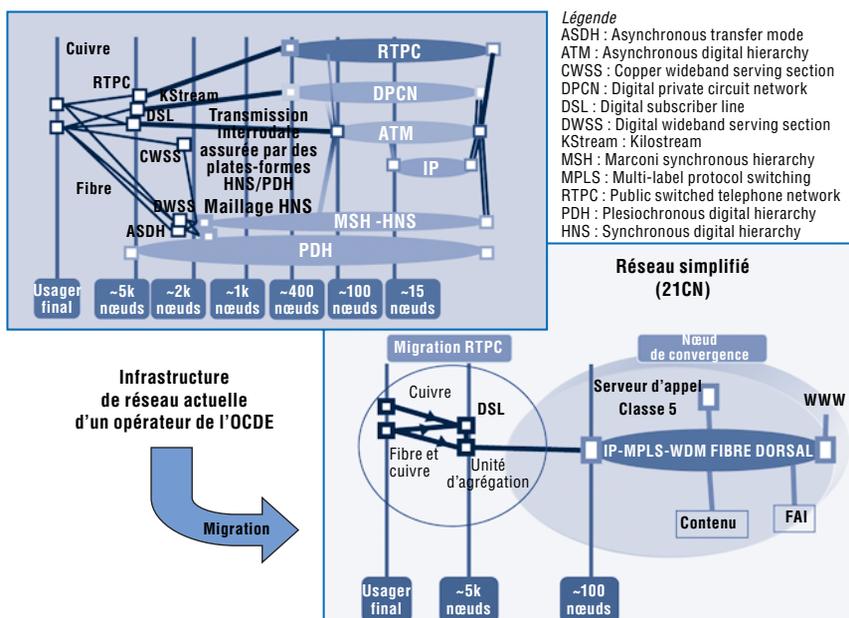
Il existe plusieurs exemples de nouveaux types de réseaux destinés à fournir un accès multiple à de nombreuses sortes de réseaux. L'objectif est de faire évoluer le RTPC d'un modèle à commutation de circuits centré sur la voix à un modèle de transmission de données indifférent aux services acheminés. Il doit donc être capable de réassembler des paquets isochrones. Il doit intégrer des dispositifs de sécurité, bien plus que la technologie Internet actuelle, aux fins de protection de la téléphonie IP notamment. Il repose sur le protocole IPv6. Ces réseaux sont souvent conçus comme fédérateurs d'autres réseaux. L'une de leurs applications essentielles est le raccordement du trafic mobile d'autres opérateurs, mais aussi l'expansion de la boucle locale à large bande, que ce soit par différentes formes d'xDSL ou par les technologies d'accès hertzien à haut débit proposées en Corée et maintenant aux États-Unis (par Nextel) pour l'accès à l'Internet.

L'architecture de réseau IP de BT, 21st Century Network Project (21CN), nous en offre une excellente illustration. Le 21CN est une infrastructure tout-IP dont le déploiement doit s'achever en 2008. Il est fondé sur la commutation multiprotocole par étiquette (MPLS), qui transporte la voix, les données et des services Internet sur un seul réseau au lieu de la multitude de réseaux qui offrent aujourd'hui des services spécifiques. BT estime que des services tels que l'ATM, le MRT, le relais de trame, etc. peuvent, au-delà du réseau d'accès, être réunis en une structure beaucoup plus simple – un noyau – fondé sur les technologies MPLS et DWDM (multiplexage par répartition en longueur d'onde dense) existantes. Le MPLS autorise une commutation de paquets très performante le long de trajets prédéterminés, et utilise par ailleurs des identifiants RD (*route distinguisher*) uniques.

Un noyau sensiblement simplifié réduit le nombre de paires de cuivre et de fibres dans le système. En d'autres termes, le réseau comporte moins d'éléments, et sa gestion est plus aisée. Il entraîne par ailleurs une baisse du nombre d'organismes de gestion des services, d'équipements extérieurs et de bâtiments. Il réduira celui des technologies employées dans le réseau et, partant, les coûts d'exploitation. Dans le 21CN, BT a conjugué la technologie MPLS aux techniques d'ingénierie du trafic qui différencient le trafic à priorité

élevée dépendant du temps de transmission et le trafic à faible priorité tolérant aux retards. Selon BT, le 21CN devrait simplifier son infrastructure en établissant une plate-forme multiservice et pérenne unique sur IPv6 qui permettra de supprimer 100 000 composants du réseau.

Graphique 2.10. Réseau simplifié (21CN)



BT soutient que le 21CN offrira à l'utilisateur ordinaire un plus grand choix, davantage de contrôle et une meilleure accessibilité, ainsi que plus de souplesse, de fiabilité et de sécurité. S'agissant des réseaux privés des grandes entreprises, les identifiants RD qui utilisent les informations inscrites dans l'en-tête des paquets distinguent le trafic de leurs réseaux privés virtuels (RPV). Les RPV existants deviennent ainsi des microversions de l'architecture globale du réseau 21CN, et assurent une connexité entre tous les différents sites et la hiérarchisation du trafic. Le 21CN présente par ailleurs un modèle simplifié de gestion des services qui permet des échanges plus efficaces avec les clients. En 2009, tous les clients de BT au Royaume-Uni disposeront de la « tonalité d'appel large bande » et pourront ainsi établir eux-mêmes une connexion à la large bande, sans que le central ait à effectuer une quelconque opération.

### Les réseaux optiques longue distance – la clé à la baisse des coûts

C'est dans le domaine des transmissions à longue distance, qu'elles soient nationales, internationales, terrestres ou sous-marines, que le coût de

l'infrastructure a le plus évolué. La technologie du « réseau dorsal mondial » a diminué les prix de plusieurs ordres de grandeur au cours de la décennie écoulée, la bande passante augmentant pour sa part d'autant pour chaque liaison. Cette mutation a permis l'expansion de l'Internet, qui est une composante du réseau optique mondial. Néanmoins, toute croissance repose en grande partie sur la conjoncture économique et sur la (sur)disponibilité de capacité.

Un élément crucial de la dorsale mondiale est le réseau en expansion permanente de câbles optiques sous-marins. Ces dix dernières années, la hausse de la demande de bande passante due à l'Internet et la tendance internationale persistante à la privatisation des industries nationales de télécommunications ont largement dépassé les ressources qu'offrent la transmission par satellite de la voix et de données<sup>49</sup>. Par contre, la part des transmissions transocéaniques de voix et de données par câbles sous-marins a progressé ces 12 dernières années, passant de 2 % à 80 % en 2000<sup>50</sup>. Face à l'accroissement de la demande, le nombre de câbles posés au fond de l'océan a augmenté. Les satellites géostationnaires ont accompli des progrès en termes de transmission à longue distance, mais compte tenu de leur coût, de leurs limitations, de leur fiabilité et des délais de transmission sur les orbites géostationnaires, ils servent désormais de systèmes redondants de secours pour les réseaux optiques avec multiplexage WDM.

Le marché du trafic transatlantique, dont les multiples générations de câbles marquent les différentes phases d'évolution, est un marché stratégique pour l'étude économique des infrastructures de longue distance. Le premier câble optique, le TAT-8, est apparu en 1988; il offrait une capacité PDH de  $(2+1)*280$  Mbit/s<sup>51</sup>. À l'heure actuelle, les câbles TAT-12/13/14 sont tous en service. Le prix d'un système complet (câbles, répéteurs, équipement aux points de raccordement à terre, opérations maritimes) s'est généralement toujours situé autour de 500-600 millions USD, malgré la chute des prix en dollars des équipements et l'amélioration de leurs performances. Le consortium TAT-8 avait initialement prévu que la capacité des câbles serait remplie en 2000 – elle l'a été en 1990, six fois plus tôt que prévu. Le TAT-14 est entré en service en 2001, multipliant par plus de 1 000 la capacité du TAT-8 depuis que celui-ci est entré en exploitation, il y a douze ans<sup>52</sup>.

Le réseau Internet international est constitué de liaisons IP transfrontalières privées déployées par plus de 450 FAI dans le monde. Leurs réseaux, lorsqu'ils sont réunis et leur capacité mise à l'échelle, définissent la capacité mondiale de l'Internet. Sous l'effet de la récession économique et de l'explosion de la bulle des sociétés point-com, l'expansion mondiale du réseau a ralenti en 2002. Depuis l'introduction du navigateur en 1994-95, le déploiement de la bande passante IP internationale a plus que doublé chaque année. Mais l'expansion de la bande passante internationale allouée à l'Internet a fléchi, s'établissant à moins de 40 % en 2002<sup>53</sup>. L'Europe, qui

représente 82 % de la bande passante transfrontalière mondiale, a augmenté sa capacité internationale de 35 %, un déclin brutal par rapport au taux de 191 % enregistré en 2001. L'essoufflement des marchés de l'Internet en Europe a très directement concouru à la décélération mondiale du développement de la capacité internationale du réseau, mais les marchés en développement ont également enregistré une régression. En Asie, la capacité Internet a augmenté de 55 % en 2002, contre 122 % en 2001; en Amérique latine, elle a reculé à 65 % en 2002 après avoir progressé, à partir d'une base modeste, de 471 % en 2001.

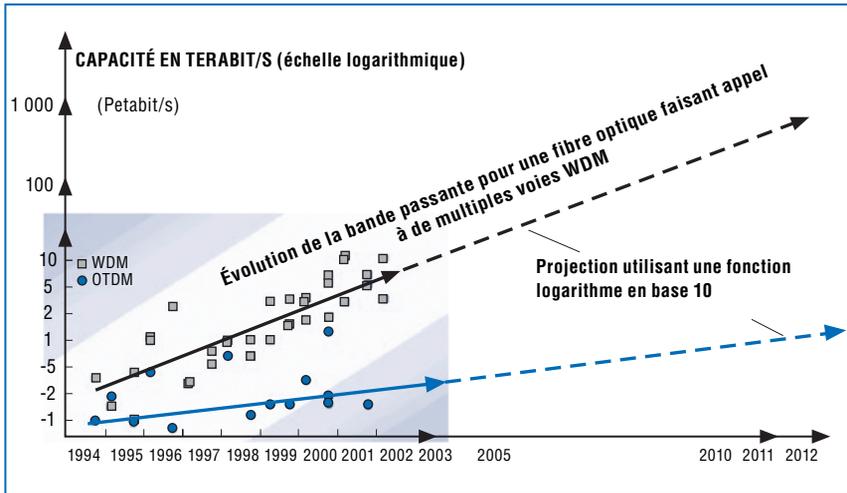
Les progrès récemment accomplis en matière de transmission par fibre optique tiennent à la baisse du coût par canal due aux techniques de multiplexage, dénommées multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), qui propagent des rayons lumineux de différentes longueurs d'onde sur une seule fibre. La première démonstration d'une transmission WDM de 10 Tbit/s sur une fibre a eu lieu en 2001. Deux cent soixante-treize voies de 40 Gbit/s avec espacement de 50 GHz ont été transmises sur 117 km<sup>54</sup>, soit l'équivalent de 625 millions de voies téléphoniques à 16 kbit/voie. Dix fibres d'une telle capacité pourraient acheminer le trafic vocal de l'ensemble de la population mondiale communiquant simultanément. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du WDM et de l'OTDM (multiplexage temporel optique) concurrent jusqu'à 2003, ainsi que les projections de développement fondées sur les résultats antérieurs et supposant l'absence d'obstacle majeur et de mutation abrupte amenée par des techniques innovantes. Deux des résultats du WDM indiqués dans le graphique correspondent à la première fois qu'un Tbit/s a été transmis sur des distances transocéaniques à un débit de 40 Gbit/s par voie. Les résultats ont démontré qu'il est possible (mais difficile) d'utiliser ce débit pour les systèmes transocéaniques d'une capacité supérieure à 1 Tbit/s.

Sauf imprévu, le réseau optique longue distance devrait croître tant en termes de bande passante par canal (longueur d'onde) qu'en nombre de longueurs d'onde par fibre, mais les projections sont rares compte tenu de l'excédent actuel de bande passante. Un scénario hypothétique établi en 2000 prédisait qu'en 2010 la bande passante par longueur d'onde serait de 160 Gbit/s pour mille longueurs d'ondes par fibre, soit 160 Tbit/s par fibre<sup>55</sup>. À en juger d'après les projections ci-dessous, ce serait là une sous-estimation. Nous avons donc les moyens d'obtenir une bande passante considérable à faible coût.

Cela étant, avec le recul, nous pouvons constater que l'évolution actuelle de l'investissement dans les nouvelles technologies est gouvernée par la demande, mais une demande qui porte sur le rendement potentiel des opérations plutôt que des coûts irrécupérables initiaux. Il se peut qu'une partie du secteur crée des rentes de rareté pour faire monter les prix quand la bande passante longue distance est saturée.

Aux États-Unis, par exemple, la fièvre d'achat de fibre longue distance qui a sévi entre 1997 et 2000 a été provoquée par l'ouverture du marché dérivant

Graphique 2.11. **Projections de capacité pour la fibre avec multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) et avec multiplexage temporel optique (OTDM)**



Source : EC IST Optimist, IST Zabreb, mai 2003 (<http://22.ist.optimist.org>), optical networking projects, EC DG Info Soc, [http://intecweb.intec.ugent.be/list-oprimist/pdf/trends/TERENA\\_2003/sld023.htm](http://intecweb.intec.ugent.be/list-oprimist/pdf/trends/TERENA_2003/sld023.htm).

de la loi sur les télécommunications de 1996 conjuguée à un excédent d'investissements, ce qui s'est soldé par l'installation de dizaines de nouveaux réseaux optiques. L'offre excédentaire de câbles optiques se limite pour l'essentiel aux réseaux de longue distance, qui ont été les premiers construits. Il est donc difficile de déterminer les prix commerciaux de ces derniers, d'une part parce qu'ils continuent de diminuer en raison de l'offre excédentaire, d'autre part parce que les progrès mentionnés plus haut réduisent le coût par voie. Un moyen d'évaluer la déflation des prix consiste à examiner le marché de gros d'un pays développé comme les États-Unis. Selon des informations communiquées en 2001 par RateXchange<sup>56</sup>, un courtier en ligne américain qui négocie de la capacité en gros pour les opérateurs de télécommunications, une liaison fonctionnant à 155 Mbit/s entre Los Angeles et New York coûtait environ 45 000 USD par mois en octobre 2000. Ce prix est tombé à 35 000 USD en mars 2001, mais il était prévu qu'il chute à 2 450 USD en janvier 2002 pour la nouvelle génération d'équipements. Une connexion à 155 Mbit/s pourrait assurer quelque 42 millions de minutes de communications par mois. La technologie optique actuelle peut au minimum décupler cette capacité.

On relèvera avant tout que le matériel de mise en service est peut-être la seule partie du réseau qui doit être remplacée; s'il est de technologie relativement récente, le câble optique reste le même, et il existe des milliers de fibres souterraines. Les opérateurs américains ont fait appel à cette méthode en 2002-03 pour augmenter la capacité de nombreux réseaux longue distance

de 2.5 Gbit/s à 10 Gbit/s. Les dépenses d'infrastructure effectuées aux États-Unis avant 2000 expliquent le schéma d'expansion (ou de surexpansion) de la capacité optique aujourd'hui, voire des quelques années à venir. Les dépenses d'équipement des opérateurs de télécommunications américains ont augmenté de 36 % entre 1998 et 1999, où elles ont atteint 77.1 milliards USD, puis à nouveau de 35 % entre 1999 et 2000<sup>57</sup>. Mais en 2001 elles ont fléchi de quelque 13 % par rapport à l'année précédente, puis reculé pour atteindre environ 74 milliards USD en 2003, soit un repli d'à peu près 29 %. Cette baisse signifie que les opérateurs dépenseront moins pour utiliser leurs réseaux parce qu'il est plus coûteux de mettre des réseaux en service que de les laisser inactifs, sous forme de « fibre noire », non illuminée. Il se peut donc que la quantité de fibre non utilisée augmente, pour soutenir les prix, pendant que les nouveaux investissements dans l'infrastructure stagnent.

Bien entendu, il existe d'autres marchés que celui de la capacité de gros pour les opérateurs et les FAI. Les lignes louées privées sur les marchés internationaux et transatlantiques sont également une source profitable de recettes. D'importants bénéfices ont été réalisés sur les circuits loués internationaux avant l'explosion de la bulle Internet en 2000-01. À titre d'exemple<sup>58</sup>, un circuit de 2 Mbit/s entre la Suisse et les États-Unis était loué aux usagers finaux pour 500 000 USD par an environ en 1997, tandis que le prix d'achat pour le consortium exploitant, actualisé sur cinq ans et comprenant les frais annuels de maintenance et d'exploitation, n'était que de quelque 60 000 USD par an. Même en tenant compte du coût des circuits terrestres et de l'exploitation, des frais généraux et des profits, la marge est élevée. Un autre exemple est celui des circuits de 2 Mbit/s entre les États-Unis et l'Australie, qui coûtaient généralement 98 000 USD par mois aux usagers finaux alors que leur fourniture coûtait moins de 13 000 USD par mois aux membres du consortium<sup>59</sup>. Cela dit, grâce aux nouveaux dispositifs de sécurité et de séparation du trafic du protocole IPv6, les réseaux privés virtuels des entreprises peuvent être hébergés sur l'infrastructure en expansion de l'Internet, qui dispose encore de capacité disponible, de sorte que l'intérêt d'un contrôle concret des ressources matérielles (les lignes louées) diminue au profit des services hébergés partagés qui permettent aux grands FAI, grâce aux accords de réciprocité, d'élargir leur portée géographique.

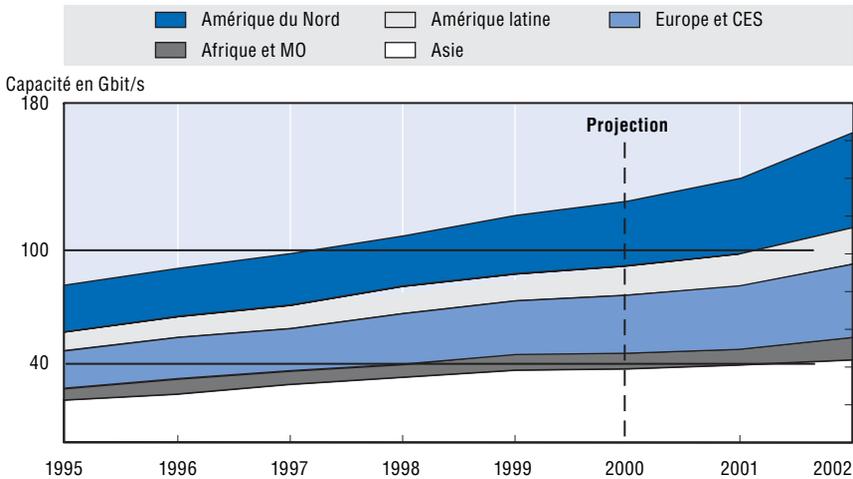
En résumé, on observe une expansion de la demande, mais une expansion encore plus rapide de la capacité due aux technologies de remplacement, non à de nouveaux déploiements; compte tenu du surinvestissement dans certaines régions des États-Unis et, peut-être, d'Europe, on ignore l'ampleur de la capacité réelle actuelle. Chaque nouvelle génération de WDM permet de décupler (ou plus) la capacité de la fibre installée rapidement et à un coût comparativement modique. En conséquence, alors que la demande globale de bande passante explose avec les services et l'accès Internet à haut débit pour le contenu média, on devrait assister à un développement considérable de la capacité de

l'infrastructure longue distance, mais pas à la reprise de la vente en gros de capacité sur de nouveaux câbles optiques.

S'agissant des infrastructures de substitution aux réseaux longue distance d'ici à 2030, le courant porteur en ligne semble offrir un certain potentiel mais généralement, dans le cas de la transmission à longue distance, sous forme de faisceaux optiques intégrés à des câbles souterrains, voire de câbles haute tension.

Comme indiqué, l'utilisation des satellites pour le trafic longue distance ne devrait pas connaître de mutation majeure à l'avenir. Leur capacité a toujours été assez faible (voir le graphique 2.12) de sorte qu'en l'absence d'une évolution majeure en matière de technologie et d'orbites, ils ne semblent pas devoir prétendre à une place importante parmi les futures infrastructures. Ils auront toutefois un rôle à jouer, par exemple en conjugaison avec les services mobiles, pour la diffusion de contenu, de trafic non isochrone notamment.

Graphique 2.12. **Augmentation de la capacité de communication par satellite**



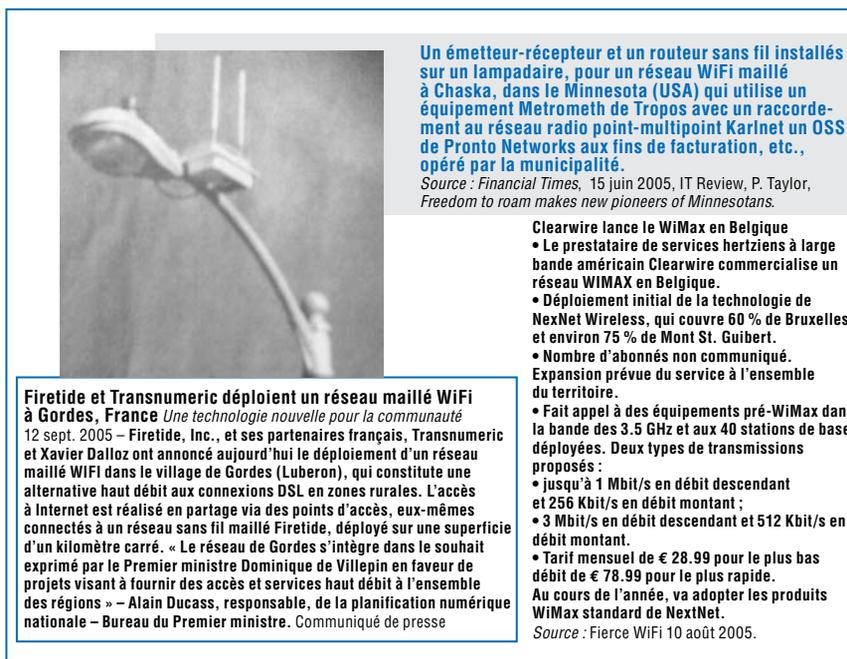
### Autres technologies hertziennes (AWT) dans la boucle locale

Pour des raisons de coût et de déploiement, et compte tenu de la bande passante qu'elles peuvent offrir, les autres technologies hertziennes ont de grandes chances de distancer les réseaux à haut débit filaires et mobiles cellulaires. Selon de récentes études portant sur les premières mises en service de ces technologies, celles-ci pourraient diminuer le coût des communications radiomobiles, bien que la technologie de pointe en la matière, le WiMax, n'ait pas encore été déployée à grande échelle. Il ressort d'une étude de cas approfondie portant sur le système exclusif Flash OFDM (créé par Flarion, une entreprise issue de Bell Labs, aujourd'hui détenue par Qualcomm) qu'il permet d'économiser jusqu'à 80 % des coûts, sur une

couverture équivalente, par rapport à un réseau cellulaire mobile classique qui ne pouvait assurer que des transmissions de voix et de données à bas débit<sup>60</sup>.

De manière générale, les réseaux AWT nécessitent une infrastructure de base bien moins coûteuse que les réseaux mobiles 2G ou 3G, les équipements s'inspirant du modèle de transmission de données par les bornes d'accès hertzien WiFi. Ils peuvent éviter des sites particuliers en plaçant les émetteurs-récepteurs sur des murs extérieurs, des réverbères, etc. les besoins en énergie locale pouvant pour leur part être inférieurs à ceux du cellulaire si la puissance d'émission est plus faible. Ils peuvent même être autonomes par rapport aux sources locales d'énergie compte tenu de l'arrivée des émetteurs-récepteurs (ou « points d'accès ») fonctionnant à l'énergie solaire. Les caractéristiques de propagation, comme toujours, déterminent la densité des points d'accès nécessaires mais, avec une densité inférieure, la distance de propagation peut dépasser celle des réseaux cellulaires mobiles classiques. Du fait que la demande d'infrastructure d'appui est généralement bien moindre, les réseaux AWT pour l'accès Internet avec téléphonie IP surgissent rapidement, selon les besoins, en Europe et, surtout, aux États-Unis. Dans ce dernier cas, il ne dépendent pas des opérateurs dans la mesure où ils sont financés, construits et exploités par les municipalités, comme indiqué dans le graphique 2.13 (ce qui a

Graphique 2.13. **Le coût d'infrastructure des autres technologies hertziennes est moins élevé**

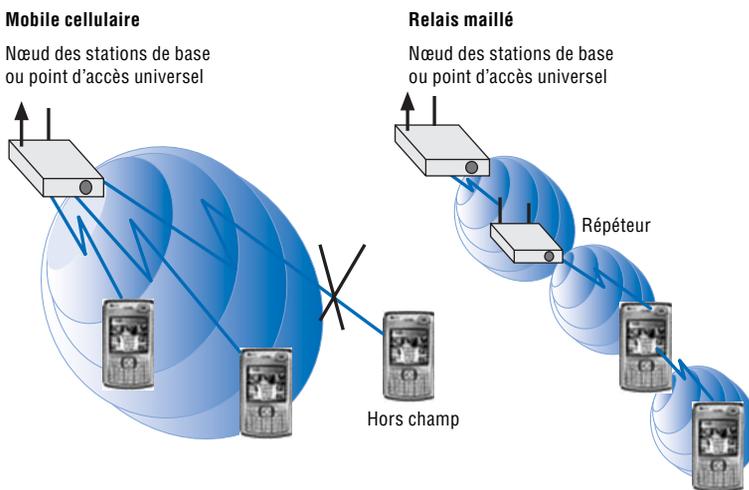


suscité la colère et l'opposition des sociétés exploitantes Bell, qui se sont employées à les faire interdire dans de nombreuses villes américaines).

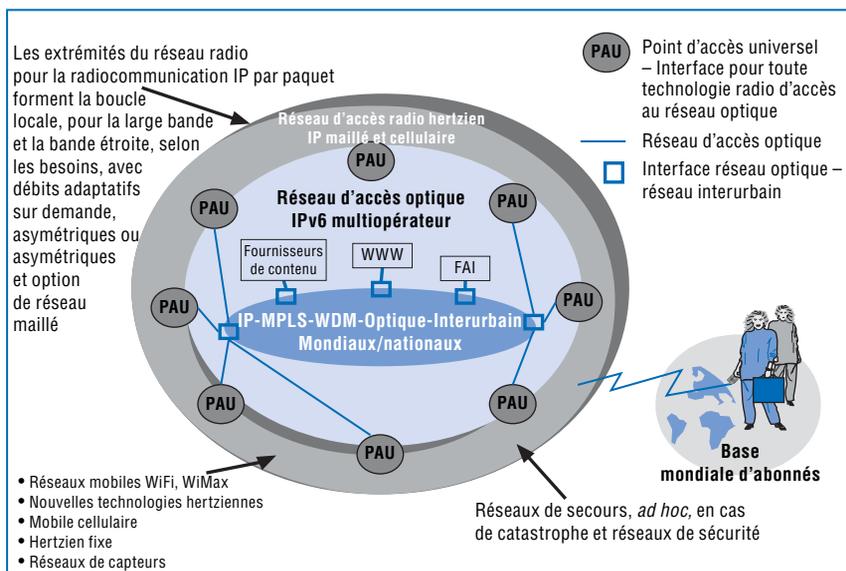
Naturellement, ces technologies exercent des contraintes sur le spectre apparemment disponible. Grâce aux techniques d'étalement du spectre pour le partage de la bande passante et à celles de radio logicielle, qui s'adaptent aux autres utilisateurs, elles promettent une utilisation bien plus efficace du spectre. La perspective d'un élargissement du spectre « commun » sous forme de bandes de fréquences sans licence plus nombreuses ou plus larges fait actuellement l'objet d'un débat dans l'Union européenne. De leur côté, les États-Unis et le Royaume-Uni ont pour l'instant opté pour une démarche commerciale, peut-être dans le but de dégager des bénéfices financiers pour les pouvoirs publics<sup>61</sup>, malgré le nombre grandissant d'entreprises du monde de l'informatique et de la transmission de données qui ont démontré, avec le WiFi, que le modèle de communications de données et d'accès à l'Internet *via* un spectre non assujéti à des licences et à des réglementations donne des résultats performants.

De plus, les nouvelles technologies permettent d'établir des réseaux maillés grâce à des systèmes frontaux adaptatifs intelligents, avec fonction radio définie par logiciel pour l'interface d'air; elles peuvent ainsi amplifier leur portée, et faire face aux plus fortes densités d'utilisateurs en utilisant des acheminements différents *via* des relais par sauts jusqu'aux terminaux adjacents. De fait, elles permettent de constituer des réseaux *ad hoc*, déployés selon les besoins, sans aucun élément d'infrastructure fixe, comme illustré dans le graphique 2.15.

Graphique 2.14. **Prolongation radio d'un point d'accès filaire**



Graphique 2.15. **La future infrastructure composite optique/radio – Un réseau simple**



### Infrastructures de télécommunications pour les prochaines décennies

Il est ainsi possible que l'on assiste à l'arrivée progressive d'un nouveau modèle d'infrastructure, lourdement influencé par les impératifs de coûts des pays en développement en quête d'un nombre supérieur de « bits par dollar » pour leurs milliards d'habitants aux revenus annuels inférieurs à 3 000 USD. Ce système se fonde sur la plus grande accessibilité des réseaux mobiles et des nouvelles technologies hertziennes mobiles à faible coût, en matière de réseaux maillés notamment, et sur la chute du coût par bit émis sur une liaison optique WDM à longue distance pour constituer un modèle IP à deux niveaux, inspiré de l'architecture du réseau 21CN de BT, mais simplifiant l'accès à la boucle locale par la seule utilisation des technologies hertziennes dotées de fonctionnalités mobiles à large bande et à très large bande.

Son architecture s'appuie sur des versions robustes d'un protocole IP de bout en bout pour assurer le transfert de flux de médias et de données sporadiques isochrones au moyen du protocole IPv6 ou de ses descendants après 2020. Elle est conçue sous l'angle de la transmission de données et de l'appui aux services par paquets comme la téléphonie IP et la diffusion de contenu en flux continu.

Cette architecture simple devrait se développer graduellement au cours des 10 à 20 prochaines années, par des améliorations progressives à l'imbrication complexe des normes et réseaux existants. Ainsi, pour des

raisons économiques aussi bien que techniques, elle sera peut-être déployée d'abord dans les pays en développement, où il existe moins de réseaux hérités du passé et de réglementations protectrices ayant intérêt à maintenir le *statu quo* commercial et technique, et dont le pouvoir ne doit pas être sous-estimé<sup>62</sup>. Les nouvelles caractéristiques de cette structure s'introduiront ensuite dans les infrastructures des pays de l'OCDE.

Cette mutation pourrait intervenir rapidement si la concurrence arrive à s'imposer, bien que le maintien prolongé des réseaux existants soit prévisible, pour des raisons commerciales et politiques, comme les licences 3G d'une durée de 20 ans encore en vigueur dans les pays de l'OCDE. Plusieurs opérateurs historiques des pays de l'OCDE (France Telecom et Telefonica par exemple) qui détiennent des licences mobiles et les FAI réintègrent ces opérations à celles de la société mère – l'objectif étant d'offrir un service unique sans couture aux abonnés au moyen d'un réseau de prochaine génération relié aux technologies mobiles de l'opérateur. Néanmoins, les licences 3G ont coûté tellement cher à certains grands opérateurs qu'ils ne peuvent se contenter de les comptabiliser sous forme d'investissement à fonds perdus. Leur réputation commerciale et, dans certains cas, les prescriptions des sociétés holding de financement, ainsi que d'autres investissements dans le réseau 3G, pour le HSPDA par exemple, pourraient davantage peser sur le cours de leur action que leurs conseils d'administration ne l'autoriseraient. Elles sont donc condamnées aux technologies 3G et à leurs mises à niveau coûteuses, comme l'IMS (sous-système multimédia IP, nécessaires à la mise en place d'un réseau tout IP). Dans de telles circonstances, les principaux détenteurs de licences 3G de l'OCDE ne peuvent se permettre d'opter pour des technologies mobiles plus récentes.

Par conséquent, les nouvelles technologies hertziennes devraient en toute logique s'imposer dans les pays en développement avant de s'introduire dans ceux de l'OCDE. On pourrait donc voir deux modèles d'infrastructure fonctionner en parallèle dans le monde pendant une dizaine d'années au moins : le modèle existant de l'OCDE, composé de plusieurs normes d'acheminement longue distance sur le réseau interurbain, avec des réseaux DSL filaires et de câblodiffusion à large bande de génération antérieure dans la boucle locale et, simultanément, le modèle simplifié de réseau à longue distance à deux niveaux (optique et radio) qui se diffusera lentement à l'échelle planétaire.

Le point d'accès universel (PAU) qui assure l'interface entre les différentes technologies radio, est un élément saillant de cette architecture; des travaux de R-D approfondis s'imposeront pour que les PAU puissent s'adapter à tous les types de réseaux.

### **Nouvelles architectures robustes pour les situations d'urgence**

Il est indispensable que la nouvelle infrastructure remplisse de nouvelles fonctions. Le défi peut-être le plus important pour elle est de répondre à des menaces plus nombreuses, qu'il s'agisse des catastrophes naturelles associées au réchauffement climatique, dont on prévoit que les risques augmenteront au cours du siècle à venir<sup>63</sup>, ou des catastrophes et attaques d'origine humaine<sup>64</sup>. Elle devra comporter de nombreuses caractéristiques utiles aux services d'urgence en cas de catastrophe, notamment :

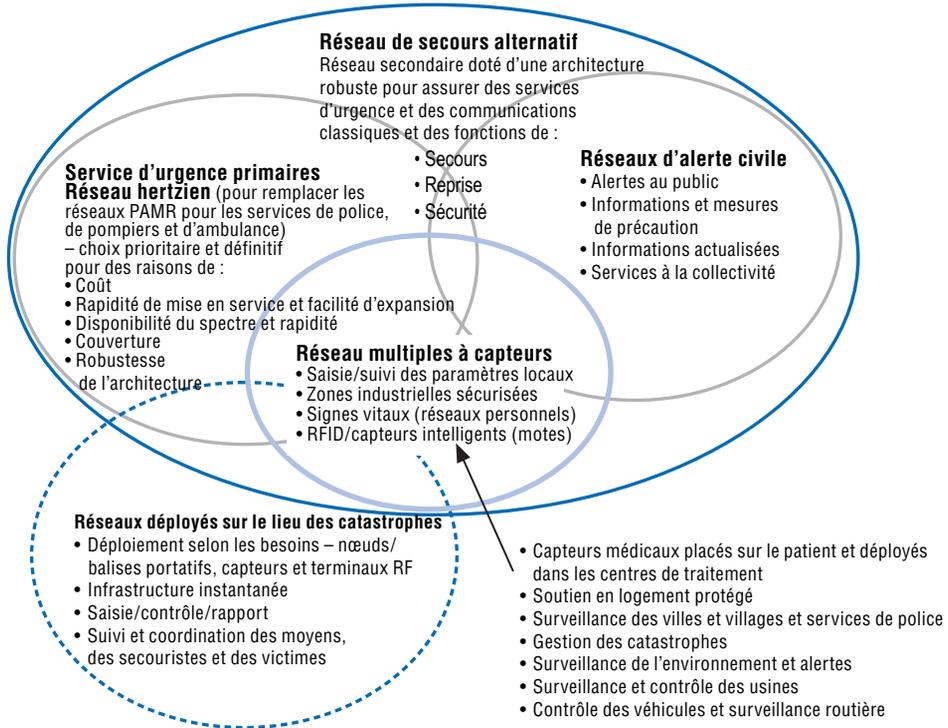
- Ubiquité et universalité – à l'intérieur, à l'extérieur, au niveau d'un individu, d'un capteur, d'un réseau, d'une ville, d'une banlieue ou d'une région – avec une technologie et une topologie de réseau adaptées aux besoins de chaque situation.
- Fiabilité – grâce à une couverture redondante dont les fonctions et la portée se recouperont.
- Autorétablissement après une catastrophe.
- Installation immédiate – pourra être développée ou installée à la demande beaucoup plus rapidement que les réseaux classiques.
- Indépendance à l'égard de toute infrastructure fixe si nécessaire.
- Coût modéré par rapport aux réseaux fixes et cellulaires actuels, car de nombreuses catastrophes se produiront dans les pays en développement.
- Bande passante importante (en comparaison aux réseaux cellulaires) pour des fonctions nettement plus nombreuses, image et vidéo notamment.

La solution réside éventuellement dans une architecture composée de différents réseaux basés sur les nouvelles technologies hertziennes dans une hiérarchie de réseaux civils, ceci afin que les fonctions et la couverture se recoupent pour assurer une redondance. Les nouvelles technologies hertziennes satisferaient, en termes de sécurité et de secours, aux exigences d'un déploiement *ad hoc*, car elles présentent toutes les caractéristiques énumérées ci-dessus. Les différents réseaux de la hiérarchie devront interopérer pour les applications qui nécessitent des informations de différents flux de données sur chaque réseau. Pour s'autosécuriser, l'ensemble de réseaux pourrait aussi s'auto-organiser. Durant la catastrophe provoquée par l'ouragan Katarina, en septembre 2005, le seul mode de communication téléphonique qui ait permis au président américain de communiquer avec le maire de la Nouvelle-Orléans depuis son avion est une liaison Internet via le réseau WiFi qui fonctionnait encore dans la ville – cette conversation capitale a été transmise par un prestataire de services de téléphonie IP<sup>65</sup>.

Une étude récente d'EC/JRC/IPTS sur les nouvelles technologies hertziennes a proposé un modèle de regroupement de réseaux en vue de créer

une infrastructure de sécurité dotée de fonctions d'installation et de topologie *ad hoc*. Le graphique ci-dessous en présente l'architecture<sup>66</sup> :

Graphique 2.16. **Un réseau interconnecté pour garantir la sécurité**  
**– Intégration proposée de multiples réseaux fondés sur les nouvelles technologies**  
**hertziennes pour créer une structure sécurisée unique**



Source : Mapping European Wireless Trends and drivers; EC/IPTS/JRC, septembre 2005, à paraître.

### **Autres technologies d'infrastructure de la boucle locale et de transmission à longue distance**

*Recours possible aux satellites sur orbite terrestre basse (LEO)* : Les premiers satellites sur orbite terrestre basse auxquels des entreprises telles qu'Iridium, Teledesic, etc., ont fait appel pour fournir des services mobiles satellitaires (SMS) n'ont pas répondu aux attentes. Une deuxième génération de LEO est prévue, mais semble bien destinée à échouer pour les mêmes raisons : l'écart entre la demande et le coût du système. Néanmoins, un nouveau mode de lancement faisant appel à un système de propulsion en vol qui utilise des moteurs combinés pour les décollages et atterrissages horizontaux classiques pourrait changer la donne pour une troisième génération de LEO à l'horizon 2015. Les projets de SMS se fondent sur la mise en orbite basse d'une

multitude de microsattellites, s'il est possible de réduire le coût de la charge utile dans l'espace par kilo, pour délivrer un signal moins puissant au terminal et limiter au maximum le temps de latence en liaisons montante et descendante. Les terminaux pourraient faire appel à la technologie d'antenne directionnelle transistorisée MIMO (réceptions et émissions multiples) pour suivre les microsattellites lorsqu'ils apparaissent à l'horizon. Pour les communications à l'intérieur des bâtiments, des concentrateurs destinés à assurer la propagation du signal seraient nécessaires. La structure adaptative de la flotte permettrait en outre d'acheminer et de commuter le trafic longue distance. Les LEO sont une composante improbable de l'infrastructure.

*Recours possible aux systèmes de haute altitude et longue endurance (HALES) :* Ces systèmes proposent l'utilisation d'aéronefs volant assez haut dans la stratosphère pour éviter les perturbations météorologiques – solution mobile régionale ou urbaine (assez exotique) qui fait l'objet d'une controverse depuis une dizaine d'années. Les systèmes HALES nécessitent des opérations aériennes très fiables (alimentées par énergie solaire éventuellement) mais pourraient avoir des applications dans les zones urbaines à forte densité. S'il est peu probable que des systèmes complets voient le jour, le système HALES, qui permet un déploiement instantané de l'infrastructure, pourrait être utilisé à titre de secours dans les zones frappées par une catastrophe, surtout dans les grandes villes, où il remplacerait les réseaux cellulaires mobiles détruits ou, plus facilement, les réseaux WiFi et WiMax. L'identification du signal à partir de terminaux de faible puissance conçus pour les réseaux terrestres poserait un problème, mais celui-ci n'est pas insoluble.

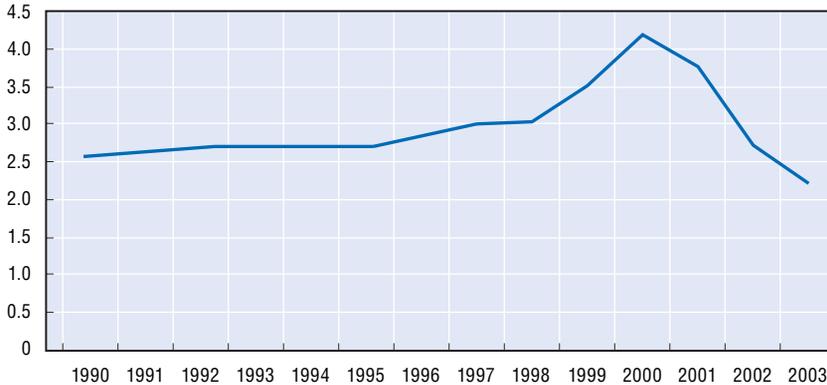
*Utilisation éventuelle du courant porteur en ligne :* Les systèmes qui font appel à l'émission de signaux vers une infrastructure à domicile ou au bureau existent depuis les projets américains de signalisation mainsborne aux États-Unis et d'autres initiatives, dont le projet DTI du Royaume-Uni dans les années 70. À ce stade, les résultats sont peu probants. Des problèmes de bruit, de brouillage avec les dispositifs connexes, y compris les équipements militaires, et le coût des installations ont compromis leur développement. Sans des progrès déterminants en matière d'algorithmes de propagation du signal et de traitement du bruit, ils ne semblent guère avoir d'avenir pour la boucle locale, et encore moins pour les réseaux à haute tension pour les réseaux interurbains longue distance (sauf par des câbles optiques intégrés aux lignes de distribution électrique nationales qui ont été proposées à titre d'alternative).

### **Le montant des investissements – incidence sur le nouveau modèle d'infrastructure**

Au cours des dix dernières années, les dépenses de télécommunications ont fluctué en fonction de la conjoncture économique : elles ont fortement

augmenté au milieu des années 90 avant de reculer à compter de « l'effondrement du secteur des télécommunications », en 2000.

**Graphique 2.17. Investissement moyen des pays de l'OCDE dans les télécommunications publiques en pourcentage de la formation brute du capital fixe (1990-2003)**

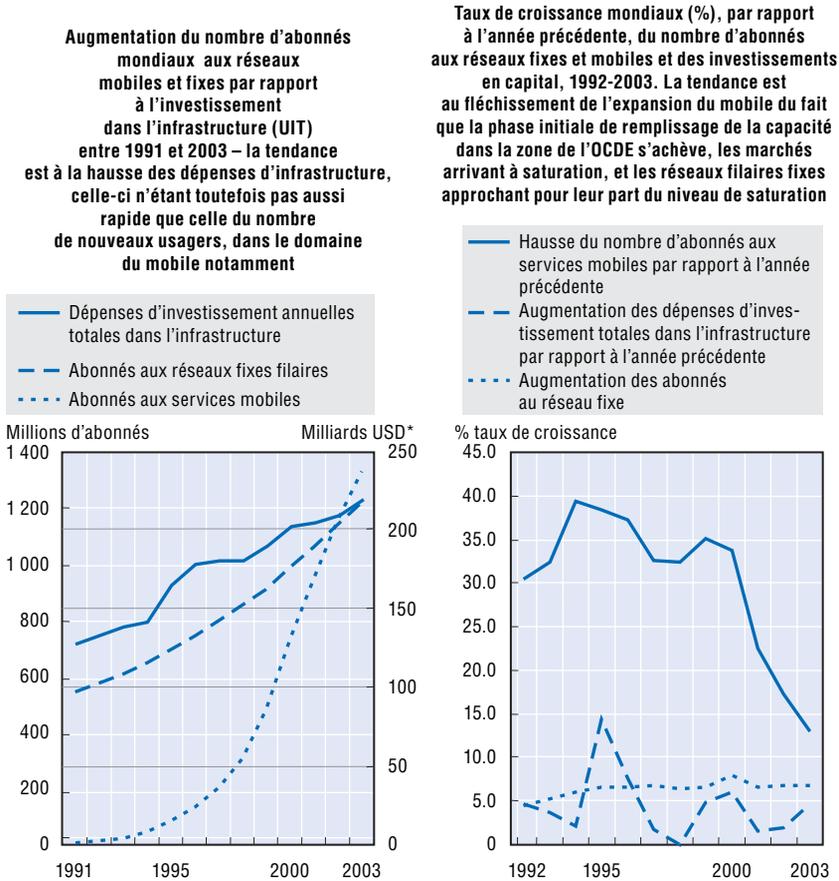


Source : *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005 (pour la période 1990-96, il s'agit de la moyenne sur trois ans).

Ainsi, comme l'indique le graphique 2.18, le nombre d'abonnés à l'ensemble des services de télécommunications a progressé de plus de 225 millions par an entre 2000 et 2003, mais ce chiffre a bondi à plus de 320 millions par an en 2004-05, le nombre d'abonnés aux services mobiles augmentant de quelque 300 millions<sup>67</sup>. En valeur absolue, le total des dépenses d'infrastructure a continué de progresser entre 2000 et 2003, comme on le voit dans la partie gauche du graphique, tandis que la hausse annuelle des dépenses d'investissement oscillait entre 4 % et 5 % selon la conjoncture économique, comme le montre la partie droite.

Néanmoins, comme on le voit au graphique 2.19, les dépenses d'investissement, fixes et mondiales, par nouvel abonné aux réseaux ont sensiblement reculé entre 1992 et 2000, de plus de 80 %. Elles commencent à peine à se redresser, sous l'influence de la nouvelle génération de réseaux mobiles, le réseau UMTS 3G, qui est (nettement) plus coûteux que le G2, et du déploiement des réseaux à large bande HFC, même si leur incidence sur les dépenses est limitée compte tenu du nombre d'utilisateurs adoptant ces nouveaux services. Ainsi, quel que soit le montant annuel des investissements en valeur absolue, la tendance, d'après les derniers chiffres publiés par l'UIT, est généralement au déploiement de réseaux de télécommunications toujours moins chers par nouvel abonné à mesure que la base d'abonnés s'élargit.

C'est là l'aboutissement naturel de la chute des prix des équipements et des nouvelles technologies de radiotéléphonie mobile. Mais qu'en sera-t-il par

Graphique 2.18. **Augmentation du nombre d'abonnés**

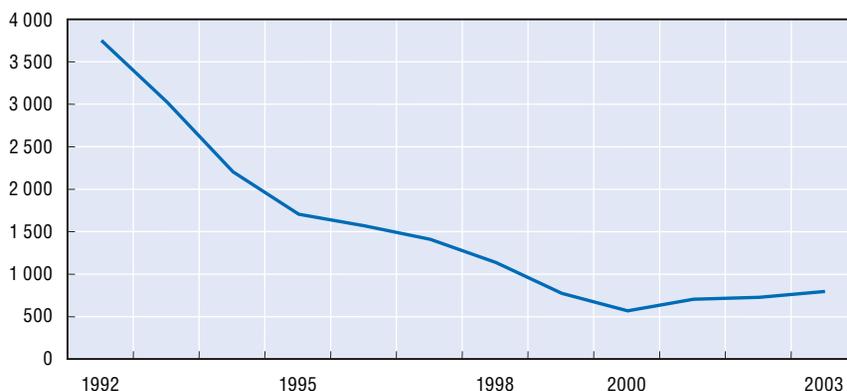
\* Prix et taux de change actuels.

Source : Base de données « Indicateurs des télécommunications dans le monde » de l'UIT – 2002.

Source : SCF Associates, d'après la base de données « indicateurs des télécommunications dans le monde » – 2002.

la suite ? À court terme, compte tenu de la mise en service rapide des réseaux, les dépenses devraient rester stables, puis diminuer, alors que le nombre total d'abonnés augmentera jusqu'à 2025 environ. Le coût par abonné devrait décroître rapidement à compter de 2015, la nouvelle infrastructure légère assurant une mise en service continue dans les zones pauvres et non saturées des régions en développement. Si l'on prend les chiffres précédemment utilisés du nombre d'abonnés et des dépenses nécessaires par abonné pour établir des courbes de Dupuit et les points où se situe le sentiment de gratuité, on voit apparaître un modèle simple de coûts d'infrastructure par abonné.

**Graphique 2.19. La tendance dominante est au déploiement d'infrastructures moins coûteuses – Dépenses d'investissement par nouvel abonné<sup>1</sup> en milliers d'USD – 1992-2003**



1. Calcul fondé sur les dépenses d'investissement de l'année précédente pour attirer de nouveaux abonnés pendant l'année en cours.

Source : D'après la base de données de l'UIT des indicateurs de télécommunications dans le monde – 2002.

D'après ces premières estimations approximatives des dépenses d'infrastructure, l'OCDE devrait, étant donné le déploiement des réseaux de prochaine génération, être à l'origine de quelque 60 % des dépenses totales jusqu'à 2010, dépenses qui diminueront par la suite, les PNI prenant rapidement la première place avec plus de 50 % des investissements après 2015, durant leur phase d'investissement massif, alors que l'OCDE aura atteint le stade de saturation. Jusqu'à 2025, la plus grosse tranche du pourcentage des dépenses effectuées dans les PNI devrait être imputable à la Chine et à l'Inde, ces deux pays représentant à eux seuls quelque 50 % des dépenses d'infrastructure du monde en développement après 2010; celles-ci diminueront peut-être, en proportion, après 2020 ou 2025, les besoins essentiels de la phase fondamentale d'équipement étant satisfaits. En 2030, les pays actuellement en développement représenteront probablement 50 % au moins des dépenses, de sorte que la part de l'OCDE resterait stable, ou même diminuerait. Ces estimations se fondent sur l'hypothèse selon laquelle les dépenses par usager seront nettement inférieures dans les PNI, ce qui ne veut pas dire que la capacité de transmission ou le potentiel de diversité des services seront moindres.

On notera que les dépenses totales d'infrastructures, exprimées en milliards d'USD dans le tableau 2.15, atteignent leur niveau maximal en 2010 avec l'essor de la demande d'infrastructure afin de servir, selon les estimations, 4,5 milliards d'utilisateurs (réseaux fixes et mobiles). Dans les années qui suivent, et jusqu'à 2030, l'investissement total diminue sous l'effet de la baisse considérable du coût des technologies, dû à l'arrivée de technologies moins coûteuses, quoique

Tableau 2.15. **Projection des dépenses d'investissement dans l'infrastructure projetées par nouvel abonné et des dépenses totales d'infrastructure à l'échelle mondiale**

Fin d'année	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Dépenses d'investissement/nouvel abonné (USD)</b>						
Infrastructure fixe OCDE	1 000	950	500	300	200	160
Infrastructure fixe hors OCDE	400	350	250	180	160	110
Infrastructure mobile OCDE	700	650	300	200	160	80
Infrastructure mobile hors OCDE	300	250	150	120	80	50
<b>Cumul des dépenses d'investissement OCDE/hors OCDE par nouvel abonné, infrastructure fixe et mobile (USD)</b>						
	600	550	300	200	150	100
<b>Nombre d'abonnés aux réseaux mobiles (milliards)</b>						
	1.8	3	4	5	5.2	5.3
<b>Nombre d'abonnés aux réseaux filaires fixes (milliards)</b>						
	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2
<b>Nombre total d'abonnés, aux réseaux mobiles et fixes (milliards)</b>						
	<b>3.1</b>	<b>4.5</b>	<b>5.4</b>	<b>6.3</b>	<b>6.4</b>	<b>6.5</b>
<b>Nouveaux abonnés durant l'année (milliards) Moyenne sur cinq ans</b>						
	0.3	0.3	0.2	0.2	0.02	0.02
<b>Pourcentage estimé de nouveaux abonnés hors OCDE (%)</b>						
	70	80	90	95	95	95
<b>Pourcentage estimé des nouveaux abonnés hors OCDE qui utilisent les services mobiles (%)</b>						
	90	95	95	98	98	98
<b>Pourcentage du nombre total de nouveaux abonnés aux réseaux mobiles et hors OCDE (%)</b>						
	63	76	86	93	93	93
<b>Nouvelles dépenses d'infrastructure annuelles (milliards USD)</b>						
	<b>180</b>	<b>154</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Nouvelles dépenses consacrées aux réseaux mobiles en dehors de l'OCDE (milliards USD)</b>						
	56.70	53.20	23.09	20.11	1.49	0.93
<b>Nouvelles dépenses consacrées aux réseaux fixes en dehors de l'OCDE (milliards USD)</b>						
	12.00	4.90	2.25	0.65	0.06	0.04
<b>Pourcentage des nouvelles dépenses annuelles d'infrastructure effectuées en dehors de l'OCDE (%)</b>						
	38	38	47	58	52	49
<b>Éléments associés à la base installée</b>						
<b>Valeur nette de la base installée<sup>1</sup> (en milliards USD) calculée par le nombre d'abonnées multiplié par les dépenses d'investissement par usager, une moyenne des dépenses d'investissement étant établies sur les 5 années précédentes</b>						
	3 160	3 938	3 945	3 575	1 120	812.5
<b>Dépenses d'entretien et de renouvellement des infrastructures à 15 % de la valeur de la base installée (milliards USD)</b>						
	474	591	592	536	168	122
<b>Dépenses totales d'infrastructure de l'année (milliards USD)</b>						
	654	745	646	572	171	124
<b>Part hors OCDE<sup>2</sup> des dépenses totales d'infrastructure de l'année (%)</b>						
	38	38	47	58	52	49
<b>Part de l'OCDE<sup>2</sup> des dépenses totales d'infrastructure de l'année (%)</b>						
	62	62	53	42	48	51

Note : Ce modèle est extrêmement approximatif, et repose sur de nombreuses hypothèses et premières estimations (la création d'un modèle fiable constituerait en soi un projet assez important). N.B. : le modèle suppose une augmentation simple des dépenses d'investissement effectuées sur un cycle de 12 mois au cours de l'année précédente pour développer la base d'abonnés pendant l'année en cours.

1. Comprend, pour les niveaux historiques des infrastructures des générations antérieures plus onéreuses de l'OCDE, un facteur d'extrapolation de 1 500 USD par ligne fixe (large bande et RTPC) et de 1 000 USD par réseau mobile, pour 2 milliards d'abonnés (un milliard pour chaque réseau, fixe et mobile) entre 2005 et 2020, et suppose une moyenne sur cinq ans des dépenses d'investissement antérieures et actuelles par nouvel abonné.
2. Suppose que le pourcentage de nouveaux abonnés est rapidement répercuté dans la valeur de la base installée de sorte que la part d'entretien de la base installée en dehors de l'OCDE est la même chaque année.

perfectionnées, et de la tarification au volume. Ces deux facteurs auront des effets déflationnistes manifestes sur 20 ans, les coûts bruts, qui se composent des frais de renouvellement et d'entretien des équipements existants et de

l'investissement dans les nouvelles infrastructures, diminuant de quelque 80 % (équivalent à une baisse linéaire simple non composée de 4 % par an environ). L'investissement dans les nouvelles infrastructures lui-même devrait diminuer en ampleur, le nombre d'abonnés atteignant le seuil de saturation; la majeure partie de l'investissement sera donc consacrée au renouvellement et à l'entretien des équipements. Il convient de noter que les estimations contenues dans ce tableau sont très discutables, puisqu'elles couvrent plus de 25 ans, et que de nombreuses hypothèses concernant les variables dépendantes sont contestables. Il s'agit, dans le meilleur des cas, d'une description indicative des schémas d'investissement.

### **Migration vers un nouveau modèle d'infrastructure**

Il serait naïf d'imaginer que le bouleversement de l'infrastructure se produira brutalement sur l'ensemble de la planète, ou qu'il est pour bientôt. La mise en place d'une infrastructure sera toujours progressive, les nouveaux systèmes fonctionnant en réseau avec les anciens. Il faudra dix ans, voire vingt, avant que de telles mutations n'interviennent. De nombreuses années s'écouleront peut-être avant même qu'une évolution ne s'esquisse, selon les régions. Les parties qui ont tout intérêt à maintenir le statu quo en matière d'infrastructures de télécommunications ont des arguments convaincants pour protéger leurs investissements lorsqu'ils s'adressent aux pouvoirs publics et aux instances de réglementation.

Dans certaines régions, toutefois, cette évolution pourrait intervenir plus vite. Les premières seront celles où les investissements sont disponibles, où les opérateurs existants sont insuffisants, et où l'infrastructure n'est pas profondément enracinée dans le tissu économique. Cette situation favorise ceux qui ont aujourd'hui les plus mauvaises infrastructures, mais disposent du capital nécessaire, si le renforcement des télécommunications peut justifier le retour sur investissement. Passons en revue les régions de l'OCDE et les grands pays en développement par ordre de probabilité de migration :

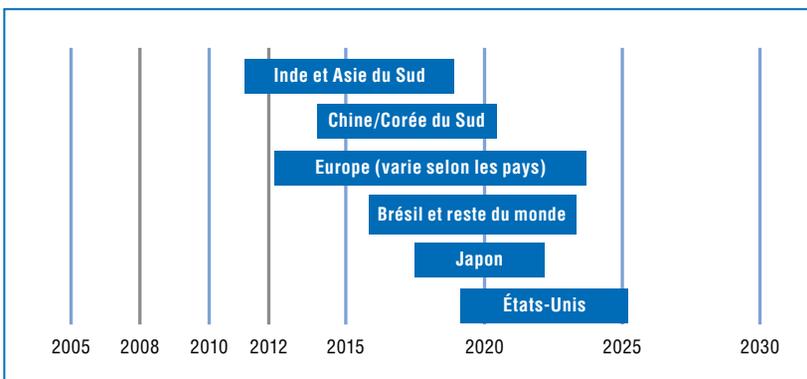
- Le pays qui a le plus de chances d'amorcer le premier cette évolution est l'Inde, et non la Chine. La Chine dispose d'une infrastructure plus avancée ; elle est donc moins susceptible de changer très rapidement. En Inde, la nature de l'infrastructure de télécommunications et la structure du secteur des TIC laissent penser que des transformations majeures pourraient intervenir plus vite, peut-être en plusieurs phases, avec le soutien des pouvoirs locaux des états pauvres désireux de combler leur retard et celui du gouvernement central.
- La Chine et, surtout, la Corée du Sud, ont déjà pris quelques mesures en ce sens. Le plan quinquennal en cours de la Corée (IT 839) pourrait être réorienté dans cette direction du fait que le fonctionnement de l'IPv6 y est déjà intégré. Néanmoins, l'inertie des intérêts catégoriels et la satisfaction

envers la situation actuelle retarderont la mise en place de toute nouvelle infrastructure. En Chine, des initiatives de grande ampleur pourraient éventuellement voir le jour après 2012 étant donné que l'infrastructure des régions rurales sera modernisée pour s'aligner sur celle des régions côtières et qu'il y aura moins d'investissements à amortir.

- À moins que le Brésil ne prenne plus au sérieux les avantages dérivant des télécommunications à coût modéré, les intérêts catégoriels dans l'infrastructure actuelle devraient prolonger sa durée de vie dans la mesure où elle remplit assez bien sa fonction : servir l'industrie manufacturière à l'appui d'une croissance raisonnable du PIB. Il ne semble pas y avoir de raison majeure de modifier le cours des choses.
- En Europe, le panorama est très contrasté. Au Royaume-Uni, la société BT pourrait adopter ce modèle rapidement (avant 2011) si elle modifie ses plans technologiques pour la boucle locale, mais ce n'est guère probable. Il faut en revanche s'attendre à des initiatives des nouveaux pays de l'UE les plus agressifs dans le secteur des TIC, les États baltes ou balkaniques comme la Lituanie ou la Slovaquie. La France et l'Allemagne ne devraient pas envisager de mutation avant une dizaine d'année du fait que leurs infrastructures actuelles sont performantes et qu'il est possible de retarder la concurrence sur les prix jusqu'à ce que les investissements aient été amortis.
- Les États-Unis et le Japon possèdent des infrastructures assez modernes, mais aux États-Unis, la qualité et la bande passante sont variables. Les intérêts catégoriels dans les deux pays sont toutefois vastes et puissants. L'évolution vers une nouvelle infrastructure ne pourrait donc venir que des entreprises du secteur des médias, des compagnies de câblodistribution et des FAI.

Le graphique 2.20 ci-dessous donne une illustration possible de la phase de migration de chaque région :

Graphique 2.20. **Conversion des réseaux d'accès optiques et radio à une infrastructure tout-IP**



## 5. Conséquences pour les modèles économiques

Nous nous penchons ici sur les conséquences (financières notamment) en matière de construction, publique ou privée, d'infrastructures, de partage des risques et de partenariats public-privé. Nous examinons en particulier la viabilité et la pérennité des modèles économiques actuels pour les réseaux téléphoniques et à large bande fixes et mobiles de la nouvelle infrastructure.

### **Modèles classiques des opérateurs de réseaux fixes**

Les modèles économiques du secteur des télécommunications se sont de tous temps appuyés sur le postulat d'un secteur très réglementé auquel l'accès est restreint. Au fil de l'histoire, la situation de monopole réglementé mais protégé a établi un opérateur titulaire puissant dans chaque pays, surtout dans ceux où l'instance de réglementation était de fait l'opérateur national, ce qui était justifié par la nécessité de protéger les investissements traditionnellement assez importants de fonds publics (quelque 2 % du PIB jusqu'aux années 60) dans une infrastructure dont l'État n'aurait peut-être pas jugé le déploiement aussi sûr en l'absence de monopole. Avec la déréglementation, cette position commerciale privilégiée a toutefois permis aux opérateurs historiques de préserver leur modèle économique par deux moyens :

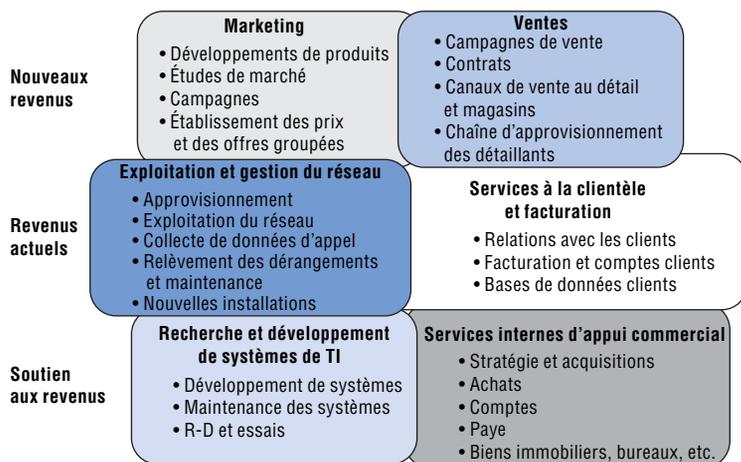
- L'utilisation des investissements à fonds perdus dans le réseau en tant que barrière à l'entrée d'autres opérateurs sur le marché – le coût de la concurrence entre infrastructures.
- L'appropriation des abonnés du fait qu'ils étaient propriétaires de la boucle locale.

Un troisième élément serait l'exploitation d'un statut politique bien établi pour résister à la déréglementation et à l'arrivée de nouveaux opérateurs sur le marché par la destruction de leur puissance commerciale une fois qu'ils y sont implantés. L'exemple le plus probant de cette démarche a été la résistance au dégroupage de la boucle locale, qui a empêché les autres opérateurs de « s'approprier le client » (deuxième point) tout en préservant le premier facteur de protection, la propriété intégrale de l'infrastructure.

Il est utile, lorsque l'on analyse ce modèle économique, d'examiner les procédures opérationnelles et l'organisation commerciale. La carte des méthodes opérationnelles des opérateurs de télécommunications comporte plusieurs caractéristiques notables qui sont résumés au graphique 2.21.

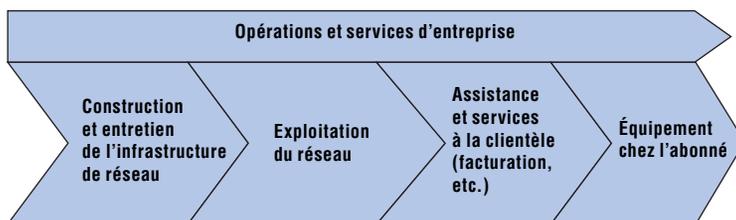
Ces grandes divisions commerciales se trouvent chez la plupart des opérateurs. La chaîne de valeur de l'opérateur de télécommunications repose sur la mobilisation du capital investi dans l'infrastructure de réseau pour fournir des services aux abonnés, habituellement à des tarifs officiels, qui

Graphique 2.21. **Principales divisions commerciales chez un opérateur de télécommunications et procédures commerciales fondamentales, dont certaines recouvrent parfois plusieurs domaines (facturation, par exemple)**



englobent jusqu'aux ventes et aux services d'assistance chez l'abonné. Avec l'arrivée, dans la majorité des pays, d'une concurrence commerciale qui a permis aux revendeurs en gros et à d'autres concurrents de s'implanter sur le marché et a diminué la protection réglementaire, les tarifs ont pu (à des degrés variables) être fixés par le marché. En effet, la chaîne de valeur traditionnelle se présentait sous la forme suivante.

Graphique 2.22. **Chaîne de valeur classique des opérateurs de télécommunications – Modèle générique**



Dans ce modèle, l'élément déterminant de la création de revenus est le nombre de minutes de communications; il s'agit de le maintenir au plus haut niveau possible tout en conservant les mêmes tarifs. Les marges, une fois que le capital investi dans le réseau est amorti à un rythme viable compatible avec les revenus, sont dégagées sur d'autres composantes de la base de coûts, notamment le personnel; le nombre d'employés pour 1 000 lignes est ainsi un indicateur de performance fondamental.

### **Opérateurs de services de radiotéléphonie mobile cellulaire**

Le modèle économique des opérateurs de services mobiles cellulaires ne diffère pas substantiellement du précédent en termes de procédures commerciales, mais l'équipement chez l'abonné revêt alors la forme de terminaux, et la boucle locale constitue le réseau d'accès radioélectrique. Le coût d'entrée majeur est celui de l'infrastructure mobile : il ne comprend pas seulement le coût du réseau central auquel le réseau d'accès radio doit être connecté, mais aussi l'acquisition et/ou la location de sites appropriés pour l'établissement de stations de base cellulaires.

Bien évidemment, l'infrastructure exige des dépenses d'investissement initiales colossales. Mais depuis qu'ils existent, les services mobiles 2G ont atteint la rentabilité bien plus rapidement que les réseaux fixes, leur base d'abonnés s'étant constituée nettement plus vite. Cela tient à leur plus grande facilité d'accès, sous réserve que des systèmes de tarification et de paiement adaptés soient en place (notamment la carte à prépaiement dans les pays à faible revenu disponible, comme le Portugal et l'Italie) et que le prix des terminaux soit optimisé par des subventions ou des coûts unitaires modérés. Cela n'a toutefois pas été le cas des infrastructures 3G<sup>68</sup>.

Une autre différence par rapport à l'exploitation d'un réseau fixe réside dans la technologie radio. Compte tenu de la vente au détail de terminaux et de leur configuration automatique par voie hertzienne, des dépenses doivent être consacrées à des services renforcés et compétents d'assistance à la clientèle. Les coûts les plus élevés en termes d'assistance aux abonnés sont liés à la résolution des problèmes de qualité du service et de panne des terminaux. Pour dégager des recettes, l'opérateur doit impérativement entretenir les connexions (et sa réputation). Toute négligence à l'égard des services d'assistance aux abonnés et de la qualité fondamentale du réseau diminue les marges. Celles-ci sont donc déterminées aujourd'hui par deux éléments :

- La qualité du réseau et des terminaux, ainsi que l'ampleur et la qualité des services d'assistance connexes.
- Les frais d'itinérance et de terminaison, souvent excessifs par rapport aux coûts de prestation des services, puisqu'ils atteignent plusieurs fois le montant des tarifs courants dans certains cas.

En général, les activités des opérateurs mobiles sont plus récentes et comptent moins d'employés par client que celles des opérateurs de réseaux fixes de génération antérieure. Ainsi, si l'on compare deux opérateurs récemment parties à une acquisition, on notera que l'opérateur objet de l'acquisition (O<sub>2</sub>, une société de services mobiles) comptait 24.6 millions de clients et 15 000 employés (les clients des services mobiles sont comptabilisés en fonction du nombre de cartes d'abonnés ou de cartes SIM), soit

1 640 abonnés par employé. À l'inverse, l'acquéreur (Telefonica, qui exploite en majorité des réseaux fixes et quelques réseaux mobiles) affichait un ratio très différent : 145 millions d'abonnés et 173 000 employés, soit 838 clients par employé<sup>69</sup>.

### **Modèles économiques des équipementiers en télécommunications**

Les modèles économiques des équipementiers se sont traditionnellement fondés sur une relation protégée, soudée ou étroite, à un opérateur historique national. Ils s'appuient sur des dépenses initiales élevées en R-D, payées par les ventes à l'opérateur local titulaire (ou aux opérateurs locaux), qui conduisent ensuite à des ventes mondiales, lesquelles sont effectuées à des prix inférieurs mais à des marges supérieures par unité vendue de la production. D'autres recettes proviennent de la fabrication d'équipements destinés au renouvellement et à la modernisation d'un marché restrictif, l'infrastructure de l'opérateur national, ce qui entraîne à nouveau la vente de ces produits actualisés à l'échelle mondiale, soit aux pays en développement, soit dans les pays où la concurrence entre les infrastructures est ouverte. Ce modèle est appliqué à des degrés divers dans la plupart des pays de l'OCDE, notamment l'Allemagne, la France, le Japon, la Suède, la Corée, l'Italie et la Chine, les exceptions étant le Royaume-Uni et, dans une certaine mesure, les États-Unis. L'extrême nécessité de cette dépendance est illustrée par la faillite de la société britannique Marconi en octobre 2005, qui a dû être vendue à Ericsson quand elle n'a pu obtenir de BT, l'opérateur de réseau fixe dominant au plan national, un contrat de 10 milliards GBP portant sur de nouvelles infrastructures. Sur un marché libre, elle a été évincée par les offres très avantageuses des nouveaux équipementiers des PNI, comme les chinois Huawei et ZTE, qui ont des coûts de R-D nettement inférieurs et des technologies plus pointues (pour la commutation de paquets de bout en bout).

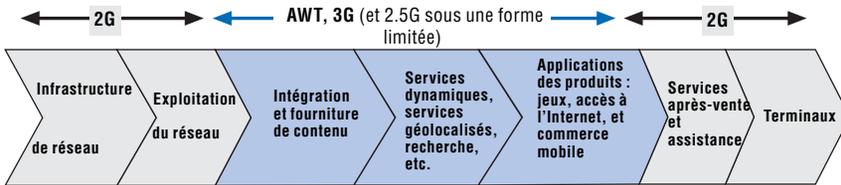
### **Les nouveaux modèles des opérateurs remettent en question les modèles économiques en vigueur**

Le chapitre qui précède a appelé l'attention sur la baisse des coûts d'infrastructure par abonné (fixe et mobile) au cours de la décennie écoulée, et sa poursuite probable à l'avenir. Lorsque les coûts d'infrastructure sont nettement moindres et que la mise en service est plus rapide, les coûts d'entrée diminuent, ainsi que le temps nécessaire pour obtenir un retour sur investissement. La concurrence sera par conséquent considérablement plus vive. Néanmoins, avec l'arrivée à saturation progressive du marché et le rétrécissement des marges sur les offres, il faut s'attendre à de nombreux bouleversements. Ce processus devrait logiquement conduire à un regroupement des opérateurs au niveau mondial, seuls quelques très gros

opérateurs de services en bloc demeurant en activité en 2030. Dans ces circonstances, une réglementation s'imposera pour garantir la concurrence dans le secteur et le mettre à l'abri des pratiques restrictives et des accords de collaboration.

Avec la nouvelle infrastructure fondée sur des principes de communication de données, les modèles du secteur des télécommunications basés sur un marché dominé par un opérateur historique ou sur des oligopoles seront abandonnés en faveur de modèles économiques tournés vers le secteur de l'informatique et du traitement des données. Les modèles ultérieurs seront nettement moins complexes et leurs procédures opérationnelles plus simples. Par ailleurs, la fourniture de contenu apparaîtra vraisemblablement dans la chaîne de valeur traditionnelle, comme le montre le graphique 2.23 ci-dessous.

Graphique 2.23. **Il existe une nouvelle chaîne opérationnelle de services mobiles dans le domaine des communications cellulaires 3G, dans celui des nouvelles technologies hertziennes comme le WiFi et, sous une forme plus réduite, dans celui du 2.5G**



Dans un tel contexte, la réglementation afférente aux modèles économiques et à l'infrastructure aura pour objectif premier de préserver l'ouverture et la sécurité de cette dernière et de garantir la concurrence. Par la suite, il se peut que les modèles économiques évoluent afin de s'adapter à une réglementation qui prendra une dimension plus régionale (une instance de réglementation au niveau de l'Union européenne, par exemple). Dans le même temps, sous la pression de l'OMC, une réglementation mondiale pourrait se dessiner dans le domaine du commerce des services, qui amènera une convergence des médias et des télécommunications. Il est possible qu'une instance de réglementation mondiale régissant l'exploitation de l'infrastructure soit créée d'ici à 2030, qui établira des règles uniformes en matière de sécurité, de sûreté et de protection de la vie privée notamment, mais aussi de tarifs de terminaison et d'interconnexion et de concurrence.

Pour les opérateurs, toutefois, il s'agira avant tout de faire face à la concurrence mondiale et à ses pressions inévitables en faveur d'une tarification fondée sur les coûts. Ils devront se structurer de manière à appliquer des tarifs sensiblement inférieurs (quasiment nuls) et modifieront

généralement les modèles économiques actuels pour diminuer les effectifs et réduire les dépenses d'exploitation liées par exemple aux systèmes de TI, pour la facturation et l'assistance aux abonnés notamment.

Il se peut que la concurrence entre infrastructures disparaisse face à la convergence des réseaux mobiles et fixes, qui deviendrait la norme, ainsi que nous l'avons analysé dans la partie précédente portant sur le modèle d'infrastructure; de ce fait, la notion de communications radioélectriques exploitées séparément pourrait ne pas survivre.

En résumé, l'infrastructure future laisse entrevoir plusieurs nouvelles catégories d'intervenants et les modèles économiques associés :

- Acheminement seul (plutôt de type FAI), faisant l'objet d'un tarif forfaitaire pour de nombreux petits abonnés.
- Trafic de gros uniquement – l'opérateur transporte le trafic (en grande partie mobile) pour le compte d'autres opérateurs. Il fait appel pour cela à un réseau de transport IP comme le réseau 21CN de BT.
- Services uniquement, via n'importe quel réseau de transmission, la vente de contenu média constituant l'offre principale, éventuellement en association avec celle de terminaux spécialisés, optimisés pour le contenu (modèle i-Pod).
- Services mixtes et propriété de l'infrastructure (les services subventionnent l'infrastructure et le prix modéré de chaque session) de sorte que l'opérateur peut posséder une partie du contenu et/ou être un agrégateur de contenu, mais aussi revendre l'accès et la plate-forme d'acheminement de sa base d'abonnés à des partenaires propriétaires de contenu (un élargissement du modèle i-mode de DoCoMo). Il peut aussi donner accès à toute site Internet approprié.
- Une variante du modèle précédent est l'entrée sur le marché de grandes entreprises du secteur des médias, qu'il s'agisse de câblodiffuseurs ou de fournisseurs de contenu, ou de la communauté des FAI, tels Google, eBay, AOL ou Yahoo. À partir d'un accès mobile et de la téléphonie IP gratuite, ils offriront du contenu et des communications, en exploitant probablement une infrastructure tout-IP soit au travers d'un partenariat avec les propriétaires des infrastructures, soit en tirant parti des libertés de l'accès à l'Internet. Leur modèle économique peut être dissocié des recettes d'abonnement, mais sera fondé sur la publicité et différentes formes de commissions sur le commerce électronique, comme eBay.
- De nouveaux modèles émanant d'organismes dont l'exploitation de réseaux n'est pas l'activité fondamentale, les municipalités par exemple, destinés à stimuler l'économie locale; il se peut donc qu'ils ne comportent pas de recouvrement direct de recettes, mais seulement un recouvrement indirect par le biais des impôts locaux.

Deux éléments distinguent ces modèles économiques futurs des précédents :

- Le meilleur moyen de générer des recettes consistera à maximiser le nombre d'abonnements de coût très modique plutôt que le chiffre d'affaire maximal par abonné<sup>70</sup>.
- Pour dégager des marges, il faudra mettre en place des opérations rationnelles dans l'optique d'une tarification fondée sur les coûts – autrement dit, comprendre la structure des coûts permettant de dégager des marges très étroites par abonné. C'est là un enjeu majeur pour les opérateurs traditionnels.

### **Les futurs modèles économiques des équipementiers**

Avec l'évolution de l'infrastructure, les modèles économiques des équipementiers évolueront de la façon suivante :

- Des modèles du secteur logiciel, mais fondés sur l'utilisation de logiciels libres.
- Une orientation beaucoup plus prononcée sur la conception et les consommateurs faisant appel à des études socio-économiques des nouvelles utilisations pour détecter rapidement les nouvelles demandes, modes et tendances et les incorporer dans des procédures opérationnelles beaucoup plus systématiques d'innovation et de R-D, comme ont commencé à le faire les fabricants de terminaux (Motorola et Samsung en particulier). En matière de conception, la simplicité et la facilité d'utilisation seront privilégiées, les utilisateurs étant de plus en plus perplexes face à la complexité d'une offre de services très diversifiée (le syndrome du magnétoscope coréen).
- Une fabrication très bon marché, résultant de ce qui précède, pour produire des réseaux et dispositifs faciles à utiliser et perfectionnés pour le marché de masse.

### **Conclusion**

La conclusion est assez brutale. De nouvelles infrastructures susciteront l'apparition de nouveaux modèles économiques. Elles rendront les modèles en vigueur insoutenables. Les opérateurs actuels devront donc s'adapter ou faire faillite.

## **6. Effets de substitution des télécommunications et effets secondaires**

### **Identification des mécanismes de télécommunications**

Les télécommunications peuvent remplacer d'autres éléments d'infrastructure par le biais d'une offre de services convenablement tarifés. La

visioconférence peut ainsi suppléer à un déplacement pour une réunion. Nous examinons ici l'importance de cet aspect en termes d'investissement dans d'autres catégories d'infrastructure, et évaluons dans quelle mesure cette évolution peut se produire dans les pays de l'OCDE et dans les PNI d'ici à 2030.

Nous nous penchons également sur les effets secondaires du recours aux télécommunications à la place d'autres types d'infrastructure. Elles pourraient par exemple encourager le télétravail et la migration vers les zones rurales, ce qui aurait des effets annexes sur d'autres infrastructures comme la distribution d'électricité.

Globalement, les télécommunications peuvent produire des économies, en termes de budget et d'efficacité, dans deux cas :

A) Quand elles peuvent remplacer l'infrastructure physique :

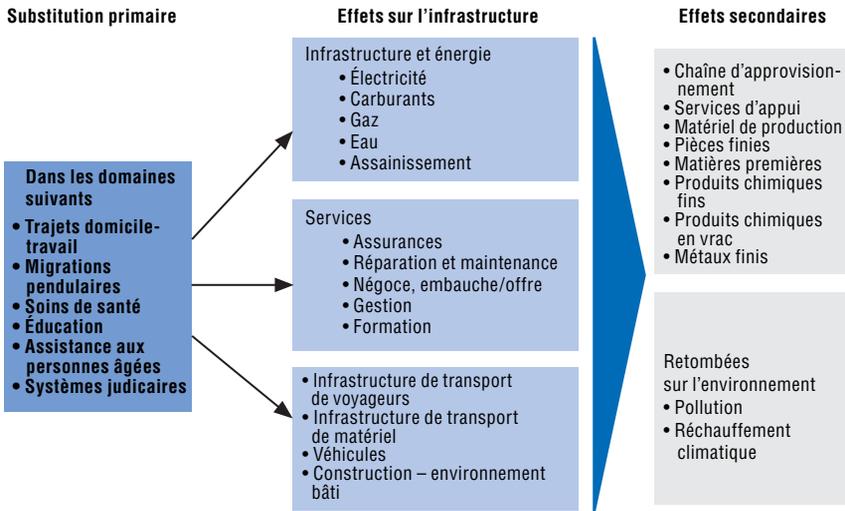
- Diminution de l'utilisation des transports, publics et privés, et des besoins dans ce domaine.
- Tassement de la demande d'extension du réseau routier.
- Fléchissement de la demande d'aéroports, d'infrastructure au sol, de vols et d'expansion du contrôle du trafic aérien.
- Repli de la consommation d'hydrocarbures et des besoins en matière de réseaux de distribution associés, et réduction consécutive de la pollution, directe et indirecte.
- Redistribution de l'utilisation des sols, qui atténuera la concentration urbaine et les demandes connexes en matière de transport et d'aménagement des sols.

B) Quand elles peuvent compléter ou élargir les services d'infrastructure :

- Recul des dépenses de santé et de soins aux personnes âgées, mais amélioration parallèle de la qualité.
- Élargissement de la couverture pédagogique en termes de distance, d'âge, de diversité de matières et de matériel éducatif, pour des dépenses identiques.
- Amélioration des services d'urgence en termes d'efficacité et de coûts.

Il va de soi que cette utilisation des télécommunications ne diminuera pas les dépenses dans toutes les catégories d'infrastructure. Dans la pratique, elle les diminuera dans certains domaines et pourrait élargir la portée de celles consacrées aux services d'infrastructure, ou les réduire. Dans certains cas, elle pourrait toutefois intensifier la demande d'infrastructure, par exemple en augmentant la productivité et en encourageant de nouvelles activités. Le graphique 2.24 résume les effets de substitution et les effets secondaires des télécommunications sur les autres éléments de l'infrastructure.

Graphique 2.24. **Branches essentielles de l'arbre de pertinence**



### **Retombées de la mobilité électronique sur l'habitat et le lieu de travail**

#### **Délocalisation – Les télécommunications facilitent le remplacement des travailleurs par une main-d'œuvre moins coûteuse**

L'implantation des lieux d'emploi est en grande partie déterminée par la présence d'un réservoir de main d'œuvre dotée des compétences nécessaires. Pareillement, les travailleurs doivent vivre dans des endroits assez proches de leur lieu de travail. Ces deux facteurs définissent aujourd'hui la localisation de l'habitat et de l'emploi dans le secteur des services et dans le secteur manufacturier, les migrants journaliers se déplaçant des banlieues vers le centre ville ou d'une banlieue à l'autre. Néanmoins, les télécommunications permettent aux entreprises d'établir plus facilement leurs activités ailleurs de manière à tirer avantage de la main d'œuvre qualifiée, soit dans des régions où il en existe des réservoirs inexploités, soit à l'étranger. La délocalisation, ou l'externalisation internationale de services de soutien aux entreprises s'appuyant sur les TI et les TIC, marque une évolution récente dans la mondialisation des secteurs des services. Rendue possible par les télécommunications, elle offre une solution à la nécessaire réduction des coûts ou à la pénurie de qualifications dans le contexte d'une concurrence mondiale.

Quand une entreprise installe ses activités dans un endroit où les coûts sont plus bas, ses concurrents sont contraints de lui emboîter le pas. Les progrès des TIC favorisent l'externalisation à l'échelle mondiale. En particulier, les « activités de savoir », telles que la saisie de données, les services de traitement de l'information, de recherche et de conseil peuvent être facilement effectuées par Internet et par courrier électronique, ainsi que

par téléconférence et visioconférence. Ces dernières années, on a assisté à une externalisation croissante de certaines activités, comme les centres d'appel. En un sens, il ne s'agit pas là d'une substitution, mais plutôt d'un déplacement : l'exportation des emplois se traduit dans la réalité par une exportation des besoins d'infrastructure – bureaux, logements, routes, etc.

On ne dispose pas de données officielles sur la délocalisation, mais le tableau 2.16 ci-dessous illustre l'ampleur de ses retombées sur l'économie américaine :

**Tableau 2.16. Estimations et projections du nombre d'emplois perdus dans l'ensemble des secteurs par suite des délocalisations aux États-Unis**

Pertes d'emplois estimées à ce jour	Pertes d'emploi projetées	Emplois susceptibles d'être touchés (estimations)
300 000-995 000	3.3 millions-6 millions	14.1 millions
300 000-500 000 ( <i>Goldman Sachs</i> )	3.3 millions sur 15 ans ( <i>Forrester Research</i> )	14.1 millions ( <i>UC Berkeley</i> )
400 000-500 000 ( <i>Business Week</i> )	6 millions sur 10 ans ( <i>Goldman Sachs</i> )	
995 000 ( <i>economy.com</i> )		

Note : La population active américaine compte 140 millions de personnes.

Source : OCDE, « Potential offshoring of ICT-intensive occupations », Groupe de travail sur l'économie de l'information, STI/ICCP/IE(2004)19/FINAL, 2005.

Les écarts appréciables entre ces chiffres témoignent de la difficulté à mesurer ce phénomène. Pour les contextualiser, il convient de se souvenir que 15 millions d'emplois environ disparaissent et sont créés chaque année aux États-Unis. Dans tous les cas, l'OCDE estime, à partir d'une analyse des chiffres de l'emploi par profession, que jusqu'à 20 % du nombre total d'emplois dans l'UE15, aux États-Unis, au Canada et en Australie pourraient être touchés par l'externalisation internationale des activités de services<sup>71</sup>. Bien entendu, cette tendance ne se maintiendra qu'aussi longtemps que des compétences seront disponibles à des salaires et autres coûts relativement modérés. Avec la délocalisation croissante des activités, un ajustement des salaires interviendra et le processus ralentira.

Cette évolution va stimuler la recherche de nouveaux lieux de délocalisation : pour l'Amérique du Nord, les pays des Caraïbes et d'Amérique latine présentent des possibilités, tandis que pour l'Europe, l'Europe de l'Est, mais aussi quelques pays africains, offrent les perspectives les plus favorables<sup>72</sup>. Nous verrons probablement surgir un réseau plus complexe de relations en vertu duquel les pays deviendront à la fois la source et la destination des services d'entreprise fondés sur les TIC. Le Canada en est un exemple, qui achète des services dans les pays où les coûts sont modérés et les revend aux États-Unis. Ainsi, à mesure que la chaîne de valeur s'allonge, nous devrions également voir le nombre d'intermédiaires augmenter pour faciliter le processus : courtiers,

conseillers, formateurs, agents chargés de rechercher des lieux d'implantation, recruteurs et responsables des établissements locaux. Certaines de ces fonctions seront basées dans le pays d'origine, d'où la complexité du nouveau système et la probabilité que les délocalisations seront de plus en plus souvent compensées par la création de nouvelles activités dans le pays d'origine.

Plus les entreprises gagnent en expérience dans la gestion des activités délocalisées, plus elles tendent à délocaliser des emplois plus qualifiés, essentiellement parce que les économies potentielles sur les salaires sont plus élevées. Les hôpitaux américains ont ainsi fait appel à des radiologues établis en Inde pour interpréter des radiographies, et Thomson Corporation à des juristes de Mumbai pour rédiger des synthèses de décisions judiciaires américaines. Cette tendance devrait persister.

### ***Le modèle d'utilisation de la propriété et ses conséquences sur l'emploi***

Le développement industriel s'est accompagné ces deux derniers siècles d'une expansion démographique, en chiffres absolus mais aussi sur le plan de la répartition. Les habitats ruraux et les bourgs et villages semi-ruraux tournés vers l'économie agricole ont cédé la place à la concentration urbaine fondée sur l'activité industrielle. C'est vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que les banlieues ont vraiment commencé à se développer dans les pays de l'OCDE, au Royaume-Uni par exemple; elles ont véritablement pris leur essor au XX<sup>e</sup> siècle, avec l'expansion du secteur des services. Les PNI sont encore dans la première phase de cette évolution : en Chine, dont l'économie rurale est largement tournée vers l'agriculture, 750 millions de personnes migrent vers les villes à la recherche d'emplois mieux rémunérés<sup>73</sup>.

Les progrès des télécommunications donnent déjà naissance dans les pays de l'OCDE à de nouveaux modèles d'utilisation des bureaux qui pourraient se généraliser. Le travail de bureau à domicile, par exemple, gagne du terrain – c'est le marché des professions libérales et télétravailleurs ; les bureaux traditionnels se transforment en centres de réunion et de communication, et sont de moins en moins des lieux de présence et de travail. La demande de bureaux pourrait donc évoluer au profit de sites d'accueil d'un coût minimal, situés à l'extérieur des villes, et de petits bureaux de prestige situés au centre-ville, éventuellement communs à plusieurs entreprises. Cette mutation aurait pour conséquence de réduire d'une part la construction de bureaux et de l'infrastructure connexe, d'autre part le nombre de trajets et la consommation d'énergie qui leur est associée.

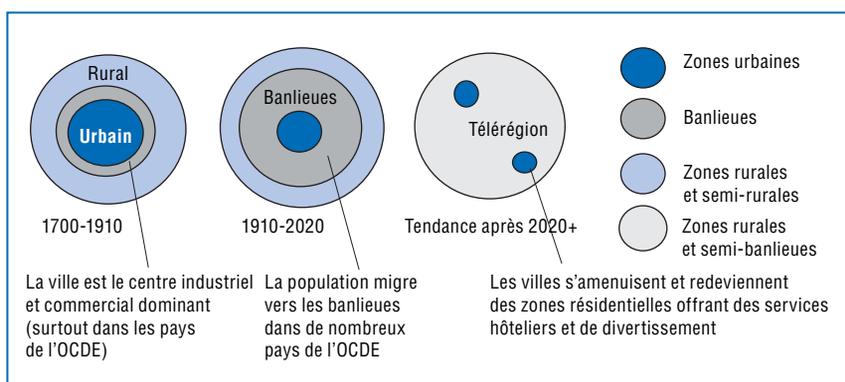
S'agissant de l'utilisation future des sols pour le logement, étant donné la hausse des prix, la concurrence mondiale incitera ceux qui peuvent travailler à distance (les travailleurs du savoir) à s'installer dans des régions auparavant dédaignées, où les prix sont plus bas et où la criminalité est plus faible, à la campagne ou dans les petites villes et villages. Les logements les plus éloignés

pourraient être occupés par les télétravailleurs à temps plein. Les télétravailleurs à temps partiel, qui se rendent sur leur lieu de travail une ou deux fois par semaine seulement, ne verront peut-être pas d'objection à effectuer des trajets plus longs, irréguliers, vers les villes ou les centres régionaux, et opteront donc probablement pour des propriétés moins coûteuses, situées au-delà des banlieues chères, mais à moins d'une heure de trajet de leur travail. Une troisième catégorie sera constituée de ceux qui travailleront depuis le télécottage d'une (ou de plusieurs) entreprise(s), dans un village éloigné, choisi pour ses aménagements collectifs et ses prix. Les logements seront évalués davantage en fonction de leur environnement et de l'utilisation pratique de l'espace que de leur proximité de la ville et des possibilités de transport, public et privé. La demande s'orientera donc probablement sur quatre profils de résidences, qui devront toutes disposer d'un espace de travail et se situer dans des zones à faible criminalité :

- Les villages et les petites villes où les prix sont modérés et qui sont dotés d'infrastructures de qualité, comme les écoles.
- Des demeures éloignées, probablement de grandes propriétés à bas prix, pour les télétravailleurs à plein-temps.
- Des logements situés au-delà des banlieues mais autorisant néanmoins des migrations pendulaires.
- Des villages où les prix sont modiques, offrant des propriétés à un coût négligeable pour créer des télécottages.

Cette dispersion géographique, ou surétalement urbain (comme dans le cas des « zones extra-urbaines » aux États-Unis), constitue en quelque sorte un retour aux réseaux de villages qui existaient avant la révolution industrielle. Elle se présente comme suit.

Graphique 2.25. **Dispersion des lieux de résidence et de travail induite par le télétravail et le téléachat**



Bien évidemment, la télérégion n'existera pas seule. Elle s'ajoutera vraisemblablement à l'ensemble de petites et grandes villes, de banlieues et de zones semi-rurales et rurales qui coexistent aujourd'hui. En fait, elle est déjà née dans des villages et petites villes tels que Breckenridge, dans le Colorado, Gordes, en France, ou Little Missenden au Royaume-Uni. Elle ne suppléera pas à l'étalement urbain de Los Angeles, ou à la pauvreté de Mumbai, mais pourrait quelque peu soulager les pressions.

Cette nouvelle configuration aurait pour effet d'augmenter les dépenses d'infrastructure du fait que les services nécessaires aux zones habitées, comme l'approvisionnement en eau, l'énergie de chauffage et de refroidissement et l'assainissement seraient plus dispersés, moins concentrés pour une population nombreuse. L'économie locale serait par ailleurs encouragée à fournir des services locaux, des produits locaux (du pain frais par exemple) et des services de distribution (achats au détail).

Quoi qu'il en soit, ces effets ne devraient pas jouer un rôle majeur, pour deux raisons. D'abord, le nombre de télétravailleurs ne devrait croître que lentement (comme nous le verrons en détail dans la partie suivante). Ensuite, il convient de se souvenir que les télécommunications et les TIC en général ont de tous temps favorisé l'urbanisation<sup>74</sup>.

Dans les pays en développement, le télétravail ne devrait pas altérer la tendance à l'urbanisation, excepté dans les endroits où des politiques particulières seront mises en place pour inciter les industries du savoir à s'implanter dans les petites villes et les villages. Ce serait là un moyen de favoriser l'emploi régional et local et de convertir une main-d'œuvre en grande partie agricole aux activités de savoir et aux services de soutien, tout en préservant la structure nationale des zones rurales. Une telle évolution exigerait soit des systèmes d'éducation locaux très développés, avec de nombreux établissements d'enseignement supérieur, soit la migration de travailleurs du savoir depuis les centres urbains. En Chine, au Brésil et en Inde, la tendance actuelle est plutôt à l'urbanisation, ce qui est beaucoup plus simple compte tenu de l'ampleur des populations concernées. Une solution pourrait consister à mettre en place un système d'enseignement à distance très perfectionné, mais en l'absence de programme d'envergure pour l'exécuter, ce projet ne paraît pas réalisable.

### **Transports : la mobilité électronique remplace la mobilité physique**

#### **Conséquences sur les trajets routiers**

À l'heure actuelle, le réseau routier de nombreux pays de l'OCDE et en développement est mis à rude épreuve. Le trafic intra-européen devrait augmenter de jusqu'à 140 % entre 1990 et 2015<sup>75</sup>. Aux États-Unis, on prévoyait 4 milliards de véhicules-heures de retard pour 2005. Il se peut que la capacité routière soit déjà insuffisante ou arrive à saturation, aux heures de pointe

notamment en raison de la circulation des automobiles particulières pour se rendre au travail. Le recours aux télécommunications dans le cadre du télétravail permettrait de réduire la circulation, de même que les dépenses destinées au développement de la capacité routière. En effet, on pourrait dans une certaine mesure éviter d'adapter la taille des routes au trafic des heures de pointe. L'effet de substitution des télécommunications pourrait aussi jouer en ce sens grâce à la généralisation du téléachat. Au total, le même degré de mobilité et de services pourrait généralement être offert, mais avec des budgets moins importants alloués à la construction de routes, et plutôt destinés à l'entretien et à l'amélioration des réseaux routiers existants qu'à leur expansion, à supposer que les encombrements diminuent.

Cette évolution influencerait aussi sur deux types de coûts associés pour la société en matière d'infrastructures de services : celui des accidents de la route et des pertes économiques connexes, dont la perte de production, et celui de la pollution, en termes de coûts des services de santé pour le traitement des troubles bronchiques, etc. Dans le cadre d'un modèle fondé sur le télétravail, il se pourrait que les accidents de la route pèsent moins sur le coût global de la santé, et sur le pourcentage de lits et de soins consacrés aux accidentés.

Cela dit, la diffusion du télétravail est lente dans les secteurs économiques fondés sur le savoir des pays de l'OCDE, et cette tendance devrait persister. Selon la International Telework Association, le nombre d'Américains actifs ayant travaillé à domicile, que ce soit une journée par an ou à temps complet, est passé de 41.3 millions en 2003 à 44.4 millions en 2004, soit une augmentation de 7.5 %<sup>76</sup>. Une autre enquête prévoit 51 millions de télétravailleurs aux États-Unis en 2008, dont 14 millions à temps plein<sup>77</sup>.

Par ailleurs, les études spécialisées débattent depuis plus de trente ans de la question de savoir si l'effet le plus important est celui de substitution ou de complémentarité, mais ne s'accordent pas sur ce point :

La plupart des données indiquent que lorsque la portée de l'enquête est assez large, les TIC ont pour effet net de générer davantage de communications, y compris de nouveaux déplacements. Cependant, même si l'on accepte l'idée que la complémentarité est la bonne réponse au plan qualitatif – ce que d'aucuns contesteraient – nous ne sommes pas encore capables de l'évaluer en termes quantitatifs<sup>78</sup>.

Il ressort des études que le télétravail à temps partiel est plus répandu que le télétravail à temps complet, 1.5 jour par semaine en moyenne. En général, les télétravailleurs rendent compte de temps de trajet (économisés) plus longs; autrement dit, les personnes qui optent pour le télétravail sont celles qui habitent plus loin de leur lieu de travail. Il se pourrait donc que le potentiel global de réduction du nombre de kilomètres parcourus et d'émissions polluantes soit surestimé (c'est-à-dire que les personnes vivant plus près de leur lieu de travail

n'opteront pas autant pour le télétravail que celles qui en sont plus éloignées, ce qui devrait être pris en compte dans toute estimation des effets agrégés). Si l'on examine l'ensemble des études réalisées, on remarquera que la plupart tablent généralement sur de faibles réductions des niveaux de trafic; en principe, le télétravail aurait pour seul effet d'atténuer la hausse prévue du trafic<sup>79</sup>.

Comme nous l'avons indiqué, les télécommunications pourraient aussi se substituer aux déplacements *via* la diffusion du téléachat, ce qui se traduirait par une diminution du trafic. Néanmoins, ce système augmenterait le nombre de trajets des véhicules de livraison entre les entrepôts et le domicile du client. La plupart des chercheurs prévoient que le commerce électronique occasionnera une hausse du trafic de marchandises, même si peu d'entre eux quantifient leurs prédictions. Quelques voix dissidentes estiment toutefois que l'amélioration de l'efficacité et de la productivité due aux TIC se traduira par une stabilisation ou une réduction du nombre de véhicules sur la route. Il n'existe pas de consensus quant à l'effet du commerce électronique sur le trafic privé. Les études ont analysé différents scénarios, comportant des modèles économiques et logistiques divers; certaines ont conclu à une hausse du trafic global, d'autres à une diminution<sup>80</sup>.

Il se pourrait en outre que les technologies de télécommunications de pointe offrent un moyen de gérer les encombrements. L'introduction des péages de congestion à Londres a diminué les embouteillages, et ainsi soulagé les pressions sur l'infrastructure routière.

### ***Les transports publics demeureront nécessaires, mais la mobilité individuelle aussi***

Les transports publics resteront un poste important des subventions publiques en 2030 dans la mesure où ils devraient conserver leur rôle central dans l'infrastructure de transport de la plupart des pays de l'OCDE. Comme expliqué plus haut, le télétravail pourrait légèrement alléger la charge des transports publics, surtout pendant les heures de pointe. À long terme, l'utilisation des télécommunications visera davantage à modifier les transports publics de manière à les individualiser, à en accroître la sûreté, le confort et la commodité, et à améliorer la mobilité des usagers. On pourra par exemple y faire appel pour commander des transports de porte à porte en autobus, éventuellement en combinaison avec le train et des taxis, selon des itinéraires correspondant à ceux des passagers.

### ***Conséquences de la substitution des télécommunications au transport aérien sur l'infrastructure***

Comme pour le télétravail, on a longtemps fait valoir que la visioconférence et l'audioconférence se substitueraient en partie aux voyages d'affaires, de courte

ou longue durée. Les prévisions initiales laissaient entendre qu'elles pourraient en remplacer un pourcentage substantiel, mais ces prédictions se sont révélées excessivement optimistes. Il est aujourd'hui reconnu que plutôt que de suppléer aux voyages, la visioconférence complète les schémas de transport. En d'autres termes, si elle remplace en partie les voyages d'affaires par avion, la hausse des gains d'efficacité et de productivité dérivant des technologies de communication se traduit par des voyages aériens supplémentaires, ce qui contrebalance en partie ou en totalité les déplacements remplacés<sup>81</sup>.

Une étude récente conclut que la visioconférence n'a que des retombées limitées sur les voyages d'affaires par avion, les taux de substitution se situant entre 2,5 % et 3,5 %<sup>82</sup>. Une analyse de la téléconférence signalait qu'à plus long terme, celle-ci pourrait remplacer jusqu'à 15 % des voyages d'affaires<sup>83</sup>. Un examen conduit par Apogee Research sous l'égide de la FAA indique un taux de substitution minimal de 3 %, et maximal de 11 %, tandis qu'une étude réalisée par Arthur D. Little pour l'aéroport international Logan de Boston propose des taux compris entre 13 % et 23 %. Transport Canada s'appuie sur l'ensemble de ces travaux pour proposer un taux de substitution de 6 %.

Le recours à la visioconférence sur ordinateur *via* Internet (au moyen de caméras numériques) à domicile, au bureau, ou n'importe où (avec la vidéo mobile) pourrait améliorer le taux de pénétration, ce qui aurait pour effet de limiter l'expansion de l'infrastructure aéroportuaire. Sous la pression des prix du pétrole, des encombrements et, éventuellement, de la pollution, il se pourrait bien que les plus grands PNI fassent appel dès maintenant, et de manière croissante jusqu'à 2030, à la téléconférence, audio et vidéo, pour remplacer les voyages d'affaires par avion – et atteindre éventuellement un taux de substitution de 10 %.

### ***Effets secondaires dérivant du remplacement des voyages***

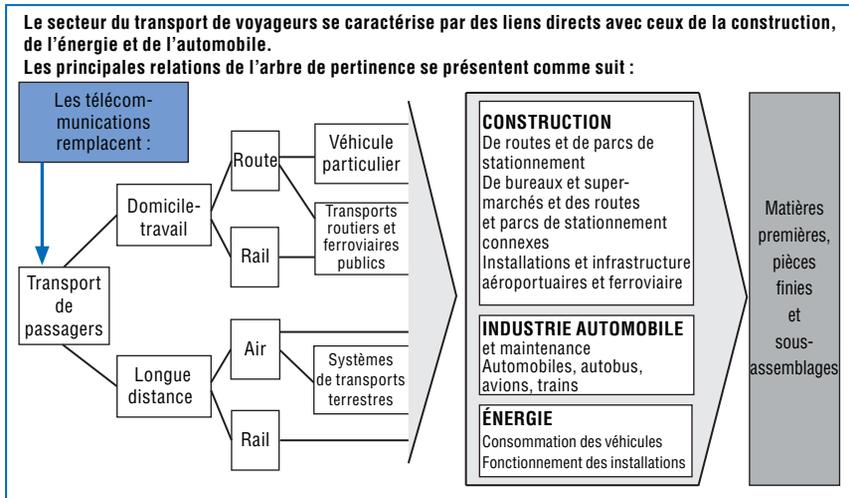
Quelle que soit l'ampleur de l'effet de substitution, des effets secondaires se manifesteraient sous forme de réductions dans les domaines suivants :

- Le milieu bâti, en termes de construction de bureaux (en tant que lieux de travail) et de magasins, ainsi que de routes, avec des effets indirects sur la demande de bâtiments, de matériaux, de pièces finies, de produits chimiques fins et en vrac et d'agrégats, de machines de construction, etc. On pourrait toutefois voir se développer le secteur des professions libérales et du télétravail.
- Le secteur manufacturier, en termes de véhicules et de pièces détachées, entraînant une baisse de la demande de produits finis tels que l'acier et des matières premières nécessaires à leur fabrication.
- Le secteur des services qui soutient les secteurs de la construction automobile et de toutes sortes de construction, depuis les services de planification et d'assurance jusqu'au services d'assistance routière.

Le remplacement des voyages a donc des liens directs avec la construction, la consommation d'énergie et la construction de véhicules, et des effets indirects sur leur chaîne d'approvisionnement et leurs services de soutien (comme l'embauche dans le secteur des machines de construction), ainsi que sur l'assiette fiscale, par exemple en termes d'impôts fonciers. S'ensuivrait une réduction de la chaîne d'approvisionnement nécessaire et de sa propre infrastructure (par exemple, une consommation plus faible de carburants et de matériaux diminuerait la demande de tonnage et de ports, renversant la tendance actuelle à une pénurie mondiale de tonnage.

Nous illustrons ci-dessous ces chaînes causales d'effets secondaires par un arbre de pertinence<sup>84</sup>.

Graphique 2.26. **Arbre de pertinence pour le trafic voyageurs**



### **Les conséquences de la mobilité électronique sur la consommation d'énergie**

Les économies sur le coût des transports dérivant du télétravail comprennent les frais de carburant pour :

- Le transport routier privé – les trajets en automobile pour se rendre au travail ou effectuer des achats ordinaires.
- Le transport aérien, pour les voyages d'affaires.

Il convient toutefois de tenir compte de la hausse éventuelle de la consommation de carburant pour faire face :

- Au développement du transport routier et ferroviaire pour assurer l'acheminement des passagers, des marchandises, des services et de

l'infrastructure vers des sites plus reculés dans le cas où le télétravail amènerait une certaine inversion du mouvement d'urbanisation et de périurbanisation, les résidences se situant alors dans des zones moins bien desservies par les transports.

- L'augmentation du trafic de livraison des achats effectués par voie électronique; l'un dans l'autre, la consommation de carburant devrait diminuer dans la mesure où le nombre de kilomètres parcourus pour effectuer des achats serait inférieur.

Les conséquences ne devraient donc pas être considérables. Quoi qu'il en soit, il faudra probablement moderniser et/ou développer l'infrastructure de distribution des diverses sources d'énergie associées aux logements de manière à l'élargir aux habitants des zones situées au-delà des centres urbains.

- *Électricité* – un réseau de distribution légèrement plus étoffé serait nécessaire pour répondre aux besoins du télétravail – il conviendra de procéder à un réexamen mineur de l'infrastructure et, éventuellement, à des réimplantations ou à une augmentation de la capacité de génération pour la population vivant à l'écart des centres urbains et en périphérie. L'adoption de moyens de production d'énergie locaux plus innovants (éolien, solaire, énergie des vagues) pourrait être beaucoup plus importante que prévu compte tenu de la dispersion des populations et des pressions en faveur d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les réseaux de télécommunications distants doivent être alimentés, et des solutions novatrices voient le jour, comme les bornes émettrices-réceptrices extérieures WiFi et WiMax alimentées par énergie solaire, qui font aussi fonctionner les liaisons de raccordement en hyperfréquences. L'évolution globale vers une diminution de la puissance dans les technologies radiomobiles et les autres technologies hertziennes se traduira par une réduction globale de la consommation d'énergie lorsqu'elle aura atteint une ampleur suffisante<sup>85</sup>.
- Certaines entreprises d'électricité envisagent par ailleurs de réexaminer l'utilisation de la signalisation sur courant porteur en ligne pour assurer des communications aux collectivités urbaines, périurbaines et rurales. Il serait ainsi possible d'établir une connexion à large bande partout où il existe une ligne de transport d'énergie. Des expériences de transmission à destination des résidences ou des bureaux sont en cours depuis plusieurs années, dont certaines établissent une liaison de raccordement depuis la sous-station électrique locale au moyen des nouvelles technologies hertziennes ou des câbles haute tension équipés de fibres optiques.
- *Gaz et autres combustibles de chauffage* – pour faire face aux conséquences du télétravail, il conviendrait de moderniser le réseau de stockage et de

distribution du gaz partout où il est économiquement viable de le transporter par le réseau de canalisations. Pour les communautés dispersées, cela ne sera peut-être jamais le cas; il faudra donc recourir à d'autres énergies de chauffage (mazout domestique, électricité), ce qui augmentera d'autant la demande d'infrastructure dans ces secteurs.

- *Eau, assainissement et évacuation des eaux usées* – La couverture du réseau d'infrastructures d'approvisionnement en eau, d'assainissement et d'évacuation des eaux usées devra vraisemblablement être développée pour les environnements éloignés.

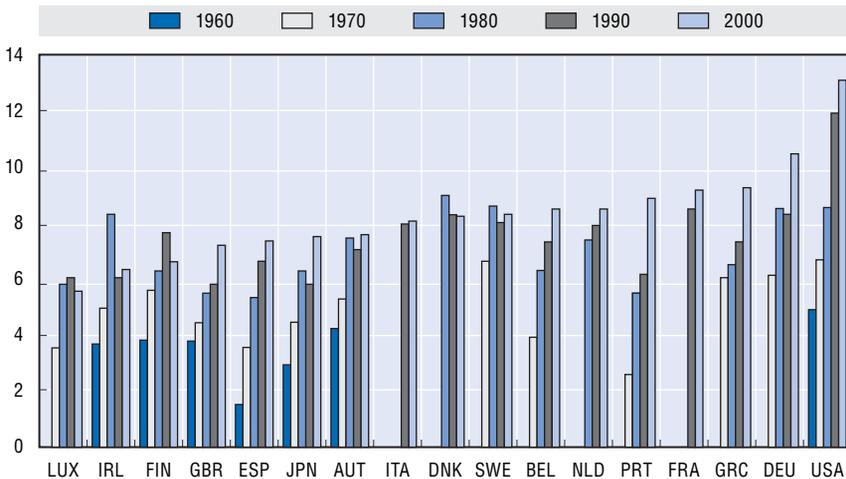
**Les télécommunications destinées aux services d'infrastructure**

Depuis une dizaine d'années, les télécommunications sont présentées comme un progrès pour les services d'infrastructure, à savoir les soins médicaux, l'assistance aux personnes âgées dans des sociétés vieillissantes, l'éducation et la justice.

**Systèmes de santé et télémédecine**

En quarante ans, les dépenses totales de santé en pourcentage du PIB ont sensiblement augmenté pour atteindre un taux médian de 8 % dans les pays de l'OCDE, comme illustré ci-dessous, mais de plus de 12 % du PIB aux États-Unis<sup>86</sup>.

Graphique 2.27. **Dépenses totales de santé en pourcentage du PIB**



Source : OCDE, 2003.

Les systèmes actuels sont confrontés aux problèmes de la forte inflation du coût des traitements, de la pénurie de personnel qualifié qui entraîne une

dégradation de la qualité des soins, et des défis posés par certaines évolutions médicales : les troubles cardiovasculaires et le vieillissement démographique.

- *Économies réalisées grâce à la télémédecine en matière d'assurance-maladie et de gestion* – l'intégration électronique des différentes procédures de gestion et de paiement à une nouvelle structure du secteur de la santé. Il s'agit d'intégrer étroitement l'ensemble des intervenants dans une nouvelle structure de dossiers médicaux et de paiements réciproques, de sorte que les économies interviendraient d'abord dans les opérations non cliniques, à savoir les systèmes de soutien, d'assurance médicale et de paiement. Dans le cas du modèle américain, elles représenteraient peut-être 5 % du total des coûts, soit près de 40 milliards USD pour les États-Unis. Dans ce pays, les réseaux de soins coordonnés et les dispositifs analogues pourraient être remplacés par un marché électronique des soins de santé qui permettrait aux particuliers et aux organismes (employeurs, compagnies d'assurance ou fonds de pension) de conclure directement des contrats de services, de longue durée ou ponctuels.
- *Économies réalisées grâce à la télémédecine en matière de traitements cliniques* – les progrès dans l'utilisation de la télémédecine devraient améliorer la santé sur le plan clinique, d'autant qu'elle permettra de dispenser des soins à l'étranger et que les pays pauvres pourront obtenir pour un coût modique des consultations à distance. La question essentielle consiste donc à évaluer les effets de l'amélioration de l'état de santé sur l'économie nationale. Ces effets sont doubles :
- *Économies réalisées sur les budgets nationaux*, puisque moins de dépenses devront être consacrées à la mise en place d'un système de santé viable, auxquelles s'ajoutent les gains de productivité.
- *Diminution du nombre de journées de travail perdues pour l'économie et des coûts d'indemnisation pour les assurances.*

La télémédecine permettra-t-elle de mettre en place un modèle moins coûteux et, dans l'affirmative, dans quels domaines ? Elle promet des progrès dans sept branches :

- *La diffusion de l'expertise médicale au plan national et international, accompagnée d'une amélioration en termes de qualité et de coûts.* Elle permet d'évaluer précisément la gravité des maladies, qu'un personnel non spécialisé ne peut souvent pas déterminer. Par exemple, une liaison vidéo bidirectionnelle entre Atlanta et Saint-Petersbourg (Russie) a permis à des médecins américains de conseiller des chirurgiens russes. Les équipements ont été fournis par UNM (United Medicine Network), un réseau de visioconférence en direct créé pour la télémédecine mondiale. En France, un groupe de six spécialistes examine en un après-midi le cas de patients atteints de maladies dermatologiques particulières dans tout le pays, de

sorte que les patients obtiennent six avis médicaux, au lieu d'un, grâce à des liaisons vidéo, et que le traitement fait l'objet d'une décision consensuelle.

- *La rapidité des soins essentiels dispensés par un spécialiste, le cas échéant, en cas d'urgence, avec possibilité pour les médecins locaux d'obtenir l'avis d'un expert physiquement absent.* Ainsi, quand un enfant de trois ans est tombé d'un réfrigérateur, chute qui a provoqué une blessure ouverte et profonde sans saignement, un spécialiste en néphrologie a été consulté à distance. Celui-ci a effectué un examen vidéo interactif à la clinique locale et jugé qu'il n'y avait pas de danger à transporter l'enfant pour l'intervention chirurgicale requise (source : American Telemedicine Association).
- *La possibilité pour les patients de ne pas se déplacer pour subir un traitement, de sauver des vies, de diminuer les coûts et de conserver des lits dans les hôpitaux reculés.* La télémédecine peut aussi accroître l'efficacité du personnel médical en lui évitant de se déplacer : il peut travailler depuis l'endroit qui lui convient et s'occuper d'un plus grand nombre de patients dans un délai donné. En termes de sécurité sanitaire, la télémédecine offre l'isolement nécessaire aux cas de quarantaine et pour les institutions psychiatriques éloignées.
- *Soins hospitaliers à domicile pour les personnes malades, âgées et infirmes, avec surveillance et conseils en matière d'automédication, etc., le cas échéant, ou conseils aux auxiliaires locaux présents sur place, avec suivi au moyen de systèmes d'alarmes et de vidéo, éventuellement en conjugaison avec les principes de la « maison intelligente ».* Cette évolution sera indispensable pour faire face au vieillissement de la population, les dépenses en soins de santé augmentant avec l'âge.

Tableau 2.17. **Le pourcentage des dépenses de santé des personnes âgées de plus de 65 ans augmente<sup>1</sup>**

	En pour cent	
	1980	2040
Suède	51	65
Belgique	22	30
	1990	2025
Japon	38	58

1. « Health for All in the 21st Century? », OECD Future Studies, Paris, mars 1994.

- *Enseignement ou orientation et formation à distance destinés au personnel médical, aux étudiants et aux patients ou aux personnes en traitement ou recevant des*

soins spéciaux, comme les femmes enceintes, ce qui élargira la portée de l'enseignement et évitera des déplacements.

- *Amélioration de l'efficacité, grâce à la gestion électronique de documents (GED)* pour les principaux frais généraux associés aux formalités hospitalières (publiques et privées) des patients, surtout en matière d'assurance-maladie et de paiements.
- *Commerce électronique et gestion de la chaîne d'approvisionnement (échange électronique d'informations médicales) pour la commande de fournitures*, se traduisant par un contrôle perfectionné des stocks, ainsi que des économies en capital et une diminution des risques de sécurité associés aux stocks de médicaments. Par ailleurs, un marché électronique mondial du médicament pourrait amener une baisse des prix, d'autant que les achats en gros avec comparaison des prix mondiaux s'universaliseront.
- *Création d'un système intégré unique de soins de santé*, en vertu duquel toutes les catégories d'opérateurs médicaux en faisant partie ont accès aux dossiers des patients, aux informations relatives à l'assurance-maladie et aux paiements, et à des renseignements tels que les rapports de laboratoires, les admissions, le nombre de lits libres, etc. dans un cadre sécurisé et agréé. La télémédecine peut mettre les médecins généralistes, les dispensaires, les foyers pour personnes âgées, les hôpitaux et les spécialistes extérieurs en contact avec les patients ambulatoires (chez eux) et les ambulances en déplacement.
- Apparemment, c'est dans les pays de l'OCDE – lesquels, compte tenu de la charge excessive pesant sur leurs budgets de santé, cherchent à assurer des soins de meilleure qualité à moindre coût – que la télémédecine produira les économies les plus élevées. Cela dit, c'est peut-être dans les pays où les infrastructures de santé sont insuffisantes ou surchargées, autrement dit les PNI, qu'elle trouvera ses applications essentielles. Une étude conduite dans le nord-ouest de la Russie décrit cette situation<sup>87</sup>. Elle a conclu que grâce aux consultations à distance, il était possible de réduire de moitié les dépenses de traitement en milieu hospitalier, en diminuant la durée des traitements et en faisant appel à de petits hôpitaux locaux équipés de liaisons de télémédecine avec les centres spécialisés. Pour obtenir de tels résultats, les centres régionaux doivent disposer d'un personnel beaucoup plus compétent, doté d'une expertise dont est dépourvu le personnel des centres de soins locaux et provinciaux du nord-ouest de la Russie.

### **Assistance aux personnes âgées**

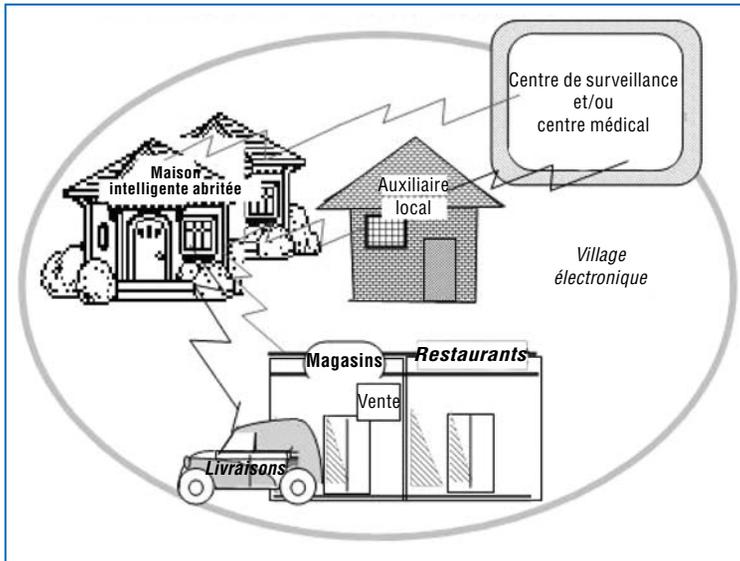
Nous vieillissons. Dans les pays développés, la population âgée de plus de 60 ans est passée de 99 millions de personnes en 1950 à 248 millions en 2000, et devrait atteindre 298 millions en 2050. Entre 2000 et 2050, la population de

plus de 50 ans augmentera 68 fois plus vite que l'ensemble de la population<sup>88</sup>. Aux États-Unis, la population de plus de 65 ans devrait croître de 13 % de la population totale en 2010 à près de 20 % en 2030<sup>89</sup>. En 2020, le nombre d'Américains de plus de 85 ans aura plus que doublé pour atteindre 6.4 millions de personnes, et la tranche d'âge des 65 à 84 ans aura quasiment doublé pour atteindre 47.1 millions<sup>90</sup>.

Bon nombre de personnes âgées et fragiles réclameront des soins intensifs et devront être intégrées à un environnement de soins approprié, mais un pourcentage considérable d'entre elles pourrait recevoir une assistance à domicile, qui serait moins coûteuse et les rendrait plus heureuses, si les trois innovations suivantes étaient en place :

- La « maison intelligente » où les portes, les alarmes, les rideaux, le chauffage central, la lumière, etc. sont actionnés par télécommande, et qui est équipée de téléalarmes et d'alarmes de détection des intrusions, des événements anormaux et des accidents. Ce concept n'est pas nouveau, mais il a été perfectionné pour les personnes âgées. Dans le cas des télésoins à domicile, il comporterait un système de surveillance vidéo passive 24 h/24 de la personne depuis un centre éloigné afin de vérifier que tout va bien, de surveiller ses signes vitaux et ses activités ordinaires. Ce dispositif ferait appel à des liaisons télévisuelles directes avec la maison intelligente, probablement *via* les nouvelles technologies hertziennes, comme le WiFi ou le WiMax, dotées de fonctions de plein écran ou de balayage lent.
- Services de restauration à domicile et de téléachat : les restaurants locaux proposent des menus *via* une connexion Internet, ce qui stimule l'emploi dans le secteur de la restauration et des services de livraison privés chargés de livrer les repas à domicile.
- Certains pays appliquent le principe de l'assistant ou auxiliaire local rémunéré de manière à développer l'emploi tout en fournissant des soins. En principe, un auxiliaire local est rémunéré pour un emploi à mi-temps qui consiste à apporter une assistance de première nécessité : il aide les personnes à se déplacer et à se soulever, effectue des tâches ménagères et intervient en cas d'alarme, par exemple dans le cas où une fenêtre ou une porte est restée ouverte, ou quant un problème de santé intervient et qu'il peut arriver sur place le premier. Pour cela, il faut que l'auxiliaire, de même que le centre de surveillance central, soient connectés à des alarmes de télésurveillance et au système de vidéosurveillance (par un terminal cellulaire mobile ou faisant appel à une autre technologie hertzienne).

Graphique 2.28. **Assistance à domicile aux personnes âgées et fragiles au moyen des télécommunications**



## Éducation

L'éducation et l'apprentissage tout au long de la vie sont des éléments stratégiques du développement de notre économie à l'avenir. Ce principe est de plus en plus admis, dans les pays développés comme dans les pays en développement. Dans les pays de l'OCDE, le niveau de formation de la population adulte continue de progresser, un nombre grandissant de jeunes obtenant des diplômes secondaires. Dans l'enseignement supérieur, les progrès sont plus contrastés, bien que le nombre total de diplômés augmente. Les taux d'obtention d'un diplôme varient de moins de 20 % en Autriche, en République tchèque, en Allemagne et en Turquie à plus de 40 % en Australie, au Danemark, en Finlande, en Islande et en Pologne.

Ainsi, pour augmenter les taux de participation et d'obtention d'un diplôme, les systèmes éducatifs doivent, avec des crédits en baisse, développer l'offre d'enseignement pour un nombre supérieur d'étudiants et d'élèves. Or, dans la plupart des économies de l'OCDE, il leur faut de plus en plus assurer un apprentissage tout au long de la vie, de nouveaux types de cours moins formels, et des environnements pédagogiques de meilleure qualité. Outre le fait que la plupart des établissements d'enseignement sont soumis à une pression économique, l'enseignement, de manière générale, évolue, d'un système d'apprentissage par mémorisation vers la création

d'environnements pédagogiques individualisés, adaptés au rythme de chaque étudiant afin de dispenser un enseignement plus approfondi et intéressant.

*Formation* – À l'heure actuelle, les dépenses en formation sont limitées parce que trop peu d'entreprises sont conscientes de la nécessité d'investir dans ce domaine. À l'avenir, la mise à jour permanente des connaissances sera la règle; il faudra probablement compter deux semaines de formation par an au moins, soit 4 % de perte directe de productivité, sans compter le temps de déplacement, en cas de stages intensifs à temps complet. La téléformation continue pourrait réduire au moins de moitié les coûts associés à la perte directe de productivité en répartissant le temps de formation sur l'ensemble de l'année et en permettant d'éviter les déplacements.

*Téléenseignement* – Les télécommunications peuvent améliorer les services pédagogiques courants grâce au téléenseignement. Elles offrent un accès instantané nettement moins onéreux à toutes les formes d'éducation alors que la demande d'enseignement supérieur ne cesse d'augmenter. Tout comme le lien entre le niveau d'éducation et le salaire individuel devient plus manifeste, l'écart de salaires entre le personnel qualifié et sous-qualifié apparaîtra plus clairement<sup>91</sup>. Il est de plus en plus patent que les solutions classiques n'apporteront pas les résultats souhaités. Le recrutement de personnel supplémentaire et la construction de nouveaux établissements ne répondront pas aux besoins, et sont insoutenables sur le plan financier. Une réévaluation fondamentale de l'enseignement et de l'éducation s'impose, surtout dans l'enseignement supérieur; c'est la conclusion essentielle qui ressort des études et d'autres sources telles que la base de données du programme de l'OCDE sur l'avenir.

Composantes des futurs environnements pédagogiques :

- Enseignement par visioconférence interactive et en mode de diffusion individuelle.
- Consultation et diffusion des documents et messagerie *via* Internet.
- Documents et matériel didactique multimédias interactifs.
- Enseignement assisté par ordinateur (d'un modèle plus avancé que celui des années 80).
- Bases de documents dotées d'une capacité permettant de nombreuses connexions simultanées au réseau.

Tous ces éléments sont envisagés pour satisfaire aux besoins des quatre grands domaines de la « filière » éducation :

- Le processus éducatif.
- Le matériel pédagogique.
- L'accès au matériel pédagogique.

- La gestion de la structure de soutien.

Deux grands progrès sont envisageables, qui modifient le processus fondamental :

- *Visioconférence interactive* – pour le téléenseignement, afin de partager les enseignants, les formateurs et les cours, et d'atteindre les étudiants et les élèves éloignés; ce système est en grande partie applicable à l'enseignement supérieur, mais les programmes en réseau sur l'Internet ont donné d'excellents résultats dans les écoles secondaires. Une autre nouveauté est l'utilisation de la télévision, qui s'est avérée très probante dans les cours de l'Open University au Royaume-Uni.
- *Observation et apprentissage par l'ordinateur* – applicable dans l'enseignement primaire et secondaire, ainsi que dans l'enseignement supérieur; cette méthode connaît un développement considérable grâce à des expériences qui renoncent au mode d'enseignement par questions et réponses pour des méthodes pédagogiques plus diversifiées faisant appel à un environnement interactif ainsi qu'à des fonctions de création, de consultation et d'archivage de documents. Par exemple, le projet MUSE du Centre for Educational Computing Initiatives (CECI) du MIT a mis au point un manuel interactif constitué de documents multimédia pour les étudiants d'espagnol et de français.

### **Systemes judiciaires pénaux**

Sous l'effet de la hausse du chômage et de la dégradation de la situation sociale, la criminalité progresse dans la plupart des pays de l'OCDE. Dans ces circonstances, les coûts de la justice augmentent et obèrent son fonctionnement. Aux États-Unis, les coûts directs du maintien de l'ordre et de gardiennage ont plus que doublé en 25 ans pour atteindre 1.5 % du PIB. Pour inverser cette tendance et préserver de manière générale la sécurité publique par l'arrestation des criminels, leur condamnation, leur emprisonnement et leur réinsertion, il faudra probablement de plus en plus se tourner vers des dispositifs de substitution reposant sur les télécommunications de manière à maintenir un degré de sécurité élevé pour la population, à un coût économique et avec le minimum d'ingérence.

Cette démarche aura pour conséquence d'accroître le degré de sécurité et la liberté de circulation des citoyens et de diminuer les craintes d'agressions. Le développement des zones d'accès interdit, par exemple par l'utilisation de la vidéosurveillance dans le cadre des opérations de maintien de l'ordre dans les sociétés américaine et française, aura pour effet de réduire la violence et les activités criminelles. Dans ces conditions, le PIB tendra généralement à augmenter, surtout pour les secteurs de la consommation qui sont tributaires du déplacement des clients (magasins, cinémas, restaurants, etc.). Les dégâts

matériels, les sinistres et les accidents diminueront pour les assurances, ce qui contribuera à la hausse du PIB.

Les systèmes judiciaires pénaux qui feraient appel à la téléjustice pourraient exploiter cette technologie dans le cadre de l'instruction, des consultations juridiques et des audiences, ce qui apporterait des avantages essentiels en termes d'infrastructure juridique :

- Économies sur les coûts – grâce à l'utilisation de la visioconférence dans diverses procédures judiciaires.
- Sécurité, sûreté et traumatisme des témoins – via l'utilisation de la visioconférence dans les tribunaux et les prisons.
- Efficience – diminution du nombre de centres de détention et d'incarcération temporaire.
- Amélioration de la justice – décisions plus faciles à suivre, justice plus transparente et plus rapide.

### **Résumé – Effets de substitution et effets secondaires sur les autres coûts d'infrastructure**

Bien que tous les effets ne soient pas d'ordre quantitatifs – il existe par exemple des aspects qualitatifs, comme la topologie de la distribution des travailleurs du savoir à l'extérieur des centres urbains et de la concentration périurbaine – nous tentons dans le tableau 2.18 de résumer les conséquences de cette dispersion et des modifications en termes de transport sur d'autres secteurs de l'infrastructure.

**Tableau 2.18. Modifications extrêmes aux infrastructures sous l'effet de substitution des télécommunications**

Élément d'infrastructure	Augmentation ou diminution de l'investissement	Première estimation du pourcentage d'augmentation (+) ou de diminution (-)
Transport routier	-	De -5 à -10 %
Transport aérien (d'affaires)	-	De -5 à -10 %
Carburant – automobile, transport aérien	-	-5 %
Soins de santé	-	-10 %
Éducation	- ou identique	De -5 à -10 %
Justice	-	-20 %
Distribution d'électricité	+	+5 %
Distribution de gaz	+	+5 %
Mazout de chauffage	+	+5 %
Distribution d'eau	+	+5 %
Assainissement	+	+5 %

## 7. Recommandations

- Les mesures réglementaires doivent viser à assurer une concurrence loyale et des conditions équitables dans les domaines des services et de la technologie, de sorte que les opérateurs dominants n'agissent pas à l'encontre du bien commun en protégeant leurs investissements à fonds perdus dans l'infrastructure. Les investissements à venir, c'est-à-dire ceux qui seront destinés aux réseaux tout-IP de la prochaine génération, devraient être effectués dans le même esprit de concurrence que celui qui a marqué la déréglementation des télécommunications au cours de la décennie écoulée. Le protectionnisme que l'administration publique accorde aujourd'hui aux réseaux d'accès DSL aux États-Unis et au Japon, et que l'Allemagne tente d'instaurer, en refusant d'effectuer le dégroupage et de partager les réseaux d'accès avec les concurrents, n'a pas lieu d'être ici. Cette technologie n'est que la prochaine phase de développement des réseaux. Il convient en outre de rejeter le principe selon lequel les opérateurs historiques peuvent taxer les portails Internet des tiers, les moteurs de recherche et les fournisseurs de contenu, au motif que la prestation de services de meilleure qualité à leurs abonnés finaux justifie les droits supplémentaires imposés à ces prestataires, comme se proposent de le faire Bell South et Verizon pour la boucle locale optique<sup>92</sup>.
- En l'absence d'une telle politique, l'économie de l'OCDE se laissera distancer par les autres économies nationales et régionales qui mettront en place des réseaux de télécommunications perfectionnés à moindre coût. Dans ces pays, le recours aux télécommunications se traduit par des économies sur les coûts généraux d'infrastructure (via les effets de substitution), et stimule l'économie par le biais de l'enseignement à distance, du commerce électronique, des soins de santé, de l'assistance aux personnes âgées, etc.
- Grâce à la concurrence, le « fossé numérique » – les disparités entre les privilégiés et les démunis dans la société, qui concernent jusqu'à l'accès aux services numériques – sera par ailleurs en grande partie comblé. Assurément, des mesures de soutien des pouvoirs publics seront éventuellement nécessaires, mais la libéralisation mentionnée plus haut devrait garantir l'entrée libre de nouveaux services à coût modique. Ainsi aux États-Unis, en France et au Royaume-Uni, les pouvoirs locaux profitent du faible coût des réseaux à large bande fondés sur les nouvelles technologies hertziennes pour fournir des connexions Internet gratuites ou à prix modique à leurs municipalités, souvent contre la volonté de l'opérateur historique (bien qu'aux États-Unis, l'administration locale ait mis un terme à cette pratique dans certains États). Cette liberté est

essentielle. Elle permet aux administrations municipales et régionales de stimuler l'économie locale.

- Les pouvoirs publics devraient résister à la tentation de dégager des gains financiers à court terme du spectre des fréquences et de ses licences; les fonds résultant des droits de licence élevés pour les services hertziens ne font que constituer un obstacle structurel à la concurrence et aux nouveaux services, et mettent une barrière à l'introduction de nouvelles technologies hertziennes. Ceux qui achètent les licences coûteuses sont ceux qui disposent de moyens considérables (les opérateurs historiques) et ont pour objectif de faire durer les flux de recettes actuels et d'empêcher l'implantation sur le marché de nouveaux opérateurs susceptibles de compromettre leur statut, voire de briser un oligopole confortable. Les opérateurs historiques n'ont guère intérêt à investir dans une technologie concurrente alors que leurs profits sont élevés et leur position sur le marché solide. Les marchés secondaires du spectre pourraient par ailleurs inciter les radiodiffuseurs à adopter rapidement la télévision terrestre numérique et à renoncer aux fréquences inutilisées, ce qui devrait poser un problème aux organismes de réglementation.
- La technologie mobile occupe une place essentielle; il convient donc d'encourager les opérateurs de nouvelles technologies hertziennes arrivant sur ce marché afin d'assurer une concurrence contre des opérateurs historiques inexpugnables. Il faut par conséquent avaliser la notion de patrimoine commun pour le spectre des fréquences destiné aux nouvelles technologies hertziennes, qui comportera beaucoup de bandes de fréquences larges sans licence. Cela permettra aux technologies, aux services et aux opérateurs nouveaux d'entrer sans obstacle sur le marché.
- Ne pas essayer de réglementer la téléphonie IP comme les autres systèmes téléphoniques – ceux qui la proposent sur le marché ne sont pas ceux qui ont intérêt à préserver le statu quo. Il faut lui appliquer le modèle de réglementation qui a permis à l'Internet de prospérer.
- Il convient d'intensifier les activités de recherche portant sur les nouvelles technologies hertziennes, notamment dans les domaines de la propagation, du partage du spectre et du traitement du signal numérique qui gouvernent leur mise en œuvre. Il serait utile que les gouvernements envisagent d'investir dans ce domaine, éventuellement à l'échelon régional (européen par exemple), dans le cadre d'un ou plusieurs institut(s) de recherche sur les réseaux hertziens.
- Des travaux doivent être consacrés à l'utilisation des nouvelles technologies hertziennes dans les situations d'urgence, les catastrophes naturelles notamment, par le déploiement de réseaux « instantanés ». Ces technologies

seront ensuite utilisées dans le secteur commercial. C'est là un sujet auquel le centre de recherches mentionné plus haut pourrait s'intéresser.

- De manière générale, il serait utile de réexaminer les investissements dans les réseaux filaires à large bande compte tenu de l'arrivée de nouveaux services hertziens. Encourager la technologie DSL filaire risque de porter préjudice à toutes les autres technologies.
- Il convient d'analyser les répercussions potentielles des dispositifs de substitution par les télécommunications et de procéder à d'autres recherches et études de faisabilité pour les appréhender sous l'angle de la planification de l'infrastructure future.

## Notes

1. Lars-Hendrik Roeller et Leonard Waverman, « Telecommunications Infrastructure and Economic Development: A Simultaneous Approach », *American Economic Review*, vol. 91, n° 4, 2001, pp. 909-23.
2. *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005, p. 118, tableaux 4 à 17, OCDE, Paris.
3. *Telecommunications and VoIP in the Americas: A Market Perspective on the Major Economies 2005-11*, Insight Research, NJ USA, [www.insight-corp.com/reports/NAVOIP.asp](http://www.insight-corp.com/reports/NAVOIP.asp).
4. Leonard Waverman, Meloria Mesch et Melvyn Fuss, « The Impact of Telecoms on Economic Growth in Developing Countries », étude financée par Vodafone et le Leverhulme Trust, février 2005.
5. Dominic Wilson, Roopa Purushothaman, *Dreaming with BRICs: The Path to 2050*, Goldman Sachs Global Economics Paper n° 99, 1<sup>er</sup> octobre 2003, sur [www.gs.com/insight/research/reports/99.pdf](http://www.gs.com/insight/research/reports/99.pdf).
6. M.D. Fagen, éd., *A History of the Engineering and Science in the Bell System: the Early Years (1875-1925)*, Bell Telephone Laboratories, New York, 1975.
7. *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005.
8. ITU, Economist Intelligence Unit, *The World in 2005, The Economist*.
9. Gerrit Weismann, « Deutsche Telekom Rivals up in Arms at Broadband Exemption », *Financial Times*, 14 novembre 2005; et Gerrit Weismann, et al., « D Telekom Plan Angers Brussels », *Financial Times*, 15 novembre 2005.
10. Ministry of Information Industry, *Fierce Wireless Bulletin*, 3 octobre 2005.
11. Economist Intelligence Unit, *The World in 2005, The Economist*.
12. *Fierce Wireless Bulletin*, 3 octobre 2005.
13. Economist Intelligence Unit, *The World in 2005, The Economist*.
14. La technologie DSL transporte les données en mode duplex intégral à des débits compris entre 100 kbit/s et 1 Mbit/s sur des paires de cuivre torsadées jusqu'aux installations de l'abonné, le débit dépendant des caractéristiques de propagation de la boucle locale, par exemple la distance depuis le central local et les techniques de traitement du signal des cartes de ligne.

15. Par exemple, en janvier 2006, au Royaume-Uni (le marché européen le plus développé en matière de navigation Internet mobile à ce moment-là), le téléchargement d'une piste sonore complète pour une chanson (2 à 3 mégaoctets) coûtait à un abonné au service à prépaiement de 7.50 GBP/mégaoctet chez Vodafone à 20 GBP/mégaoctet chez T-Mobile. Le téléchargement d'une seule chanson de 3 mégaoctets coûtait ainsi plus de 110 USD à l'abonné au service à prépaiement de T-Mobile. Maija Plamer, « Download Costs Price out Mobile Customers », *Financial Times*, 5 janvier 2006. Il semblerait donc qu'une concurrence plus vive s'impose pour que ces services prennent leur essor, les tarifs n'étant pas assez contestés sur les marchés actuels.
16. Milton L. Mueller, *Telecommunications Companies in Paradise: A Case Study in Telecommunications Deregulation*, Transaction Publishers, New Brunswick, USA, 1993.
17. *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005.
18. *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005.
19. Mark Odell, « Vodafone Hints at Japan Sale », *Financial Times*, 26 juillet 2005; Rapport annuel du groupe Vodafone, 31 mars 2005.
20. *Financial Times*, 19 octobre 2005, citant les propos de Sir Martin Sorrell, PDG de WPP, au sujet du marché de la publicité en Chine et des marchés mondiaux.
21. 3GPP UMTS – le projet de partenariat de troisième génération pour le système de télécommunications mobiles universelles, qui fait appel à la signalisation AMRC à bande élargie. Le 3GPP est l'instance qui a établi les normes 3G d'après la technologie cellulaire GSM.
22. Gordon Brown, « Why is it Make or Break for Europe in Social Reform », *Financial Times*, 13 octobre 2005.
23. Waverman, Meschi et Fuss, *op. cit.*
24. Michel Andrieu, « Long Term Trends in Demand for Infrastructure », OCDE, 3 septembre 2005; Rapport annuel des Nations Unies sur l'état de la population mondiale, 2002.
25. Andrieu, *op. cit.*
26. EC European Energy and Transport Trends to 2030, Commission européenne/ Direction générale de l'énergie et des transports, 2003.
27. *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005.
28. Le West Texas Light n'est pas le seul à avoir souffert de l'inflation provoquée par les ouragans; le Brent Crude a augmenté de 20 USD par baril en janvier 2002 à 27 USD en septembre 2005; *Financial Times*, 22 septembre 2005, Chris Giles, « Brown Faces Bumpy Ride Over Growth Forecasts ».
29. Paul Magnusson et al., « Living Too Large in Exurbia », *Business Week*, 17 octobre 2005.
30. Simon Forge, « The Consequences of Current Telecommunications Trends for the Competitiveness of Developing Countries », document de travail infoDev, 1995, disponible sur le site [www.infodev.org/library/WorkingPapers/tocforge.html](http://www.infodev.org/library/WorkingPapers/tocforge.html); SCF Associates Ltd., The Demand for Future Mobile Communications Markets and Services in Europe, pour la Commission européenne (JRC/IPTS), avril 2005, disponible sur le site <http://fms.jrc.es/>; *Perspectives des communications de l'OCDE*,

- 2005; UIT, pages concernant les réseaux de prochaine génération affichées sur le site Web, [www.itu.int/ITU-T/worksem/ngn/info.html](http://www.itu.int/ITU-T/worksem/ngn/info.html).
31. H. Sawhney, « Public Telephone Network: Stages in Infrastructure Development », *Telecommunications Policy*, vol. 16, n° 7, 1992, pp.538-52.
  32. Arun Sarin (PDG de Vodafone), « Mobile Penetration Will Boost African Business », *Financial Times*, 30 juin 2005. Voir également : *Africa: the Impact of Mobile Phones*, The Vodafone Policy Paper Series, n° 3, mars 2005.
  33. Jonathan Garner, Vincent Chan et Marisa Ho, *The Rise of the Chinese Consumer: Theory and Evidence*, John Wiley, 2005; Geoff Dyer, « Young Consumers to Set the Pace for China Boom », *Financial Times*, 13 octobre 2005.
  34. Tiré de « The Macroeconomic Effects of Near-Zero Tariff Telecommunications », 1998, SCF Associates Ltd., qui va être publié sous forme de livre.
  35. Tiré de « The Macroeconomic Effects of Near-Zero Tariff Telecommunications », 1998, SCF Associates Ltd., qui va être publié sous forme de livre.
  36. INSIGHT Research, NJ, USA 2004, « US Markets for VoIP 2005-11 ».
  37. INSIGHT Research, *op. cit.*
  38. *Ibid.*
  39. *Ibid.*
  40. Rym Keramane, Charles Kenny, *et al.*, *Financing Information and Communication Infrastructure Needs in the Developing World: Public and Private Roles*, Banque mondiale, Département des technologies de l'information et des communications mondiales, version préliminaire, février 2005.
  41. Marianne Fay, Tito Yepes, *Investing in Infrastructure, What is Needed from 2000 to 2010?*, Document de travail consacré à la recherche sur les politiques n° 3102, Banque mondiale, 2003.
  42. Simon Forge, « Cablevision – The Other Services: The Role of Non-entertainment Services », *Futures*, vol. 16, n° 5, octobre 1984, pp. 520-33.
  43. David Greggains (directeur de l'exploitation du Forum DSL), « Fibre Networks Deliver as DSL Demand Soars », *FibreSystems Europe*, en association avec LIGHTWAVE Europe, avril 2005, p. 13.
  44. *Perspectives des communications de l'OCDE*, 2005, p. 131.
  45. « The Telecom Exploits of Iliad », Andy Reinhardt, *Business Week*, Europe, p. 26, 5 décembre 2005.
  46. « BT Challenges Skype over VoIP Pricing », Mark Odell, *Financial Times*, 9 décembre 2005.
  47. Aline van Duyn, « DirecTV Close to Wireless Strategy », *Financial Times*, 10 janvier 2006.
  48. Bernard Simon, « Canadian Telecoms Rivals Agree Wireless Venture », *Financial Times*, 19 septembre 2005.
  49. Charles W. Petit, « Spaghetti Under the Sea », *US News & World Report*, vol. 127, n° 8, p. 56, 30 août 1999, disponible sur le site [www.usnews.com](http://www.usnews.com).
  50. Mel, Mandell, « 120 000 Leagues Under the Sea », *IEEE Spectrum*, avril 2000, vol. 37, n° 4.

51. La notation (2+1)\*280 signifie que deux paires de fibres dotées d'une capacité de 280 Mbit/s chacune assurent le service courant, et qu'une paire supplémentaire de capacité équivalente est prévue à titre de secours – soit 560 Mbit/s au total – mais il s'agit d'un secours partiel.
52. Le TAT-14 offre (4+4)\*160 Gbit/s de capacité HNS dans une configuration en boucle sécurisée; il se compose de quatre paires de câbles qui assurent des transmissions sur 16 longueurs d'onde différentes à OC-192 (10 Gbit/s). Son coût total a été estimé à 1.5 milliard USD, un prix curieusement élevé en comparaison aux autres câbles.
53. ISP-Planet Staff , 30 octobre 2002; TeleGeography, 2003.
54. EC/IST Optimist, (<http://222.ist.optimist.org>) IST Zagreb, mai 2003, exposé, Projets en matière de réseaux optiques, Commission européenne, Direction générale de la société de l'information, [http://intecweb.intec.ugent.be/ist-optimist/pdf/trends/TERENA\\_2003/sld023.htm](http://intecweb.intec.ugent.be/ist-optimist/pdf/trends/TERENA_2003/sld023.htm).
55. Alan K. Adams, « The World in 2010 », *info*, vol. 2, n° 2, avril 2000.
56. Sam Ames, « Is Fiber-optic Construction Creating Overkill? », *News.com*, 21 juin 2001, disponible sur le site <http://news.com.com/2100-1033-268859.html?legacy=cnet>.
57. Robertson Stephens, cité par Ames, *op. cit.*
58. David O. Williams, *An Oversimplified Overview of Undersea Cable Systems*, version 2, 3 mars 2000, Laboratoire européen pour la physique des particules (CERN), Division technologie de l'information, disponible sur le site <http://davidw.home.cern.ch/davidw/public/SubCables.html>.
59. *Communications Week International*, juin 1997.
60. FISTE/IPTS study of Mapping European Wireless Trends and Drivers, Étude sur le réseau d'urgence WARN de la région de Washington DC, qui assure une couverture à large bande mobile pour la transmission d'images, les liaisons avec les hélicoptères, etc.
61. Il est notable qu'au Royaume-Uni, le débat portant sur la réutilisation et la libération du spectre des fréquences est mené par le Trésor, et non par l'instance de réglementation.
62. On remarquera que dans le cas d'un pays membre de l'OCDE, le Royaume-Uni, la privatisation de l'opérateur historique a eu lieu en 1984, mais il a ensuite fallu 21 ans pour que soit engagé un véritable dégroupage de la boucle locale pour les prestataires de services concurrents. Pendant toutes les années 80, la politique de l'entreprise a consisté à imbriquer étroitement l'infrastructure de la boucle locale, les composantes du réseau d'accès et du réseau longue distance de sorte que la décomposition de la boucle locale a été difficile sur les plans administratifs, commerciaux et technique, ceci dans le but de parer à tout démantèlement.
63. Climate model predicts dramatic changes over next 100 years, *Purdue University News*, 17 octobre 2005, disponible sur le site [www.purdue.edu/UNS/html4ever/2005/051017.Diffenbaugh.model.html](http://www.purdue.edu/UNS/html4ever/2005/051017.Diffenbaugh.model.html).
64. L'étude EC/JRC/IPTS sur les services mobiles et leurs marchés examine l'utilisation des réseaux radioélectriques en cas d'accident nucléaire de grande ampleur en Europe. Voir l'appendice portant sur les scénarios, disponible sur le site <http://fms.jrc.es>.
65. Entretien avec Vonage (MD) au Royaume-Uni.

66. Rapport EC/IPTS/JRC, *Mapping European Wireless Trends and Drivers (MEWTAD)*, août 2005, Work Package 2B1, Security.
67. 1.8 milliard d'utilisateurs des services mobiles en août 2005 ([www.ubercool.com/2005/08/25/mobile-phones](http://www.ubercool.com/2005/08/25/mobile-phones)); à la mi-2004, on comptait près de 1.5 milliard d'abonnés à la téléphonie mobile dans le monde, soit un quart de la population mondiale ([www.ciol.com/content/news/2004/104120906.asp](http://www.ciol.com/content/news/2004/104120906.asp)).
68. En mars 2005, par exemple, Vodafone avait consacré près de 5.1 milliards GBP (9 milliards USD environ) aux services 3G au niveau mondial, mais le nombre de ses abonnés augmentait au rythme de 1 million par mois seulement (Groupe Vodafone, rapport annuel, 31 mars 2005).
69. *Fierce Wireless*, news bulletin, 31 octobre 2005, [www.fiercewireless.com](http://www.fiercewireless.com).
70. ARPU, chiffre d'affaire mensuel par abonné; mesure standard des rendements dans le secteur du mobile.
71. OCDE, « Potential Offshoring of ICT-intensive Occupations », Groupe de travail sur l'économie de l'information, STI/ICCP/IE(2004)19/FINAL, 2005.
72. Ursula Huws et Simone Dahlmann, *Outsourcing of ICT and Related Services in the EU*, European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin, 2004.
73. Dexter Roberts, « Let a Thousand Brands Bloom », *Business Week*, 17 octobre 2005.
74. Otto Raspe and Frank van Oort, « ICT Loves Agglomeration: The Urban Impact of ICT in the Netherlands », exposé présenté au congrès ERSA 2004, 25-29 août 2004, Porto, disponible sur le site [www.ruimtelijkplanbureau.nl/upload/documenten/ict\\_loves\\_agglomeration.pdf](http://www.ruimtelijkplanbureau.nl/upload/documenten/ict_loves_agglomeration.pdf).
75. OCDE, *Politiques d'infrastructure pour les années 90*, OCDE, 1993.
76. 2004 ITAC American Interactive Consumer Survey; [www.telecommute.org/news/pr090204.htm](http://www.telecommute.org/news/pr090204.htm).
77. In-Stat/MDR 2003.
78. Patricia L. Mokhtarian, *Telecommunications and Travel*, Livre blanc rédigé à l'intention du Transportation Research Board, 2000, disponible sur le site <http://gulliver.trb.org/publications/millennium/00115.pdf>.
79. Hop Associates, *The Impact of Information and Communications Technologies on Travel and Freight Distribution Patterns: Review and Assessment of Literature*, DTLR, 2002, disponible sur le site [www.virtual-mobility.com/report.htm](http://www.virtual-mobility.com/report.htm).
80. Hop Associates, *ibid.*
81. Transport Canada, *Rapport sur les hypothèses, 2004-2018*, Direction générale de l'analyse économique, Groupe des politiques, Transport Canada, 2005, disponible sur le site [www.tc.gc.ca/pol/en/airforecasting/assumptionreport2004/assum2004.pdf](http://www.tc.gc.ca/pol/en/airforecasting/assumptionreport2004/assum2004.pdf).
82. « Impact of Videoconferencing on Business Travel: The Norwegian Experience », Institute of Transport Economics, 28 juillet 2004.
83. Jacques Roy, « The Impact of New Business Practices and Information Technologies on Business Air Travel Demand », *Journal of Air Transport Management*, n° 4, 1998.
84. Ce chapitre s'inspire d'un manuscrit, Simon Forge, « A Dime a Zillion: the Macroeconomic and Microeconomic Effects of Near-Zero Tariff Telecommunications », à paraître, 2006.

85. « Solar-powered WiFi, Fierce Wireless », 10 août 2005. Lumin Innovative Products propose des panneaux solaires pour les réseaux WiFi, et a déployé les premiers points d'accès alimentés par énergie solaire à Boulder (Colorado), les LightWave AP-1000. Chaque point a une portée potentielle de 48 kilomètres dans un milieu qui présente peu d'obstacles, mais compte tenu de la zone de Pearl Street, qui couvre six pâtés de maisons et présente de nombreux obstacles, et du nombre de banlieues feuillues, il a fallu en installer quatre; le coût de déploiement du réseau et du système d'alimentation s'est élevé à 10 000 USD, mais celui de leur entretien sera quasiment nul. Même si les batteries rechargeables doivent être remplacées chaque année environ, les panneaux solaires sont conçus pour fonctionner de 25 à 30 ans.
86. Ozcan Saritas et Michael Keenan, « Broken Promises and/or Techno Dreams? », *foresight*, vol. 6, n° 5, 2004, pp. 281-291.
87. Elena Dzedzelava et Trine S. Bergmo, « An Economic Evaluation of Telemedicine in North-west Russia », Centre national de télémédecine, hôpital universitaire de Tromsø, disponible sur [www2.telemet.no/publikasjoner/nedlastbare/economic\\_evaluation.pdf](http://www2.telemet.no/publikasjoner/nedlastbare/economic_evaluation.pdf).
88. *Beyond Workforce 2020*, Hudson Institute, USA, 2005.
89. Ministère américain du Travail, 2004.
90. US Census Bureau, 2000.
91. *Regards sur l'éducation : Les indicateurs de l'OCDE*, 2005.
92. « Internet, interrupted, Telephone companies should not discriminate unfairly », *Financial Times*, 11 janvier 2006, editorial.

## ANNEXE 2.A1

## Annexe technique : Histoire de l'infrastructure des télécommunications

### Téléphonie et transmission de données sur réseaux fixes : l'état actuel de l'infrastructure et son évolution

#### **Progrès et modernisation**

Depuis la création du système Bell aux États-Unis en 1875, il y a 130 ans, le principal réseau d'infrastructure des télécommunications a toujours été fondé sur les technologies filaires, à l'origine la téléphonie vocale analogique\*. Celle-ci comportait trois éléments essentiels : la boucle locale, les commutateurs et un réseau interurbain ou longue distance. À compter des années 70, la plupart des pays de l'OCDE ont opté pour la téléphonie numérique avec codecs (codeurs-décodeurs) de sorte que deux grands systèmes de signalisation opéraient dans la boucle locale : le système analogique d'origine et le nouveau système vocal numérisé faisant appel à la modulation par impulsion et codage (MIC) conformément aux normes de la CCITT/UIT, avec numérotation multifréquence bi-tonalité (DTMF).

#### **Numérisation de l'infrastructure – 1973-95**

Suite au renouvellement du stock de technologie conduit par les pays de l'OCDE entre 1973 et 1995, presque tous les pays ont abandonné l'infrastructure de signalisation et de synchronisation analogiques pour la commutation et la transmission numériques. La numérisation présentait plusieurs avantages : l'élargissement de la capacité de réseau grâce à des techniques pointues de multiplexage, des techniques de commutation plus

\* M.D. Fagen (éd.), *A History of the Engineering and Science in the Bell System: the Early Years (1875-1925)*, Bell Telephone Laboratories, New York, 1975.

complexes, l'établissement plus rapide des communications de bout en bout et, surtout, l'amélioration considérable de la fiabilité du réseau. La programmabilité permettait en outre d'ajouter une gamme diversifiée de fonctions aux équipements de l'abonné – le terminal, les autocommutateurs privés et les systèmes essentiels. Avec la numérisation, le commutateur est en fait devenu un ordinateur de routage et une composante du réseau informatique dont la topologie pouvait être adaptée de manière dynamique aux niveaux de trafic et aux événements anormaux. Cette évolution a eu pour effets d'abaisser les coûts par ligne et d'accroître la capacité, la rapidité et la fiabilité des réseaux. Les techniques numériques ont permis aux réseaux fixes de soutenir la demande de communications de données par commutation de paquets émanant des utilisateurs d'ordinateurs (à l'origine le protocole X25 de la CCITT, avec des variantes telles que le protocole X32, le relais de trame et, de plus en plus, le protocole TCP/IP), même si la voix numérisée est restée intégrée aux services à commutation de circuit. À partir de 1985, une nouvelle génération de réseaux numériques, le réseau numérique à intégration de services (RNIS), a été déployée dans les pays de l'OCDE. Les normes de vitesse du RNIS, de 64 kbit/s, et des lignes E-1, de 2 Mbit/s, en Europe, ont défini les nouveaux niveaux de performance dans la boucle locale (lignes de 56 kbit/s et lignes T-1 de 1.5 Mbit/s aux États-Unis) et de la technologie numérique de bout en bout.

Cette évolution a amené des progrès fonctionnels décisifs, comme les services Centrex et un éventail de services plus large pour les abonnés. De nouvelles fonctions ont été introduites, soit par le biais du terminal, soit par celui du commutateur local, offrant des services de messagerie vocale, de renvoi d'appel, de rappel du dernier numéro composé, de numérotation abrégée, etc. réunis sous l'appellation de services CLASS (service personnalisé d'identification en zone locale selon la nomenclature de Bellcore).

Avec l'arrivée de la fibre optique, les débits de données sur les réseaux longue distance sont passés de quelques centaines de kilobits par seconde à la fin des années 70 à un téraoctet/seconde à compter de 2000, soit une multiplication par 10 millions de la capacité. Dans le cas d'une voie téléphonique sur canal duplex de haute qualité (16 kbit/s), un câble d'un téraoctet peut transporter plus de 62 millions de conversations téléphoniques – ce qui permettrait à toute la population française de communiquer simultanément avec un interlocuteur au Royaume-Uni. Néanmoins, le rythme de numérisation de l'infrastructure a été très variable, même dans les pays de l'OCDE, comme l'indique le tableau 2.A1.1, qui porte sur l'année 1990.

Tableau 2.A1.1. **Degré (%) de numérisation du réseau téléphonique en 1990 dans certains pays de l'OCDE**

Pays	Transmission	Commutation locale	Commutation longue distance
France	70	70	75
Allemagne	50	10	22
Royaume-Uni	100	42	90
Suède	50	33	50
Grèce	30	8	40
Pays-Bas	95	35	15
Espagne	47	5	45

Source : OCDE, Telecommunication Network-based Services: Policy Implications, ICCP-18, 1989; CEPT, CEC, OCDE.

Comme le montre le tableau 2.A1.2, l'ampleur et le rythme de la numérisation a aussi considérablement varié parmi les grands opérateurs.

Tableau 2.A1.2. **Vue d'ensemble des progrès de la numérisation<sup>1</sup> (1980-91)<sup>2</sup>**

Entreprise/année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
AT&T <sup>3</sup>	-	-	-	-	80	-	-	-	-	98	100	100
BellSouth <sup>4</sup>	-	-	-	-	4	11	18	28	35	45	51	57
BT <sup>5</sup>	-	-	-	-	-	-	-	2	10	23	38	47
France Telecom <sup>6</sup>	-	11	15	22	35	44	50	55	64	71	78	81
GTE <sup>7</sup>	-	-	-	-	15	30	44	55	63	69	74	80
NYNEX <sup>8</sup>	-	-	-	-	4	9	16	24	38	49	56	60
NTT <sup>9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	18	28	39	49
Televerket <sup>10</sup>	-	6	8	10	14	18 <sup>11</sup>	22	26 <sup>11</sup>	29	37	38	47

1. Pour tous les opérateurs, à l'exception de AT&T, la numérisation désigne le nombre de lignes principales en exploitation connectées à un central numérique (à commutation par répartition dans le temps). Pour AT&T, elle désigne le trafic commuté par un central numérique.

2. En raison de l'obligation de désinvestissement entrant en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 1984, les données concernant les entreprises américaines commencent en 1984.

3. Source : rapport annuel (1983, p. 10); Telephony (2 février 1987, p. 13); rapport annuel (1988, p. 4).

4. Source : BellSouth.

5. Source : Rapport annuel de BT (1991, p. 37).

6. Source : Rapports annuels de France Telecom (1981-91).

7. Source : GTE.

8. Source : NTT. Les années correspondent aux exercices financiers.

9. Source : NTT.

10. Source : Televerket, Sveriges officiella statistik, (1980-86), Rapports annuels de Televerket (1987-91).

11. Interpolation.

Source : Bohlin, E, *Techno-Economic Management of Investments*, Thèse de doctorat, Chalmers University of Technology, 1995.

Bon nombre de pays ont aujourd'hui relié le réseau dorsal optique à large bande à commutation de paquets aux lignes téléphoniques à commutation de circuits.

Dans les années 80, la CCITT a établi le protocole de transmission ATM (mode de transfert asynchrone, ou RNIS à large bande) pour gérer le trafic à haut débit de voix et de données sous forme de train de bits dans la gamme des centaines de mégabits et des gigabits. Dans les années 90, elle a progressivement introduit un ensemble de normes complet portant sur la hiérarchie numérique synchrone (HNS) pour que les transmissions internationales à haut débit par fibres optiques (appelée réseau optique synchrone, ou SONET, dans la nomenclature américaine Bellcore) opèrent avec les réseaux RNIS à bande étroite et les réseaux optiques ATM à large bande. Dernièrement, la commutation multiprotocole avec étiquette (MPLS) a été introduite pour répondre à la nécessité de gérer toute une gamme de protocoles de transmission à haut débit avec un temps minime de commutation.

À la fin des années 80, la signalisation entre commutateurs a également évolué avec les normes CCITT relatives au SS7 (système de signalisation 7). La signalisation SS7 comporte un formatage souple des messages pour les transmissions de données à haut débit, conçu pour prendre en charge le RNIS et les débits de transfert de la HNS. Elle établit en outre un réseau séparé pour le transport des messages de signalisation de nombreux circuits interurbains. Aux débuts de la téléphonie numérique, la signalisation et la voix empruntaient le même trajet mais ne pouvaient l'utiliser simultanément. Le système SS7 comporte une passerelle de signalisation vers les autres types de réseaux, comme le réseau central (ou fixe) des opérateurs de services cellulaires mobiles. L'infrastructure de télécommunications ne se limite pas à des réseaux publics commutés nationaux (à commutation de circuit ou de paquets) reliés entre eux, mais comprend aussi les réseaux privés – les lignes louées par les entreprises et les organismes du secteur public pour la transmission de données et de voix, parfois accompagnées de commutateurs privés. L'interconnexion de ces deux infrastructures a fait l'objet de nombreuses réglementations. Des réseaux privés virtuels (RPV) ont également été déployés en sus du réseau public.

### ***L'avenir du réseau fixe***

La pression conjuguée de la concurrence de l'infrastructure mobile, de l'arrivée de la téléphonie IP et de la réglementation visant à ouvrir la boucle locale a amené une segmentation de l'infrastructure fixe (boucle locale et réseau interurbain) à mesure que le débouclage progresse et que les marges de profit confortables de la téléphonie s'évanouissent. Face à cette situation, les opérateurs historiques de réseaux fixes envisagent des architectures « convergentes » dans l'optique d'une « coopération » avec les services mobiles et la téléphonie IP. Un exemple en est offert par l'architecture du 21st Century Network (21CN) de BT qui vise à assurer des liaisons mobiles et fixes à

domicile (« bluephone ») et au bureau, le réseau interurbain étant conçu pour interconnecter et raccorder le trafic mobile de gros d'autres opérateurs. La convergence fixe-mobile transforme l'architecture de l'infrastructure fixe de tous les grands opérateurs de réseaux fixes.

L'accès hertzien fixe – bande étroite et large bande – existe depuis plusieurs décennies, quoique en latence; son histoire remonte à 1911 au travers d'une série d'expériences, dans le domaine de la téléphonie rurale notamment. L'avenir semble plus prometteur pour cette technologie, la Corée et d'autres pays réalisant des expériences d'accès à large bande, point qui est examiné plus loin. Si quelques réussites ont été enregistrées dans le domaine de la téléphonie rurale, les réseaux hertziens fixes n'ont dans une certaine mesure pas satisfait aux attentes, à ce stade, dans les pays de l'OCDE; en effet, des opérateurs tels que Ionica et Tele2, qui ont mis en service des réseaux de cette nature, ne sont pas parvenus à assurer la qualité de service requise ou à offrir les tarifs qui leur auraient permis de détourner le marché des réseaux fixes. Avec la large bande, un nouveau chapitre s'ouvre, que nous examinons ci-dessous.

## **Services mobiles de transmission de la voix et des données, y compris par les nouvelles technologies hertziennes**

La première génération de téléphonie mobile s'est développée avec la signalisation analogique. Elle a atteint un degré de perfectionnement élevé à la fin des années 70 avec des systèmes cellulaires comme le système téléphonique mobile nordique (NMT) et les normes nord-américaines TACS. Les radiocommunications ont évolué, depuis les systèmes d'urgence d'avant-guerre et des réseaux hertziens bidirectionnels des taxis, grâce à l'ajout du système cellulaire qui, dans une région géographique donnée, répète les fréquences dans des « cellules » non adjacentes, comme indiqué pour la première fois dans les brevets déposés par Motorola au début des années 70.

La gamme de technologies mobiles ne cesse de s'élargir, deux grandes générations de services mobiles cellulaires numériques étant présentes partout dans le monde :

- Le système mondial de communications mobiles de deuxième génération (GSM 2G), dont le GPRS 2.5G qui permet de télécharger plus rapidement les données. Développé à l'origine en Europe essentiellement, il est utilisé presque partout aujourd'hui, même aux États-Unis, principalement pour les services téléphoniques et les services de messages courts (SMS). Ces derniers occupent une place grandissante dans les pays tels que les Philippines où, pour des raisons financières, certains abonnés n'utilisent que le SMS.

- L'AMRC à bande élargie de la troisième génération (W-CDMA 3G) fondée sur les normes du 3GPP, déployé dans certaines régions d'Europe et à Hong-Kong pour assurer des transmissions de données et de voix multimédia à des débits supérieurs (jusqu'à 2 Mbit/s), mais reposant en grande partie sur la commutation de circuits.
- L'AMRC-1 avec extensions pour la transmission à haut débit de données, comme le réseau EVDO aux États-Unis, en Chine, en Corée du Sud, dans certaines parties d'Amérique latine, etc., et l'AMRT-450 à faible coût également utilisé en Russie et ailleurs.
- L'AMRC-2 destiné à assurer des opérations de troisième génération à plus haut débit pour le multimédia, qui apparaît aux États-Unis et en Corée du Sud.

À ces technologies s'ajoutent d'autres formes de radiocommunications mobiles :

- Les systèmes PHS, PCN et d'autres normes utilisées au Japon, avec le service d'accès à l'Internet i-Mode 2.5G de DoCoMo.
- Tetra, en Europe, pour les systèmes PAMR.
- Les normes de radiodiffusion pour assurer le flux en continu de la télévision mobile vers les terminaux.

Cela dit, les nouvelles technologies hertziennes gagnent en importance pour l'avenir. Leur rôle ne se limite pas à assurer des transmissions téléphoniques, mais plutôt des communications par paquets qui peuvent comprendre la téléphonie, évolution que les protocoles mobiles IPv6 ne feront qu'accroître. Ultérieurement, vers 2030, elles pourraient faire partie de la boucle locale et s'intégrer de plus en plus au réseau central, des passerelles vers les réseaux longue distance étant assurées par des liaisons optiques, satellitaires ou hyperfréquences. Les nouvelles technologies hertziennes dominantes à l'heure actuelle sont les suivantes :

- WiFi (IEEE 802.11) pour la transmission de données sans fil sur les réseaux LAN, et maintenant pour la téléphonie IP.
- WiMAX (IEEE 802.16), à l'origine destiné à assurer une couverture en zone urbaine sur les réseaux fixes, et maintenant sur les réseaux mobiles.
- Flash OFDM (multiplexage par répartition en fréquences sur des porteuses orthogonales avec technologie Flash – système exclusif de Flarion – pourrait être intégré à la norme IEEE 802.20).
- ZigBee (IEEE 802.15.4) pour les réseaux de capteurs de plus courte portée, notamment différents types d'identification par radiofréquence (RFID).

## Communications mobiles à large bande, hertziennes notamment

La mise en service des réseaux à large bande, dans la gamme des 100 kbit/s-2 Mbit/s, s'est accélérée ces cinq dernières années. Ils ont été survendus à l'origine sous la pression de la technologie, mais la demande est enfin venue, les abonnés ayant besoin d'un accès plus rapide à l'Internet. Les dernières technologies à large bande hertziennes à grande échelle viennent en partie de Corée du Sud, où le système WiBro (débit de 1 Mbit/s) est déployé à l'échelon national en 2005-06 pour compléter et amplifier le réseau fixe à large bande.

L'accès peut être asymétrique (débit descendant élevé, débit montant faible). À l'heure actuelle, l'accès à large bande est assuré dans la boucle locale par différents circuits porteurs :

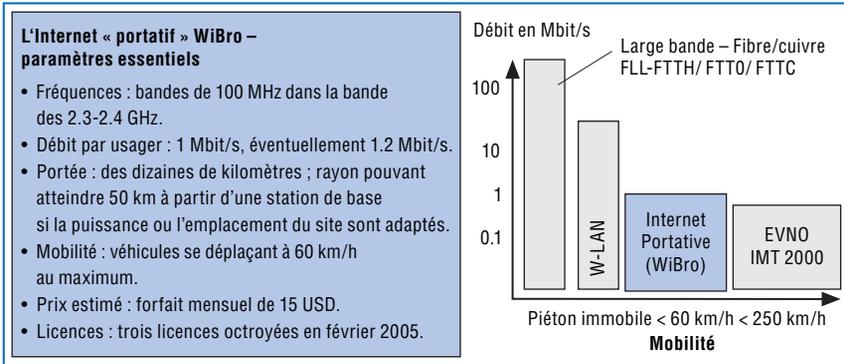
- La paire torsadée améliorée – généralement un réseau DSL (ligne d'abonné numérique) fonctionnant à plusieurs centaines de kbit/s. Les modules d'accès (DSLAM) se situent dans le commutateur et les équipements de l'abonné; elle dépend des caractéristiques de propagation de la boucle de cuivre locale.
- Fibre jusqu'au domicile ou jusqu'au point de concentration, généralement via le réseau de câblodistribution.
- Accès hertzien fixe.

Par ailleurs, l'accès par satellite est théoriquement réalisable – les systèmes à satellites sur orbite basse (LEO) qui ont été abandonnés, comme celui de Teledesic, devaient offrir un accès mondial à large bande d'un débit de 1 à 2 Mbit/s à la fin des années 90, mais aucun plan d'activité viable au plan commercial n'a été élaboré. L'infrastructure classique filaire à large bande est influencée par les nouvelles technologies hertziennes, surtout les bornes WiFi d'accès à l'Internet destinées aux usagers nomades.

L'une des dernières technologies hertziennes d'accès à large bande déployée à grande échelle nous vient de Corée du Sud, où le système WiBro, qui offre un débit de 1 Mbit/s, est mis en service à l'échelle nationale en 2005-06 pour compléter et élargir le réseau fixe à large bande. Comme on le voit dans le graphique 2.A1.1, le WiBro, qui est un exemple de l'Internet portatif, occupe une place de choix au carrefour de plusieurs technologies; il vise à offrir des avantages par rapport aux réseaux locaux sans fil (W-LAN) et mobiles 3G (IMT-2000) en termes de transmission de données.

Alors que la technologie WiFi est limitée à la vitesse de déplacement d'un piéton et à une portée de 100 à 200 mètres, le WiBro peut également offrir la mobilité, à des vitesses allant jusqu'à 60 km/h, et une portée d'un rayon de 1 km au moins autour de la station de base; un rayon de 50 km est envisagé, mais il faudrait pour cela disposer d'une puissance de transmission et de

Graphique 2.A1.1. Le WiBro – Faits essentiels et positionnement



Source : KT – entretiens et UIT ; UNS, *The Case of Korea*.

réception adéquate et d'un pylône suffisamment élevé pour implanter la station de base. Samsung est actuellement en négociation avec plusieurs opérateurs américains pour exporter la technologie WiBro aux États-Unis. Sprint Nextel doit tester le système dans le cadre de la mise en application de la norme IEEE 802.16e; la société va réaliser des essais en laboratoire, des essais pratiques chez le client, et des tests d'interopérabilité des équipements WiBro en 2006.

## Liste des abréviations

<b>3G</b>	Communication mobiles de troisième génération
<b>AMRC</b>	Accès multiple par répartition en code
<b>CR</b>	Radio logicielle
<b>DSL</b>	Ligne d'abonné numérique
<b>GPRS</b>	Service général de paquets radio
<b>GSM</b>	Système mondial de communications mobiles (initialement Groupe Spécial Mobile)
<b>IPv6</b>	Protocole Internet version six
<b>MIMO</b>	Réceptions et émissions multiples
<b>MMS</b>	Service de messagerie multimédia
<b>MROF Flash</b>	Multiplexage par répartition en fréquences sur des porteuses orthogonales avec technologie Flash
<b>RFID</b>	Identification par radiofréquence
<b>RNIS</b>	Réseau numérique à intégration de services
<b>RTPC</b>	Réseau téléphonique public commuté
<b>SMS</b>	Service de messages courts
<b>UMTS</b>	Système de télécommunications mobiles universelles
<b>UWB</b>	Ultra Wide Band (bande ultra-large)
<b>VoIP</b>	Protocole de transmission de la voix par Internet
<b>W-CDMA</b>	Accès multiple par répartition en code à large bande
<b>WiBro</b>	Wireless Broadband (haut débit sans fil)
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity (fidélité sans fil)
<b>WiMax</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interopérabilité mondiale pour l'accès micro-ondes)
<b>xDSL</b>	Désigne collectivement tous les types de lignes numériques d'abonné
<b>XHTML</b>	Langage hypertexte extensible

## Table des matières

<b>Chapitre 1. Le développement des infrastructures dans le monde à l'horizon 2030 : un regard transectoriel</b> . . . . .	13
<i>par Barrie Stevens, Pierre-Alain Schieb et Michel Andrieu</i>	
1. Les avantages passés et futurs des infrastructures . . . . .	15
2. Les perspectives d'évolution à plus long terme des investissements d'infrastructure : moteurs, tendances et incertitudes . . . . .	18
3. Perspectives d'évolution des besoins d'investissement dans les infrastructures . . . . .	28
4. Interdépendances et synergies entre infrastructures . . . . .	33
5. Questions transversales et enjeux pour l'action des pouvoirs publics	34
6. Prochaines étapes . . . . .	55
Bibliographie . . . . .	55
<b>Chapitre 2. L'infrastructure des télécommunications jusqu'à 2030</b> . . . . .	57
<i>par Erik Bohlin, Simon Forge et Colin Blackman</i>	
Résumé analytique . . . . .	58
Introduction – le champ de l'étude . . . . .	60
1. Évolutions antérieures en matière d'investissement dans l'infrastructure . . . . .	69
2. Les facteurs déterminants de la demande future et de l'investissement dans l'infrastructure . . . . .	79
3. Évolution projetée de la demande de télécommunications et des investissements jusqu'à 2030. . . . .	89
4. Conséquences des principaux déterminants sur les futurs investissements dans l'infrastructure . . . . .	98
5. Conséquences pour les modèles économiques . . . . .	128
6. Effets de substitution des télécommunications et effets secondaires . . . . .	134
7. Recommandations. . . . .	155
Notes . . . . .	157
Annexe 2.A1. Annexe technique : Histoire de l'infrastructure des télécommunications . . . . .	163
Liste des abréviations . . . . .	171

Chapitre 3. <b>Perspectives d'évolution des investissements mondiaux dans les infrastructures électriques</b> .....	173
<i>par Trevor Morgan</i>	
Résumé .....	174
1. Introduction .....	175
2. Tendances passées de la fourniture mondiale d'électricité et des investissements mondiaux dans le secteur électrique ....	177
3. Principaux moteurs de l'investissement dans les infrastructures électriques .....	181
4. Perspectives du secteur de l'électricité. ....	185
5. Principales incertitudes relatives à l'adéquation des investissements .....	200
6. Conséquences pour la structure du secteur et son financement. .	209
Notes .....	213
Bibliographie .....	213
Chapitre 4. <b>Principaux déterminants de la demande future en infrastructures et en services de transport de surface</b> ....	215
<i>par David Stambrook</i>	
Résumé .....	216
Le trajet à suivre .....	218
1. Principaux déterminants de la demande future en transports de surface .....	219
2. Besoins futurs en infrastructures de transport de surface .....	226
3. Effets des déterminants sur la demande à venir de transports de surface .....	236
4. Viabilité du modèle actuel d'infrastructures de transports de surface .....	250
5. Conclusions .....	253
Notes .....	256
Bibliographie .....	259
Annexe 4.A1. Acronymes – Définitions .....	262
Annexe 4.A2. Sources des données et modèle .....	263
Annexe 4.A3. Hypothèses de croissance économique .....	271
Annexe 4.A4. Prévisions du parc de véhicules routiers et du taux de motorisation. ....	273
Annexe 4.A5. Prévisions de l'utilisation des routes .....	275
Annexe 4.A6. Prévisions de constructions routières .....	277
Annexe 4.A7. Prévisions de constructions ferroviaires .....	279

Chapitre 5. <b>Incidences du changement sur la demande à long terme d'infrastructures dans le secteur de l'eau</b> .....	281
<i>par Richard Ashley et Adrian Cashman</i>	
1. Introduction .....	282
2. Tendances passées de l'investissement dans les infrastructures ...	293
3. Évolution de la demande d'eau et des infrastructures .....	303
4. Principaux éléments moteurs jouant sur l'évolution de la demande et des besoins d'investissement en matière d'infrastructures .....	326
5. Incidence des principaux éléments moteurs sur le niveau des investissements à venir dans les infrastructures .....	339
6. Incidence des principaux éléments moteurs sur la qualité et sur la structure des investissements à venir dans les infrastructures de l'eau .....	350
7. Changements envisageables pour assurer la viabilité des modèles commerciaux actuels .....	359
8. Résumé et conclusions .....	361
Bibliographie .....	364
Fiche descriptive : Rappel historique sur quelques pays .....	373
Annexe 5.A.1 .....	404
<b>Membres du Groupe de pilotage</b> .....	407
<b>Liste des tableaux</b>	
1.1. Estimation des dépenses d'infrastructure annuelles moyennes dans le monde dans certains secteurs durant la période 2000-30	32
1.2. Tableau indicatif des interdépendances entre les infrastructures	35
2.1. Nombre d'abonnés au haut débit pour 100 habitants dans les pays de l'OCDE, par technologie, juin 2005 .....	65
2.2. Répartition mondiale des points d'accès WiFi – Points d'accès commerciaux en 2004 .....	66
2.3. Diffusion des télécommunications dans la population de la zone de l'OCDE .....	66
2.4. Diffusion des télécommunications en Chine .....	67
2.5. Diffusion des télécommunications en Inde .....	68
2.6. Diffusion des télécommunications au Brésil .....	68
2.7. Incidence des principaux déterminants sur la demande passée ...	69
2.8. Utilisation de l'Internet (septembre 2005) et statistiques démographiques mondiales .....	84
2.9. Tarifs internationaux de Skype, 2004 .....	88
2.10. Revenu disponible par région, 2004 .....	92
2.11. Évolution de la composition des réseaux d'infrastructure – Tous pays .....	98

2.12. Besoins annuels, à court terme, en matière d'investissement dans les télécommunications dans les pays en développement, 2005-10	101
2.13. Coûts du déploiement des réseaux tout-optique et des réseaux hybrides pour la boucle locale, États-Unis, avril 2005 . . . . .	103
2.14. Coûts de l'infrastructure cellulaire mobile UMTS-3G . . . . .	105
2.15. Projection des dépenses d'investissement dans l'infrastructure projetées par nouvel abonné et des dépenses totales d'infrastructure à l'échelle mondiale . . . . .	125
2.16. Estimations et projections du nombre d'emplois perdus dans l'ensemble des secteurs par suite des délocalisations aux États-Unis . . . . .	137
2.17. Le pourcentage des dépenses de santé des personnes âgées de plus de 65 ans augmente . . . . .	148
2.18. Modifications extrêmes aux infrastructures sous l'effet de substitution des télécommunications . . . . .	154
2.A1.1. Degré (%) de numérisation du réseau téléphonique en 1990 dans certains pays de l'OCDE . . . . .	165
2.A1.2. Vue d'ensemble des progrès de la numérisation (1980-91) . . . . .	165
3.1. Production mondiale d'électricité . . . . .	177
3.2. Hypothèses de croissance du PIB selon le scénario de référence . . . . .	186
3.3. Consommation finale d'électricité par région selon le scénario de référence (TWh) . . . . .	188
3.4. Évolution de la structure de la production d'électricité selon le scénario de référence (%) . . . . .	190
3.5. Nouvelles capacités de production d'électricité et investissement total dans le secteur de l'électricité par région selon le scénario de référence, 2003-30 . . . . .	192
3.6. Investissements dans les réseaux électriques, par région et décennie, selon le scénario de référence, 2003-30 . . . . .	193
3.7. Variation de la consommation d'électricité par secteur dans le scénario alternatif par rapport au scénario de référence, 2030 (%) . . . . .	196
3.8. Variation de la production d'électricité par source d'énergie avec le scénario alternatif par rapport au scénario de référence (TWh) . . . . .	197
3.9. Investissements dans le secteur électrique par région selon le scénario alternatif, 2003-30 . . . . .	199
3.10. Part des investissements privés dans le secteur électrique par région en développement, 2004 (%) . . . . .	212
4.1. Relations d'élasticité pertinentes . . . . .	221
4.2. (Fay-Yepes) Estimation des infrastructures routières jusqu'en 2010 . . . . .	223
4.3. Prévision du taux de motorisation . . . . .	225
4.4. Prévision de l'utilisation des équipements routiers . . . . .	225
4.5. Besoins en nouvelles constructions routières . . . . .	227
4.6. Besoins en nouvelles constructions ferroviaires . . . . .	231

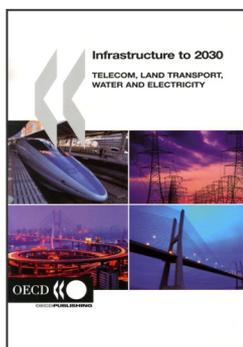
4.7. Relations significatives d'élasticité du transport de marchandises .	241
4.8. Relations significatives d'élasticité du transport de voyageurs. . .	242
5.1. Disponibilités d'eau dans les différentes régions du monde. . . . .	285
5.2. Pourcentage de la population bénéficiant de services de distribution d'eau et d'assainissement (2002) . . . . .	285
5.3. Pourcentage des ménages dont le domicile est raccordé à un réseau d'eau potable et d'assainissement fiable. . . . .	286
5.4. Pourcentages de ménages raccordé à un réseau d'eau et d'assainissement dans les grandes villes. . . . .	286
5.5. Ratio avantages/coûts des interventions dans les régions en développement et en Eurasie . . . . .	288
5.6. Coûts des infrastructures de distribution d'eau et d'assainissement : systèmes centralisés . . . . .	295
5.7. Quantités d'eau utilisées au plan mondial (km <sup>3</sup> ) . . . . .	298
5.8. Population desservie par les services de l'eau, 1994. . . . .	299
5.9. L'extraction d'eau souterraine dans quelques régions du monde. . .	302
5.10. Estimation des coûts annuels moyens d'investissement dans le secteur de l'eau d'ici à 2019. . . . .	314
5.11. Dépense consacrée aux services d'eau au Royaume-Uni. . . . .	315
5.12. Distribution d'eau et assainissement dans les pays d'EOCAC. . .	316
5.13. Besoins d'investissement estimés en Inde . . . . .	320
5.14. Dépense consacrée à l'eau et à l'assainissement en pourcentage du PIB. . . . .	323
5.15. Dépollution et traitement des eaux usées : investissements et dépenses courantes dans différents pays, fin des années 90 . .	325
5.16. Dépenses prévues au titre des services de distribution d'eau et d'assainissement . . . . .	363
5.A1.1. Évolution de la consommation d'eau des ménages dans les pays de l'UE . . . . .	404
5.A1.2. Consommation domestique d'eau par habitant par an dans l'UE (m <sup>3</sup> ) . . . . .	405

### Liste des graphiques

1.1. Les axes représentant les principales incertitudes et les quatre scénarios qui en découlent . . . . .	38
1.2. Le scénario de « mouvement perpétuel » . . . . .	39
1.3. Infrastructures linéaires . . . . .	40
1.4. Infrastructures urbaines durables . . . . .	40
1.5. Prévission de l'évolution technologique des véhicules : principaux dispositifs anticipés . . . . .	45
2.1. Abonnés aux services de télécommunications dans le monde. . .	63
2.2. Pénétration du haut débit (pour 100 habitants) dans les pays de l'OCDE – Accroissement net T2 2004-05, par pays . . . . .	64

2.3. Dans les pays de l'OCDE, l'adoption du haut débit au cours des dix premières années a été plus rapide que celle des autres services . . . . .	71
2.4. Abonnés au haut débit, pour 100 habitants, par technologie, dans les pays de l'OCDE, juin 2005. . . . .	74
2.5. Accessibilité et développement des télécommunications. . . . .	90
2.6. Croissance mondiale du nombre d'utilisateurs . . . . .	93
2.7. La demande décolle à partir d'un certain niveau de prix – le sentiment de gratuité . . . . .	94
2.8. DSL % disponibilité dans le G7 . . . . .	104
2.9. L'infrastructure à coût modéré jusqu'en 2015 – Une diversité de technologies, d'infrastructures et d'opérateurs . . . . .	106
2.10. Réseau simplifié (21CN). . . . .	109
2.11. Projections de capacité pour la fibre avec multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) et avec multiplexage temporel optique (OTDM) . . . . .	112
2.12. Augmentation de la capacité de communication par satellite . . . . .	114
2.13. Le coût d'infrastructure des autres technologies hertziennes est moins élevé. . . . .	115
2.14. Prolongation radio d'un point d'accès filaire . . . . .	116
2.15. La future infrastructure composite optique/radio – Un réseau simple. . . . .	117
2.16. Un réseau interconnecté pour garantir la sécurité – Intégration proposée de multiples réseaux fondés sur les nouvelles technologies hertziennes pour créer une structure sécurisée unique. . . . .	120
2.17. Investissement moyen des pays de l'OCDE dans les télécommunications publiques en pourcentage de la formation brute du capital fixe (1990-2003) . . . . .	122
2.18. Augmentation du nombre d'abonnés . . . . .	123
2.19. La tendance dominante est au déploiement d'infrastructures moins coûteuses – Dépenses d'investissement par nouvel abonné en milliers d'USD – 1992-2003. . . . .	124
2.20. Conversion des réseaux d'accès optiques et radio à une infrastructure tout-IP . . . . .	127
2.21. Principales divisions commerciales chez un opérateur de télécommunications et procédures commerciales fondamentales, dont certaines recouvrent parfois plusieurs domaines (facturation, par exemple) . . . . .	129
2.22. Chaîne de valeur classique des opérateurs de télécommunications – Modèle générique . . . . .	129
2.23. Il existe une nouvelle chaîne opérationnelle de services mobiles dans le domaine des communications cellulaires 3G, dans celui des nouvelles technologies hertziennes comme le WiFi et, sous une forme plus réduite, dans celui du 2.5G . . . . .	132

2.24. Branches essentielles de l'arbre de pertinence . . . . .	136
2.25. Dispersion des lieux de résidence et de travail induite par le télétravail et le téléachat . . . . .	139
2.26. Arbre de pertinence pour le trafic voyageurs . . . . .	144
2.27. Dépenses totales de santé en pourcentage du PIB . . . . .	146
2.28. Assistance à domicile aux personnes âgées et fragiles au moyen des télécommunications . . . . .	151
2.A1.1. Le WiBro – Faits essentiels et positionnement . . . . .	170
3.1. Commandes de nouvelles capacités de production d'électricité à l'échelon mondial . . . . .	178
3.2. Investissements des pays de l'OCDE dans le secteur électrique en pourcentage du PIB . . . . .	179
3.3. Investissements dans le secteur électrique aux États-Unis . . . . .	179
3.4. Augmentation moyenne annuelle de la puissance installée dans les pays en développement . . . . .	180
3.5. Consommation mondiale finale d'électricité et produit intérieur brut . . . . .	182
3.6. PIB mondial et croissance de la demande finale d'électricité selon le scénario de référence . . . . .	187
3.7. Consommation finale d'électricité dans le monde par secteur selon le scénario de référence . . . . .	188
3.8. Production mondiale d'électricité selon le scénario de référence . . . . .	189
3.9. Part du gaz naturel dans la production d'électricité par région selon le scénario de référence . . . . .	190
3.10. Besoins cumulés d'investissement dans le secteur électrique par région du monde selon le scénario de référence, 2003-30 . . . . .	193
3.11. Consommation mondiale d'électricité selon le scénario de référence et le scénario alternatif . . . . .	195
3.12. Part des différentes sources d'énergie dans la production d'électricité selon le scénario de référence et le scénario alternatif . . . . .	197
3.13. Variation des besoins d'investissement dans le secteur électrique par région, dans le scénario alternatif par rapport au scénario de référence, 2003-30 . . . . .	199
3.14. Ratio dettes/fonds propres du secteur électrique dans certains pays de l'OCDE . . . . .	210
3.15. Investissements du secteur privé dans des projets d'infrastructures électriques réalisés dans les pays en développement, 1990-2003 . . . . .	211
5.1. Évolution prévue des prélèvements d'eau au plan mondial . . . . .	305
5.2. Disponibilités d'eau au plan mondial . . . . .	306
5.3. Dépense totale d'assainissement en pourcentage du PIB . . . . .	324
5.A1.1. Habitudes de consommation de l'eau dans quelques villes européennes – Quantité totale d'eau fournie par habitant . . . . .	404



Extrait de :

## Infrastructure to 2030

Telecom, Land Transport, Water and Electricity

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/9789264023994-en>

### Merci de citer ce chapitre comme suit :

Bohlin, Erik, Simon Forge et Colin Blackman (2006), « L'infrastructure des télécommunications jusqu'à 2030 », dans OCDE, *Infrastructure to 2030 : Telecom, Land Transport, Water and Electricity*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264024014-3-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org). Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) [info@copyright.com](mailto:info@copyright.com) ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) [contact@cfcopies.com](mailto:contact@cfcopies.com).