

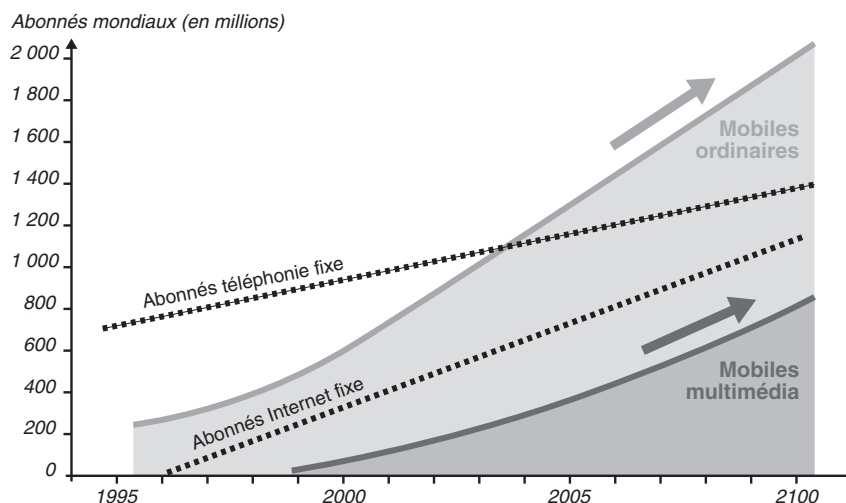
# Problématiques de la ToIP

La téléphonie est un des moyens de communication préférés des êtres humains, et le nombre de terminaux téléphoniques vendus dans le monde ne cesse d'augmenter.

La figure 1.1 illustre le nombre de terminaux pouvant servir de terminal téléphonique. On peut noter que le nombre des terminaux mobiles dépasse largement celui des terminaux fixes. On peut également noter que le nombre de terminaux fixes continue d'augmenter, quoique nettement moins que celui des mobiles. La figure indique en outre le nombre de terminaux, fixes ou mobiles, intégrant des fonctions multimédias. Toutes ces courbes révèlent la croissance globale de la téléphonie.

**Figure 1.1**

*Abonnés aux réseaux de télécommunications (source UMTS Forum)*



La téléphonie a été une véritable poule aux œufs d'or pour les opérateurs, qui ont longtemps maintenu leurs tarifs à des niveaux assez élevés, alors même que leurs infrastructures étaient largement amorties.

Aujourd'hui, la position de ces opérateurs est rapidement menacée par l'arrivée massive de la téléphonie sur IP, dont la tarification tend vers la gratuité. En France, fin 2006, la téléphonie sur IP représente déjà près de 50 % du marché de la téléphonie. Aux environs de 2009, on estime que près de 100 % du transport de la parole s'effectuera par l'intermédiaire de paquets IP.

Nous donnerons au cours des sections qui suivent quelques indications sur les problématiques techniques de la téléphonie par paquets. Nous examinerons ensuite les premières grandes caractéristiques de cette technologie et terminerons en présentant les différents environnements de la téléphonie IP : grand public, opérateurs et entreprises.

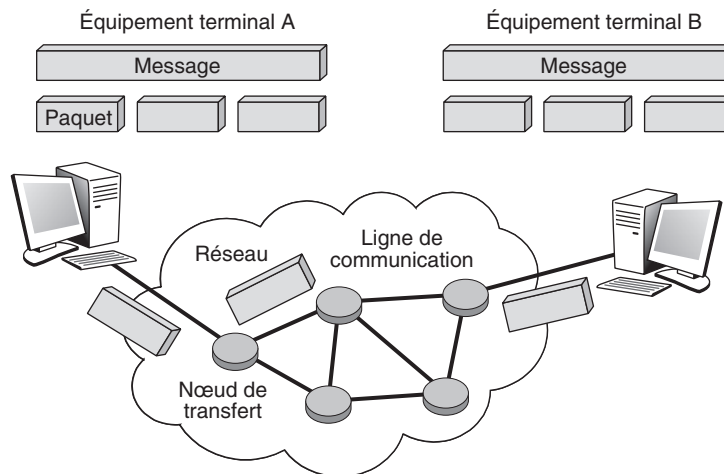
## La téléphonie par circuit et par paquets

Dans la communication à transfert de paquets, toutes les informations à transporter sont découpées en paquets pour être acheminées d'une extrémité à une autre du réseau. Cette technique est illustrée à la figure 1.2.

L'équipement terminal A souhaite envoyer un message à B. Le message est découpé en trois paquets, qui sont émis de l'équipement terminal vers le premier nœud du réseau, lequel les envoie à un deuxième nœud, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'ils arrivent à l'équipement terminal B. Dans l'équipement terminal les paquets rassemblés reconstituent le message de départ.

**Figure 1.2**

*La technique de transfert de paquets*



Le paquet peut en fait provenir de différents médias. Sur la figure 1.2, nous supposons que la source est un message composé de données, comme une page de texte préparée au

moyen d'un traitement de texte. Le terme message est cependant beaucoup plus vaste et recoupe toutes les formes sous lesquelles de l'information peut se présenter. Cela va d'une page Web à un flot de parole téléphonique représentant une conversation.

Dans la parole téléphonique, l'information est regroupée pour être placée dans un paquet, comme illustré à la figure 1.3. Le combiné téléphonique produit des octets, provenant de la numérisation de la parole, c'est-à-dire le passage d'un signal analogique à un signal sous forme de 0 et de 1, qui remplissent petit à petit le paquet. Dès que celui-ci est plein, il est émis vers le destinataire. Une fois le paquet arrivé à la station terminale, le processus inverse s'effectue, restituant les éléments binaires régulièrement à partir du paquet pour reconstituer la parole téléphonique.

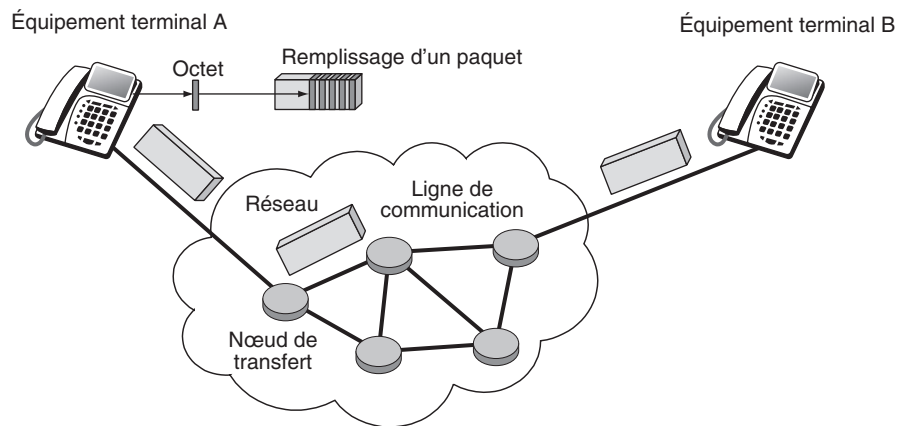


Figure 1.3

*Un flot de paquets téléphoniques*

Le réseau de transfert est lui-même composé de nœuds, appelés nœuds de transfert, reliés entre eux par des lignes de communication, sur lesquelles sont émis les éléments binaires constituant les paquets. Le travail d'un nœud de transfert consiste à recevoir des paquets et à déterminer vers quel nœud suivant ces derniers doivent être acheminés.

Le paquet forme donc l'entité de base, transférée de nœud en nœud jusqu'à atteindre le récepteur. Ce paquet est regroupé avec d'autres paquets pour reconstituer l'information transmise. L'action consistant à remplir un paquet avec des éléments binaires en général regroupés par octet s'appelle la mise en paquet, ou encore la paquetsation, et l'action inverse, consistant à retrouver un flot d'octets à partir d'un paquet, la dépaquetsation.

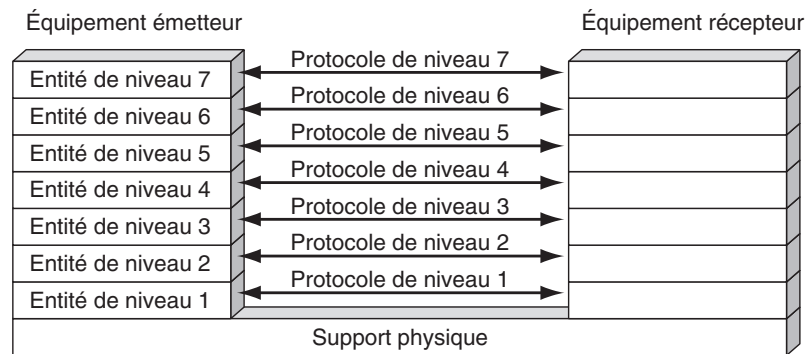
L'architecture d'un réseau est définie principalement par la façon dont les paquets sont transmis d'une extrémité du réseau à une autre. De nombreuses variantes existent pour cela, comme celle consistant à faire passer les paquets toujours par la même route ou, au contraire, à les faire transiter par des routes distinctes de façon à minimiser les délais de traversée.

Pour identifier correctement toutes les composantes nécessaires à la bonne marche d'un réseau à transfert de paquets, un modèle de référence a été mis au point. Ce modèle définit une partition de l'architecture en sept niveaux, prenant en charge l'ensemble des fonctions nécessaires au transport et à la gestion des paquets. Ces sept couches de protocoles ne sont pas toutes indispensables, notamment aux réseaux sans visée généraliste. Chaque niveau, ou couche, offre un service au niveau supérieur et utilise les services du niveau inférieur.

Pour offrir ces services, les couches disposent de protocoles qui appliquent les algorithmes nécessaires à la bonne marche des opérations, comme l'illustre la figure 1.4.

Figure 1.4

Architecture protocolaire d'un réseau à sept niveaux



Nous supposons ici que l'architecture protocolaire est découpée en sept niveaux, ce qui est le cas du modèle de référence. Nous ne décrivons que succinctement les couches basses qui nous intéressent.

Le niveau 3 représente le niveau paquet : il définit les algorithmes nécessaires pour que les entités de niveau 3, les paquets, soient acheminées correctement de l'émetteur au récepteur. Le niveau 7 correspond au niveau application. Le rôle du protocole de niveau 7 est de transporter correctement l'entité de niveau 7, le message utilisateur, de l'équipement émetteur à l'équipement récepteur.

Le niveau 2, ou niveau trame, permet de transférer le paquet sur une ligne physique. En effet, un paquet ne contenant pas de délimiteur, le récepteur ne peut en déterminer la fin ni identifier le commencement du paquet suivant. Pour transporter un paquet, il faut donc le mettre dans une trame, qui, elle, comporte des délimiteurs. On peut aussi encapsuler un paquet dans un autre paquet, lui-même encapsulé dans une trame.

Il est important de distinguer les mots *paquet* et *trame* de façon à bien différencier les entités qui ne sont pas transportables directement, comme le paquet IP, et les entités transportables directement par la couche physique, comme les trames Ethernet ou ATM.

Dans la téléphonie sur IP, une suite d'octets de téléphonie est encapsulée dans un paquet IP de niveau 3, lui-même encapsulé dans une trame véhiculée sur le support physique.

Cependant, comme la téléphonie est une application temps réel, les paquets ne peuvent attendre trop longtemps dans le réseau. Il faut donc introduire des contrôles afin de permettre une traversée rapide du réseau. Nous détaillons ces contrôles au chapitre 6.

## La problématique de base de la téléphonie

La voix sur IP adresse deux types d'applications : celles qui, comme la téléphonie, mettent en jeu une interaction humaine, laquelle implique un temps de transit très court, et celles qui transportent des paroles unidirectionnelles, qui n'exigent pas de temps réel. Cette dernière catégorie rassemble essentiellement des transferts de fichiers contenant de la parole. Dans ce livre, nous nous intéressons uniquement à la parole téléphonique.

La téléphonie transportée par paquets, et plus particulièrement par paquet IP, permet d'intégrer dans un même réseau les services de données et la téléphonie. Les entreprises sont de plus en plus nombreuses à intégrer leur environnement téléphonique dans leur réseau à transfert de paquets. Les avantages de cette intégration sont, bien sûr, la baisse des frais de communication, mais aussi la simplification de la maintenance de leurs réseaux, qui passent de deux (téléphonie et données) à un seul (données).

La difficulté de la téléphonie par paquets réside dans la très forte contrainte temporelle due à l'interaction entre individus. Le temps de latence doit être inférieur à 300 ms si l'on veut garder une interaction humaine acceptable. Si l'on souhaite une bonne qualité de la conversation, la latence ne doit pas dépasser 150 ms.

Un cas encore plus complexe se produit lorsqu'il y a un écho, c'est-à-dire un signal qui revient dans l'oreille de l'émetteur. L'écho se produit lorsque le signal rencontre un obstacle, comme l'arrivée sur le combiné téléphonique. L'écho qui repart en sens inverse est numérisé par un codec (codeur-décodeur) et traverse sans problème un réseau numérique. La valeur normalisée de la latence de l'écho étant de 56 ms, pour que l'écho ne soit pas gênant à l'oreille, il faut que le temps aller ne dépasse pas 28 ms, en supposant un réseau symétrique prenant le même temps de transit à l'aller qu'au retour. Il faut donc que, dans les équipements terminaux, les logiciels extrémité soient capables de gérer les retards et de resynchroniser les octets qui arrivent. Les équipements modernes, comme les terminaux GSM, possèdent des supprimeurs d'écho évitant cette contrainte temporelle forte.

Une autre caractéristique essentielle de la téléphonie provient du besoin d'avertir par une sonnerie la personne qui est appelée. La communication téléphonique est pour cela décomposée en deux phases : une première permettant d'avertir le destinataire, et une seconde correspondant au transport de la parole proprement dite. Il existe en réalité une troisième phase, qui consiste en la finalisation de la communication lorsqu'un des deux terminaux raccroche. Cette phase utilise le même type de protocole que la première : un protocole de signalisation.

## Comparaison avec la téléphonie classique

La téléphonie classique, dite par circuit, présente les mêmes contraintes temporelles que la téléphonie par paquet. Le temps de transit doit être limité pour satisfaire le besoin d'interactivité entre individus.

La limitation du temps de transit entre l'émetteur et le récepteur est relativement simple à réaliser dans une technologie circuit. Les ressources étant réservées, la voie est toujours dégagée sur le circuit, et les ressources appartiennent uniquement aux signaux qui transitent entre l'émetteur et le récepteur. En revanche, dans un transfert de paquets, aucune ressource n'est réservée, et il est impossible de savoir quel sera le temps d'attente des paquets dans les nœuds de transfert.

Dans la première génération de téléphonie, les signaux étaient analogiques. Ils parcouraient le circuit sous la même forme que le son sortant de la bouche et n'utilisaient que 3 200 Hz de bande passante. Ils sont ensuite devenus numériques.

Dans la téléphonie traditionnelle numérique, le signal analogique est numérisé grâce à un codeur-décodeur, appelé codec. Le codec transforme le signal analogique en une suite de 0 et de 1. Le temps de transit est du même ordre de grandeur que le transfert du signal analogique, car le signal ne s'arrête nulle part. La seule perte de temps pourrait provenir du codec, mais ces équipements très rapides ne modifient pas fondamentalement le temps de transit. En revanche, dans un réseau à transfert de paquets, de nombreux obstacles se dressent tout au long du cheminement des informations binaires.

L'élément le plus contraignant de l'application de téléphonie par paquet reste le délai pour aller d'une extrémité à l'autre, puisqu'il faut traverser les deux terminaux, émetteur et récepteur, de type PC par exemple, ainsi que les modems, les réseaux d'accès, les passerelles, les routeurs, etc.

On peut considérer que le temps de traversée d'un PC et de son codec demande quelques millisecondes, la paquetsation de 5 à 16 millisecondes, la traversée d'un modem quelques millisecondes également, celui d'un routeur ou d'une passerelle de l'ordre de la milliseconde (s'il n'y a aucun paquet en attente) et celui d'un réseau IP quelques dizaines de millisecondes.

L'addition de ces temps montre que la limite maximale de 300 ms permettant l'interactivité est rapidement atteinte. La figure 1.5 illustre ce processus.

Le déroulement d'une communication téléphonique sur IP parcourt les cinq grandes étapes suivantes :

1. **Mise en place la communication.** Une signalisation démarre la session. Le premier élément à considérer est la localisation du récepteur (*User Location*). Elle s'effectue par une conversion de l'adresse du destinataire (adresse IP ou adresse téléphonique classique) en une adresse IP d'une machine qui puisse joindre le destinataire (qui peut être le destinataire lui-même). Le récepteur peut être un combiné téléphonique classique sur un réseau d'opérateur télécoms ou une station de travail (lorsque la communication s'effectue d'un combiné téléphonique vers un PC). Le protocole DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) et les passerelles spécialisées (*gate-keeper*) sont employés à cette fin.

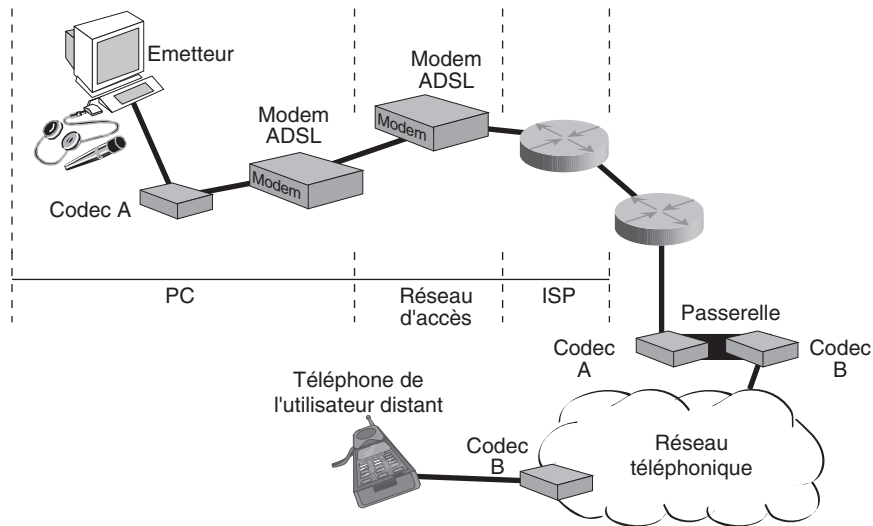


Figure 1.5

*Équipements à traverser par une communication téléphonique sur IP*

2. **Établissement de la communication.** Cela passe par une acceptation du terminal destinataire, que ce dernier soit un téléphone, une boîte vocale ou un serveur Web. Plusieurs protocoles de signalisation sont utilisés pour cela, en particulier le protocole SIP (Session Initiation Protocol) de l'IETF. Comme son nom l'indique, SIP est utilisé pour initialiser la session. Une requête SIP contient un ensemble d'en-têtes, qui décrivent l'appel, suivis du corps du message, qui contient la description de la demande de session. SIP est un protocole client-serveur, qui utilise la syntaxe et la sémantique de HTTP. Le serveur gère la demande et fournit une réponse au client.

Trois types de serveurs gèrent différents éléments : un serveur d'enregistrement (Registration Server), un serveur relais (Proxy Server) et un serveur de redirection (Redirect Server). Ces serveurs travaillent à trouver la route : le serveur proxy détermine le prochain serveur (Next-Hop Server), qui, à son tour, trouve le suivant, et ainsi de suite. Des champs supplémentaires de l'en-tête gèrent des options, comme le transfert d'appel ou la gestion des conférences téléphoniques.

3. **Transport de l'information téléphonique.** Le protocole RTP (Real-time Transport Protocol) prend le relais pour transporter l'information téléphonique proprement dite. Son rôle est d'organiser les paquets à l'entrée du réseau et de les contrôler à la sortie de façon à reformer le flot avec ses caractéristiques de départ (vérification du synchronisme, des pertes, etc.). C'est un protocole de niveau transport, qui essaye de corriger les défauts apportés par le réseau.
4. **Changement de réseau.** Un autre lieu de transit important de la ToIP est constitué par les passerelles, qui permettent de passer d'un réseau à transfert de paquets à un

réseau à commutation de circuits, en prenant en charge les problèmes d'adressage, de signalisation et de transcodage que cela pose. Ces passerelles ne cessent de se multiplier entre FAI et opérateurs télécoms.

5. **Arrivée au destinataire.** De nouveau, le protocole SIP envoie une requête à la passerelle pour déterminer si elle est capable de réaliser la liaison circuit de façon à atteindre le destinataire. En théorie, chaque passerelle peut appeler n'importe quel numéro de téléphone. Cependant, pour réduire les coûts, mieux vaut choisir une passerelle locale, qui garantit que la partie du transport sur le réseau téléphonique classique est le moins cher possible.

Cet exemple classique illustre la relative complexité de la téléphonie sur IP. De nombreuses variantes existent, mais elles ne diffèrent que par les protocoles utilisés. À cette complexité s'ajoutent les problèmes liés à la traversée du réseau, qui doit garantir des temps de transit acceptables pour que l'application téléphonique puisse se dérouler dans de bonnes conditions.

## Avantages de la ToIP

La téléphonie n'a jamais été une application simple. Les contraintes temps réel et de synchronisation pèsent lourdement sur sa mise en œuvre, et la téléphonie par paquet ne fait que compliquer le transport.

Cependant, plusieurs raisons expliquent le succès de la téléphonie par paquet, et plus spécifiquement de la téléphonie sur IP :

- **Convergence.** Quel que soit le type de données véhiculées, le réseau est unique : les flux de voix, de vidéo, de textes et d'applicatifs transitent sur le même réseau. Les communications deviennent plus riches, et sans avoir besoin de multiplier les canaux de transport. Les utilisateurs peuvent, par exemple, envoyer un compte rendu d'activité en même temps qu'ils téléphonent à leur correspondant. Pour les utilisateurs, la convivialité est accrue. En entreprise, la productivité est améliorée. Pour les administrateurs, un seul réseau est à administrer, ce qui simplifie grandement la gestion.
- **Optimisation des ressources.** Le réseau IP utilisant un transfert de paquets, l'utilisation des ressources est optimisée en comparaison des solutions de type commutation de circuits. Dans le réseau RTC, qui est à commutation de circuits, des ressources sont dédiées pour toute la durée de la communication, qu'elles soient utilisées ou non. Or les très nombreux silences d'une conversation téléphonique rendent le dimensionnement du canal réservé systématiquement trop grand. Pour que la voix supporte simultanément la superposition des deux paroles correspondant aux deux intervenants d'une communication téléphonique (full-duplex), les réseaux RTC doivent allouer pour chaque intervenant des canaux différents, l'un en émission, l'autre en réception. Dans la pratique, lors d'une conversation téléphonique, une seule personne parle en même



temps. Les ressources sont donc globalement gaspillées. C'est pourquoi la réservation effectuée dans les réseaux RTC représente un coût nettement supérieur à celui des réseaux IP.

- **Coût de transport quasiment nul.** Grâce à l'intégration de la téléphonie parmi de nombreuses autres applications, le coût du transport devient pratiquement nul. Le réseau permettant d'effectuer le transport est le réseau cœur des opérateurs, celui qui effectue tous les transports de données. Ces opérateurs, qui étaient auparavant obligés de maintenir au moins deux réseaux, celui de téléphonie et celui de données, n'en ont plus qu'un seul à maintenir. L'intégration supplémentaire de la télévision dans le réseau de données fait également chuter les coûts de transport de cette application.
- **Services exclusifs.** Certains services sont propres aux réseaux IP. Par exemple, le service de présence, consistant à détecter si un utilisateur est connecté au réseau ou non, ne nécessite aucune réservation de ressources dans un réseau IP, à la différence du réseau RTC. De façon analogue, pour le nomadisme des utilisateurs, il est plus simple de passer, partout dans le monde, par le réseau IP plutôt que par le réseau RTC.
- **Disparition des commutateurs locaux.** Liée à la précédente, cette nouvelle donne résulte de la possibilité de gérer les téléphones depuis le réseau de l'opérateur (système Centrex). Des solutions intermédiaires, comme les PBX-IP, permettent de passer petit à petit des circuits numériques aux liaisons paquet IP.

La téléphonie devient ainsi une application du réseau IP comme une autre, si ce n'est qu'elle nécessite une qualité de service particulière. De ce fait, les modems ADSL qui amènent chez l'utilisateur la connectivité IP constituent la porte d'entrée de la téléphonie IP. Le modem l'intègre avec les applications de données (messagerie, transfert de fichiers, P2P), la télévision, la visiophonie, etc.

Début 2007, cette intégration n'était pas encore finalisée puisque la plupart des postes téléphoniques ne sont pas encore des postes IP capables d'émettre directement des paquets IP. Il faut un point de connexion spécifique sur le modem pour indiquer que le flux est une parole téléphonique.

De même, le flux de télévision se distingue des autres applications par un accès spécifique sur le modem. Cependant, dès que les téléphones et les télévisions seront IP, le réseau domestique ne distinguera plus ces applications particulières, et ce sera le modem qui, en filtrant les flux, découvrira les paquets de téléphonie et les paquets de télévision pour les traiter en conséquence.

Cette différenciation est illustrée aux figures 1.6 et 1.7. La première présente l'état actuel, où les flux de données, de vidéo et de téléphonie sont différenciés par la prise par laquelle ils transitent, et la seconde celui de demain, où tous les flux sont intégrés sur le réseau domestique et sont différenciés par le biais d'un filtre applicatif dans le modem ADSL.

Figure 1.6

*Différentiation de trafic par un modem ADSL de première génération*

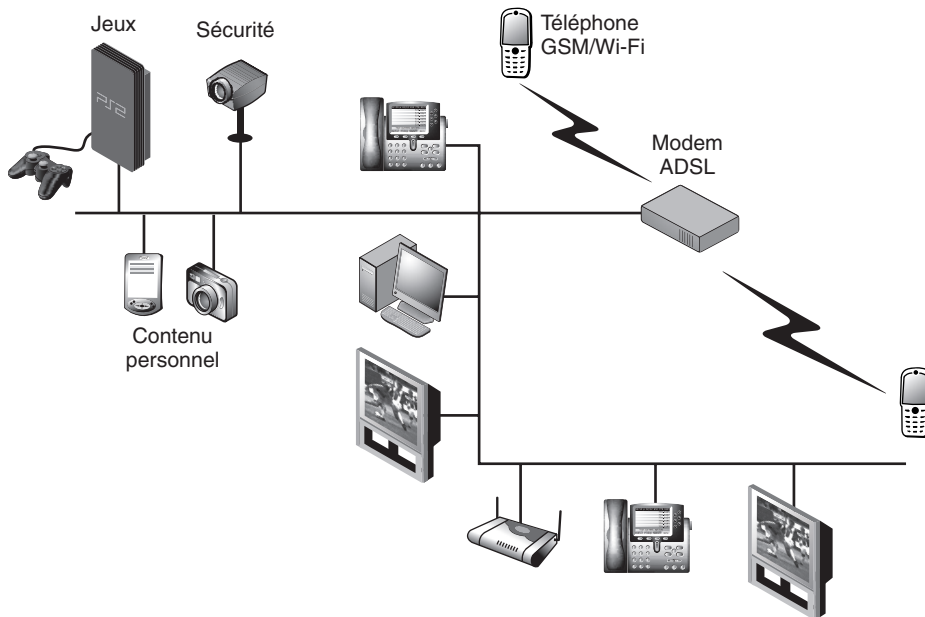
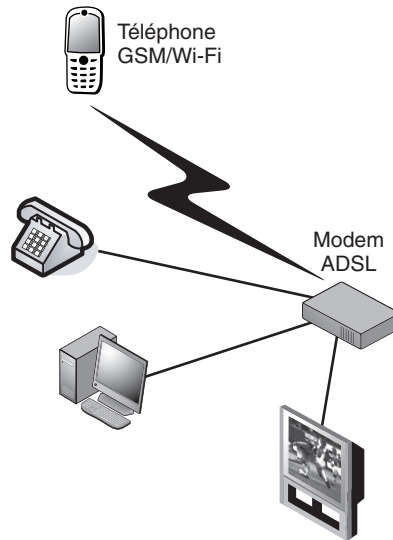


Figure 1.7

*Différentiation de trafic par un modem ADSL de nouvelle génération*

Cette même évolution vaut pour les petites et moyennes entreprises, pour lesquelles le PBX-IP deviendra une sorte de gros modem ADSL, de nombreuses fonctionnalités étant exportées vers le réseau de l'opérateur ou des fournisseurs de services particuliers.

## Les solutions de ToIP

Le développement de la ToIP a vu se succéder sur plusieurs années différentes générations de services et de configurations.

La première génération de téléphonie IP grand public a été proposée par des opérateurs alternatifs afin d'offrir des communications internationales à tarif local. Ce service consiste à rassembler un grand nombre de voies téléphoniques classiques sur le commutateur local et à les encapsuler dans un même paquet IP. Ce paquet IP peut devenir assez important suivant le nombre de voix multiplexées et le nombre d'octets de chaque voix.

L'utilisateur se connecte en local sur le commutateur de l'opérateur historique. L'opérateur alternatif récupère les différentes voix et les multiplexe sur Internet ou sur une même liaison IP, transatlantique par exemple. À la sortie du réseau IP, les voies de parole retrouvent leur composition normale sur le commutateur local et sont envoyées de façon classique aux destinataires au travers de la boucle locale de l'opérateur de télécommunications.

Si la téléphonie locale est gratuite, comme aux États-Unis, le coût total est approximativement égal à la tarification locale de départ. Les opérateurs de téléphonie classique suivent plus ou moins les mêmes principes, tout en tentant de préserver une marge bénéficiaire importante. D'où une chute des prix beaucoup plus lente.

Cette solution est illustrée à la figure 1.8.

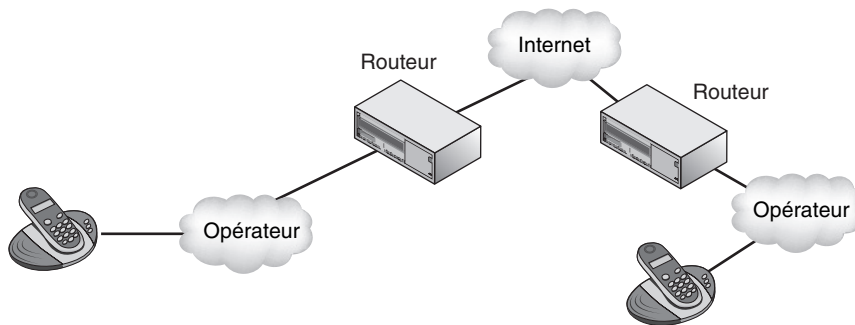


Figure 1.8

*La première génération de téléphonie sur IP*

La deuxième génération a vu les opérateurs de télécommunications offrir des accès Internet au travers de la boucle locale *via* des modems standards permettant des débits de l'ordre de 50 Kbit/s.

Sur cet accès Internet peuvent être raccordés des ordinateurs personnels. Si l'ordinateur est équipé d'un micro et d'un haut-parleur, il est possible d'utiliser l'ordinateur personnel comme téléphone et de faire transiter les paquets de téléphonie sur Internet après les avoir acheminés sur la boucle locale de l'opérateur.

Cette amélioration est illustrée à la figure 1.9.

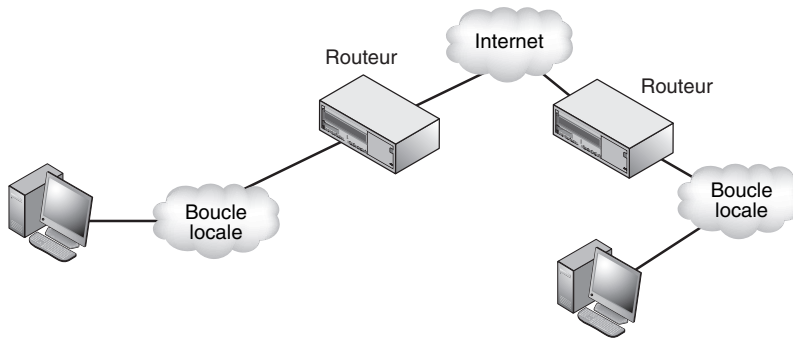


Figure 1.9

*La téléphonie au travers de l'ordinateur personnel*

Dans la troisième génération, au lieu d'utiliser l'ordinateur comme téléphone, un combiné analogique est connecté au PC, équipé d'une carte d'acquisition de la parole téléphonique.

L'ordinateur personnel joue ici le rôle d'une passerelle, transformant le signal analogique du combiné en un flux d'octets de téléphonie numérisés par un codec intégré à l'ordinateur. Les octets sont envoyés par un modem vers le routeur de l'opérateur, auquel revient la charge de la paquetsation et de l'envoi des paquets IP.

Cette étape est illustrée à la figure 1.10.

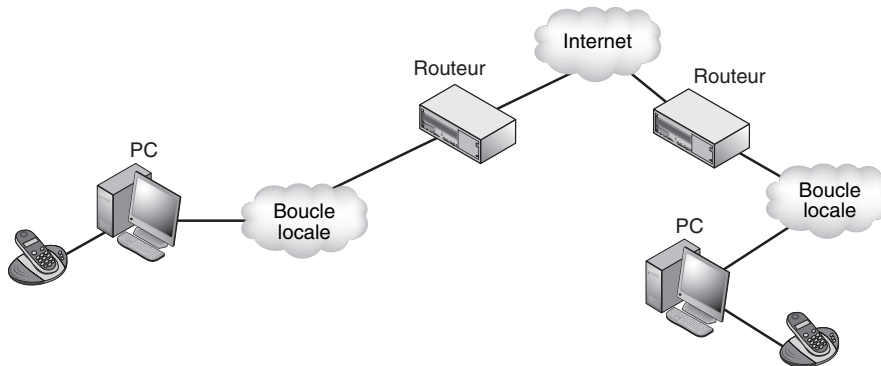


Figure 1.10

*Téléphonie IP utilisant l'ordinateur personnel comme intermédiaire*

La quatrième génération est caractérisée par l'arrivée de modems ADSL munis de plusieurs prises, chacune prenant en charge un média particulier et un protocole associé. Le modem ADSL permet de connecter des téléphones standards. Les conversions nécessaires sont effectuées dans le modem, qui devient de ce fait une véritable Internet

Box, le travail spécifique de la partie modem devenant mineur par rapport à l'ensemble des fonctionnalités réseau réalisées.

La boucle locale de l'opérateur transporte les paquets IP. Pour sa part, le téléphone demeure analogique.

Cette solution est illustrée à la figure 1.11.

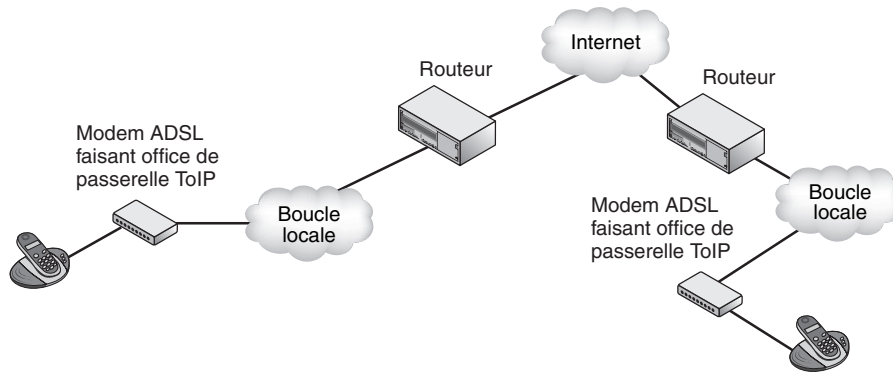


Figure 1.11

*Apparition du modem ADSL dans la chaîne de transmission de la téléphonie*

La cinquième génération du processus aboutit à de la téléphonie IP de bout en bout. La paquetsation est repoussée dans l'équipement terminal de l'utilisateur. Le téléphone devient un téléphone IP.

La figure 1.12 illustre cette solution. Le téléphone IP n'est pas connecté directement sur la boucle locale de l'opérateur mais sur le réseau d'entreprise, lui-même connecté à l'opérateur. Le téléphone IP fait en réalité office de routeur. Il intègre en outre un codec et assure la paquetsation IP et l'encapsulation des paquets IP dans une trame Ethernet. La trame Ethernet est ensuite transmise sur le réseau d'entreprise.

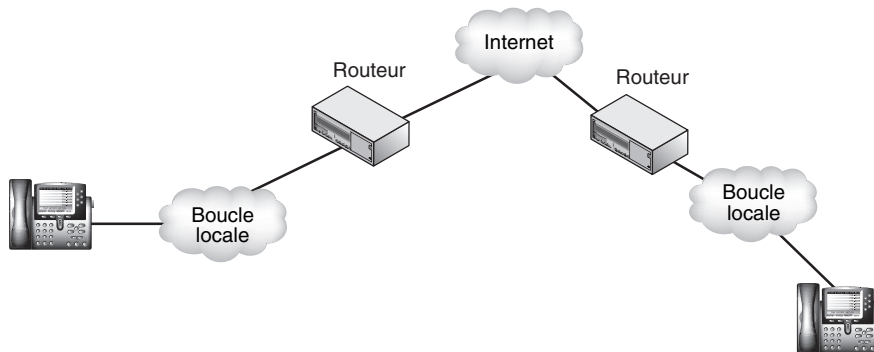


Figure 1.12

*La téléphonie IP de bout en bout*

Avec l'arrivée massive d'ordinateurs personnels suffisamment puissants pour émuler un téléphone IP, la ToIP est devenue une téléphonie de bout en bout gratuite, puisque la téléphonie devient une application comme une autre transitant par l'intermédiaire du modem ADSL.

Du fait de cette configuration, de nouvelles applications ont fait leur apparition pour proposer des services grand public. Parmi celles-ci, Skype ou MSN (Microsoft Network) proposent de la téléphonie sur IP de bout en bout.

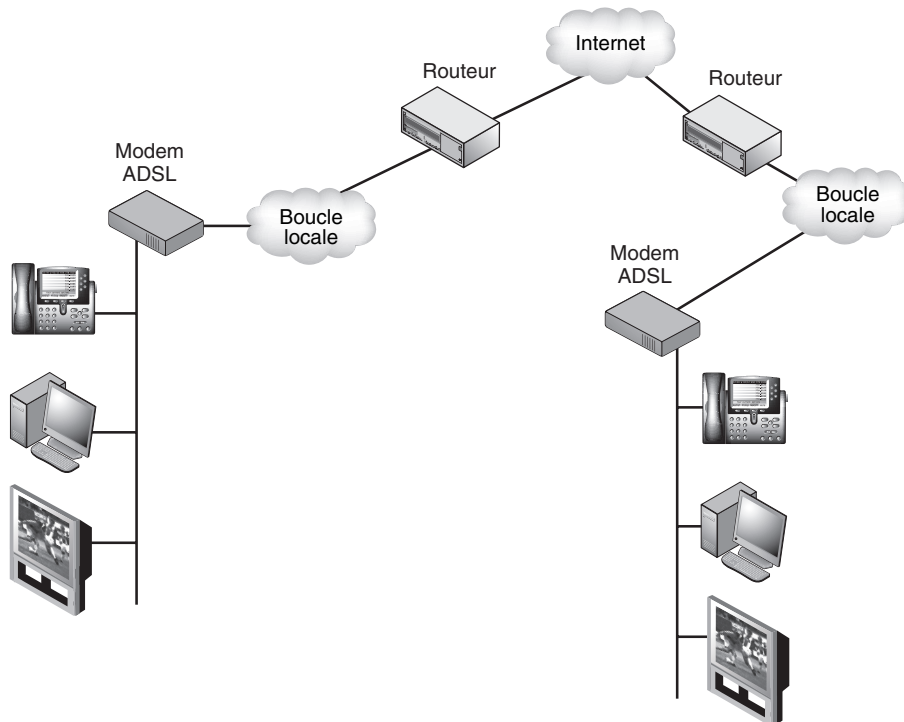
Il faut dans les deux cas disposer d'un modem ADSL aux deux extrémités de la communication afin que le débit soit acceptable sur la boucle locale. Skype fait appel à une technique P2P (peer-to-peer) à des fins de simplicité et pour ne pas avoir à implémenter un contrôle centralisé. La signalisation de MSN est gérée par une base de données centralisée mais qui peut être distribuée sur plusieurs sites.

Nous examinons en détail dans la suite de l'ouvrage ces solutions de ToIP, qu'elles proviennent des opérateurs ou d'applications uniquement terminales. Le modem ADSL joue le rôle de codec et de paquetsiseur. Le téléphone est branché sur une prise spécifique reliée au codec. La télévision et les données ont leur propre prise spécifique.

En cas d'utilisation d'un logiciel de téléphonie sur l'ordinateur portable, le flux de téléphonie est multiplexé avec l'ensemble des données et n'est pas traité de façon spécifique. On appelle cette solution, le Double-Play lorsqu'il y a un canal de données et un canal téléphonique et Triple-Play lorsqu'un canal de télévision est ajouté (voir figure 1.13).

Figure 1.13

Le Triple-Play

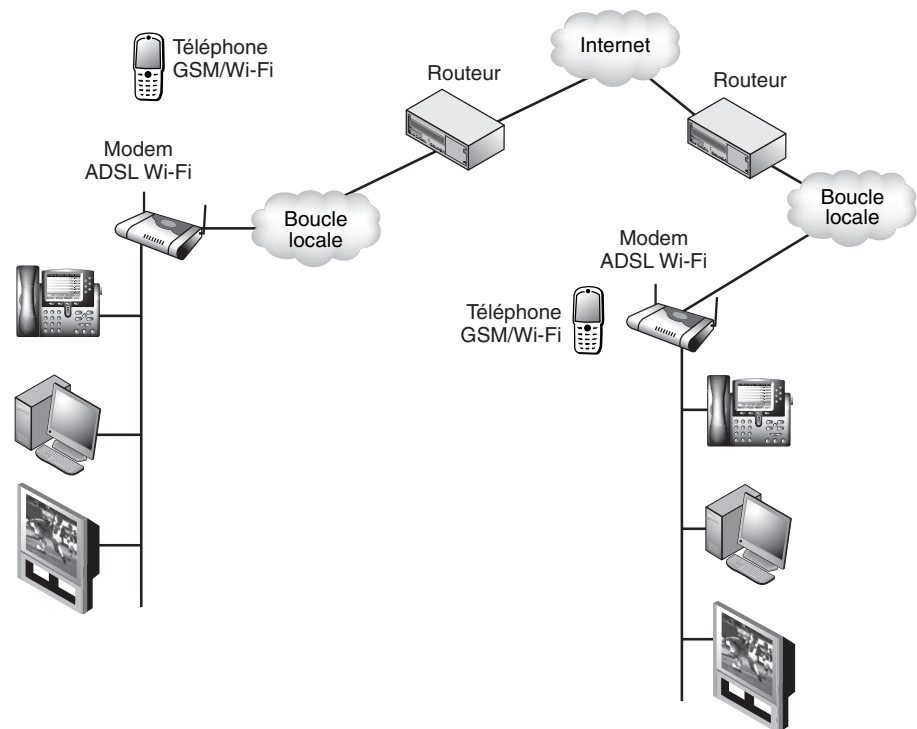


Si l'on ajoute un canal supplémentaire, comme le canal de mobilité provenant d'un terminal mobile de type GSM/Wi-Fi, on parle de Quadruple-Play. Lorsque ce téléphone est situé près d'un modem incorporant un réseau Wi-Fi, le mobile se connecte en Wi-Fi. S'il n'est pas situé dans une zone Wi-Fi, le téléphone utilise le mode GSM. Il est possible de commencer à téléphoner en Wi-Fi et de continuer en GSM lorsqu'on sort de la zone Wi-Fi. En sens inverse, le téléphone peut éventuellement repasser en Wi-Fi.

Cette solution est illustrée à la figure 1.14.

Figure 1.14

*Le Quadruple-Play*

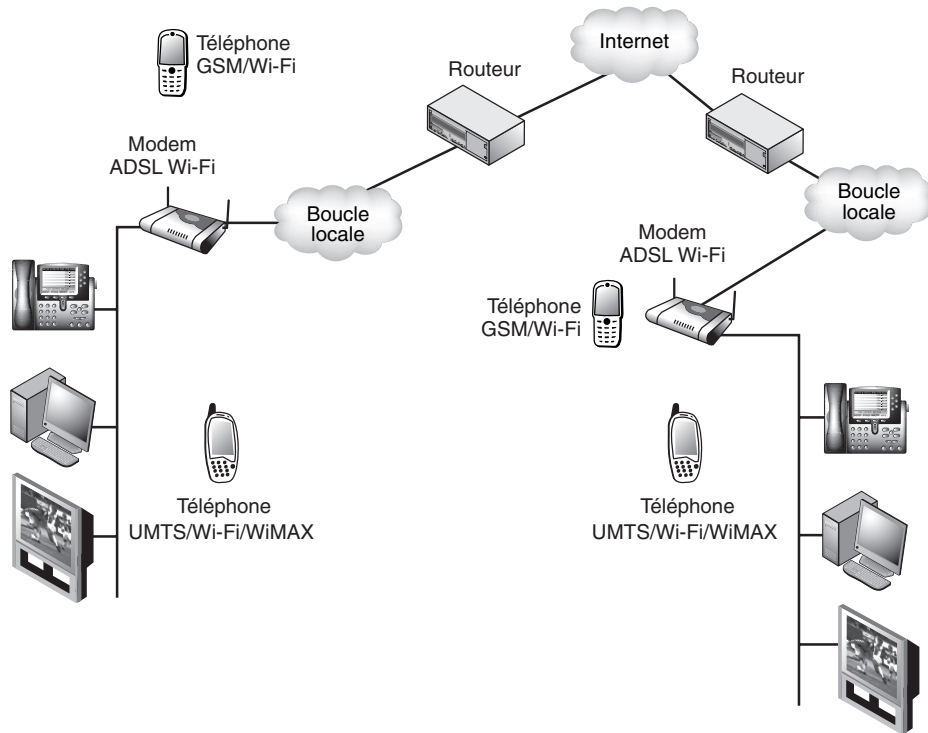


La figure 1.15 illustre la génération suivante, dite Penta-Play, dédiée à la vidéo mobile. Sur un mobile à écran vidéo, un utilisateur peut se connecter sur un réseau Wi-Fi et regarder la télévision. La connexion avec le modem ADSL s'effectue en mode hertzien de type Wi-Fi.

Dans cette solution comme dans la précédente, le téléphone GSM/Wi-Fi peut se connecter à tous les modems de l'opérateur Internet auquel l'utilisateur a souscrit.

La téléphonie sur IP est encore peu présente dans le monde de la communication mobile, mais elle devrait se généraliser dès que les accès Internet lui seront ouverts, ce que les opérateurs interdisent aujourd'hui. Ce déploiement s'effectuera par l'intermédiaire de l'Internet hertzien, mais prendra son essor véritable avec l'arrivée des produits WiMax.

Figure 1.15

*Le Penta-Play*

Pour le moment, les réseaux de mobiles peuvent transporter des paquets IP, qui ne sont jamais qu'un ensemble d'éléments binaires au même titre que toutes autres suites d'éléments binaires. Il est donc possible de mettre en place des applications de téléphonie sur un terminal mobile assez puissant. Le coût de la communication étant celui du transport des données, la téléphonie n'est plus qu'une application parmi les autres.

## Questions posées par la mise en place de la ToIP en entreprise

Nous examinons dans cette section les questions à se poser lors de la mise en place d'un environnement de ToIP en entreprise. Le cas des particuliers est différent puisque c'est à l'opérateur de résoudre les problèmes liés à ces questions.

Cinq questions principales se posent :

- **Sécurité.** Autrefois, les réseaux étaient fortement sécurisés grâce à la notion de circuit. En entrant dans le monde IP, la téléphonie rencontre un monde encore mal sécurisé, qui connaît des problèmes d'authentification, de confidentialité et d'intégrité.
- **Disponibilité.** Autrefois, les réseaux avaient une disponibilité dite à cinq « neuf », signifiant qu'ils fonctionnaient 99,999 % du temps. Les meilleurs réseaux des opérateurs



IP n'ont généralement qu'une disponibilité à trois « neuf » (99,9 % du temps). De nombreux autres réseaux IP ne sont disponibles qu'à 99 % du temps.

- **Gestion.** Les trois réseaux de la génération précédente (données, parole, vidéo) possédaient trois systèmes de gestion relativement simples. Avec l'intégration, il n'y a plus qu'un seul système de gestion, de ce fait assez complexe.
- **Contrôle.** Autrefois les réseaux étaient contrôlés par des algorithmes assez simples. L'intégration des différents flux dans le même réseau complexifie énormément le contrôle de l'ensemble.
- **Qualité de service.** La qualité de service étant liée à l'infrastructure, la nouvelle génération de réseaux doit être capable de prendre en charge les qualités de service de chaque application transitant sur le même réseau, ce qui n'est pas facile.

Dans la suite de l'ouvrage, nous nous penchons en détail sur les réponses techniques apportées à ces questions. Nous y reviendrons également en toute fin d'ouvrage pour synthétiser les éléments de réponses qui auront été apportés tout au long de ce livre.

Revenons quelques instants sur la sécurité, qui passe par la mise en place de pare-feu, permettant dans la mesure du possible d'arrêter les voies de parole interdites. Comme nous le verrons, ces solutions sont complexes et peu utilisées. Les pare-feu traditionnels filtrant les trafics à partir des numéros de port sont généralement incapables de stopper les flux de téléphonie. Il est donc nécessaire de recourir à des pare-feu applicatifs, capables d'identifier les applications de niveau 7 (applicatif).

Pour l'authentification et l'autorisation de l'émetteur, le chiffrement et la signature électronique sont nécessaires. Il faut en outre vérifier que la parole n'a pas été déformée, voire remplacée par une autre.

Le tableau 1.1 donne les idées de grandeur des durées et des coûts engendrés par l'indisponibilité du réseau.

**Tableau 1.1 – Taux de disponibilité et coûts de l'indisponibilité**

Nombre de « neuf »	Disponibilité	Durée d'indisponibilité	Type de réseau	Coût
1	90 %	36,5 j/an		C
2	99 %	3,65 j/an		2 C
3	99,9 %	8,8 h/an	Bon réseau IP	4 C
4	99,99 %	53 min/an		8 C
5	99,999 %	5 min/an	Téléphonie classique	16 C
6	99,9999 %	32 s/an		32 C

La durée d'indisponibilité passe de cinq minutes par an dans le cas d'un réseau téléphonique classique à presque neuf heures de pannes dans un très bon réseau IP. Il est toujours possible d'augmenter la disponibilité par duplication des lignes ou des chemins.

Pour passer d'une disponibilité de trois « neuf » à une disponibilité de cinq « neuf », il faut cependant multiplier les coûts par quatre. La dernière colonne du tableau montre que si le coût est de  $C$  pour un réseau de disponibilité 90 %, il est de  $2C$  pour gagner un « neuf », et il faut encore multiplier par 2 pour gagner un autre « neuf », etc.

La gestion devient également de plus en plus complexe. De nombreux groupes de travail se sont formés depuis plusieurs années pour promouvoir telle ou telle solution. Aujourd'hui, presque tout reste à faire du fait du passage de la gestion à des technologies IP.

Le contrôle est dans une situation similaire. Il est aujourd'hui quasiment impossible de contrôler efficacement un très grand réseau d'opérateur Internet. De nouvelles techniques sont en train d'émerger, comme les contrôles dits « autonomic » (parfois traduits en français par « auto-organisés »), qui permettent d'automatiser la commande de la plupart des algorithmes de contrôle. Le terme « autonomic » indique un processus autonome et spontané.

La qualité de service est un problème primordial. À ce titre, elle est abondamment couverte dans l'ouvrage. Sans qualité de service, la parole téléphonique ne peut traverser un réseau IP sans dommage. Comme nous le verrons, deux types de qualités de service peuvent être mis en place : soit le flux de la couche application s'adapte au réseau, soit le réseau s'adapte à la demande du flux applicatif.

La première solution est la plus ancienne. Elle correspond à une adaptation du flux par rapport à un réseau qui réagit en best-effort. Les applications téléphoniques telles que Skype utilisent cette solution. La seconde solution prend en compte les possibilités du réseau en permettant à un flux dont on connaît les caractéristiques de traverser le réseau dans les meilleures conditions de garantie. La seconde génération d'Internet correspond à cette solution. La plupart des offres de téléphonie sur IP dans l'entreprise reposent sur elle.

## Conclusion

La téléphonie reste une des applications dominantes du monde des réseaux, et ce pour encore de nombreuses années, en raison notamment de l'émergence de nouveaux et immenses marchés, comme celui de la Chine. L'application de téléphonie ne représente plus mi-2008 que 30 % en moyenne du chiffre d'affaires des opérateurs, tout en n'occupant que 4 % du débit total des communications.

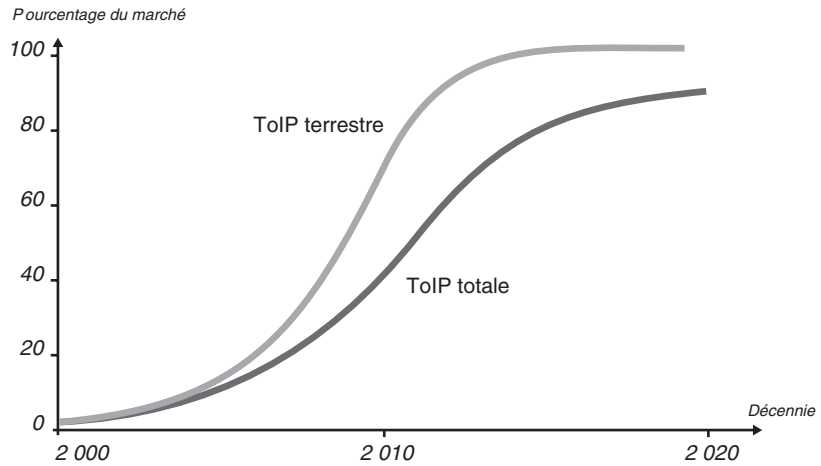
À cette même date (mi-2008), la ToIP mobilise près de 65 % des débits téléphoniques dits terrestres (excluant les mobiles). Le passage vers le tout-IP téléphonique, permettant d'intégrer les services de données et la téléphonie dans un même réseau, sera effectif vers la fin de 2009 en France.

Cependant, la qualité est très variable en fonction des efforts effectués par les gestionnaires de réseaux d'entreprise et les opérateurs de réseaux de télécommunications. Les problèmes à résoudre sont nombreux et parfois complexes. La ToIP n'est pas une application

simple à mettre en œuvre dans le contexte de l'intégration de tous les services de télécommunications sur le même réseau.

La figure 1.16 illustre la place que tiendra la ToIP dans les années à venir.

**Figure 1.16**  
*Évolution de la ToIP sur vingt ans*



En 2010, pratiquement tout le marché de la téléphonie terrestre sera passé en IP. Si l'on considère la téléphonie hertzienne, sa montée en puissance sera beaucoup plus longue. Avec l'UMTS et ses successeurs, le monde de la téléphonie hertzienne suit les traces du GSM, qui n'est pas une solution IP native. Il faudra donc attendre l'extension massive des réseaux sans fil IP de types Wi-Fi, WiMax et autres WiMedia et WiRAN avant de rejoindre les courbes terrestres.

Il est à noter que l'UMTS apporte une solution de téléphonie par paquet mais non-IP.