

Cours : Normes et protocoles « ST09 »

Chapitre 1. Notions fondamentales

Institutions de normalisation en télécommunication :

La normalisation est un acte primordial dans le domaine de la communication. En effet, il faut que tout utilisateur connecté au réseau de communication soit apte à recevoir et à transmettre des informations destinées à l'ensemble des participants.

Il faut se mettre d'accord sur l'ensemble des éléments nécessaires à la communication pour que des échanges puissent s'effectuer (voir figure ci-dessous).

La **normalisation** est un ensemble de règles établies qui doivent être suivies par les entités désirant communiquer.



Les réseaux informatiques doivent permettre à des applications informatiques de coopérer sans avoir à tenir compte de l'hétérogénéité des moyens et procédés de transmission (par exemple : de la topologie, des méthodes d'accès, des caractéristiques des équipements ou des supports, etc.).

La normalisation permet de :

- Adapter la technologie de transmission au support de communication.
- Masquer les phénomènes altérant la transmission.
- Maintenir la qualité demandée.
- Offrir l'interopérabilité.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Assurer la pérennité des choix.

Institutions de normalisation

Les pouvoirs publics et industriels se sont rendus compte que les fournisseurs de produits pour le réseau devaient se mettre d'accord sur des **normes** de communication reconnues et internationales.

La norme est établie par consensus entre les diverses parties impliquées dans chacun des sujets à normaliser et approuvée par un organisme reconnu. Les principaux organismes de normalisation sont :

- **ISO** (International Standardization Organization, créée en 1947) organisme, dépendant de l'Organisation des Nations Unies : ONU), qui s'occupe de tous les domaines techniques en dehors de l'électricité et de l'électronique. Il englobe les organismes nationaux de tous les pays Organisé en TC (Technical Committees) ou en SC (Sous Comités), à leur tour subdivisés

en Groupes de travail (Working Group). Les projets de normes passent par trois stades, **DS** (Draft Proposal) ou document de travail, **DIS** (Draft International Standard) ou proposition de norme, et enfin **IS** (International Standard) après l'adoption définitive.

L'ISO regroupe les organismes nationaux de normalisation :

- o **AFNOR** : France (Association française de normalisation)
- o **ANSI** : Etats-Unis (American National Standards Institute)
- o **DIN** : Allemagne (Deutsches Institut für Normung - Institut allemand de normalisation)
- o **BSI** : Royaume Uni (British Standards Institute - Organisme britannique de normalisation)
- o **JISC** : Japon (Japanese Industrial Standards Committee)
- o **IANOR** : Algérie (Institut Algérien de la Normalisation : En 1976, L'Algérie, représentée par l'IANOR devient membre de l'ISO), Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) ; (www.ianor.dz)

Sous tutelle du Ministère du Développement Industriel et de la Promotion de l'Investissement.

Missions de l'IANOR

- ☐ Elaborer des Normes Algériennes (NA) ;
- ☐ Assurer la veille sur l'évolution des normes ;
- ☐ Informer sur les normes ;
- ☐ Former et sensibiliser ;
- ☐ Certifier les produits aux Normes Algériennes, les systèmes de management et les personnes.

. **UIT** - Union Internationale des Télécommunications (Fondée en 1865) - Organisme international siégeant à Genève et chargé, dans le cadre de l'ONU, des questions de télécommunications. Il contrôle en particulier le CCITT, Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, chargé du développement et de l'adoption des normes internationales en matière de télécommunications.

Organisme appartenant à l'ONU et chargé de coordonner et de promouvoir le développement des télécommunications dans le monde. Ses principaux objectifs sont de stimuler les avancées technologiques et de garantir la compatibilité des réseaux nationaux pour permettre les communications internationales. Pour en savoir plus : <http://www.itu.int>

. **IUT-T** (International Union of Telecommunication - section Télécommunication) (qui a remplacé le CCITT : Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique en 1993) est chargée par l'ONU des normes qui portent le nom de «recommandations », dans le domaine des télécommunications.

Les missions et les objectifs de l'Union Internationale des Télécommunications

L'UIT favorise la coopération internationale avec trois objectifs :

- des télécommunications **toujours accessibles** ;
- des télécommunications **partout disponibles** ;
- des télécommunications **à la portée de tous**.

· **IEEE** (Institute of Electrical and Electronic Engineers : industriels) regroupe de nombreux chercheurs et ingénieurs en électronique et informatique jouant un rôle important comme forum d'étude et de discussion sur la normalisation. Elle a notamment joué un rôle prépondérant dans la normalisation des réseaux locaux avec les normes IEEE 802, 802.3 (Ethernet), 802.4 (bus à jeton), 802.5 (anneau à jeton).

· **IETF / IRTF** (Internet Engineering/ Research Task Force) de la structure **IAB** (Internet Activities Board) qui avait remplacé l'ICCB en 1989. Cet organisme émet des normes de l'internet appelées RFC (Request For Comment).

La dénomination d'une norme doit tenir compte d'un ensemble de critères :

- Son **origine** (ISO, IEEE, etc.).
- Son **domaine d'application** (réseaux publics/privés/locaux/, téléphone, etc.).
- Sa **zone d'application** (européenne, internationale, etc.).

CEI - Commission Electrotechnique Internationale - IEC International Electrotechnical Commission - Organisme composé des Comités électrotechniques nationaux de plus de quarante pays. Elle forme avec l'ISO un comité technique commun (joint technical committee) ISO/IEC/JTC 1 pour traiter des problèmes relatifs à l'informatique et aux télécommunications pour l'informatique.

Norme et Protocole (Définitions)

Norme - Standard - Document établi par consensus et approuvé par un organisme de normalisation reconnu (ISO, CEI, UIT-T, ETSI ...). Ne pas confondre avec standard.

Protocole - Séquence de règles à suivre dans un échange d'informations - Un protocole est une description formelle de règles et de conventions à suivre dans un échange d'informations, que ce soit pour acheminer les données jusqu'au destinataire ou pour que le destinataire comprenne comment il doit utiliser les données qu'il a reçues. C'est l'ensemble des règles de dialogue qui permettent à deux niveaux équivalents du modèle OSI (Open System Interconnection : interconnexion des systèmes ouverts) de communiquer.

Pour qu'une transmission de données puisse se dérouler convenablement jusqu'au bout entre deux équipements ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données (DTE : Data Terminal Equipment) ou entre deux adaptateurs de circuits ETCD : Equipement de terminaison de circuit de données (DCE : Data Circuit Terminating Equipment), il faut que tous les maillons de la chaîne suivent des procédures ou des conventions préalables parfaitement définies qui constitueront la grammaire du dialogue. Ce sont ces conventions que d'une manière générale on désigne par le nom de protocole. Cette notion, désignant toute convention de dialogue, est très large, mais elle est indispensable en télécommunications. On peut dire qu'une grande partie des décisions en matière de réseaux porte en dernier sur des choix de protocoles. Un protocole définira, par exemple, la structure et l'ordre dans lesquels les informations seront transmises (organisation par bits, par mots, par blocs...), la synchronisation entre émetteur et récepteur, les règles de priorité, la façon dont seront

détectées, et éventuellement corrigées, les erreurs de transmission, les procédures à suivre en cas d'incident, l'adaptation des flux de données aux débits des canaux...

Les protocoles peuvent être implantés dans n'importe quel type d'équipement soit sous forme matérielle dans des circuits électroniques, soit sous forme logicielle, un protocole se présentant alors comme un programme d'ordinateur. Une transmission nécessite en général le recours à plusieurs protocoles, souvent imbriqués les uns dans les autres. Par exemple, dans une transmission simple, on aura au minimum un protocole de dialogue entre ETTD et ETCD et entre les deux ETTD's. Cette hiérarchie imbriquée des protocoles sera à la base du modèle d'interconnexion de systèmes ouverts en "couches" OSI.

Un protocole est une méthode standard qui permet la communication entre des processus (s'exécutant éventuellement sur différentes machines). Il en existe plusieurs selon ce que l'on attend de la communication. Certains protocoles seront par exemple spécialisés dans l'échange de fichiers (le FTP : File Transfert Protocol), d'autres pourront servir à gérer simplement l'état de la transmission et des erreurs (c'est le cas du protocole ICMP : Internet Control and error Message Protocol), ...

Sur Internet, les protocoles utilisés font partie d'une suite de protocoles, c'est-à-dire un ensemble de protocoles reliés entre-eux. Cette suite de protocole s'appelle TCP/IP : Elle contient, entre autres, les protocoles suivants: HTTP, FTP, ARP, ICMP, IP, TCP, UDP, SMTP, Telnet, NNTP.

On classe généralement les protocoles en deux catégories selon le niveau de contrôle des données que l'on désire:

□ **Les protocoles orientés connexion:** Il s'agit des protocoles opérant un contrôle de transmission des données pendant une communication établie entre deux machines. Dans un tel schéma, la machine réceptrice envoie des accusés de réception lors de la communication, ainsi la machine émettrice est garante de la validité des données qu'elle envoie. Les données sont ainsi envoyées sous forme de flot. TCP est un protocole orienté connexion.

□ **Les protocoles non orientés connexion:** Il s'agit d'un mode de communication dans lequel la machine émettrice envoie des données sans prévenir la machine réceptrice, et la machine réceptrice reçoit les données sans envoyer d'avis de réception à la première. Les données sont ainsi envoyées sous forme de blocs (datagrammes). UDP (User Datagram Protocol) est un protocole non orienté connexion.

Un protocole définit uniquement la façon par laquelle les machines doivent communiquer, c'est-à-dire la forme et la séquence des données à échanger. Un protocole ne définit par contre pas la manière de programmer un logiciel de telle manière à ce qu'il soit compatible avec le protocole. On appelle ainsi implémentation la traduction d'un protocole en langage informatique.

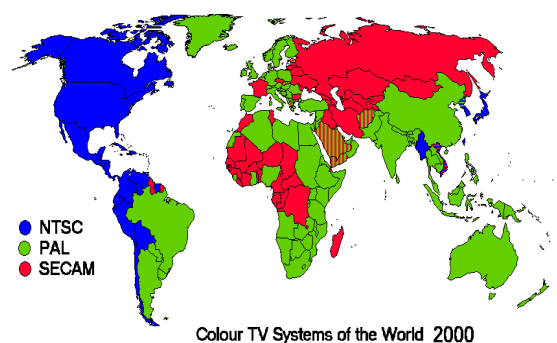
Les spécifications des protocoles ne sont jamais exhaustives, aussi il est courant que les implémentations soient l'objet d'une certaine interprétation des spécifications, ce qui conduit parfois à des spécificités de certaines implémentations ou pire à des incompatibilités ou des failles de sécurité.

Chapitre 2. Normes associées à la diffusion analogique et numérique

Diffusion - Broadcast - Mode de transmission dans lequel un émetteur transmet vers plusieurs destinataires généralement inconnus.

Normes de télévision analogique terrestre

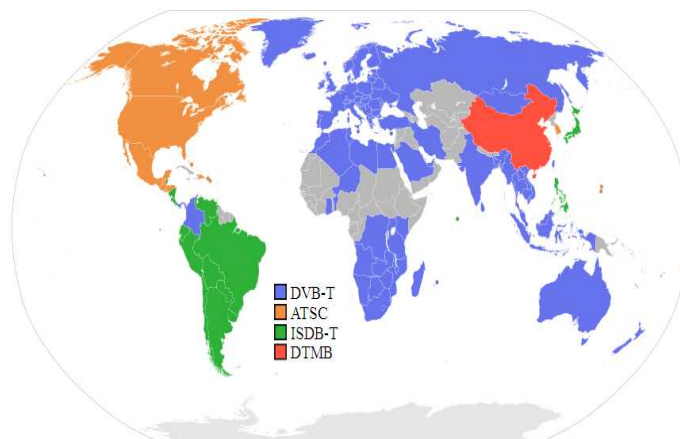
1. Ils y a trois normes analogiques de télévision terrestres dans le monde. Ce sont :
 - i. Le NTSC (National Television Systems Committee) Norme de TV couleur créée par ce groupe en 1951 avec 525 lignes et 60 trames par seconde. Le standard NTSC est utilisé en Amérique du Nord et en Amérique Centrale ainsi que dans d'autres pays. NTSC 4,43; Norme vidéo NTSC avec porteuse de couleurs PAL;
 - ii. Le PAL (Phase Alternation Line), Norme de couleur, développée en Allemagne, à 625 lignes et 50 champs d'image par seconde. C'est le standard TV européen le plus répandu;
 - iii. Le SECAM (Séquentiel Couleur Avec Mémoire), la norme vidéo utilisée en France, l'Europe de l'Est, la FSU (ex-Union soviétique) et certains pays du Moyen-Orient.
2. Les normes sont incompatibles entre eux. En outre, l'équipement qui démodule le signal doit être formaté pour ce signal. La Figure qui suit montre l'utilisation des normes à travers le monde. Le PAL est la norme de transmission dominante en Afrique considérant que la norme SECAM a également été déployée en Afrique occidentale.



Utilisation des normes Analogiques à travers le monde

Normes de télévision numérique terrestre

1. La figure ci-dessous montre l'utilisation des normes numérique à travers le monde, qui sont :
 - DVB-T: (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), une norme développée par le projet DVB ;
 - ATSC: Advanced Television Systems Committee - Norme de diffusion de télévision par voie terrestre. Déployée aux Etats-Unis, au Canada et en Corée du Sud. Cette norme ne permet pas la réception en situation de mobilité (pas de réception mobile);
 - ISDB-T: (Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial) qui est une norme développée par le Japon. Il existe également une version brésilienne.
 - DTMB: (Digital Broadcast Multimedia terrestre) étant la norme TV développée par la République populaire de Chine.
2. La plupart des pays africains ont adopté le DVB-T ou DVB-T2 comme norme de transmission pour la transmission de la télévision numérique.

**Utilisation des normes numériques à travers le monde****Autres :**

CCIR - Comité Consultatif International des Radiocommunications - Branche de l'UIT qui traitait des problèmes techniques de radiocommunications. Il est maintenant remplacé, pour l'essentiel, par l'UIT-R. Le CCIR était situé à Genève.

NTSC - Television Standards Committee - Norme de TV couleur créée par ce groupe en 1951 avec 525 lignes et 60 trames par seconde. Le standard NTSC est utilisé en Amérique du Nord et en Amérique Centrale ainsi que dans d'autres pays. NTSC 4,43; Norme vidéo NTSC avec porteuse de couleurs PAL.

DVB - Digital Video Broadcast - Groupe Européen spécialisé dans la radio télédiffusion numérique. 2 variantes existent :

□ **DVB-T** pour Terrestrial = C'est la Télévision Numérique Terrestre (TNT) - Diffusé en MPEG-2 sur un multiplex (fréquence) de 24 Mbit/seconde. Chaque programme requiert une bande passante de 4 à 5 Mbit/seconde d'où une capacité de 5 chaînes TV par multiplex (fréquence).

□ **DVB-H** pour Handheld = C'est la TNT adapté aux spécificités des terminaux mobiles (écran réduit, autonomie des batteries et mobilité) - Diffusé en IP (protocole IPDC - IP Data cast) sur un multiplex de 11 Mbit/seconde. Chaque programme requiert une bande passante de 128 à 384 kbit/seconde d'où une capacité de 25 à 80 flux vidéos par multiplex (fréquence). Norme Européenne validée par l'ETSI, utilisant la norme de compression MPEG-2 ou MPEG-4. Utilise les bande UHF IV et V.

ATSC - Advanced Television Systems Committee - Norme de diffusion de télévision par voie terrestre. Déployée aux Etats-Unis, au Canada et en Corée du Sud. Cette norme ne permet pas la réception en situation de mobilité (pas de réception mobile).

ISDB-T - Integrated Broadcast Digital Broadcasting - Terrestrial - Norme de diffusion de télévision par voie terrestre similaire au DVB-T, cette norme a été retenue au Japon.

Chapitre 3. Normes associées aux réseaux de la communication numérique

Historique des télécommunications

1837 : Samuel Morse : système de transmission de lettres de l'alphabet) Télégraphe : Codage des lettres par pts et traits de longueurs différentes (correspondant à des durées différentes) en optimisant le temps de transmission) Théorie de l'Information

1864 : Equations de Maxwell: prédiction de l'existence d'ondes radio

1865 : 1ère conférence de l'Union Télégraphique Internationale) développement des télécommunications sur le plan international

1870 : transmissions télégraphiques à longue distance (plusieurs milliers de km)

1874 : Invention du multiplexage temporel par Baudot

1876 : Graham Bell : brevet de système électrique de transmission du son) Téléphone

1887 : Hertz : démonstration de l'existence des ondes radios

1891 : Premier commutateur téléphonique

1894 : Lodge : communications sans fils (sur 150m)

1901 : Marconi/Popov : Radio, transmission d'ondes radio longues distances

1902 : première liaison radio point-à-point (US) : télégraphie sans fil

1906 : Fessenden : première transmission radio AM

1907 : Invention de la Triode : amplification analogique Téléphonie longue distance

1928 : Nyquist : Théorie de l'échantillonnage

1936 : Reeves : Pulse Code Modulation (PCM) Transmission numériques 1940 : techniques d'étalement de spectres (pour cryptage)

1947 : Union Internationale des Télécommunications (UIT) réglementation des télécommunications internationales

1948 : Invention du transistor : développement de l'électronique des télécoms

1948 : Shannon : Théorie de la capacité du canal

1958 : 1er satellite de communications (SCORE, orbite basse),

1962 : 1er câble 1.544 Mbits/s (USA, Bell)

1965 : 1er satellite géostationnaire de télécommunications (INTELSAT)

1966 : 1ères fibres optiques à faibles pertes : début des hauts débits numériques

1970 : Autocommutateurs numériques (CNET)

1980 : MINITEL

1981 : NMT/AMPS : téléphones mobiles de 1ère génération (analogiques)

1988 : RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Services (Numéris de France Télécom)

1991 : GSM/IS-54 : téléphones mobiles de 2ème génération (numériques)

1991 : Internet, World Wide Web

Réseau Numérique à Intégration de service : RNIS

L'abréviation RNIS (ISDN en Anglais Integrated Services Digital Network), pour Réseaux Numérique à Intégration de Services, a été introduite en 1979 pour définir l'objectif vers lesquelles devaient tendre les télécommunications numériques. Le CCITT le définissait ainsi : *"Un Réseau Numérique à Intégration de Services est un réseau développé en général à partir d'un réseau téléphonique numérisé, qui autorise une connectivité numérique de bout en bout assurant une large palette de services, vocaux ou non, auquel les usagers ont accès par un ensemble limité d'interfaces polyvalentes."*

La différence qui existe entre le RNIS et le RTC (Réseau Téléphonique Commuté - C'est le réseau téléphonique ordinaire nommé PSTN : Public Switched Telephone Network en anglais), entre signaux numériques et analogiques, ressemble de très près à celle qui sépare le vieux microsillon au son analogique du disque compact au son numérique. La technologie numérique permet de n'enregistrer que les données pertinentes émanant de la source sonore et de transmettre le message numérique de façon beaucoup plus rapide et beaucoup plus précise que ne le fait la technologie analogique. Résultat, en ce qui concerne le RNIS, un son de haute qualité et une pléthore de services en complément des services supports proposés par le réseau analogique: sous-adressage, identification de l'appelant, prise d'appel en instance, portabilité du terminal en cours de communication sont systématiquement fournis. Parmi les autres services sur option: sélection directe à l'arrivée, double appel va-et-vient, signalisation d'utilisateur à utilisateur avec possibilité d'envoyer un message de 32 caractères par le canal D. **Canal D** - Canal de signalisation utilisé sur le Réseau numérique à intégration de services (RNIS). Il sert à transmettre différentes informations de "service", indépendamment de la communication principale : demande de connexion, identité de l'appelant, établissement de l'appel, fin de l'appel... Sa capacité est de 16 Kbps pour l'Accès de base S0 du RNIS et de 64 Kbps pour l'Accès primaire S2. **Canal B** - Liaison numérique terminale à 64 Kbps sur le Réseau numérique à intégration de services (RNIS). Un Accès de base du RNIS comporte 2 canaux B utilisables par un terminal RNIS quelconque (téléphone, télécopieur, terminal informatique). Un Accès RNIS dit primaire comporte 30 canaux B utilisables indépendamment les uns des autres.

Quand on parle de RNIS, on parle en effet de canal D, de canaux B, d'accès de base et d'accès primaire. Explications: à l'inverse de ce qui se passe sur le réseau analogique (NDLR: le réseau n'est numérique que jusqu'au commutateur de raccordement des abonnés; toutes les lignes de terminaison sont donc encore analogiques), où les signaux servant à l'établissement de la communication sont véhiculés sur les mêmes circuits utilisés pour transmettre les données sur le réseau RNIS, les données de signalisation sont acheminées sur un canal séparé dit canal D (D pour données ou data en anglais) à 16 Kbits/s dit encore canal sémaphore. Les données d'information à transmettre (voix, texte...) sont, quant à elles, acheminées sur deux canaux à 64 Kbits/s, dits canaux B (B pour bearer en anglais, c'est à dire support en français). L'intérêt de cette séparation sur des canaux différents des données de signalisation et des données d'information est de pouvoir communiquer sur deux lignes à la fois: continuer, par exemple, une conversation téléphonique tout en restant connecté à Internet. Ce débit total de 144 Kbits/s (1 canal D + 2 canaux B) constitue l'accès de base. L'accès de base intéresse notamment les PME et les toutes petites entreprises. L'accès primaire concerne les plus grandes entreprises. Il s'agit d'un accès totalisant 2 Mbits/s, constitué de 30 canaux B (30 x 64 Kbits/s) et d'un canal D qui cette fois véhicule les données de signalisation à 64 Kbits/s.

Concernant les raccordements RNIS, plusieurs configurations sont possibles selon la taille de l'entreprise. La plus simple consiste à placer sur un bus passif les prises en parallèle pour

raccorder jusqu'à 8 terminaux. Mais il est également possible de disposer d'une régie privée à bus unique ou d'une régie à étoile de bus pour monter une installation de type réseau local. La régie à bus unique joue alors le rôle d'un petit autocommutateur qui permet de commuter les communications entre les terminaux ou simplement donne la possibilité aux terminaux de communiquer entre eux et de disposer du service sélection directe à l'arrivée (SDA). Enfin, la régie à étoile de bus convient pour des besoins plus importants puisqu'elle permet un raccordement en étoile autour d'une régie.

L'infrastructure nationale de télécommunications est en train de s'unifier pour devenir peu à peu totalement numérique. Une offre de nouveaux services est donc disponible. A FT, cette offre porte le nom de Numéris, nom commercial du RNIS (*Réseau Numérique à Intégration de Services*) en anglais ISDN. Derrière cette offre, il faut considérer plusieurs composantes majeures : d'abord, l'accès à un service de commutation de circuits numériques, ensuite la possibilité de bénéficier sur le même accès de plusieurs services, une interface normalisée universelle pour tout type de service, et enfin un accès à une signalisation riche soit entre un usager et le réseau, soit entre deux usagers. La normalisation du RNIS est parfaitement définie pour les 3 couches basses du modèle OSI. La couche Physique (couche 1) décrit les interfaces dites S côté usager et T côté réseau, ainsi qu'une prise universelle à huit contacts (RJ45) prévue pour raccorder n'importe quel type de terminal. La couche Liaison de données (couche 2) utilise une procédure HDLC similaire à celle des réseaux à commutation de paquets X25. La couche Réseau (couche 3) est également identique à X25 avec en plus un protocole de signalisation spécial.

Sont ainsi définis, pour l'utilisateur, deux types d'accès:

L'accès de base prévoit un débit total de 144 Kbit/s découpé par multiplexage en deux canaux de 64 kbit/s, dits canaux B, et un canal de signalisation de 16kbit/s, dit canal D. L'interface est identifiée par la norme S0.

L'accès primaire, sous le nom d'interface S2, correspond à un débit global de 1 984 kbit/s, composé de trente canaux B de 64 kbit/s et d'un canal D à 64 kbit/s. Le nom de primaire provient du fait qu'il correspond à l'unité de concentration primaire dans la hiérarchie de multiplexage des réseaux publics.

Les configurations de câblage sont de 4 types:

Bus court : 130m 10 prises max

Bus étendu : 130 à 500m (4 prises regroupées sur 30m)

Point à point: 800m

Distribution en Y : 2 branches de 90m (10 prises).

RNIS Large Bande - L'utilisation des fibres optiques, permettant des débits à l'échelle du Gbit/sec, combinée aux nouvelles technologies de commutation et de transmission (ATM et SDH), conduit aux réseaux larges bande. Le RNIS large bande est une architecture unique normalisée intégrant tous les services qui sont aujourd'hui offerts par des réseaux spécialisés (téléphone, TV, TRANSPAC, etc.). Ce réseau est capable d'absorber et de gérer, sur une même infrastructure, les trafics discontinus générés par chaque service, quelque élevés que puissent être les flux à un instant donné.

Modèle OSI : historique, les couches, transmission des données via OSI

A l'époque, les constructeurs informatiques proposaient des architectures réseaux propres à leurs équipements (IBM a proposé SNA, DEC a proposé DNA et bien d'autres). Ces

architectures avaient néanmoins toutes le même défaut : du fait de leur caractère propriétaire, il n'était pas facile de les interconnecter, à moins d'un accord entre constructeurs. Aussi, pour éviter la multiplication des solutions d'interconnexion d'architectures hétérogènes, l'ISO a développé un modèle de référence appelé modèle OSI (pour Système d'Interconnexion Ouvert). En résumé, ce modèle décrit les concepts utilisés et la démarche suivie pour normaliser l'interconnexion de systèmes.

Au moment de la conception de ce modèle, la prise en compte de l'hétérogénéité des équipements était fondamentale. En effet, ce modèle devait permettre :

- l'interconnexion avec des systèmes hétérogènes (pour des raisons historiques et économiques),
- la non-favorisation d'un fournisseur particulier,
- l'adaptation à l'évolution des flux d'informations à traiter sans remettre en cause les investissements antérieurs.

Cette prise en compte de l'hétérogénéité a donc nécessité l'adoption de règles communes de communication et de coopération entre les équipements; c'est à dire que ce modèle devait logiquement mener à une normalisation internationale des protocoles. Les premiers travaux portant sur le modèle OSI ont daté de 1977. Ils ont été basés sur l'expérience acquise en matière de grands réseaux et de réseaux privés plus petits; le modèle devait en effet être valable pour tous les types de réseaux. En 1978, l'ISO a proposé ce modèle sous la norme ISO IS7498. En 1984, plusieurs constructeurs européens, rejoints en 1985 par les grands constructeurs américains, ont adopté le standard.

Les avantages de ce modèle sont :

- Une division de la communication réseau en éléments plus petits et plus simple pour une meilleure compréhension
- L'uniformisation des éléments afin de permettre le développement multi-constructeur
- La possibilité de modifier un aspect de la communication réseau sans modifier le reste (Exemple : un nouveau média)

C'est quoi les couches ?

Dans ce petit rappel, nous avons mentionné à plusieurs reprises le terme de "couche". En réalité la structure du modèle OSI est définie par un "empilement" de couches successives, dont chacune a un rôle bien défini.

Le modèle OSI est défini en 7 couches, chacune ayant une fonction particulière, et dont l'ensemble va permettre de communiquer d'un ordinateur à l'autre. Pour communiquer entre les couches et entre les hôtes d'un réseau, OSI a recouru au principe **d'encapsulation**.

Encapsulation : processus de conditionnement des données consistant à ajouter un en tête de protocole déterminé avant que les données ne soient transmises à la couche inférieure.

Voici une description sommaire des couches du modèle OSI.

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Emission et réception des signaux (radio) électriques (bits)
 - Sérialisation: octets \longleftrightarrow bits
- Exemples
 - Cartes réseau, connecteurs, câbles, modems, concentrateurs (hubs)

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Envoi et réception de messages (trames) à son proche (sur un lien direct)
 - Contrôle d'erreurs de transmission
- Exemples
 - PPP Point to Point Protocol
 - raccordement d'un ordinateur avec modem à un fournisseur d'accès Internet
 - Protocole Ethernet (IEEE802.3, IEEE802.11b)
 - liaison avec ou sans fil en réseau local

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Acheminer les messages (paquets) de proche en proche en fonction de leur adresse de destination (routage)
 - Fragmenter les messages en paquets
- Exemples
 - IP Internet Protocol
 - **Inter**connected **Net**works
 - IPv4, version 4, version actuelle
 - IPv6, version 6, la prochaine version

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Envoyer et recevoir les messages de bout en bout, c-à-d de la source jusqu'à destination
 - Retransmettre, éventuellement, les messages non reçus
- Exemples
 - TCP Transmission Control Protocol
 - transport avec garanties
 - UDP User Datagram Protocol
 - transport sans garantie ("best effort"), donc sans retransmission

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Maintenir un contexte de communication (début/identification, fin, reprise en cas d'interruption) entre source et destination
 - Pas toujours nécessaire
- Exemples
 - Login / Logout entre machines en réseau
 - Cette fonction est souvent intégrée directement dans les logiciels d'application qui utilisent des protocoles spécifiques

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Représenter les données
- Exemples
 - ASCII
 - American Standard Code for Information Interchange
 - ISO 8859
 - ASCII plus caractères avec accents
 - ASN.1 Abstract Syntax Notation 1
 - Langage de description des données et règles de représentation (utilisé par ex. par les applications de gestion des réseaux)

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions

- Transfert de fichiers, courrier électronique, navigation Internet (requêtes/réponses), voix et vidéo sur Internet, gestion de réseau, etc.

- Exemples

- FTP File Transfer Protocol
- SMTP Simple Message Transfer Protocol
- HTTP HyperText Transfer Protocol
- RTP Real-time Transport Protocol
- RTSP Real Time Streaming Protocol

Le modèle TCP/IP

La forme actuelle de TCP/IP résulte du rôle historique que ce système de protocoles a joué dans le parachèvement de ce qui allait devenir Internet. A l'instar des nombreux développements de ces dernières années, Internet est issu des recherches lancées aux Etats-Unis par le DOD, département de la défense. A la fin des années 60, les officiels du DOD se rendent compte que les militaires du département de la défense possèdent une grande quantité de matériel informatique très divers, mais ces machines travaillent pour la plupart de manière isolées ou encore en réseaux de taille très modeste avec des protocoles incompatibles entre eux, ceci rendant une interconnexion impossible.

Les autorités militaires se sont alors demandé s'il était possible, pour ces machines aux profils très différents, de traiter des informations mises en commun. Habitué comme ils le sont aux problèmes de sécurité, les responsables de la défense ont immédiatement réalisé qu'un réseau de grande ampleur deviendrait une cible idéale en cas de conflit. La caractéristique principale de ce réseau, s'il devait exister, était d'être non centralisé. Ses fonctions essentielles ne devaient en aucun cas se trouver en un seul point, ce qui le rendrait trop vulnérable. C'est alors que fut mis en place le projet Arpanet (Advanced Research Projects Agency du DOD), qui allait devenir par la suite le système d'interconnexion de réseau qui régit ce que l'on appelle aujourd'hui l'Internet : TCP/IP. TCP/IP est un modèle comprenant 4 couches :

Couche	Nom	Description
4	Application	Couches 7 à 5 du modèle OSI
3	Transport	Qualité de transmission
2	Internet	Sélection du chemin
1	Accès au réseau	Reprend les couches 1 et 2 du modèle OSI

Les 4 couches de TCP/IP

Protocole orienté/non orienté connexion

Dans un protocole orienté connexion, TCP/IP établit un dialogue entre la source et le destinataire pendant qu'il prépare les informations de la couche application en segments. Il y a alors un échange de segments de couche 4 afin de préparer une communication et donc une connexion logique pendant un certain temps. Cette communication faisant appel à un circuit logique temporaire est appelé commutation de paquets, en opposition à la commutation de circuits supposant elle un circuit permanent.

Un protocole non orienté connexion envoie les données sur le réseau sans qu'un circuit ait été établi au préalable.

Comparaison entre OSI et TCP/IP

Ces deux modèles sont très similaires, dans la mesure où les 2 sont des modèles de communication à couche et utilisent l'encapsulation de données.

On remarque cependant deux différences majeures :

- TCP/IP regroupe certaines couches du modèle OSI dans des couches plus général
- TCP/IP est plus qu'un modèle de conception théorique, c'est sur lui que repose le réseau Internet actuel

Modèle OSI

Couche	Désignation
Application	Couche Applications
Présentation	
Session	
Transport	Couches flux de données
Réseau	
Liaison de données	
Physique	

Modèle TCP/IP

Couche	Désignation
Application	Protocoles
Transport	
Internet	Réseaux
Accès Réseau	

Les modèles OSI et TCP/IP

Chapitre 4. Protocoles des réseaux sans fil et des réseaux mobiles

802.11 - Ensemble de spécifications de réseaux sans fil développées par le groupe LAN/MAN de l'IEEE.

Normes IEEE définissant un réseau local sans fil. Un réseau local 802.11 est basé sur une architecture cellulaire (subdivisé en cellules), et où chaque cellule (appelée Basic Service Set ou BSS dans la nomenclature 802.11), est contrôlée par une station de base (appelée Access Point ou AP, Point d'Accès en français).

Même si un réseau local sans fil peut être formé par une cellule unique, avec un seul Point d'Accès, (et comme décrit plus loin, il peut même fonctionner sans Point d'Accès), la plupart des installations seront formées de plusieurs cellules, où les Points d'Accès sont interconnectés par une sorte de backbone (appelé Distribution System ou DS, Système de Distribution en français), typiquement Ethernet, et dans certains cas, lui-même sans fil.

L'ensemble du réseau local sans fil interconnecté, incluant les différentes cellules, leurs Points d'Accès respectifs et le Système de Distribution, est vu par les couches supérieures du modèle OSI comme un unique réseau 802, et est appelé dans le standard Extended Service Set (ESS).

802.11a - Norme IEEE définissant un réseau local sans fil qui utilise la bande des 5GHz, doté de 8 canaux de transmission (en France) - Taux de transfert jusqu'à 54Mbps. Autorise les architectures Infrastructure uniquement. Supporte l'encryptage WEP. Il existe des solutions bi bandes intégrant le 802.11b & a.

Opérant dans la bande des 5 à 5.8 GHz, la norme 802.11a met l'accent sur l'utilisation de la technologie OFDM au niveau physique pour atteindre des débits de 54 Mbps. OFDM est également la technologie préconisée par la norme HiperLAN/2. La norme prévoit grâce à cette technologie une meilleure immunité aux interférences.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) divise les canaux de 20 MHz en 52 sous-canaux de 0,3125 MHz (sur 64 sous-canaux possibles) pour obtenir au choix des débits de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ou 54 Mbps. Seuls les débits de 6, 12 et 24 Mbps doivent être impérativement implémentés sur tous les produits.

802.11b - Norme IEEE définissant un réseau local sans fil qui utilise la bande des 2.4GHz, doté de 14 canaux de transmission. Taux de transfert jusqu'à 11 Mbps. Autorise les architectures Ad-Hoc et Infrastructure. Permet les connexions inter bâtiments. Supporte l'encryptage WEP Solutions certifiées Wifi pour garantir la compatibilité des produits 802.11b.

Normalisée en septembre 1999, la norme 802.11b ou 802.11HR (High Rate) n'est modifiée par rapport à la norme 802.11 qu'au niveau de la couche physique. Seule la technologie DSSS dans la bande 2,4 GHz est gardée, permettant des débits de 11 Mbps et des portées de 300 mètres. Bien sûr, les débits chutent avec l'augmentation de la distance entre les éléments.

Un organisme, la WECA, s'est donné la mission de certifier l'interopérabilité des produits avec la norme 802.11b afin d'aider son implantation au niveau du marché.

La bande des 2,4 GHz, ou bande ISM (Industriel, Scientifique et Médical), est exploitée par d'autres équipements, dont les fours micro-ondes, les téléphones sans fil et les puces Bluetooth.

802.11c - Complément de la couche MAC améliorant les fonctions "pont", reversé au groupe de travail 802.11d.

802.11d - Adaptation des couches physiques pour conformité aux exigences de certains pays particulièrement strictes (essentiellement la France et le Japon).

802.11e - Complément de la couche MAC apportant une qualité de service aux réseaux 802.11a, b et g. Cette norme permet notamment la technologie VoWi-Fi.

En définissant des mécanismes de QoS sur le réseau WLAN, 802.11e permettra aussi l'utilisation et le transport de la vidéo sur WLAN. Premier mécanisme de 802.11e : Mise en place de 8 catégories de trafic et du multiplexage temporel (TDMA). 802.11e permettra aussi de réduire les collisions (les pertes de données) au sein de chaque catégorie de trafic. Les catégories de trafic seront traitées en fonction de leur niveau de priorité.

802.11f - Standard qui définit des fonctions de "roaming" et permettant de dialoguer avec d'autres points d'accès type 802.11 a, b ou g.

Document normatif décrivant l'interopérabilité inter constructeurs au niveau de l'enregistrement d'un point d'accès (AP) au sein d'un réseau, ainsi que les échanges d'information entre AP lors d'un saut de cellule (roaming).

802.11g - Norme IEEE définissant un réseau local sans fil qui utilise la bande des 2.4GHz, doté de 14 canaux de transmission. Taux de transfert jusqu'à 54Mbps. Permet les connexions inter bâtiments. Autorise les architectures Ad-Hoc et Infrastructure. Adaptation d'OFDM aux réseaux 802.11b, mode turbo apportant également les mécanismes de code de protection par redondance (PBCC). Supporte l'encryptage WEP.

802.11h - Amélioration de la couche MAC visant à rendre compatible les équipements 802.11a avec les infrastructures Hiperlan2. 802.11h s'occupe notamment de l'assignation automatique de fréquence de l'AP et du contrôle automatique de la puissance d'émission visant à éliminer les interférences entre points d'accès (à ne pas confondre avec un asservissement de la puissance d'émission de l'AP en fonction de la force du signal du client, tel que c'est le cas pour le MMAC Hiswan japonais). Travail commun entre l'IEEE et l'Etsi.

802.11HR - Norme IEEE définissant un réseau local sans fil. Le standard IEEE 802.11HR est un système de transmission des données conçu pour assurer une liaison indépendante de l'emplacement des périphériques informatiques qui composent le réseau et utilisant les ondes radio plutôt qu'une infrastructure câblée. Dans l'entreprise, les LAN sans fil sont généralement implémentés comme le lien final entre le réseau câblé existant et un groupe d'ordinateurs clients, offrant aux utilisateurs de ces machines un accès sans fil à l'ensemble des ressources et des services du réseau de l'entreprise, sur un ou plusieurs bâtiments.

802.11i - Norme IEEE définissant une amélioration du niveau MAC destinée à renforcer la sécurité des transmissions, et se substituant au protocole de cryptage WEP (Wireless Equivalent Privacy) et WPA. La norme 802.11i permettra de s'assurer qu'un terminal vocal ne peut pénétrer le réseau WLAN sauf autorisation explicite. Standard de l'IEEE, cette norme comble les lacunes du WPA1 en remplaçant le chiffrement RC-4 par du chiffrement AES (Advanced Encryption Standard). Aussi dénommée WPA2, la norme reprend les spécifications du WPA1 : Mécanismes d'authentification IEEE 802.1x et schéma de distribution de clés dynamiques TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).

L'AES dans 802.11i peut être utilisé selon plusieurs modes, le CCMP (Counter Mode with CBC-MAC Protocol) étant celui retenu. Le Counter Mode est l'algorithme chargé du secret des données, alors que le Cipher Block Chaining Message Authentication Code (CBC-MAC) permet de contrôler l'intégrité et l'authentification des données. L'AES dans sa version IEEE 802.11i propose des clefs de 128, 192 et 256 bits.

Sur le plan de l'authentification, le protocole 802.11i prévoit deux modes :

- ☐ Un mode dit personnel sans serveur d'authentification,
- ☐ Un mode entreprise, qui, à la manière de WPA, implémente le protocole 802.1x entre le client, le point d'accès et le serveur d'authentification.

Le protocole 802.11i ne spécifie pas le type de serveur utilisé. Le 802.1x utilise la méthode EAP (Extensible Authentication Protocol) pour transporter les messages d'authentification vers le serveur.

EAP pouvant être implémenté suivant différentes variantes (EAP-TLS, EAP-LEAP, EAP-TTLS, etc.), le client et le serveur doivent convenir d'une méthode commune. Le point d'accès n'intervient pas pendant cette phase: il attend simplement la réponse du serveur pour savoir s'il autorise le client à entrer sur le réseau.

Durant les dernières étapes de cet échange, le client et le serveur se mettent d'accord sur une clé PMK (Pairwise Master Key), puis le serveur la transmet au point d'accès en lui indiquant également qu'il peut accepter la station. Ces clés PMK permettent de générer des clés temporaires utilisées pour les opérations de chiffrement et d'intégrité et regroupées sous l'appellation de PTK (Pairwise Transient Key). Elle servent durant toute la durée de l'échange et sont recalculées tous les 10000 paquets.

802.11k - Amélioration de la couche MAC destinée à optimiser l'allocation des ressources du réseau sans fil selon la qualité de chaque liaison. Chaque station terminale délivrera un bilan de sa connexion aux points d'accès en échange duquel ces derniers redistribueront les ressources adéquates pour garantir le débit et la disponibilité de la liaison.

802.11n - Norme IEEE définissant les spécifications Wifi haut débit. Cette norme met en oeuvre la technologie MiMo pour augmenter les débits et garantir une meilleure performance de transmission (100 à 450 Mbit/seconde). Ce standard apporte des changements à la fois au niveau de la couche Physique et de la couche MAC.

Considéré par certains comme annonciatrice de la fin de l'Ethernet filaire, la norme 802.11n va évoluer dans ses composants, dans la gestion de la partie radio (antennes notamment), du contrôle réseau, de la sécurité, de la gestion de l'alimentation. Ses améliorations vont contribuer à l'érosion du marché de l'Ethernet commuté.

Si l'on considère que plus de 200 millions de chipsets 802.11 ont été vendus en 2006, il est

évident que les utilisateurs vont créer le besoin d'un réseau Ethernet sans fil constant et fiable, avec une capacité et des débits très importants.

Il n'est plus d'ordinateur portable livré sans sa connexion wifi, et la très grande majorité des téléphones évolués font aussi appel à la technologie 802.11 pour écouler une partie du trafic data sans écrouler le réseau de l'opérateur.

802.11r - Amélioration de la couche MAC destinée à optimiser le roaming (saut de cellule) dans les réseaux sans fil. Approuvée par l'Institut des Ingénieurs électroniques et électriques pour la VoIP.

Lors d'un appel en VoIP passé sous la norme IEEE 802.11 (qui fut instaurée pour simplifier l'accès à une connexion propre) en déplacement, la machine (le terminal ou le téléphone) recherche alors systématiquement ce type de réseau.

Depuis 2005, le travail réalisé sur le Wi-Fi "r" vise à simplifier le roaming, sans qu'il n'y ait de déconnexion entre deux bornes, le 802.11 ayant été conçu pour ne gérer qu'un seul point d'accès. La reconnexion engendrait une perte de l'appel.

Pour une zone de couverture plus importante, il faut multiplier les bornes et ainsi passer par plusieurs ré-association.

Ce nouveau protocole simplifie largement l'utilisation de la VoIP dans le cadre de l'entreprise, en évitant au maximum les coupures, et en limitant la reconnexion qui est de l'ordre de 100 ms pour le 802.11 à 50 ms pour le 802.11r.

802.11s - Norme IEEE définissant les spécifications du WLAN Mesh (pas encore standardisé en décembre 2005). Deux principaux groupes se sont formés :

- ☐ SeeMesh, dont fait partie Cisco Systems.
- ☐ Wi-Mesh Alliance soutenu par Nortel et Philips.

Dans les architectures Mesh, seuls certains points d'accès sont connectés au réseau filaire, par contre tous les points d'accès sont connectés entre eux de façon à former une dorsale (backbone) hertzienne.

802.15 - Réseaux locaux d'une couverture de 10 m et d'un débit de 500 Mbit/s à 1 Gbit/s. Les débits offerts par cette technologie progressent d'année en année grâce à un spectre radio quatre-vingts fois plus large (de 3,1 à 10,6 GHz) que celui du standard 802.11b. Voir UWB

802.15.1 - Spécification IEEE aussi dénommée Bluetooth. Voir Bluetooth. Norme IEEE définissant le standard Bluetooth 1.x permettant d'obtenir un débit de 1 Mbit/sec

802.15.2 - Spécification IEEE aussi dénommée Bluetooth. Voir Bluetooth. Norme IEEE définissant des recommandations pour l'utilisation de la bande de fréquence 2.4 GHz (fréquence utilisée également par le WiFi)

802.15.3 - Spécification IEEE aussi dénommée Bluetooth 2. Voir Bluetooth 2. Norme IEEE définissant un standard en cours de développement visant à proposer du haut débit (20 Mbit/s) avec la technologie Bluetooth

802.15.4 - Spécification IEEE définissant un standard pour des applications Bluetooth à bas débit.

802.16 - Aussi appelé WiMax - Worldwide Interoperability for Microwave Access - Standard de l'IEEE utilisé pour développer de nouveaux réseaux métropolitains sans fil (WMAN). Le WiMax offrira des débits jusqu'à 70 Mbits/seconde sur une portée de 50 kms (transport voix et vidéo). Utilisé dans le raccordement du client final au réseau haut débit sur les derniers kilomètres, il est une alternative à l'ADSL et au câble. Il permet aussi de relier les Hot spots Wifi 802.11 à Internet. WiMax utilise les bandes de fréquence 3,4 GHz et 5,8 GHz.

802.16a - Spécification issue du 802.16, le 802.16a utilise une technologie de modulation de type OFDM. Concentré entre 2 et 11 GHz, le réseau sans-fil porte sur 50 kms avec un très large spectre d'utilisation (égal à 3,8 bit /Hz) qui autorise un débit pouvant aller jusqu'à 280 Mbits / seconde pour les stations qui se connectent. Cette spécification décrit les processus logiciels et physique à mettre en oeuvre.

802.16d - Spécification issue du 802.16, ce standard supporte des formes de nomadisme limitées.

802.16e - Spécification issue du 802.16, le 802.16e reprend les attributs de la spécification 802.16 complétés de la spécification 802.16a, en y apportant les fonctionnalités de "roaming".

GSM - (Global System for Mobile communications): norme européenne de téléphonie mobile. C'est le plus connu des systèmes de téléphonie mobile terrestres de seconde génération. Il en existe d'autres : DECT ou CT2 (sans fil), LAN (autres sans fil), TETRA (PMR numérique), et TETS (à bord des avions). La troisième génération s'appelle UMTS (Universal mobile telecommunication system) qui offre des améliorations permettant les hauts débits nécessités par le multimédia. L'UMTS est basé sur le CDMA (code division multiple access) alors que le GSM est basé sur le TDMA (Time division multiple access). Avec le GSM le combiné émet par impulsions et le pic de puissance est 8 fois la puissance moyenne. Le CDMA utilise une transmission en continu si bien que la puissance moyenne sera supérieure, mais cette puissance moyenne sera cependant moitié moindre (125 mW) qu'avec le GSM.

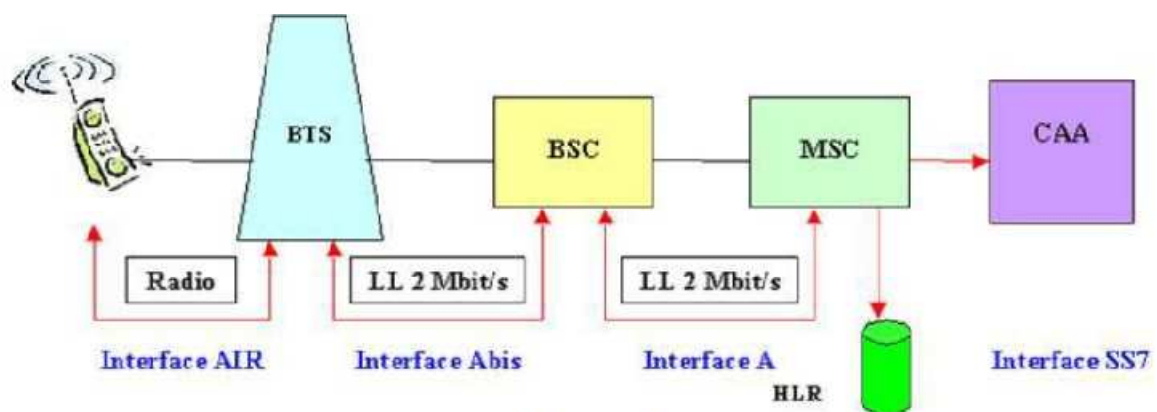
La norme GSM a vu le jour en 1982, lors d'une réunion du Groupe Spécial Mobiles, rebaptisé par la suite Global System for Mobile communications. Née en Europe, cette norme a su conquérir le monde où elle compte désormais plus de 150 millions d'utilisateurs. A l'origine, la norme utilisait uniquement une bande de fréquence radio autour des 900 MHz. Elle a été étendue à deux autres bandes autour des 1800 et 1900 MHz sous les noms de DCS 1800 (technologie utilisée par Bouygues Télécom et, depuis peu, par Cegetel et France Télécom Mobiles) et de DCS 1900 (norme utilisée principalement aux États Unis).

Si les premières ébauches du GSM avaient pour vocation de transmettre la voix et seulement la voix, les différentes évolutions qui ont suivi (GSM Phase 1, Phase 2 puis Phase 2 Plus) ont permis de développer de nombreux services à valeur ajoutée (messagerie, réservations) autour de cartes SIM dont la capacité s'accroît régulièrement. La carte SIM du GSM Phase 1 ne pouvait contenir qu'une vingtaine de numéros alors que celle du GSM Phase 2 Plus peut stocker un répertoire d'une centaine de numéros ou supporter deux numéros de téléphone (et donc deux forfaits) sur le même mobile.

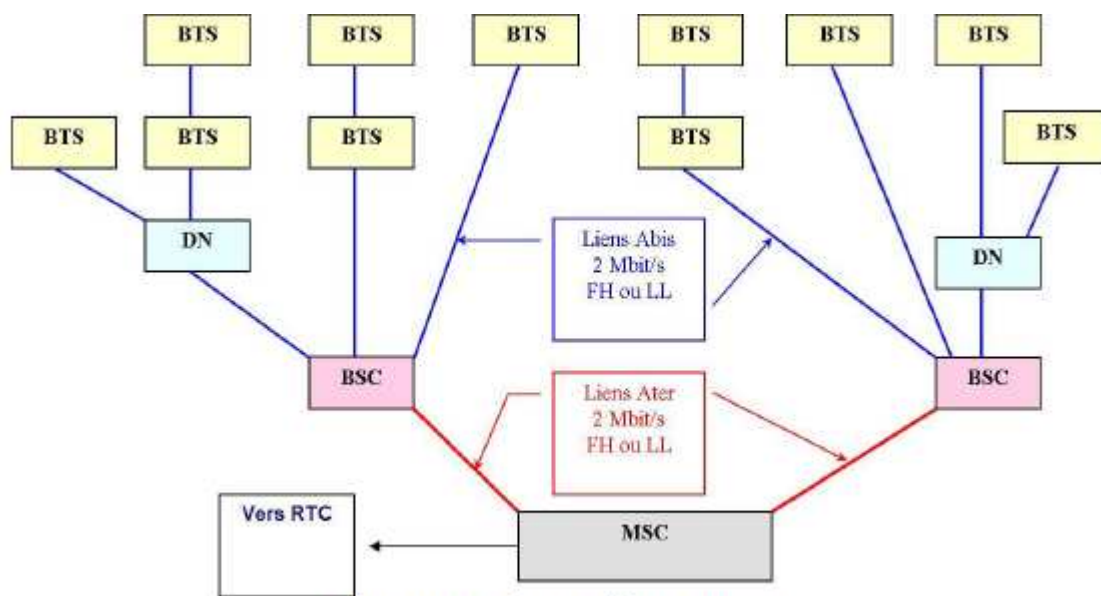
Techniquement, un coup de téléphone sur un mobile, comment ça se passe? L'appel est transmis par radio vers la plus proche station de base (BTS) du réseau, voyageant de cellule en cellule. La taille des cellules dépend de l'environnement. En GSM 900 MHz, la taille des cellules varie de 300 m de rayon en environnement urbain, à 30 km en terrain découvert. Les

cellules du GSM 1800 MHz ont, quant à elles, un rayon de 100 m à 4 km. Une fois passé par les stations de base, l'appel est relayé vers un multiplexeur (BSC). Le trajet en ondes radio prend alors fin: en effet, une fois arrivé au multiplexeur, l'appel est ensuite routé vers son destinataire via le réseau filaire. Évidemment, si l'appel est destiné à un autre mobile, il ressortira du réseau filaire pour courir à nouveau dans les airs.

Les schémas ci-après présentent l'architecture d'un réseau de téléphonie mobile avec les différentes interfaces :



Le réseau de téléphonie mobile en « coupe »



Architecture de réseau de téléphonie mobile.

Fondé sur la transmission numérique, le GSM compile un ensemble de technologies dont le codage de la parole et le partage en temps. Pour ce dernier, la technique actuellement utilisée est le TDMA (Time Division Multiple Access) qui permet de diviser chaque porteuse de fréquences utilisées en intervalles de temps appelés "slots". Chaque slot permet de transmettre un certain nombre de bits jusqu'à la station de base. Dès que l'abonné veut passer un appel, il compose un numéro et le terminal à l'écoute du canal de recherche demande une ressource sur le canal. En réponse, le réseau lui alloue un canal de signalisation. Le commutateur local

(MSC) obtient de l'enregistreur les données de l'abonné (basé sur le réseau filaire, l'enregistreur stocke ces données et vérifie si l'abonné est autorisé à utiliser le réseau), puis achemine l'appel sur le canal de trafic alloué à la station mobile.

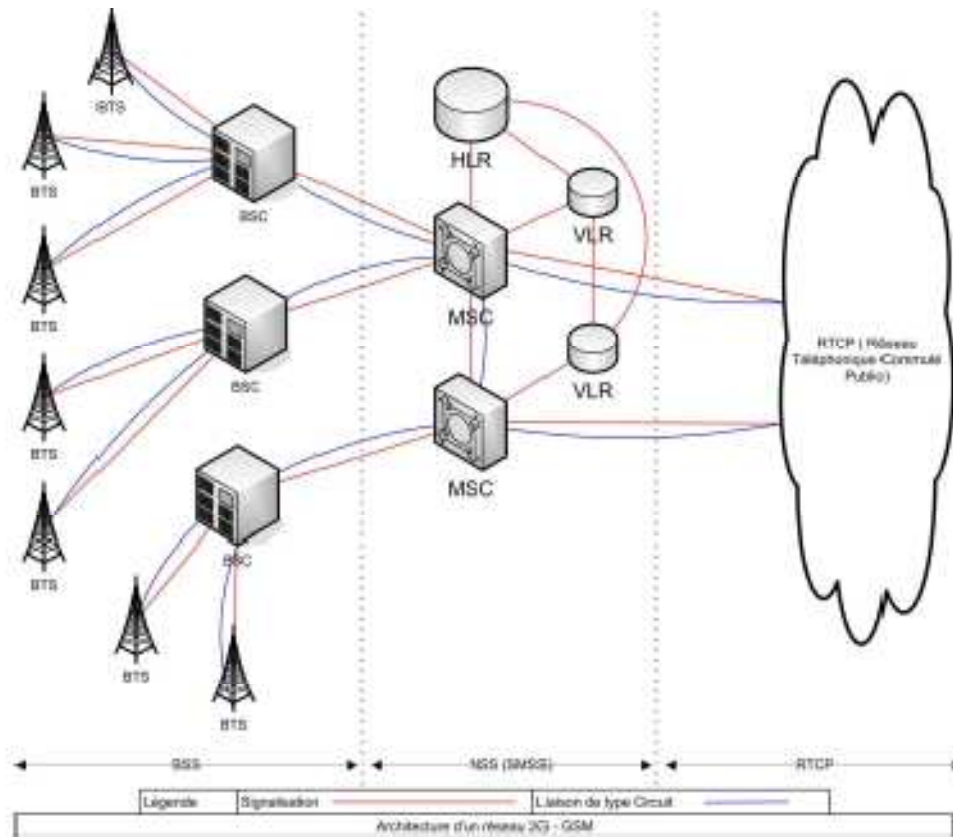
GSM 900 et 1800 - Principales différences		
	GSM 900	GSM 1800
Bande de fréquence	890-915 MHz et 935-960 MHz	1710-1785 MHz et 1805-1880 MHz
Nombre d'intervalle de temps par trame TDMA	8	
Ecart duplex	45 MHz	95 MHz
Rapidité de modulation	271 Kbits/seconde	
Débit de parole	13 Kbits/seconde	
Débit maximum de données	12 Kbits/seconde	
Accès multiple	Multiplexage fréquentiel et temporel	
Rayon des cellules	300 m à 30 Km	100 m à 4 Km

Il en va de même pour un appel en provenance du réseau fixe. Cet appel est transmis à l'enregistreur, qui se charge de localiser le mobile appelé.

Pour un appel international, le schéma de principe est le même. Dans ce cas (ce service porte le nom de "service d'itinérance" (roaming), l'abonné est enregistré sur le réseau d'un opérateur local qui interroge le réseau d'origine de l'abonné pour savoir si la fonction d'itinérance est activée pour cet utilisateur. Cette fonction d'itinérance (à titre indicatif, rappelons que le premier contrat d'itinérance a été signé le 17 juin 1992 entre Telecom Finland et Vodafone) est facilitée lorsque les réseaux GSM sont homogènes et fondés sur la même architecture, quelles que soient les fréquences utilisées.

En combinant l'usage du GSM 900 et du GSM 1800, les opérateurs cherchent à accroître à la fois la couverture géographique et la qualité de leurs réseaux. Pour bénéficier de cette avancée, l'abonné devra toutefois s'équiper d'un terminal bi-bande, c'est à dire, qui fonctionne sur les deux fréquences.

L'histoire ne s'arrête pas là puisque les téléphones "tri-bande" font depuis peu leur apparition. Ils permettront (au travers d'accords d'itinérance avec les opérateurs de téléphonie mobile outre-Atlantique) d'appeler et d'être appelé en Amérique, et ce, sans changer de terminal. Ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.



Un réseau de radiotéléphonie est constitué de trois sous ensembles :

- Le sous-système radio (BSS) - Généralement composé des équipement dénommés BTS et BSC (voir les définitions dans le présent document).
- Le sous-système d'acheminement (NSS) - Généralement composé des équipements HLR, VLR et MSC (voir les définitions dans le présent document).
- Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) - Généralement composé des équipement de provisionning, de supervision et d'exploitation.

L'équipement terminal peut être inclus ou exclu du sous-système radio suivant s'il est connecté ou non.

Sécurité et authentification :

La norme GSM utilise cinq éléments pour assurer le chiffrement et l'authentification des abonnés :

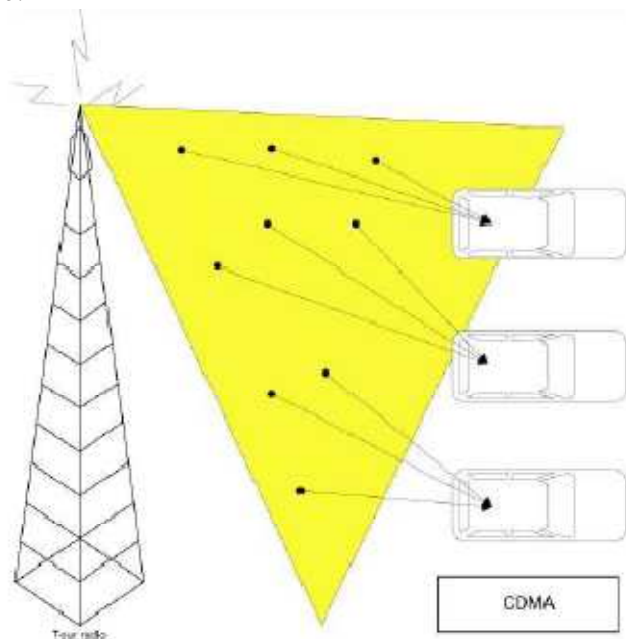
- Les nombres aléatoires RAND.
- Une clé Ki qui authentifie et sert à créer la clé de chiffrement Kc.
- Un algorithme A3 fournissant un nombre SRES basé sur le RAND et Ki.
- Un algorithme A8 pour déterminer la clé Kc à partir de RAND et Ki.
- Un algorithme A5 pour le chiffrement/déchiffrement des données à partir de Kc.

La clé Ki est personnelle, elle est attribuée à chaque abonné lors de l'abonnement. Les algorithmes sont communs à tous les usagers d'un même réseau. SRES, RAND et Kc sont utilisés en triplets.

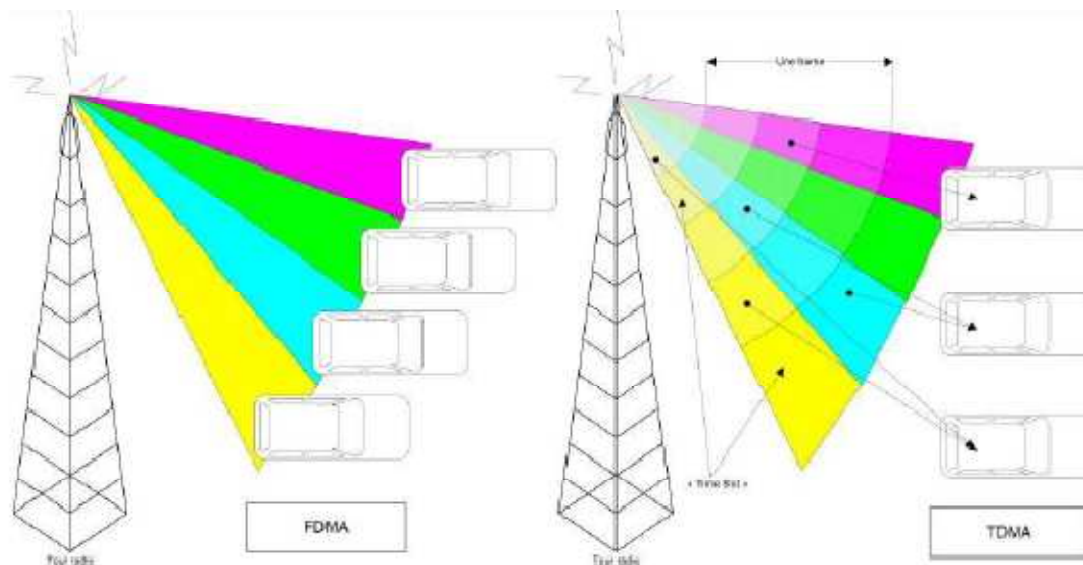
UMTS - Universal Mobile Telecommunication System - Système de télécommunications mobiles universelles. Norme pour le réseau radio mobile dit de 3ème Génération, support de services multimédias à haut débit et en mobilité.

Dénomination de la norme retenue en Europe pour les systèmes de radiocommunications mobiles de troisième génération, qui permettront d'offrir une large gamme de services, intégrant la voix, les données et les images. Dans le cadre de l'UIT, il existe plusieurs normes concurrentes pour ces systèmes, dans le cadre de l'appellation générique "IMT 2000".

Il est bien connu que l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) est une technologie radio basée sur le CDMA (Code Division Multiple Access), une méthode d'accès extrêmement complexe qui a été utilisée sur les réseaux de 2e génération en Amérique et en Asie.



Dès lors, le profane peut s'interroger sur l'intérêt de s'appuyer sur cette technologie inconnue, notamment en Europe, plutôt que sur la technologie du GSM, le TDMA... Mais seule l'évolution 3G du CDMA [autrement dit le Wideband CDMA] est capable de répondre aux exigences en bande passante de la nouvelle génération de téléphonie mobile.



Les capacités du CDMA sont en effet plus performantes en regard des autres générations de réseaux de radiocommunication (voir graphique). La première génération, celle par exemple du service Radiocom 2000 des années 1980, allouait une fréquence pour un utilisateur : c'est le FDMA (F pour Frequency Division Multiple Access). Le TDMA (T pour Time Division Multiple Access), technologie utilisée par Le GSM actuel, ajoute le temps comme variable, permettant à plusieurs utilisateurs de partager la même fréquence de façon séquentielle, ce qui offre déjà une bien meilleure utilisation du spectre radio. Le CDMA franchit une étape supplémentaire, en permettant à tous les utilisateurs d'émettre en même temps, à la même fréquence. Pour reconnaître chacun d'entre eux, un code leur est attribué à chaque établissement de communication, codage qui est reconnu par les stations de base UMTS. Les ressources radio sont alors optimisées en minimisant le niveau d'interférence. Bien évidemment, ce gain de capacité de transmission a un revers : la complexité. L'UMTS est en effet un savant compromis entre capacité et couverture, entre capacité et performances radio, et ce pour chaque cellule.

L'occasion de démontrer que l'expérience en technologie Radio sera indispensable pour optimiser l'UMTS. Deux fonctions vitales qui, bien que décrites dans la norme, nécessiteront une mise au point très fine par l'équipementier (et devront être finement encadrées par les opérateurs):

- Le contrôle de puissance est un algorithme destiné à s'assurer que chaque mobile reçoit avec la même puissance le signal. Ce dialogue constant entre la base émettrice et tous les terminaux s'effectue à une rapidité étonnante : 1 500 fois par seconde !
- L'algorithme appelé soft handover sert à relier un terminal UMTS jusqu'à 6 stations de base en même temps. Cette technique très complexe offre l'avantage d'éviter les coupures et minimise la puissance nécessaire au terminal car il est "écouté" par plusieurs stations de base.

Ces deux algorithmes ont été mis au point sur la base des réseaux CDMA déployés par des équipementiers et assurent à l'opérateur la maîtrise de son réseau.

Mais avant d'exploiter tous ces raffinements de la technologie CDMA, les opérateurs seront confrontés au déploiement optimisé de leur réseau UMTS. Là encore, il existe une gamme de

logiciels capables de planifier, d'optimiser et, au-delà, d'adapter le réseau en fonction des retours d'utilisation en grandeur réelle. Ces outils assureront une fiabilité et une efficacité plus grande des réseaux. Ils permettront également de réduire considérablement le temps de déploiement.

L'UMTS est une norme définissant la troisième génération des systèmes de télécommunication en Europe. Elle a pour but de prendre la relève des systèmes de la deuxième génération tel le GSM.

Les limites du GSM : Ces dernières années, les télécommunications ont vu un essor à l'échelle mondiale des services de communications avec les mobiles. Ainsi, on comptait 10 millions de mobiles en 1991 et 210 millions en 1997. On espère aujourd'hui atteindre + de 900 millions en 2000. Cette croissance est actuellement assurée par le GSM mais pour des raisons d'allocation de spectre de fréquences, cet essor ne pourra être totalement assuré que par des systèmes de troisième génération tels l'UMTS. Par ailleurs, un deuxième changement radical dans les télécommunications doit être intégré au marché des mobiles : il s'agit de l'explosion du trafic et des réseaux Internet. A cela s'ajoute le rapide développement des services multimédias. On pourrait assister à une convergence de ces deux marchés vers un marché de services mobiles multimédias. Enfin, la dynamique d'innovation et la diminution des coûts devraient permettre de maintenir la croissance de la vente des mobiles. Toutefois, ce développement implique des besoins en ressources spectrales car il risque d'atteindre les limites du GSM. Ce développement fait donc appel à une nouvelle génération de systèmes à plus fort débit tel l'UMTS qui permettront de surcroît une meilleure répartition des spectres.

Cette même répartition des spectres est le problème principal de la mise en place de l'UMTS qui actuellement n'a encore aucune plage de fréquences allouée. Les bandes de fréquences qui seraient concernées dans le Règlement des Radiocommunications (qui a valeur de traité international) sont à l'échelle mondiale : 1885-2025 Mhz et 2110-2200 Mhz. Pour les services mobiles par satellites ce sont les bandes à : 1980-2010 Mhz et 2170-2200 Mhz. Or en France par exemple, certaines sont attribuées au ministère de la Défense et à France Télécom. D'autres bandes sont affectées à des services de l'espace. L'ERC (European Radiocommunications Committee) demande aux états de mettre à disposition de l'UMTS 2x40 Mhz dans les bandes de fréquences concernées. En France, le ministère de la défense est favorable à cette libération de spectre et France Télécom c'est engagé à restituer la bande qu'elle utilise pour 2005. Toutefois, ces changements ont un coût. Ainsi, le ministère de la défense a présenté en 1998 un plan de dégagement des bandes à hauteur de 630 Millions de francs. Après de nombreuses négociations, les bandes concernées ont été attribuées à l'UMTS.

L'UIT qui, alors que le GSM n'avait pas encore fait ses preuves, préparait un autre système : l'IMT2000, voit aujourd'hui ce projet réalisable techniquement. En parallèle en Europe le standard UMTS est en voie d'aboutissement après de nombreux colloques. C'est pourquoi, il a été établi que, à l'instar de l'IMT2000, l'UMTS pourrait jouir d'une plage de fréquences voisines des 2 GHz. La découpe en canaux se fait, alors, par tranche de 4 à 5 MHz. Une telle largeur de bande permet d'avoir un spectre en fréquence d'autant plus large que le bruit pourra être atténué et isolé. L'UMTS Forum, préconise donc l'attribution à chaque opérateur UMTS de 35 MHz (soit $2 \times 15 + 5$) pour satisfaire les besoins jusqu'en 2005. Sur 30 MHz les communications seront assurées pour un seul sens de transmission, alors que sur 5 MHz nous aurons deux sens de transmission pour une même fréquence. Au delà, une reprise des bandes GSM pourrait être envisagée (GSM : autour des 900 MHz et 1800 MHz). Dans un premier

temps, il faudra assurer la compatibilité des troisièmes générations avec les terminaux et cellules de deuxième génération. C'est pourquoi les bandes de fréquences doivent être des multiples de 20 KHz (bande de fréquence des GSM) et les débits devront se dériver d'une horloge commune de celle du GSM (13 ou 26 MHz).

La couverture se fera dans un premier temps par "taches de léopard", c'est à dire que seul les villes et les centres d'affaires seront équipés en UMTS. Ce phénomène est dû à plusieurs raisons. En effet, le territoire est globalement couvert par les systèmes de deuxième génération, ceci par l'intermédiaire de trois types de "cellules", les macro-cellules, (couverture sur 15Km de rayon), les microcellules (500m) et les pico-cellules (100m). Du fait d'un débit et d'une fréquence d'utilisation plus élevés pour l'UMTS, les cellules utilisées seront plus petites. L'UMTS se développera donc dans un premier temps dans des îlots de couverture : en milieux urbains, centres d'affaires... et se déploiera de façon progressive. L'UMTS s'appuiera donc sur le GSM pour la couverture globale, le but étant qu'en tout point géographique l'UMTS soit accessible directement soit à haut débit soit de façon dégradé lorsque le GSM prendra le relais. Cette méthode de couverture nécessitera donc l'élaboration de terminaux multimodes GSM/UMTS pour permettre la continuité du service.

Pour obtenir un débit plus important et une meilleure utilisation des spectres de fréquence, l'ETSI a décidé d'utiliser un protocole de communication baptisé UTRA. L'UTRA est basé sur la technique CDMA qui permet à une même fréquence d'accueillir plusieurs utilisateurs grâce à la modulation à étalement de spectre. Au départ le signal utile a un débit d . Artificiellement nous augmentons ce débit en insérant un code ou séquence d'étalement entre plusieurs symboles (bit après codage pour la protection des données). Le débit obtenu est alors D . Comme la séquence de codage est pseudo aléatoire, le signal émis est donc fortement parasité, c'est un signal aléatoire à spectre beaucoup plus large que le signal initial.

Le récepteur capte le signal qu'il envoie dans le module radio fréquence, qui ramène celle-ci centrée sur 0. Puis le module de démodulation génère la même séquence de codage. Or toutes ces séquences sont orthogonales entre elles. Donc seul le signal désiré est démodulé par convolution. Le spectre apparaît alors sous forme gaussienne. Soit Q le facteur de qualité du signal, on a la relation suivante $Q=(D/d)/M$ avec M le nombre d'utilisateurs sur une même fréquence. Donc pour un facteur de qualité donné, nous pouvons déterminer le nombre de code à établir sur un même canal.

Les mobiles devant sans cesse être en communication avec une cellule, lors du transfert intercellulaire (soft handover), le terminal est en relation avec deux à trois bornes simultanément afin de déterminer lequel sera le plus apte à faire transiter les données.

Méthode d'étalement de spectre à séquence directe. Sur une bande de 5 MHz, le débit de ship (bits de la séquence de codage) est très élevé, 4.096Mships/sec. On bénéficie donc d'une très grande diversité de fréquence dans la plupart des environnements. Le facteur d'étalement peut varier de 4 à 256. Pour un seul code, le débit maximal est de 384 Kbits/sec. Pour atteindre 2 Mbits/sec, on pourra utiliser 5 codes sur un même canal.

C'est un système hybride, composé d'une composante AMRT (Accès multiple à répartition dans le temps), et une composante d'étalement de spectre à l'intérieur des intervalles de temps ("time slot") avec séparation par codes (CDMA). Chaque liaison est donc caractérisée par une porteuse, une séquence de codage et un intervalle de temps. Grâce au CDMA, 9 paquets peuvent être envoyés dans le même intervalle de temps. Le système est donc adaptable au débit des données qui transitent. Ces deux méthodes peuvent offrir des débits allant jusqu'à 2 Mbits/sec, ce qui ouvre de nombreuses perspectives futures d'emplois de terminaux mobiles.

Le client du début du XXI^e siècle emportera avec lui un ou plusieurs terminaux mobiles lui permettant toute sorte de communications: le téléphone mobile, dont l'usage sera complètement généralisé, le visiophone de poche, le communicateur personnel pour gérer agenda, messagerie, fax rapide, et recevoir de multiples informations. Avec son PC portatif mobile, il pourra se connecter à l'Intranet de son entreprise, et bénéficier de capacités de visioconférence, et tout le confort nécessaire pour travailler en situation de mobilité et de télétravail.

De nombreuses applications spécifiques utiliseront les capacités des systèmes mobiles à acheminer son, données et images fixes et animées: télé médecine, reportage, localisation, télésurveillance, information et guidage routier.

Les moyens de télécommunication du XXI^e siècle se feront à partir de véritables bureaux mobiles, par exemple dans les voitures ou sur les chantiers.

En clair, l'UMTS offrira un service de mobilité universelle dépassant les limitations dues à la multiplicité des systèmes et des réseaux. Ainsi le terminal mobile permettra de communiquer dans tous les environnements d'utilisation: domicile, bureau, rue, automobile, train, ...

Le concept de "Virtual Home Environnement "(VHE)

Le concept de VHE permettra à l'utilisateur de retrouver ses services avec la même ergonomie quels que soient sa localisation et le réseau visité, lui donnant ainsi la sensation de garder au cours de ses déplacements le même environnement de communication que dans sa zone de service nominale.

Les systèmes satellites offrent une grande couverture et sont donc d'un précieux apport dans l'obtention d'un service universel tel celui que vise la prochaine génération de téléphonie mobile. Le système à satellite viendra en complément de l'infrastructure cellulaire dans les zones où celle-ci sera soit peu rentable soit difficilement déployable.

L'UMTS est résolument la norme du III^e millénaire, orientée vers des applications de plus en plus coûteuses en ressources, l'universalité et la simplicité de communiquer. Partenariat entre de grands groupes, c'est aussi un pari sur l'avenir. Avant son installation, de nombreux points doivent encore être éclaircis, d'où une grande effervescence dans le monde des télécom.

LTE - Evolution de HSPA - Les réseaux 3G LTE pourront reposer sur une architecture dotée de deux antennes par station de base et par terminal, qui permettront d'atteindre 144 Mbit/s en débit descendant et 50 Mbit/s en débit ascendant, en utilisant des porteuses de 20 MHz, contre 5 MHz en UMTS aujourd'hui.

En parallèle, le temps de latence du réseau ne devrait pas dépasser 10 ms. Parmi les évolutions attendues, outre le débit, la 3G LTE devrait passer au tout IP, assurer l'interopérabilité avec les autres infrastructures radio (Wi-Fi et Wimax) et permettre une plus grande intégration des réseaux fixe et mobile. Autant de caractéristiques qui permettront aux réseaux LTE de diminuer les coûts de déploiement et d'exploitation, tout comme l'intégration des concepts de plug and play et d'autoconfiguration dans leur conception. Par ailleurs, les réseaux LTE pourront fonctionner sur différentes bandes de fréquences (y compris les bandes GSM).

LTE Long Term Evolution [Radio]

Un standard radio du 3GPP pour les réseaux radio 4G.

3GPP 3rd Generation Partnership Project [Radio]

Un groupe de travail, composé de membres de divers organismes de normalisation, dont l'ETSI, qui produit les spécifications des réseaux radio de 3ème génération, compatibles avec les infrastructures des réseaux *GSM*. Il assure également la maintenance et l'évolution des normes *GSM* et *GPRS* et prépare l'évolution vers les normes de 4^e génération.

HSPA - High Speed Packet Access - Terme générique adopté par l'UMTS Forum pour nommer les améliorations de l'interface radio UMTS.

HSPA désigne les améliorations apportées à la fois au flux descendant (HSDPA) et au flux ascendant (HSUPA). Dans le cadre de l'évolution des technologies GSM vers la 3G, le HSPA permet d'accélérer le transfert des données, de renforcer l'efficacité spectrale et d'accroître la capacité des systèmes des opérateurs. En ce qui concerne les utilisateurs, le HSPA donne accès à tout un monde de services mobiles haut débit multimédias.

La première manière de procéder réside dans la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output), qui consiste à utiliser plusieurs antennes en réception et en émission. Ce procédé permet de recourir à plusieurs flux de données simultanés, puis d'assembler le tout à l'arrivée en fonction des différences de temps de trajet dues aux réflexions. Il est possible alors de passer d'un débit de 14 à 28 Mbit/s.

La deuxième piste pour doper le débit du HSPA est le recours à un système de modulation plus performant. Chaque porteuse est réglée en utilisant des modulations numériques appelées constellations QPSK, QAM-16, QAM-64... Les bits sont transmis sous forme de symboles numériques, le nombre de bits inclus dans chaque symbole désigne la taille de la constellation. En optimisant la modulation de QAM-16 à QAM-64, il devient possible de véhiculer 6 bits au lieu de 4, soit une augmentation de 50 %, qui influe directement sur le débit, lequel pourra passer de 28 à 42 Mbit/s.

Chapitre 5. Les protocoles internet

Le 2 septembre 1969, le professeur Len **Kleinrock** de l'UCLA (University of California, Los Angeles) et son équipe, comprenant deux étudiants, Stephen **Crocker** et Vinton **Cerf**, parvenaient à échanger quelques données entre deux gros ordinateurs reliés par un câble de 4,5 mètres. Ce premier essai est généralement considéré comme l'événement fondateur d'Arpanet, réseau à l'origine d'Internet (- Interconnected Networks - Réseaux Interconnectés -) quelques années plus tard.

Internet est le réseau informatique mondial qui rend accessibles au public des services comme le courrier électronique et le World Wide Web. Techniquement, Internet se définit comme le réseau public mondial utilisant le protocole de communication IP (*Internet Protocol*). Internet ayant été popularisé par l'apparition du World Wide Web au début des années 1990, les deux sont parfois confondus par le public non averti. Le Web est une des applications d'Internet, comme le sont le courrier électronique, la messagerie instantanée et les systèmes de partage de fichiers poste à poste. L'accès à Internet peut être réalisé auprès d'un Fournisseur d'accès (FAI) via divers moyens de télécommunication.

Historique :

- 1969 : Début du réseau (D) ARPANET (4 calculateurs) DARPA = Defense Advanced Research Projects Agency
- 1972 : Démonstration de ARPANET, IMP - Interface Message Processor - mode connecté (X.25), NCP - Network Control Program - non connecté (ancêtre de TCP)
- 1977 - 1979 : Les protocoles TCP/IP prennent leur forme définitive,
- 1980 - L'université de Berkeley intègre TCP/IP dans Unix (BSD)
- 1980 - janvier 1983 : Tous les réseaux raccordés à ARPANET sont convertis à TCP/IP
- 1983 - TCP/IP devient le Standard de facto pour l'interconnexion de réseaux hétérogènes,
- 1988 - Mise en place du Backbone de la NSFnet (12 réseaux régionaux)
- 1992 - EBone et RENATER
- 199x - explosion de l'offre et de la demande de services Internet, y compris pour les particuliers
- 1995 - Arrêt du Backbone NSFnet, Mise en oeuvre des NAPs (Network Access Points)

Technique

Internet est composé d'une multitude de réseaux répartis dans le monde entier. Chaque réseau est rattaché à une entité propre (université, fournisseur d'accès à Internet, armée) et se voit attribuer un identifiant unique appelé *Autonomous System* (AS). Afin de pouvoir communiquer entre eux, les réseaux s'échangent des données, soit en établissant une liaison directe, soit en se rattachant à un nœud d'échange (point de *peering*). Chaque réseau est donc connecté à plusieurs autres réseaux. Lorsqu'une communication doit s'établir entre deux ordinateurs appartenant à des AS différents, il faut alors déterminer le chemin à effectuer parmi les réseaux. Aucun élément d'Internet ne connaît le réseau dans son ensemble, les données sont simplement redirigées vers un autre nœud selon des règles de routage.

Protocoles

Internet fonctionne suivant un modèle en couches. Les éléments appartenant aux mêmes couches utilisent un protocole de communication pour s'échanger des informations.

Un protocole est un ensemble de règles qui définissent un langage afin de faire communiquer plusieurs ordinateurs. Chaque protocole a des indications particulières et, ensemble, ils fournissent un éventail de moyens permettant de répondre à la multiplicité et à la diversité des besoins sur Internet. Les principaux sont les suivants :

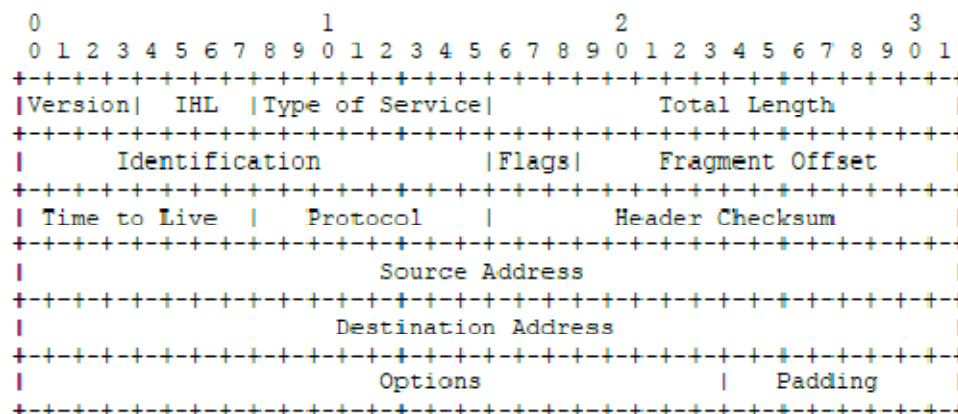
- **IP** (*Internet Protocol*) : protocole réseau qui définit le mode d'échange élémentaire entre les ordinateurs participants au réseau en leur donnant une adresse unique sur le réseau.
- **TCP** : responsable de l'établissement de la connexion et du contrôle de la transmission. C'est un protocole de remise fiable. Il s'assure que le destinataire a bien reçu les données.
- **HTTP** (*HyperText Transfer Protocol*) : protocole mis en œuvre pour le chargement des pages web.
- **HTTPS** : pendant du HTTP pour la navigation en mode sécurisé.
- **FTP** (*File Transfer Protocol*) : protocole utilisé pour le transfert de fichiers sur Internet.
- **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*) : mode d'échange du courrier électronique en envoi.
- **POP3** (*Post Office Protocol* version 3) : mode d'échange du courrier électronique en réception.
- **IMAP** (*Internet Message Access Protocol*) : un autre mode d'échange de courrier électronique.
- **IRC** (*Internet Relay Chat*) : protocole de discussion instantanée.
- **NNTP** (*Network News Transfer Protocol*) : protocole de transfert de message utilisé par les forums de discussion Usenet
- **SSL** : protocoles de transaction sécurisée, utilisés notamment pour le paiement sécurisé.
- **DNS** (*Domain Name System*) : système de résolution de noms Internet.

Circulation de l'information

Dans un réseau, l'information qui circule est découpée en unités élémentaires appelées paquets. Il s'agit d'une suite d'octets suffisamment courte pour pouvoir être communiquée sous forme numérique et sans erreur.

Dans le cas d'Internet, le format des paquets est spécifié par l'*Internet Protocol*. On parle donc de paquets IP. Quand on récupère un fichier par exemple, son contenu est découpé en petits morceaux inclus dans une multitude de paquets IP qui transitent sur le réseau. Chaque paquet circule indépendamment des autres. Pour cela, il contient un en-tête indiquant entre autres quelle est la destination du paquet. Le protocole IP spécifie que cette destination est identifiée par une suite de 4 octets : son adresse IP (chaque octet est généralement lu comme un nombre entre 0 et 255).

Voici ci-dessous le **format de l'en-tête d'un paquet IP**, tel que spécifié au bit près dans le standard RFC 791. La première ligne indique la signification des quatre premiers octets du paquet (soit 32 bits), la deuxième, celle des quatre suivants et ainsi de suite. Le reste du paquet est constitué par les données qui transitent dans le paquet (typiquement de l'ordre de 1000 octets).



On voit qu'outre l'adresse IP de la destination (cinquième ligne), un paquet IP contient aussi celle de la source (quatrième ligne) et bien d'autres champs comme la version du protocole (quatre premiers bits de la première ligne). La version présentée ici (la plus courante à l'heure actuelle) est la version 4 (IPv4). Tout paquet IPv4 commence par les bits 0100, soit 4 en binaire.

À l'intérieur d'un réseau

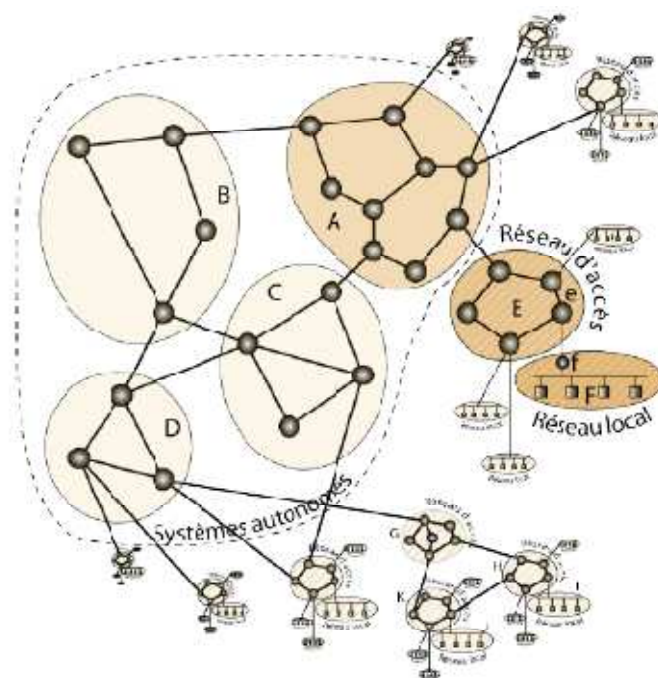
Comment les paquets ainsi formés circulent-ils dans un réseau ?

Un réseau est constitué de routeurs et de liens de communication. Les liens relient les routeurs entre eux à la manière de routes entre les villes d'un pays. Plus précisément, un routeur est une sorte d'aiguilleur qui possède des liens avec d'autres routeurs. Chaque lien est branché au routeur via une interface. La principale activité d'un routeur consiste à... router des paquets. Toute machine reliée à un des routeurs du réseau peut ainsi communiquer avec toute autre machine reliée à un routeur du réseau. Les machines qui sont ainsi mises en relation par un réseau sont appelées des hôtes.

Entre les réseaux

Comment les paquets circulent-ils d'un réseau à un autre ?

Les hôtes sont généralement reliés à un réseau local. Pour chaque réseau local, un routeur appelé passerelle relie ce réseau avec l'internet. La seule décision de routage prise par un hôte est d'envoyer un paquet, soit directement à la destination si elle se trouve dans le réseau local, soit à la passerelle sinon. Tous les routeurs d'un réseau sont gérés par la même organisation. Ils sont reliés entre eux, et savent acheminer des paquets entre eux. Certains des routeurs du réseau peuvent avoir des liens vers des routeurs d'autres réseaux, appelons-les des routeurs frontière (*border gateway*). Le monde des destinations, vu d'un routeur d'Internet, se sépare donc en deux populations, les destinations qui sont accessibles sans sortir de son propre réseau d'une part, et celles qui sont en dehors de ce réseau d'autre part. Internet est constitué par un empilement hiérarchique de réseaux, comme le montre la figure ci-après.



Représentation schématique de la structure d'Internet.

Le réseau F est par exemple connecté par sa passerelle au réseau E, qui est lui-même un sous-réseau du système autonome A. Le réseau F pourrait par exemple être le réseau Wifi d'un particulier dont le modem ADSL f (qui fait aussi routeur Wifi) est relié à un routeur e de son fournisseur d'accès à Internet. Ce routeur e fait partie du réseau national E de son fournisseur qui possède une connexion directe avec un système autonome A internationalement connecté.

Les routeurs des systèmes autonomes possèdent des sortes de méta-tables de routage qui indiquent pour une adresse IP comment atteindre le système autonome où se trouve la destination possédant cette adresse. Plus précisément, chacun de ces routeurs connaît la suite de systèmes autonomes qu'il va falloir traverser pour atteindre la destination. Pour cela, tout routeur frontière connecté au routeur frontière d'un autre système autonome échange avec lui des informations sur les adresses IP gérées par tel ou tel système autonome et sur les interconnexions entre systèmes autonomes selon le protocole de routage BGP (pour « *Border Gateway Protocol* »).

L'acheminement d'un paquet IP se fait donc généralement ainsi :

1. le paquet remonte la hiérarchie de réseau jusqu'à un routeur du système autonome de la source,
2. il transite ensuite de système autonome en système autonome jusqu'à celui de la destination,
3. il descend la hiérarchie jusqu'à la passerelle en charge du réseau local de la destination,
4. cette passerelle l'envoie à la destination.