



Le câble cuivre à paires torsadées

Deux conducteurs en cuivre et isolés sont torsadés

- ▶ La torsade réduit les interférences par diaphonie (couplage inductif entre paires voisines)

Plusieurs paires torsadées (ou paires symétriques) sont regroupées dans un câble protégé par écran optionnel mais conseillé et par une gaine. On distingue principalement les câbles :

- ▶ UTP (*Unshielded Twisted Pair*), sans blindage
- ▶ FTP (*Foiled Twisted Pair*), avec un écran (un ruban d'aluminium) et un drain métallique
- ▶ STP (*Shielded Twisted Pair*), où chaque paire est blindée

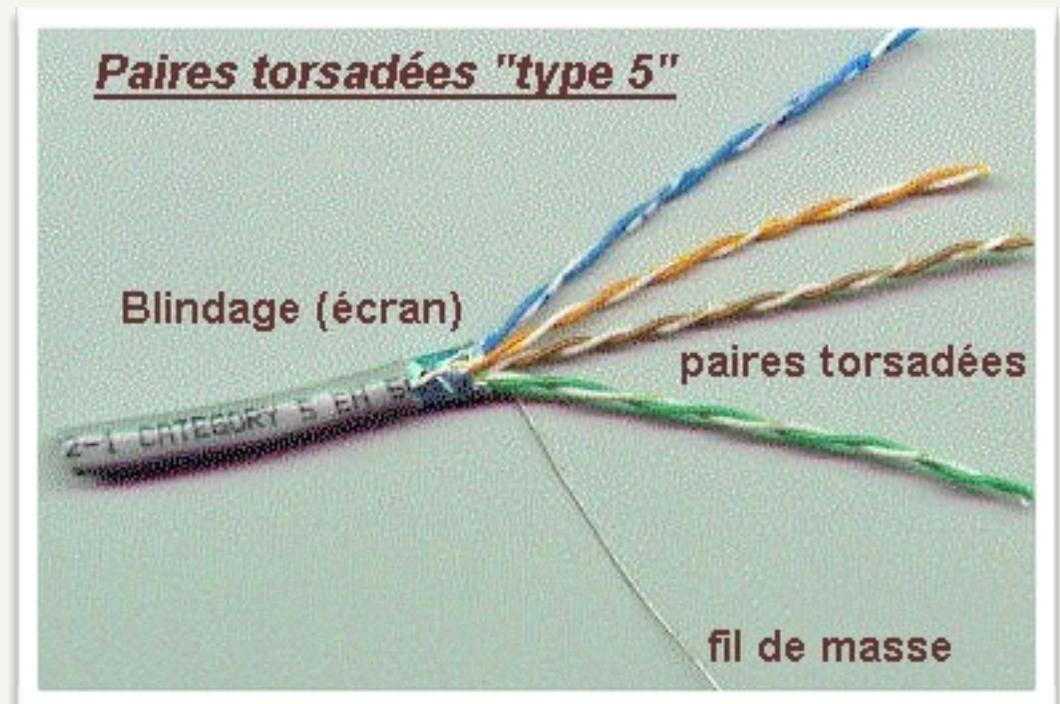


Fig 2.17. - Câble à paires torsadées



Les catégories de câble

Catégorie 3 : abandonné depuis 2007 par les opérateurs ; utilisé en téléphonie

Catégorie 5e (enhanced)

- Permet des débits jusqu'à 1 000 Mbit/s.
- Câblage testé à 100 MHz
- Adaptation de la catégorie 5, améliorée pour permettre le Gigabit Ethernet

Catégorie 6

- Type de câblage testé jusqu'à 250 MHz.
- Adapté au PoE (*Power over Ethernet*)

Catégorie 6a

- Testé à 600 MHz.
- Normalisé en 2008, pour Ethernet 10GBase-T



Utilisation de câbles à paires torsadées

Câbles téléphoniques (analogiques ou numériques) ; boucle locale

Réseaux locaux

- ▶ Ethernet 10 Mbit/s au **Gigabit Ethernet** pour cat. 5 ou 5e
- ▶ **10 Gigabit Ethernet** pour cat. 6e
- ▶ Token Ring

Pré-cablage d'immeuble de bureaux et d'habitation

- ▶ 1 à 3 prises RJ45 par pièce ou bureau
- ▶ LTE : Local Technique d'étage, qui concentre tous les câbles de distribution dans une ou des baies de brassage.



Le câble coaxial

Deux conducteurs concentriques séparés par un diélectrique et protégé par une gaine isolante

- Large bande passante et bonne protection électromagnétique

Usages :

- Anciens réseaux Ethernet 10Base5 et 10Base2
- Câble Antenne-télévision
- Réseau câblé urbain (Ex. : *Numericable*)

Remplacé par les câbles à paires torsadées et par la fibre optique

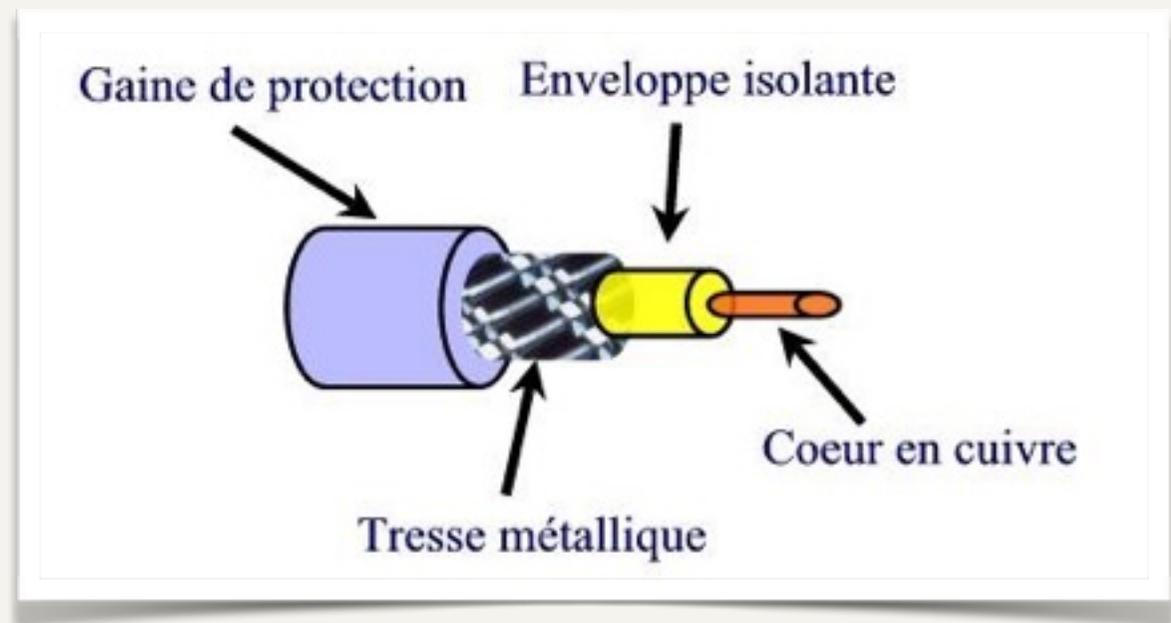


Fig 2.18. - Câble coaxial



La fibre optique

Une fibre optique est composée de :

- ▶ un cœur en silice très pure où se propage les ondes optiques
- ▶ une gaine optique en silice d'indice de réfraction inférieure à celui du cœur. La gaine optique permet le confinement des ondes lumineuses dans le cœur.
- ▶ une gaine de protection en plastique.

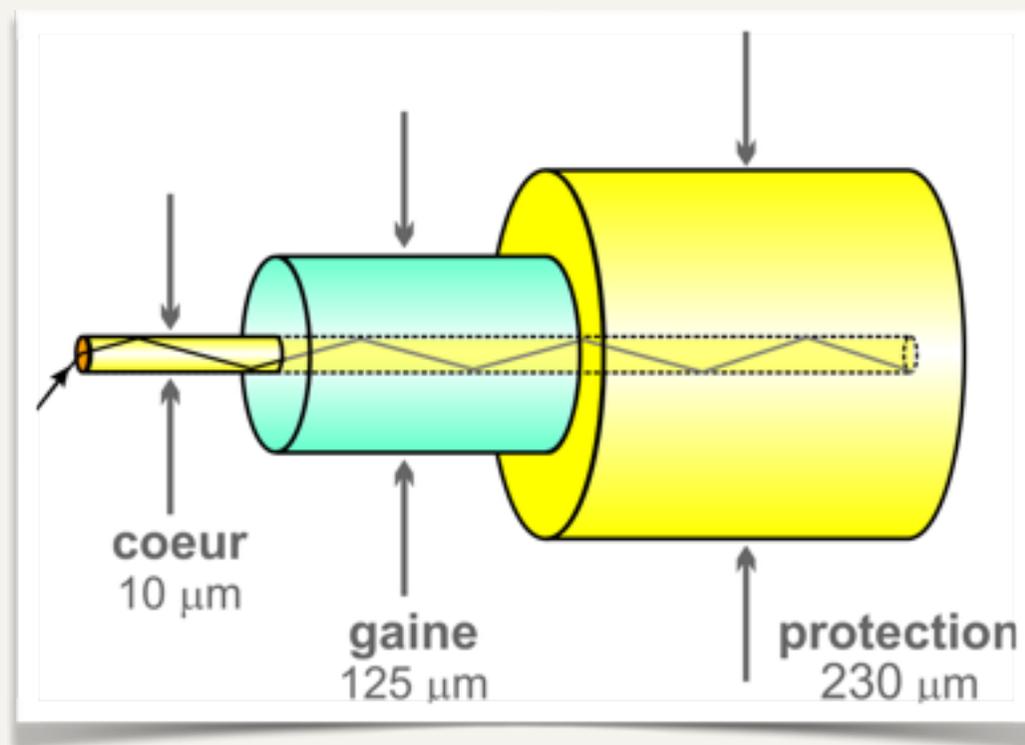


Fig 2.19. - Fibre optique



Type de fibres optiques

On distingue les fibres :

- ▶ **Monomode** : le cœur est très fin, $10 \mu\text{m}$ de diamètre, et un seul rayon s'y propage
- ▶ **Multimode** :
 - ▶ **à gradient d'indice** :
l'indice de réfraction varie continûment du centre à la périphérie du cœur (diamètre $50 \mu\text{m}$ env.)
 - ▶ **à saut d'indice** :
l'indice de réfraction du cœur est constant et supérieur à l'indice de réfraction de la gaine optique

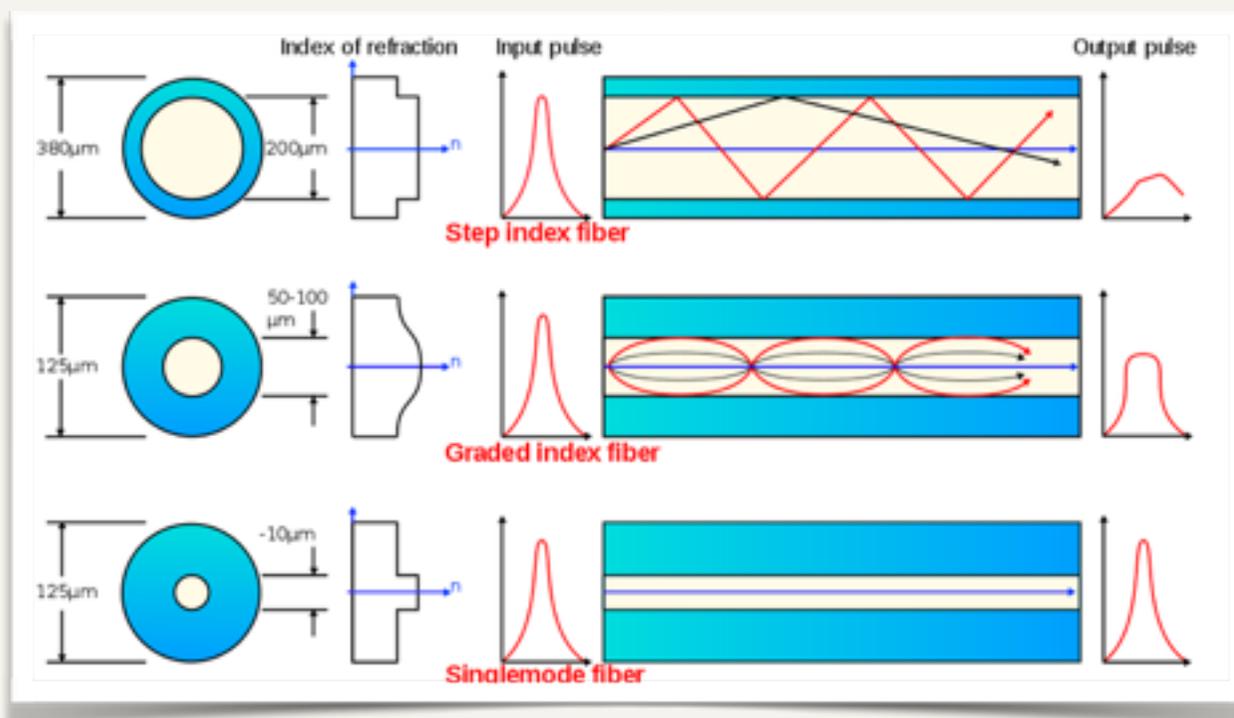


Fig 2.20. - Types de fibres optiques



Transmission par fibre optique

Un lien optique nécessite :

- deux fibres comme canal de transmission
- un émetteur de lumière avec un transpondeur optique qui converti les signaux électrique en impulsions optiques, avec soit :
 - une LED dans le proche infrarouge
 - une LED infrarouge
 - un laser (pour fibre monomode)
- un récepteur photoélectrique sous forme de photodiode (PIN ou à avalanche)

Le multiplexage adapté à la fibre est le multiplexage en longueur d'onde, WDM (*wavelength division multiplexing*).

Tant que possible, on utilise des commutateurs, des multiplexeurs et des amplificateurs tout-optiques, car les limitations sont dues aux conversions optoélectroniques.



Transmission par fibre optique

Les connexions utilisent le plus :

- ▶ La soudure de fibres
- ▶ le connecteur ST
- ▶ le connecteur SC
- ▶ le connecteur LC

Les débits sont élevés :

- ▶ Expérimentation :
 - ▶ Record en août 2014 à 43 Tbit/s sur une seule fibre optique et un seul laser
- ▶ Dans la pratique :
 - ▶ Les opérateurs proposent en FTTH autour de 100 Mbit/s, 500 Mbit/s ou 1 Gbit/s
 - ▶ Mais les débits moyens observés sont autour de 25 Mbit/s

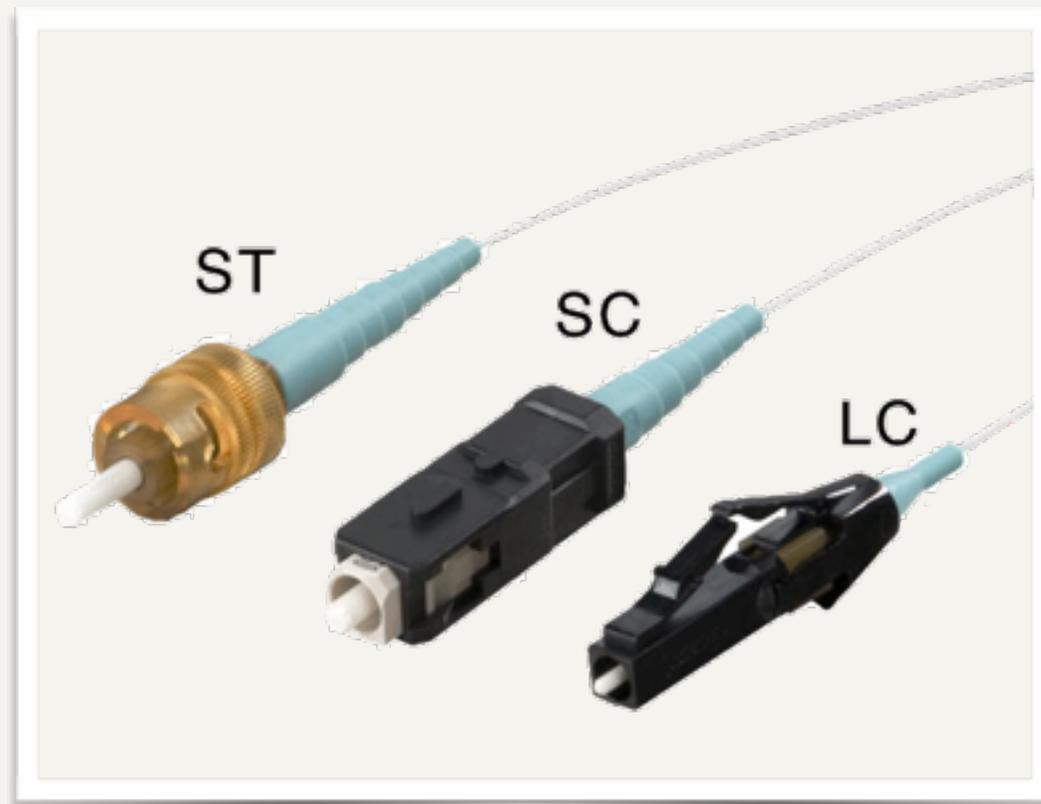


Fig 2.21. - Connecteurs de fibres optiques



Fibre optique : applications

LAN

- ▶ Dorsales et câble de rocade
- ▶ Déport de liaison entre immeubles

MAN ; WAN

- ▶ FTTC (Fiber to the Curb) : jusqu'au répartiteur
- ▶ FTTB (Fiber to the Building)
- ▶ FTTH (Fiber to the Home)
- ▶ Fibre noire : fibre brute installée mais non utilisée

- ▶ Câbles des infrastructures d'opérateur réseaux longue distance
- ▶ Réseaux de collecte : interconnexion entre les réseaux longue distance et les réseaux d'accès



Fibre optique : applications

Les sigles FTTx

- ▶ **FTTN** (*Fiber To The Neighbourhood*) : jusqu'au quartier
- ▶ **FTTC** (*Fiber to the Curb*) : jusqu'au répartiteur
- ▶ **FTTN** : (*Fiber To The Node*) : jusqu'au répartiteur
- ▶ **FTTB** (*Fiber to the Building*)
- ▶ **FTTH** (*Fiber to the Home*)

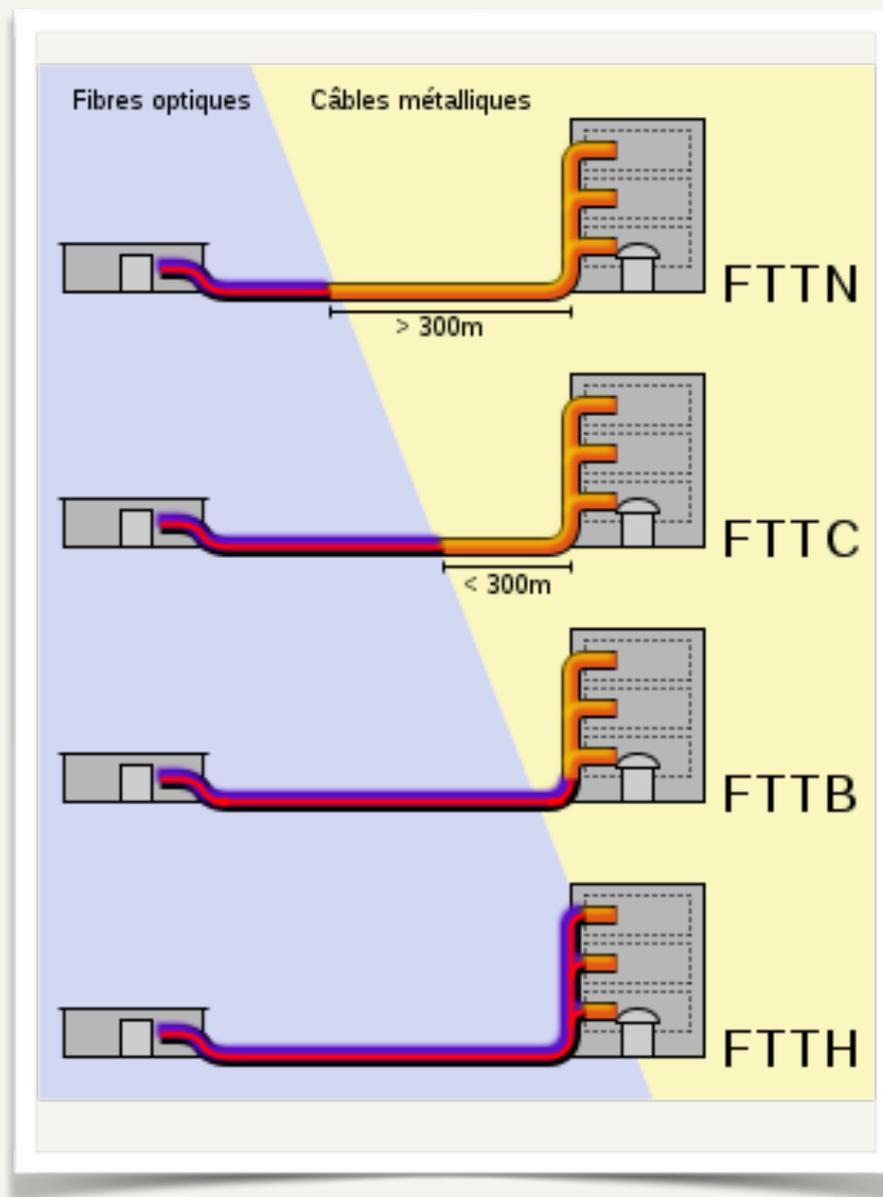


Fig 2.22a. - Architectures FTTx en un NRO et un immeuble



Fibre optique : applications

Évolution des accès à Internet

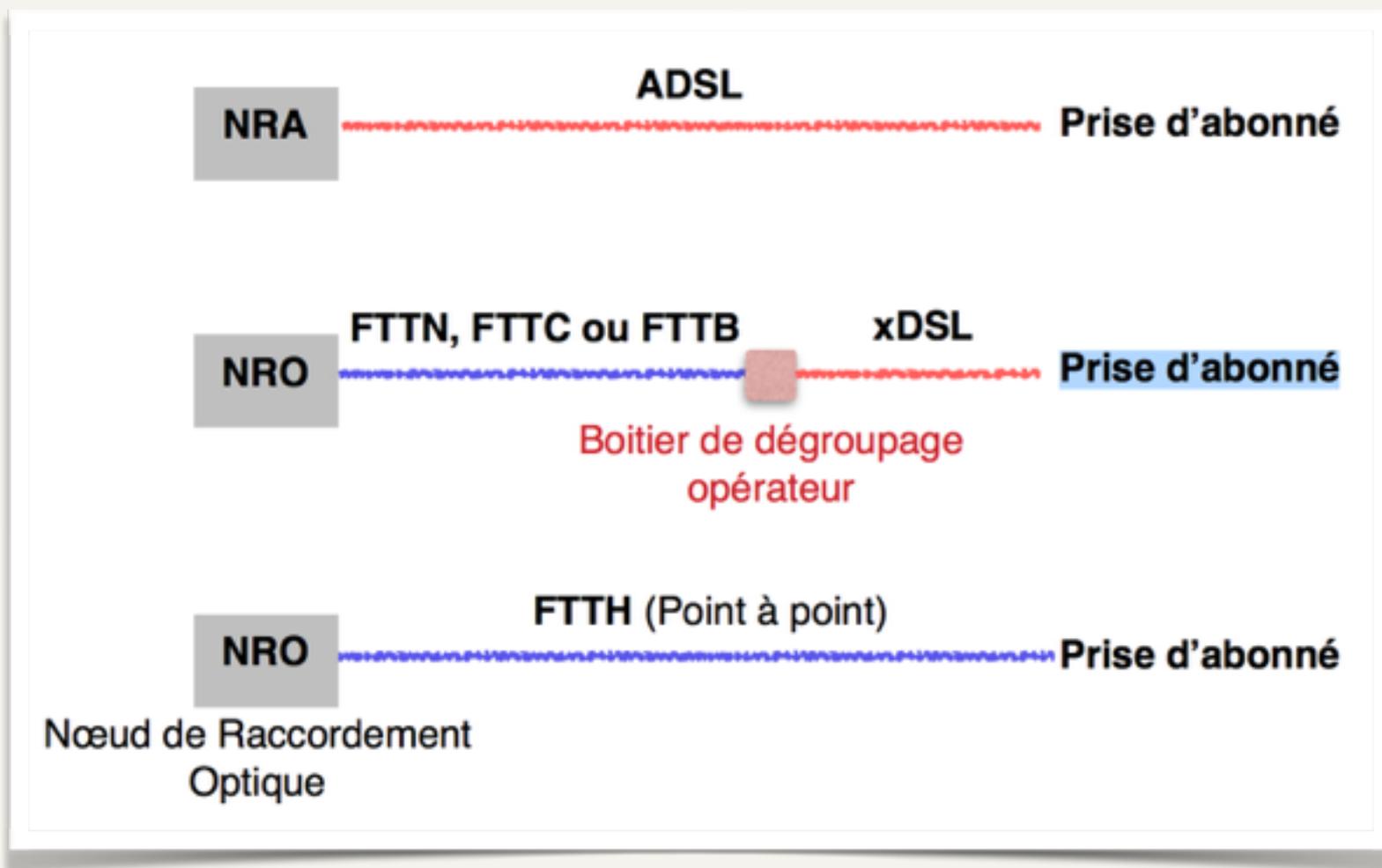


Fig 2.23 - Types d'accès à internet



La transmission sans fil

Le **spectre** électromagnétique

- ▶ 1863 - Clerk Maxwell - théorie ondulatoire
- ▶ 1887 - Heinrich Hertz - vérification expérimentale de la théorie de Maxwell

Principe :

- ▶ une onde électromagnétique (o.e.m.) se propage entre un émetteur et un récepteur

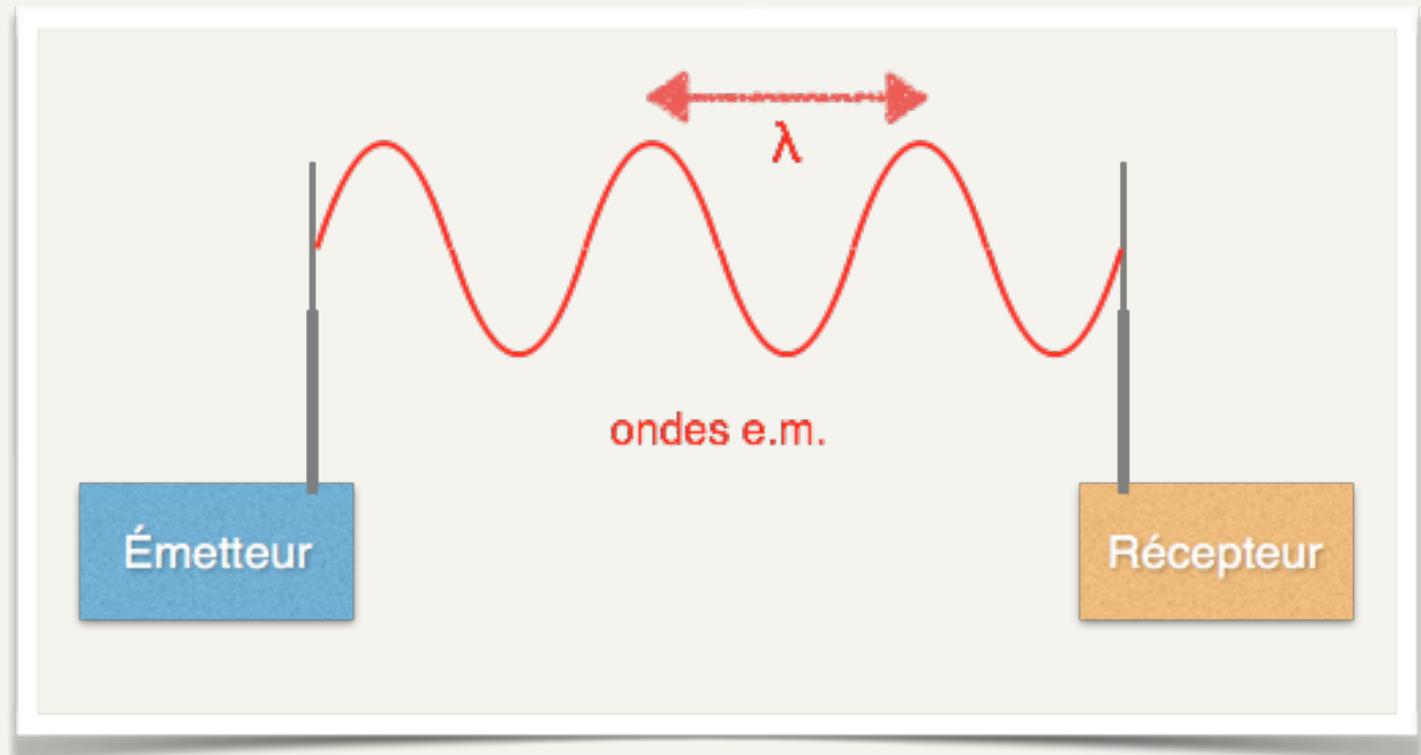


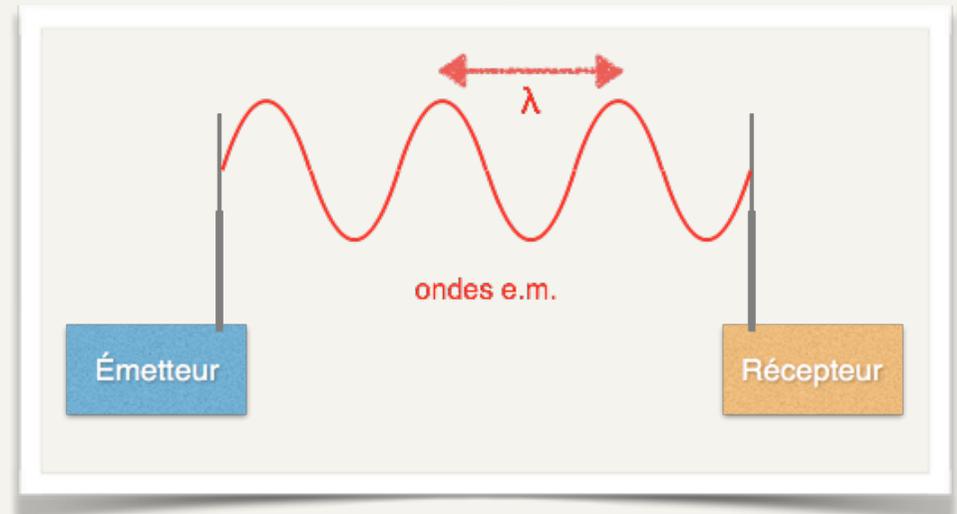
Fig 2.23. - Principe des ondes électromagnétiques



La transmission sans fil

Définitions

- ▶ **Fréquence d'une onde** : nombre d'oscillation par seconde ; en Hertz
- ▶ **Longueur d'onde λ** , en mètre : distance entre 2 maxima consécutifs d'une o.e.m.
- ▶ **Vitesse de propagation** d'une o.e.m. :
 - ▶ dans le vide, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s (soit 30 cm/ns)
 - ▶ dans le cuivre ou le verre, $v \approx 10^8$ m/s, en fonction de la fréquence
- ▶ Dans le vide, $\lambda \cdot f = c$
- ▶ Ex. $f = 1$ MHz $\Rightarrow \lambda = 300$ m
 $\lambda = 1$ cm $\Rightarrow f = 30$ GHz





Transmission sans fil - Normalisation et réglementation

Le partage du spectre impose une forte réglementation. **Les acteurs** sont :

- [ANFR](#) : Agence Nationale des Fréquences
- [ARCEP](#) : Autorité de Régulation des Communication Électronique et des Postes
- [CEPT](#) : European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
- [ETSI](#) : European Telecommunications Standards Institute
- [UIT-T](#) : Union internationale des télécommunications - Secteur de la normalisation des télécommunications

Les principales **normes** :

- IEEE 802.15 - Bluetooth (WPAN)
- IEEE 802.11 - Wi-Fi (WLAN)
- IEEE 802.16 - WiMax (WMAN)
- GSM, UMTS, LTE... (WWAN)

La couche physique

6 - Les supports physiques



Ch. 2

Transmission sans fil - Applications

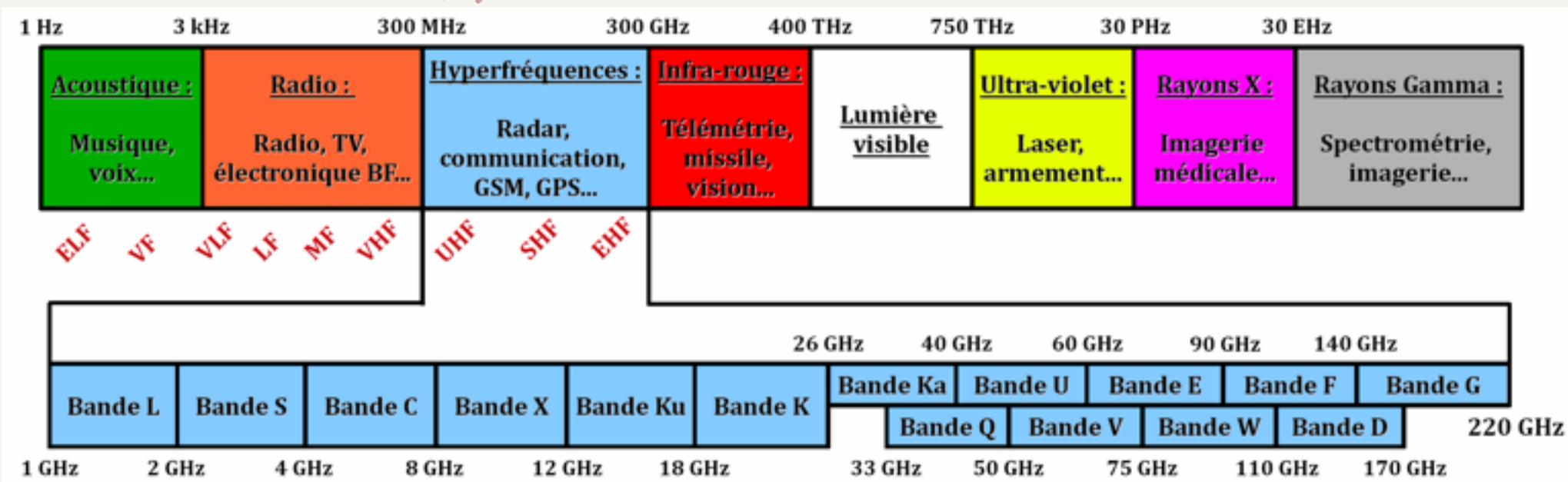


Fig 2.24. - Spectre des fréquences



Transmission sans fil - Applications

Radio diffusion

- ▶ Bandes LF à VHF

Télédiffusion

- ▶ Bandes VHF, UHF ; TNT

Faisceau hertziens

- ▶ Les micro-ondes (ondes décimétriques ou centimétriques ; 1 à 40 GHz) se déplacent en ligne droite
- ▶ Tours hertziennes : 100 m env. distantes de 80 km max.

Satellites

Applications domestiques

- ▶ Télécommandes infrarouges
- ▶ WPAN (infrarouge, Bluetooth...)



Fig 2.25. - Tour hertzienne



Transmission sans fil- Applications

RFID (*Radio Frequency Identification*)

Téléphonie sans fil

- ▶ DECT (*Digital European Cordless Telephone*)

Radiotéléphone

- ▶ CB (en PTT : *push to talk*)
- ▶ IMTS

Radiotéléphone cellulaire

- ▶ 1G : AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) ; Radiocom 2000 et SFR analogique en France
- ▶ 2G : GSM
- ▶ 3G : UMTS

WLAN : IEEE 802.11 ; Wi-Fi

WMAN : WiMax



Communication par satellites

1962 -> Telstar I, 1er satellite de communication, d'AT&T, dédié aux communications téléphoniques et aux transferts de données

Trois grand types de satellites

- GEO (*Geostationary Earth Orbit*)
 - Orbite géostationnaire, à 36 000 km au dessus de l'équateur
 - Période orbitale de 24h ; le satellite semble fixe pour un observateur terrestre
 - Diffusion de bouquets de télévision numérique
- LEO (*Low Earth Orbit*) ; en orbite terrestre basse
 - De 350 à 2 000 km d'altitude
 - Téléphonie mobile (système Iridium ou Globalstar) en constellation de satellites
- MEO (*Medium Earth Orbit*)
 - Orbite elliptique, 200 à 20 000 km
 - GPS, Galileo et divers satellites de communication



Introduction



- ❖ La téléphonie
 - ▶ Elle consiste à transporter la voix à distance et à assurer différentes fonctions
- ❖ Le service téléphonique de base
 - ▶ Définition d'un système de numérotation (ou d'adressage)
 - ▶ La signalisation :
 - ▶ sonnerie d'appel
 - ▶ décrochage
 - ▶ occupation
 - ▶ raccrochage
 - ▶ tarification
- ❖ Services supplémentaires
 - ▶ En plus du service de base, on peut offrir le filtrage, la boîte vocale, le transfert d'appel, la mise en conférence, le numéro masqué, etc.



RTC

Téléphonie traditionnelle

Elle utilise le RTC, Réseau Téléphonique Commuté

- ▶ RTCP = Réseau Téléphonique Commuté Public
- ▶ PSTN (*Public Switched Telephone Network*)
- ▶ POTS (*Plain Old Telephone Service*)

Principe de la commutation de circuit

- ▶ Quand un abonné décroche le combiné et entend la tonalité, il a accès à une ligne du réseau et cette ligne reste dédiée pendant toute la durée de la communication.
- ▶ Suite à la numérotation, un circuit va être établi de l'appelant à l'appelé
- ▶ Ce circuit est monopolisé pendant toute la communication
- ▶ Il est libéré au raccrochage

Normalisation par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) ou ITU.



Architecture du RTC, Réseau Téléphonique Commuté

❖ Réseau de distribution

- ▶ Réseau gérée par Orange, alias France Télécom
- ▶ Permet la desserte des abonnés par une architecture étoilée autour d'un NRA (Nœud de raccordement d'abonnés), alias central téléphonique ou commutateur local (CL)
- ▶ La boucle locale, ou desserte locale est la liaison d'un abonné au NRA, par une paire de fils torsadées
 - ▶ Liaison analogique
 - ▶ Liaison numérique
 - ▶ RNIS = Réseau Numérique à Intégration de Service
 - ▶ de type DSL en cas de dégroupage total
 - ▶ Dégroupage partiel : un filtre sépare la voix et données ADSL



Arrêt progressif du RTC

- ❖ Migration progressive du RTC vers des technologies plus modernes
 - ❖ Ex. : voix sur IP (VoIP)
- ❖ Pas de changement avant 2023 pour les utilisateurs actuels
 - ▶ Orange ne propose plus de nouvelles lignes RTC depuis le 15 novembre 2018 (et plus de nouvelles lignes RNIS après le 15 nov. 2019).
- ❖ À partir de 2023 :
 - ▶ Orange procédera à la fermeture technique effective de la technologie RTC à partir de fin 2023 et par plaques géographiques.
 - ▶ Avec l'arrêt du RTC, en voie d'obsolescence, les utilisateurs seront libres de choisir l'opérateur de leur choix et l'offre la plus adaptée à leur situation (box, usage purement mobile, etc.).
 - ▶ Ils pourront, s'ils le souhaitent, continuer à avoir un téléphone fixe sans pour autant être abonné à Internet.



La boucle locale ; le dégroupage

- * Orange est propriétaire en France de la boucle locale cuivre.
- * Le dégroupage concerne l'accès de la boucle locale aux opérateurs concurrents
 - Dans le NRA, les opérateurs installent leurs DSLAM (Digital subscriber line access multiplexer) après un répartiteur.
 - Un DSLAM est un boîtier qui contient 500 à 1000 modems.
- * Si l'abonné conserve son trafic bas débit (la voix) avec l'opérateur historique, on parle de dégroupage partiel. Un filtre ADSL est nécessaire coté client et coté répartiteur.
- * Sinon, avec le dégroupage total, toute la bande passante de la boucle locale est gérée par l'opérateur. L'utilisateur n'est plus client d'Orange.



DSL

- ❖ DSL (Digital Subscriber Line) exploite la bande passante réelle de la paire torsadée pour transporter des données numériques.
- ❖ Le codage DMT (Discrete MultiTone) utilisé optimise dynamiquement le débit en fonction de la qualité de transmission.
- ❖ La famille DSL comprend :
 - ▶ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)
 - ▶ ADSL2+ est une évolution et permet théoriquement jusqu'à 25 Mbit/s
 - ▶ ReADSL2 (Reach extended ADSL2) pour des lignes entre 5 à 8 km
 - ▶ VDSL (Very high bit-rate DSL) peut fournir
 - ▶ jusqu'à 52 Mbit/s en flux descendant et 2 Mbit/s en flux montant
 - ▶ un débit symétrique jusqu'à 34 Mbit/s
 - ▶ Évolution vers le VDSL2



DSL

- ❖ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) permet
 - ▶ jusqu'à 8 Mbit/s dans le sens descendant
 - ▶ jusqu'à 1 Mbit/s dans le sens montant.
 - ▶ exploite une bande de 1,1 MHz
 - ▶ Portée : jusqu'à 4 ou 5 km

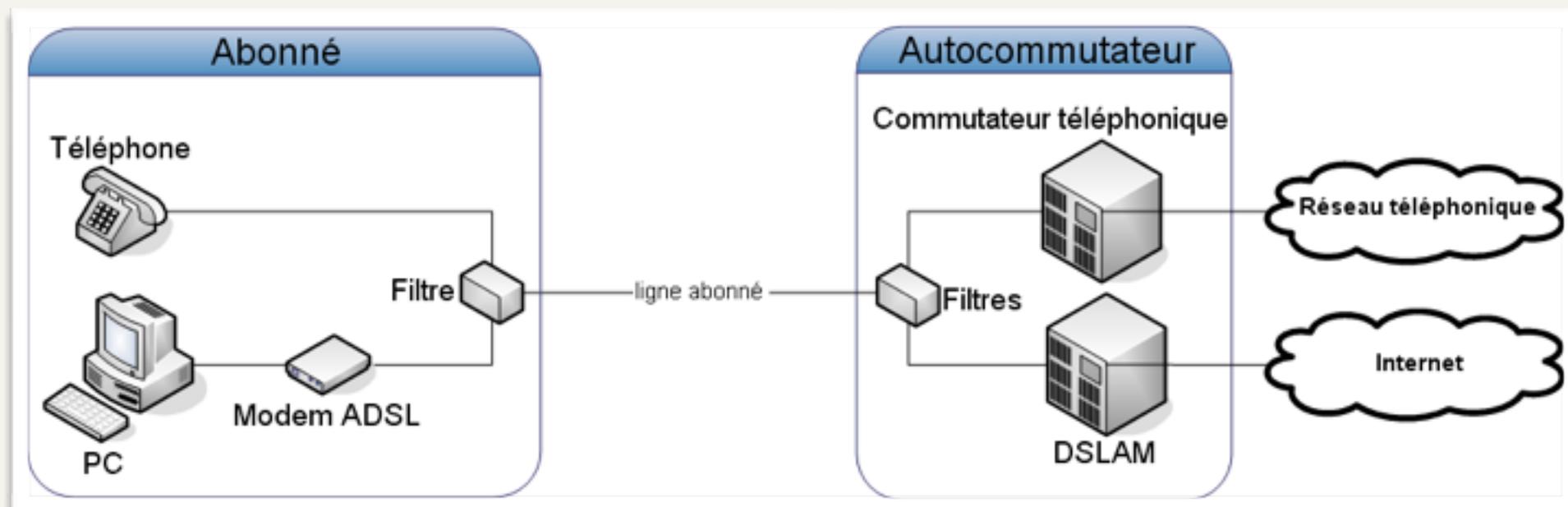


Fig 2.26. - Fonctionnement d'ADSL

La couche physique

7 - Le système téléphonique



Ch. 2

DSL

- ❖ Avec ADSL la bande passante est partagée en trois :
 - ▶ 0 à 4 kHz : voix
 - ▶ 25 à 140 kHz : canal simplex montant
 - ▶ 140 kHz à 1,1 MHz : canal simplex descendant (jusqu'à 2,2 MHz pour ADSL2+)
- ❖ Chez l'abonné
 - ▶ un filtre (splitter = séparateur) sépare le canal voix des deux canaux numériques exploités par un modem ADSL (qui intègre en général un switch Ethernet) Un bouquet de service « triple play », associé à une « box ADSL », est proposé aux abonnés.
(Triple play = Accès à l'Internet + Téléphonie fixe via IP + TV)
- ❖ Coté opérateur, le DSLAM est un multiplexeur statistique relié au réseau haut-débit de l'opérateur.

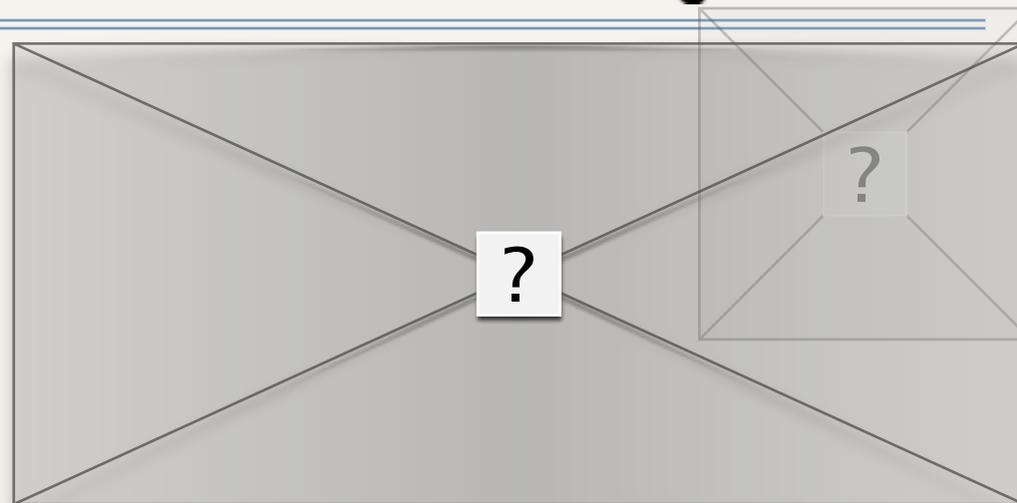


Fig 2.27. - Spectre d'ADSL



2.2 Voix et téléphonie sur IP

- ❖ La VoIP
 - Voice over IP = Voix par IP = voix acheminée selon le protocole IP
 - Numérisation de la voix analogique capté par un micro
 - Transport de la voix numérisée
- ❖ La ToIP
 - Telephony over IP = Téléphonie par IP
 - VoIP et fonction de gestion des appels
 - Fonctions à assurer :
 - Numérisation de la voix analogique capté par un micro
 - Transport de la voix numérisée
 - Service téléphonique de base
 - Services supplémentaires
 - Passerelles vers RTC et Internet



Les générations de radiotéléphone

- ❖ **1G** - 1^{re} génération
 - ▶ Téléphonie mobile analogique ; Fin des années 70, années 80
 - ▶ Jusqu'à 50 km de portée
 - ▶ AMPS (Advanced Mobile Phone System) (USA, 1976)
 - ▶ Radiocom 2000 (France Telecom, 1986)
 - ▶ SFR analogique





Les générations de radiotéléphone

- ❖ **2G** - 2^e génération
 - ▶ Téléphonie sans fil numérique et téléphonie cellulaire numérique
 - ▶ Ex. BiBop (sans handover) ; DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone)
 - ▶ En téléphonie cellulaire, à partir de 1990
 - ▶ GSM (Global System for Mobile communication) ; en Europe ; 900 MHz
 - ▶ *GSM provient d'un « Groupe Spécial Mobile » qui a permis des évolutions vers 2.5G, avec GPRS par ex.*
 - ▶ DCS1800 (Digital Cellular System) ; variante de GSM à 1 800 MHz



Les générations de radiotéléphone

- ❖ **3G** - 3^e génération
 - ▶ Accès à Internet amélioré,
- ❖ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
 - ▶ Exploiter une plus large bande pour transmettre des données jusqu'à 2 Mbit/s
 - ▶ Bande autour de 2 GHz, largeur de bande 230 MHz
 - ▶ Les débits théoriques dépendent du type de cellule
 - ▶ 144 à 384 kbit/s en zone rurale ou en déplacement rapide (> 100 km/h)
 - ▶ 384 à 512 kbit/s en zone semi-urbaine ou urbaine, mobile à $v < 100$ km/h
 - ▶ 512 kbit/s à 2 Mbit/s mobile fixe à moins de 10 km d'une base radio
- ❖ 3.5G - HSDPA (High Speed Downling Packet Access).
 - ▶ Une évolution logicielle de la 3G



Les générations de radiotéléphone

- ❖ **4G** - 4^e génération
- ❖ LTE (Long Term Evolution)
 - ▶ Norme 3.9G, nommée 4G par les opérateurs
 - ▶ Normes définies par le consortium 3GPP, issues de modifications des normes UMTS
 - ▶ Quelques centaines de Mbit/s en débits descendants
 - ▶ Quelques dizaines de Mbit/s en débits montants
 - ▶ Antennes indépendantes des antennes 3G
- ❖ LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced)
 - ▶ Norme 4G, nommée 4G+ par les opérateurs
 - ▶ Technique d'agrégation de porteuse (carrier aggregation)
 - ▶ Débit théorique : 1 Gbit/s descendant
- ❖ **5G** - 5^e génération, déploiement prévu vers 2020. LTE-Advanced - B



Fonctionnement de base

- ❖ Le territoire à couvrir a une structure cellulaire.
- ❖ Une station de base, alias antenne-relais, au centre de chaque cellule, gère les stations mobiles à sa portée.
- ❖ Une station de base utilise un jeu de fréquences distinct du jeu de fréquences des cellules voisines

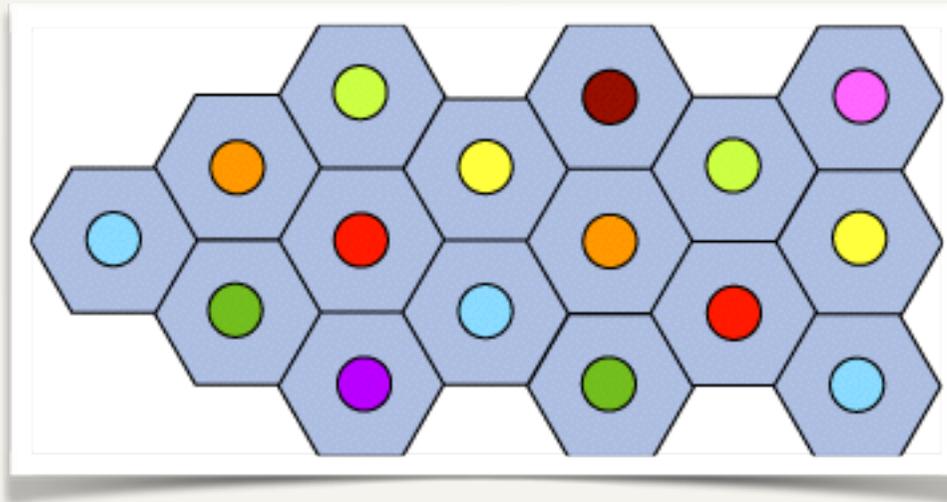
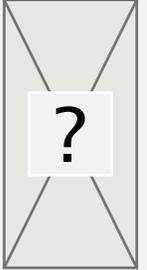


Fig 2.28 - Damier hexagonal de jeux de fréquences



La mobilité en réseaux 2G à 4G

- ❖ Deux concepts :
 - ▶ **Roaming** = itinérance = localisation de station mobile pour l'acheminement des appels
 - ▶ **Handover** = transfert intercellulaire = permettre la continuité des communications téléphoniques (ou des transferts de données) lors de changement de cellules





Architecture

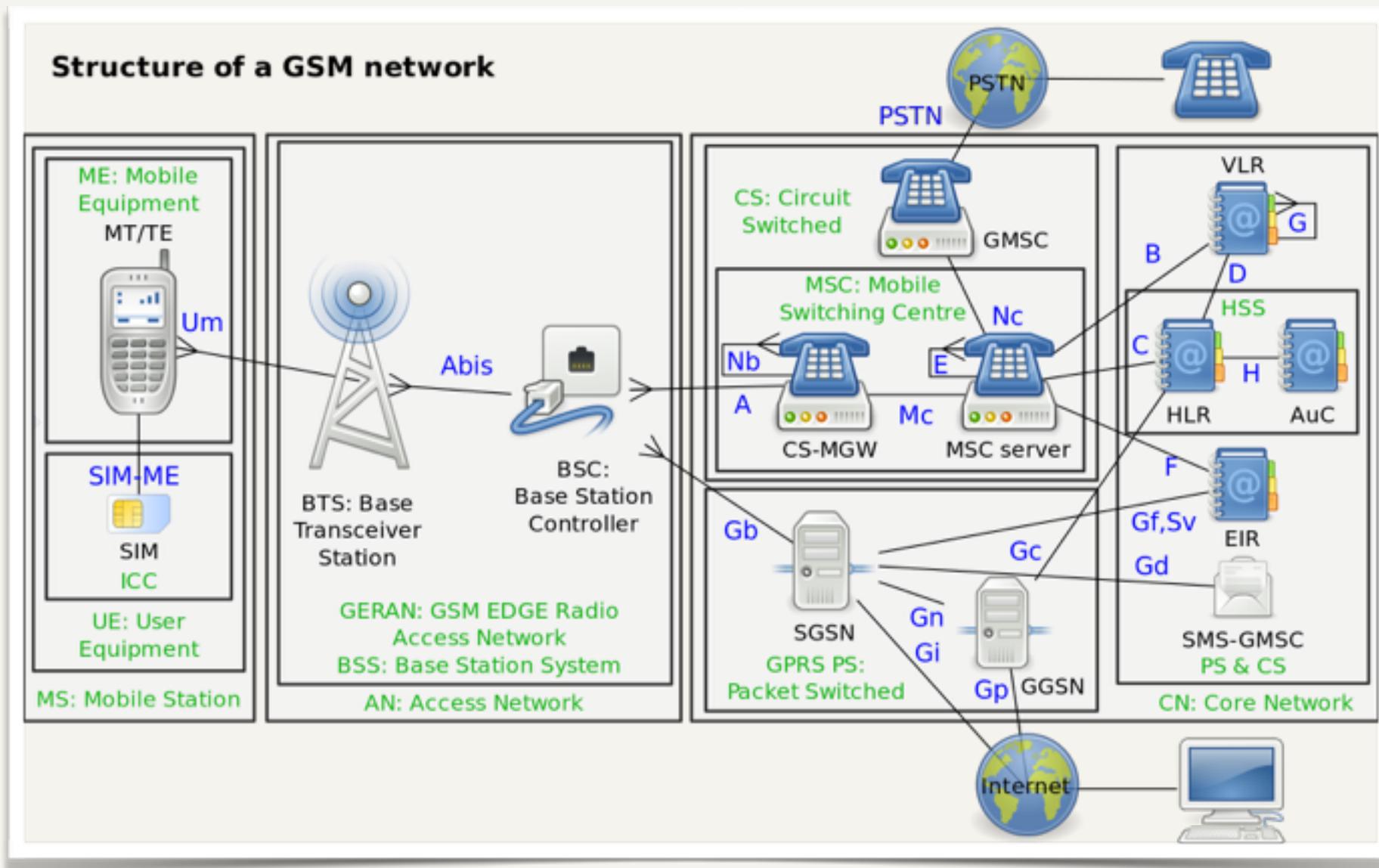


Fig 2.29 - Architecture du réseau GSM



Architecture

- ❖ Le système GSM est composé de :
 - ▶ La station mobile MS (*Mobile station*)
 - ▶ **Carte SIM** (*Subscriber Identity Module*). Elle contient :
 - ▶ les données liées à l'abonnement,
 - ▶ un code d'identification unique
 - ▶ un code PIN personnel
 - ▶ Un **terminal mobile**, identifié par l'IMEI (*International Mobile Equipment Identity*)
 - ▶ **Le sous-système radio BSS** (*Base Station System*)
 - ▶ Quelques **stations de base BTS** (*Base Transceiver Station*)
 - ▶ Un BTS est une antenne relais, **émetteur-récepteur radio** au centre d'une cellule
 - ▶ Un **contrôleur de stations de base BSC** (*Base Station Controller*), qui gère jusqu'à 100 BTS ; configuration des canaux ; transfert intercellulaire, etc.



Architecture

- ❖ Les composants du système GSM ; suite
 - ▶ Le **sous-système réseau** NSS (*Network Sub-System*)
 - ▶ Centres de commutation MSC (*Mobile Switching Center*)
 - ▶ Commutations entre MSC et passerelles d'accès réseaux d'autres opérateurs de téléphonie mobile et au RTC.
 - ▶ Gestion de la localisation et de l'itinérance grâce à la base de données VLR (*Visitor Location Register*) et gestion des données d'abonnés avec HLR (*Home Location Register*)
 - ▶ SGSN (*Serving GPRS Support Node*), passerelle pour l'acheminement des données dans les réseaux mobiles GSM GPRS, EDGE et UMTS