

Chapitre 1

Introduction aux Applications des Télécommunications

1. Introduction à la télécommunication

1.2. Historique

Les télécommunications au sens large comprennent l'ensemble des moyens techniques nécessaires à l'acheminement aussi fidèle et fiable que possible d'informations entre deux points a priori quelconques, à une distance quelconque, avec des coûts raisonnables¹ et a des instants quelconques

a. Le télégraphe électrique

On peut estimer que l'histoire des télécommunications commence en **1832**, date à laquelle le physicien américain **Samuel MORSE** (1791-1872) eut l'idée d'un système de transmission codée (**alphabet Morse**) (exemple : **S O S ...- - -...**).

En **1856**, la France adopta le système Morse. La première liaison transocéanique, réalisée en 1858, ne fonctionna qu'un mois (défaut d'isolement du câble immergé).



Figure 1. À gauche : Samuel MORSE, à droite : Télégraphe Morse

b. Le téléphone

En **1876**, l'Américain Alexander Graham Bell inventa le téléphone : enfin, la voix humaine pouvait être transportée au-delà de l'horizon sonore.

De nombreuses améliorations du téléphone de Bell (comme l'invention du microphone à charbon par Hughes en **1878**) conduisirent au développement que l'on connaît.

Paris fut la première ville à posséder un réseau de "téléphonie urbaine".



Figure 2. À gauche : Alexander Graham Bell, à droite : premier prototype de téléphone

c. La radio

Mais le fil de cuivre qui était à la base même de ces dispositifs de communication était très pénalisant : coûts de construction et de maintenance très importants, impossibilité de communiquer avec un bateau en mer...

La découverte des ondes hertziennes allait ouvrir l'ère du "sans fil" et métamorphoser les lourds, fragiles et coûteux câbles de cuivre en liaisons invisibles que constituent les ondes électromagnétiques.



Figure 3. À gauche : MARCONI Guglielmo, à droite : récepteur radio sans fil

En 1899, MARCONI Guglielmo (Italo-Irlandais) fut reconnu comme l'inventeur de la radio sans fil. Il permit à plusieurs stations d'émettre simultanément, et sans interférence, sur des longueurs d'ondes différentes.

En 1921, des émissions expérimentales sont diffusées depuis la Tour Eiffel d'où sont transmis les premiers journaux parlés et émissions musicales en direct. Mais, c'est Lee de Forest qui avec l'invention de la triode ouvrit véritablement la voie aux transmissions longues distances. En 1927, La première liaison téléphonique transocéanique par ondes hertziennes fut réalisée.

d. La télévision

C'est dans les années 1920 que les premiers prototypes de télévision apparaissent.

En 1929, la BBC émet des émissions expérimentales malgré des images de mauvaise qualité.

En 1947, 3 Américains inventent le transistor, qui peu à peu va détrôner les lampes, et faire accélérer les évolutions techniques.

e. Les satellites

Au début des années 1960, les communications téléphoniques internationales restent très difficiles car les câbles sous-marins ont une capacité réduite.

De même la télévision ne permet pas encore de réaliser des "directs" sur de très longues distances.

Un projet est alors avancé : construire un satellite de télécommunications.

En 1961, un accord est signé entre la Grande Bretagne, la France et les Etats-Unis pour sa réalisation. Ce satellite (Telstar) est construit par "Bell Telephone Laboratories" et sera lancé de Cap Canaveral le 10 juillet 1962.

Pour l'occasion la France construit en Bretagne (Pleumeur-Bodou) une antenne réceptrice composée entre autres, d'une portion de sphère de 64 mètres de diamètre. Le 11 juillet 1962, l'antenne capte dans d'excellentes conditions des images émises des Etats-Unis.



Figure 4. Le satellite Telstar1

f. Internet

En 1974, les laboratoires Bell mettent au point un programme, qui permet d'échanger des données par modem via le réseau téléphonique.

Grâce à cette innovation, débute le premier véritable réseau planétaire, UUNET.

En 1994, avec l'introduction de Netscape, doté d'une interface graphique spectaculaire, qui intègre les ressources multimédias, l'Internet connaît une explosion phénoménale.

L'expression "Internet" sert à désigner un ensemble de réseaux connectés entre eux.

1.3. Définition et généralités

Le terme fut inventé en 1904 par E. Estaunié et signifie « *communiquer à distance* ».

Le but des télécommunications est donc de transmettre un signal (avec des moyens à base d'électronique et d'informatique), porteur d'une information (voix, musique, images, données...), d'un lieu à un autre lieu situé à distance.

Les télécommunications recouvrent toutes les techniques de transfert d'information (filaires, radio, optiques, etc.) quelle qu'en soit la nature (symboles, écrits, images fixes ou animées, son, ou autres).

La chaîne de télécommunication est formée principalement d'un :

- a) **Canal** (ligne, câble coaxial, guide d'onde, fibre optique, lumière infra-rouge, canal hertzien, etc.)
- b) **Emetteur (source)**, qui a comme fonction de fournir un signal (représentant le message) adapté au canal.
- c) **Récepteur (destinataire)** dont la fonction est de reconstituer le message après observation du signal présent sur le canal.

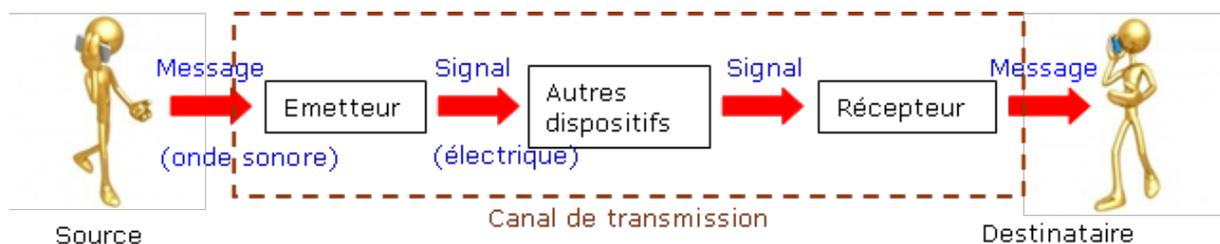


Figure 5. Schéma de base d'une chaîne de transmission

2. Le spectre électromagnétique

Le terme spectre fut employé pour la première fois en 1666 par Isaac Newton pour se référer au phénomène par lequel un prisme de verre peut séparer les couleurs contenues dans la lumière du Soleil.

2.1. Electromagnétisme

a. Définition

Le rayonnement électromagnétique symbolise l'ensemble des radiations émises par une source (soleil, radar, téléphone portable, ...)

b. Ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillant tous deux à la même fréquence. C'est aussi l'ensemble des fréquences à laquelle peut osciller une onde électromagnétique. Ces deux champs sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et se propagent selon une direction orthogonale dans un milieu ; air, espace, ... (Maxell-Lorentz). Les ondes électromagnétiques constituent l'ensemble du spectre électromagnétique. Elles sont générées par le mouvement d'une charge électrique, tel un courant électrique (Maxell-- Ampère). Elles véhiculent de l'énergie mais pas de matière.

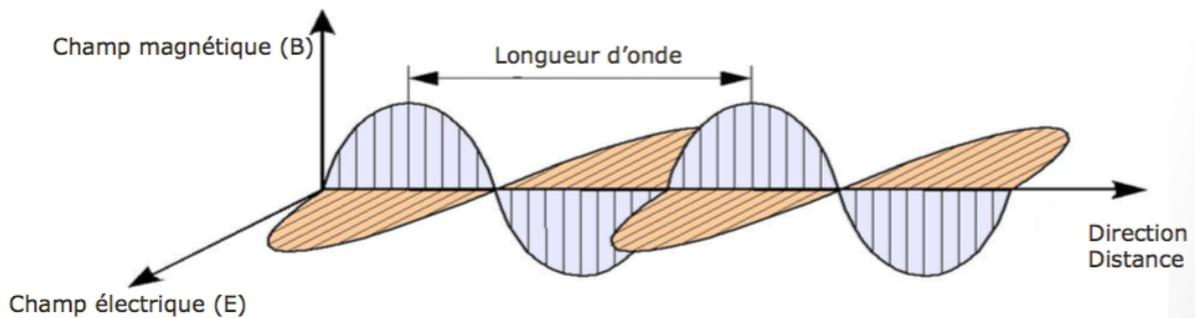


Figure 6. Propagation d'une onde magnétique

La nature exacte d'une onde électromagnétique est en réalité la propagation, à la vitesse de la lumière, d'une déformation harmonique des propriétés électriques et magnétiques de l'espace, consécutive à une excitation. Un parallèle peut être fait avec l'onde que génère une goutte qui tombe à la surface de l'eau. A noter que le milieu dans lequel l'onde se propage reprend sa forme initiale après distorsion. Comme il est à noter que les ondes audio ne se propagent pas dans le vide.

Une onde électromagnétique est caractérisée par trois grandeurs :

La longueur d'onde (λ) : c'est la périodicité de l'oscillation de l'onde dans le temps ou l'espace. Elle est mesurée entre deux pics successifs, représentant la longueur du cycle de l'onde dans l'espace. L'unité est le mètre (m), correspondant à la distance parcourue par la lumière en $1/3 \cdot 10^8$ s (1983, Conférence Générale des Poids et Mesures).

La période (T) : c'est le temps que met l'onde pour réaliser un cycle. L'unité est la seconde (s).

La fréquence (ν) : c'est l'inverse de la période, elle symbolise le nombre de cycles par unité de temps. C'est le nombre d'oscillations du champ électromagnétique par seconde ; L'unité est le Hertz (Hz), sachant qu'un Hertz équivaut à une oscillation.

2.2. Définition du spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique est la décomposition du rayonnement électromagnétique selon ses différentes composantes en termes de fréquence (ou période), d'énergie des photons ou encore de longueur d'onde associée, les quatre grandeurs ν (fréquence), p (période), E (énergie) et λ (longueur d'onde) étant liées deux à deux par :

La constante de Planck h (approx. $6,626069 \times 10^{-34}$ J·s \approx 4,13567 meV/Hz)

Et la vitesse de la lumière c (exactement 299 792 458 m/s)

Selon les formules :

$E = h \nu = h/p$ pour l'énergie transportée par le photon

$c = \lambda \nu = \lambda/p$ pour le déplacement dans le vide (relativiste dans tous les référentiels) du photon,

D'où aussi $E = h c / \lambda$

2.3. Unités de mesures

Pour les ondes radio et la lumière, on utilise habituellement la longueur d'onde.

À partir des rayons X, les longueurs d'ondes sont rarement utilisées : comme on a affaire à des particules très énergétiques, l'énergie correspondant au photon X détecté est plus utile.

Cette énergie est exprimée en électronvolt (eV), soit l'énergie d'un électron accéléré par un potentiel de 1 volt.

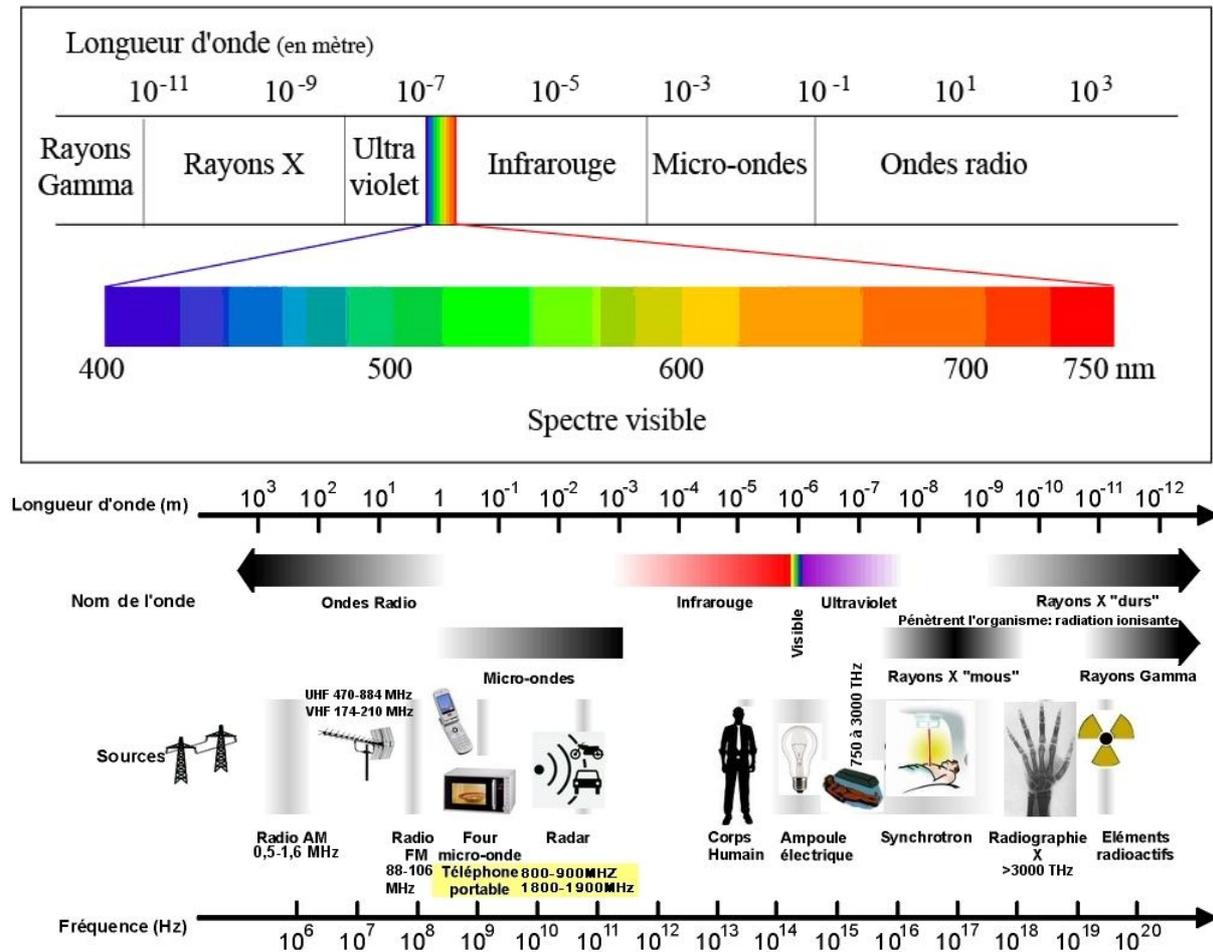


Figure 7. Le spectre électromagnétique

La lumière blanche peut se décomposer en arc-en-ciel à l'aide d'un prisme ou d'un réseau de diffraction. Chaque « couleur spectrale » de cette décomposition correspond à une longueur d'onde précise. Cependant, la physiologie de la perception des couleurs fait qu'une couleur vue ne correspond pas nécessairement à une radiation de longueur d'onde unique mais peut être une superposition de radiations monochromatiques.



Figure 8. Le prisme de Newton

La spectrométrie étudie les procédés de décomposition, d'observation et de mesure des radiations en ondes monochromatiques.

Les photons de lumière visible les plus énergétiques (violet) sont à 3 eV.

Les rayons X couvrent la gamme 100 eV à 100 keV.

Les rayons γ sont au-delà de 100 keV.

Des photons γ de plus de 100 MeV (100 000 000 eV) émis par un *quasar*¹ ont été détectés.

2.4. Domaines du spectre électromagnétique

On découpe habituellement le spectre électromagnétique en divers domaines selon la longueur d'onde et le type de phénomène physique émettant ce type d'onde.

- **Ondes radioélectriques ou ondes hertziennes** : oscillations d'électrons au sein d'un circuit électrique comme une antenne.
- **Micro-ondes** : oscillations d'électrons au sein de composants électriques spécifiques (comme une diode Gunn par exemple), rotation moléculaire.
- **TéraHertz (domaine submillimétrique, limite micro-ondes / infrarouge lointain)** : niveaux de vibration de molécules complexes.
- **Infrarouge** : oscillations de particules, vibration moléculaire, transitions d'électrons de valence au sein d'atomes ou de molécules
- **Lumière visible** : transitions d'électrons de valence de haute énergie, qui ont la particularité d'être détectées par l'œil humain.
- **Ultraviolet** : transitions d'électrons de valence d'atomes ou de molécules de plus haute énergie encore, et donc non observables par l'œil humain.
- **Rayons X** : transitions d'électrons des couches profondes au sein d'un atome, accélération ou décélération d'électrons libres de haute énergie.
- **Rayons gamma** : transitions au sein du noyau atomique, souvent émis lors de la désexcitation de noyaux-fils issu de la désintégration radioactive d'un noyau instable, de façon spontanée ou sous l'effet d'une accélération au sein d'un accélérateur de particules.

3. Classification des systèmes des télécommunications

¹ En Astronomie, le quasar est une source céleste d'ondes hertziennes (radiosource) analogue à une étoile.

Lorsque l'on aborde le problème des télécommunications on est amené à faire usage de deux termes : réseau et système.

Le concept de système se rapporte essentiellement aux moyens de télécommunications mis en œuvre pour constituer des réseaux. Les systèmes sont en quelque sorte les supports des réseaux. On peut définir un système comme un ensemble cohérent de moyens mis en œuvre pour réaliser tout ou partie des fonctions des télécommunications.

Suivant cette terminologie on distingue, en général, dans le domaine des télécommunications, deux grands systèmes spécifiques : Les systèmes de transmission et les systèmes de commutation

3.1. Les systèmes de transmission

Comprennent essentiellement les lignes de transmission proprement dites, c'est-à-dire les supports de transmission et les équipements de groupement des signaux à transmettre.

Ce groupement est appelé multiplexage. Il en existe trois types : *le multiplexage en fréquence, le multiplexage en temps et le multiplexage en longueur d'onde.*

3.1.1. Lignes de transmission

Ces lignes peuvent être de nature très diverse (câbles, liaisons hertziennes, liaisons par satellites).

Actuellement, pour les liaisons entre stations fixes de télécommunications, on peut classer les supports de transmission en cinq grandes catégories techniques : Les câbles à paires symétriques, les câbles coaxiaux, les faisceaux hertziens, les satellites artificiels et les fibres optiques.

a. Les câbles à paires symétriques

Lignes bifilaires groupées à l'intérieur de câbles le plus souvent souterrains mais, parfois encore, aériens, dont la capacité varie en fonction du nombre d'abonnés à raccorder ou du trafic à écouler.

Ces types de câbles sont utilisés essentiellement dans les réseaux locaux, soit pour le raccordement des abonnés à leur centre de rattachement, soit pour des liaisons inter-centraux, urbaines ou rurales.

En général, les câbles à paires symétriques sont utilisés pour la transmission de signaux à faible ou moyenne largeur de bande (téléphone, télex, transmissions de données à moyen débit), mais on peut aussi les utiliser pour des transmissions de signaux à plus large bande (vidéo) sur de courtes distances.

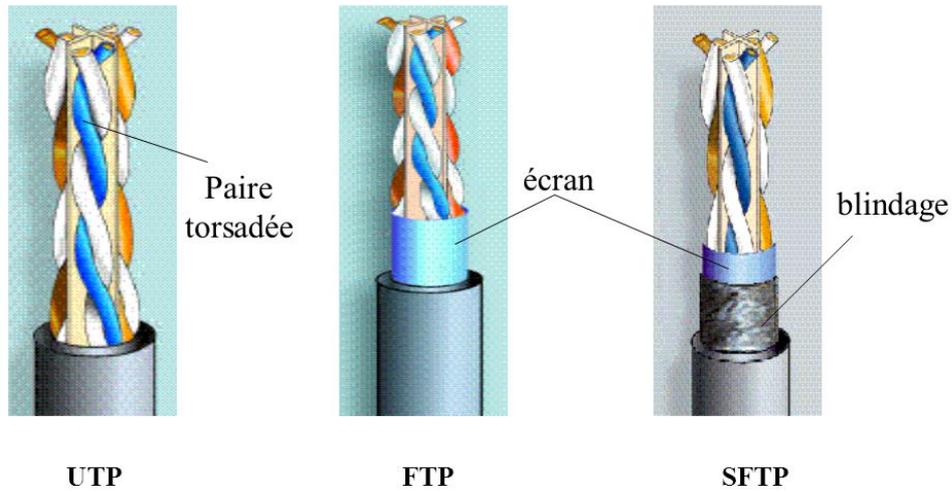


Figure 9. La paire torsadée

b. Les câbles coaxiaux

Ils ont régné pendant longtemps sur le domaine des liaisons terrestres à grande distance et des liaisons intercontinentales par câbles sous-marins.

Ils sont utilisés aussi pour des « réseaux locaux à large bande », réseaux de télévision par câble, notamment, ou pour des liaisons interactives de vidéocommunication.



Figure 10. Câble coaxial

c. Les faisceaux hertziens

Les FH désignent l'air ou le vide, ils permettent la circulation d'ondes électromagnétiques ou radioélectriques diverses entre un émetteur et un récepteur.

Destiné à la mise en œuvre de réseau de télécommunication, le faisceau hertzien numérique est rapidement mis en service, offre de grandes capacités de débit, est évolutif en fonction des besoins de l'utilisateur.

Le faisceau hertzien est souvent complémentaire de réseau de fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement. Les débits vont de 2 à 155 Mbit/s sur des fréquences de 1,5 à 38 GHz.

d. Les satellites artificiels

L'ère des télécommunications par satellites artificiels a commencé en 1962 (première liaison transatlantique par satellite de télécommunication, le 11 juillet 1962, entre Andover, aux États-Unis et Pleumeur-Bodou, en France).

Les premiers satellites ont été d'abord des satellites à défilement (orbites basses et excentrées), Très rapidement on a été capable de lancer des satellites dits géostationnaires (orbite circulaire et rotation du satellite en synchronisme avec celle de la Terre).

Les satellites artificiels ont révolutionné non seulement les télécommunications intercontinentales (possibilité de transmission simultanée de voies téléphoniques et de canaux de télévision) mais aussi, comme chacun sait, la météorologie, la navigation, la télédétection et la télésurveillance à objectifs civils ou militaires.

D'autre part, l'apparition de satellites de diffusion directe de télévision apporte encore une dimension supplémentaire aux satellites de télécommunications

e. Les fibres optiques

1977 : premières liaisons expérimentales

Elles ont connu, en une décennie, un développement fulgurant, aussi bien dans le domaine des liaisons intercontinentales par câbles sous-marins (mise en service du premier câble sous-marin en décembre 1988) que pour les liaisons terrestres à grande distance, où elles remplacent progressivement les liaisons par câbles coaxiaux et par faisceaux hertziens.

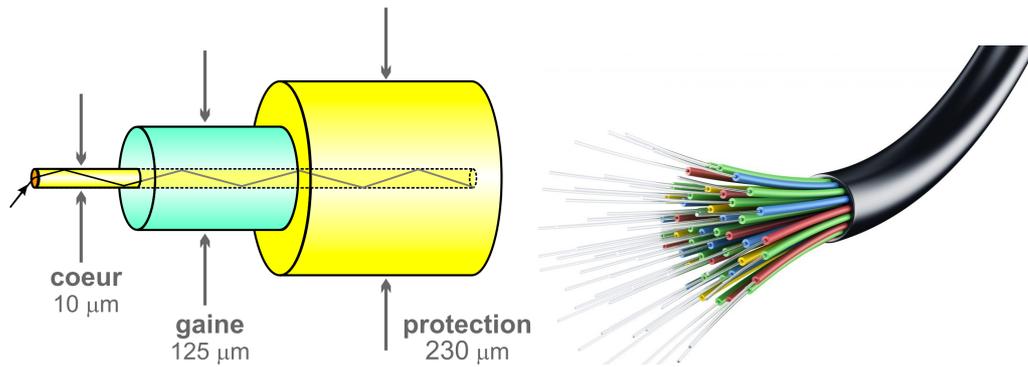


Figure 11. La fibre optique

3.1.2. Systèmes de multiplexage

On dispose actuellement de trois grands procédés de multiplexage : Le multiplexage en fréquence, le multiplexage en temps et le multiplexage en longueur d'onde.

a. Le multiplexage en fréquence

Le multiplexage fréquentiel (ou FDM pour *Frequency Division Multiplexing*) consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes plus étroits et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif. Le multiplexage FDM a été utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.

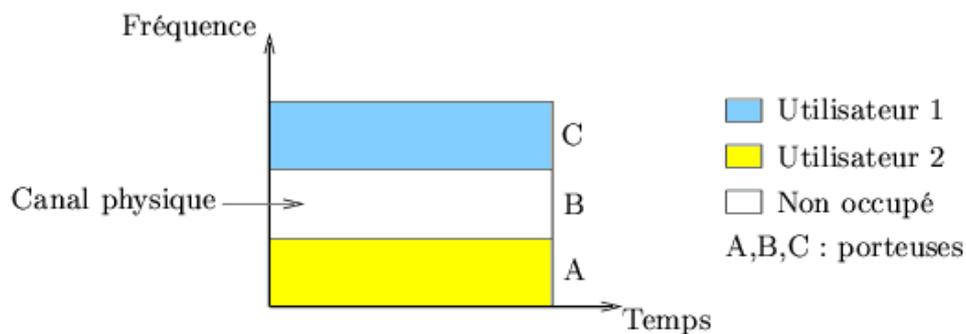
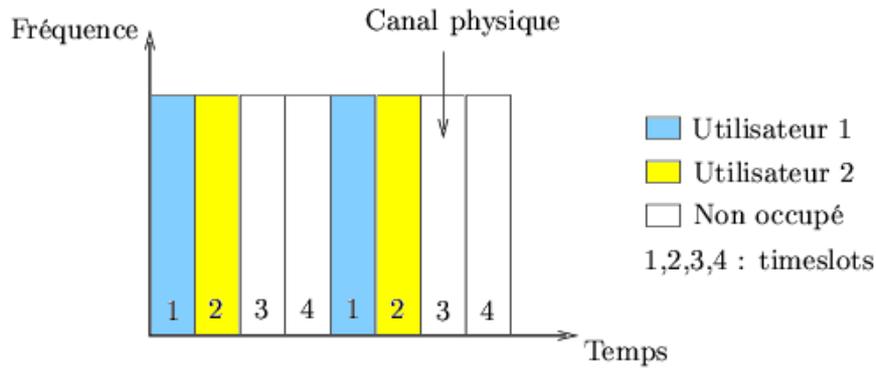


Figure 12. Principe du multiplexage fréquentiel

b. Le multiplexage en temps

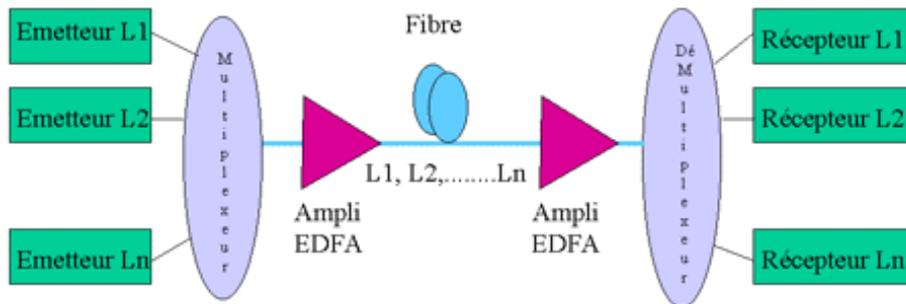
Le multiplexage temporel (ou TDM pour *Time Division Multiplexing*) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant et à tour de rôle pour chaque utilisateur.

Le multiplexage TDM permet de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé.



c. Le multiplexage en longueur d'onde

A l'inverse de la technologie TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes.



3.2. Les systèmes de commutation

La commutation est, après la transmission, la deuxième grande fonction des réseaux de télécommunications.

En effet, si au début on pouvait se contenter de faire communiquer entre eux quelques usagers, en embrochant leurs postes sur une même ligne (principe de la ligne partagée) ou en les reliant

deux à deux par des lignes directes, cela n'était plus possible lorsque le nombre de personnes susceptibles de communiquer entre elles dépassait la dizaine.

Il était indispensable alors de mettre en œuvre d'autres moyens : la fonction commutation s'imposait d'elle-même.

La commutation consiste à choisir un chemin particulier parmi tous les chemins possibles et disponibles permettant de relier deux lignes téléphoniques données, le numéro composé par l'abonné servant d'instructions au commutateur.

Les différents types de commutation : La commutation de circuits, la commutation de messages, la commutation par paquets, la commutation de trames et la commutation de cellules.