

# Communications numériques

Quelques systèmes de communications

Laurent Oudre  
laurent.oudre@univ-paris13.fr

Université Paris 13, Institut Galilée  
Ecole d'ingénieurs Sup Galilée  
Parcours Informatique et Réseaux Apprentissage - 2<sup>ème</sup> année  
2018-2019

## Sommaire

Multiplexage

Téléphonie : GSM

Télévision : TNT

Internet : ADSL

## Sommaire

Multiplexage

Téléphonie : GSM

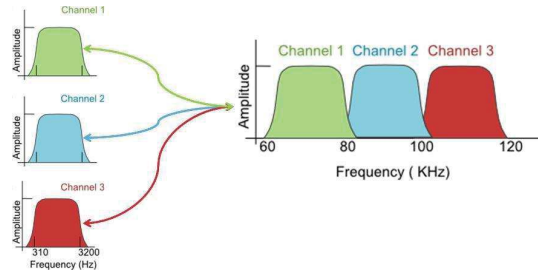
Télévision : TNT

Internet : ADSL

## Multiplexage

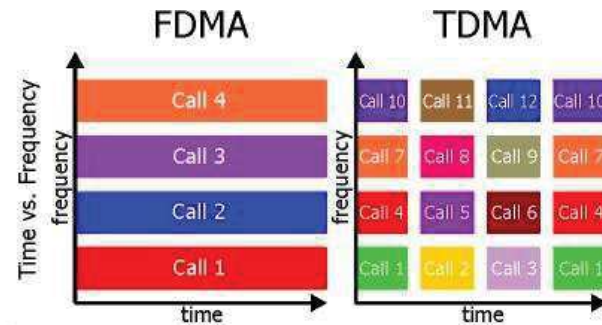
- ▶ On a déjà vu que dans les systèmes de communications réels, on définissait des canaux avec une largeur de bande fixée par des réglementations
  - ▶ Comment faire pour utiliser au mieux le canal ?
  - ▶ Comment faire transiter plusieurs communications sur un même canal ?
- ▶ Deux solutions :
  - ▶ Multiplexage fréquentiel
  - ▶ Multiplexage temporel

## Multiplexage fréquentiel



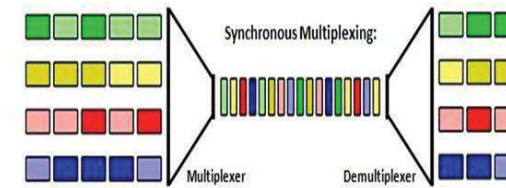
- ▶ FDM : Frequency Division Multiplexing
- ▶ On divise la bande passante en  $N$  sous-canaux, correspondant chacun à une sous-porteuse
  - ▶ Cas multi-utilisateur : on transmet sur chaque canal le signal d'un utilisateur (FDMA : Frequency Division Multiple Access)
  - ▶ Cas d'un seul utilisateur : on tronçonne le message à transmettre et on transmet un bout sur chaque sous-canal (en parallèle).
    - ▶ Dans ce cas le débit total est égal à  $N$  fois le débit sur chacun des sous-canaux.
    - ▶ Cas particulier : si les sous porteuses sont orthogonales, on peut gagner de la largeur de bande (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplex)

## FDMA et TDMA



- ▶ FDMA : on divise le canal en sous-bandes et on fait passer une communication par bande
- ▶ TDMA : on divise les signaux en trames et on transmet alternativement les trames de chaque utilisateur

## Multiplexage temporel



- ▶ TDM : Time Division Multiplexing
- ▶ On suppose que l'on a  $N$  signaux à transmettre à bas débit, et un canal à haut débit
- ▶ On divise ces signaux en trames et on les entrelace
- ▶ On transmet le nouveau signal sur le canal à haut débit
- ▶ Dans le cas de plusieurs utilisateurs : TDMA : Time Division Multiple Access

## Sommaire

Multiplexage

Téléphonie : GSM

Télévision : TNT

Internet : ADSL

## GSM : Global System for Mobile communications

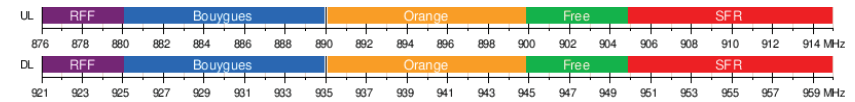
- ▶ Norme numérique pour la téléphonie mobile
- ▶ Principalement voix ou données (UMTS, EDGE)
- ▶ En France : GSM 900 et GSM 1800 (autour des fréquences centrales 900 MHz ou 1800 MHz)
- ▶ Pour chacun des réseaux, une bande de fréquence réservée à l'upload et une bande réservée au download

	<b>GSM 900</b>	<b>GSM 1800</b>
Upload	880 - 915 MHz	1710 - 1785 MHz
Download	925 - 960 MHz	1805 - 1880 MHz

## Modulation utilisée pour le réseau GSM 900

- ▶ GMSK : Gaussian Minimum Shift Keying
- ▶ Variation de la MSK mais avec un filtre gaussien au lieu d'un filtre rectangulaire
- ▶ Avantages
  - ▶ Faible bande occupée
  - ▶ Permet de mieux résister au bruit
- ▶ Inconvénients
  - ▶ Filtre gaussien n'est pas un filtre de Nyquist : interférence entre symboles

## Répartition des bandes de fréquences pour le réseau GSM 900



- ▶ RFF : réseau privé pour les communications ferroviaires
- ▶ Chaque opérateur achète une bande de fréquence pour ses communications (en upload et download)
- ▶ En tout : 175 canaux de 200 kHz chacun (pour l'upload et le download)

$$B = \frac{(915 - 880) \times 10^6}{175} = 200 \text{ kHz}$$

## Paramètres du réseau GSM 900

- ▶ En pratique, le signal modulé a un spectre dont la largeur de bande est environ égale à 250 kHz (légèrement supérieure à celle du canal qui est égale à 200 kHz)
- ▶ Le taux d'erreur binaire varie en fonction du milieu, mais peut être diminué en utilisant des codes correcteurs d'erreurs (rajouter des bits supplémentaires)
- ▶ Le débit binaire maximal est autour de 270 kbits/sec
- ▶ Multiplexage TDMA : 8 utilisateurs par canal

## Sommaire

Multiplexage

Téléphonie : GSM

Télévision : TNT

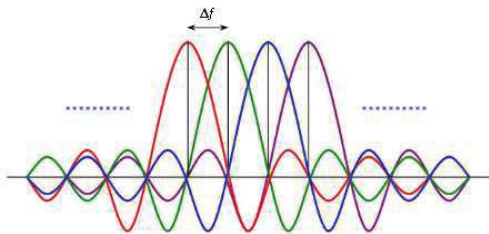
Internet : ADSL

## TNT : Télévision Numérique Terrestre

- ▶ Diffusion de signaux de télévision numérique par un réseau de réémetteurs hertziens terrestres
- ▶ En France : entre 470 et 694 MHz (depuis 2016)
- ▶ Correspond à 28 canaux (numérotés de 21 à 48) ayant chacun une largeur de bande de 8 MHz

Exemple : Canal 21 : 470 - 478 MHz

## Modulation utilisée pour la TNT : OFDM



- ▶ OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplex
- ▶ Multiplexage fréquentiel avec, pour chaque canal, 6817 sous-porteuses espacées de 1116 Hz
- ▶ 6048 sous-porteuses transportent le signal, et 769 des informations de synchronisation
- ▶ Sur chaque sous-porteuse, on transmet un signal modulé avec une modulation 64-QAM

## Calcul du débit binaire

- ▶ La période symbole sur chaque sous-porteuse est fixée par le CSA :  
 $T = 896 \mu s$
- ▶ Sur chaque sous-porteuse, on transmet  $m = \log_2 64 = 6$  bits en  $T$  secondes.
- ▶ Sur l'ensemble du canal, on transmet donc  $6 \times 6817$  bits en  $T$  secondes
- ▶ On a donc un débit binaire total

$$D_b = \frac{6 \times 6817}{896 \times 10^{-6}} = 45.85 \text{ Mbits/sec}$$

## Chaînes de la TNT

- ▶ Avec les standards actuels de compression vidéo et de son, le débit d'une chaîne HD est environ de 4 Mbits/sec (MPEG-4)
- ▶ Il faut rajouter un grand nombre de bits pour corriger les éventuelles futures erreurs de transmission (environ la moitié)
- ▶ Sur chaque canal, grâce à un multiplexage temporel, on peut donc transmettre approximativement jusqu'à 5 chaînes HD
- ▶ En France il y a actuellement 6 multiplex (R1, R2, R3, R4, R6 et R7)  
Exemple : Multiplex R6 : TF1 HD, TMC HD, TFX HD, NRJ 12 HD, LCP HD

## ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line

- ▶ Utilise une ligne téléphonique pour transmettre des données numériques
- ▶ Internet Haut Débit
- ▶ Débit asymétrique : plus élevé en download qu'en upload (généralement dans un rapport entre 5 et 20)
- ▶ Ligne téléphonique : bande passante d'environ 1.1 MHz
- ▶ Avant : uniquement 4 kHz utilisée pour les communications téléphoniques
- ▶ Idée : Utiliser toute la largeur de bande disponible avec un multiplexage fréquentiel

## Sommaire

Multiplexage

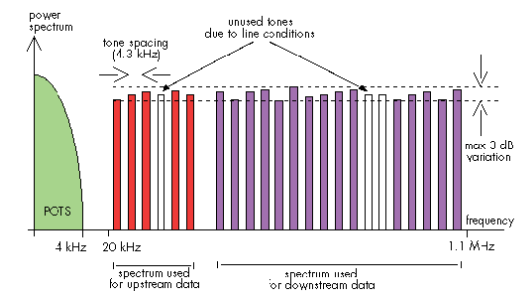
Téléphonie : GSM

Télévision : TNT

Internet : ADSL

## Canaux

Bande passante entre 0 et 1.1 MHz, divisée en 256 canaux séparés de 4312.5 Hz ayant chacun une largeur de bande de 4 kHz



- ▶ Canal 1 (entre 0 et 4 kHz) : téléphone classique
- ▶ Canaux 7 à 31 (entre 26 et 133 kHz) : upload
- ▶ Canaux 33 à 256 (entre 138 et 1100 kHz) : download

## Modulation utilisée pour l'ADSL

- ▶ DMT : Discrete MultiTone
- ▶ On fait passer l'information en parallèle sur toutes les porteuses (multiplexage fréquentiel)
- ▶ On adapte la modulation sur chaque canal en fonction du bruit, de la dégradation, etc...
- ▶ Sur chaque canal on a une modulation QAM entre 0 et 15 bits par symbole.  
ex :
  - ▶ canal 9 : 64-QAM
  - ▶ canal 10 : 32-QAM
  - ▶ canal 11 : 512-QAM
- ▶ Le débit binaire maximal sur chaque canal est de 60 kbits/sec