

Accès multiple sans conflit

Marceau Coupechoux
UE RES222 « Accès au Médium et Ordonnancement »
Mars 2008
ENST, Département Informatique et Réseaux

Accès multiple sans conflit

- Introduction
- Duplexage
 - TDD
 - FDD
 - CDD ?
- Accès multiple sans conflit
 - Méthodes
 - FDMA
 - TDMA
 - CDMA
 - Méthodes hybrides
 - Comparaisons

Accès multiple sans conflit

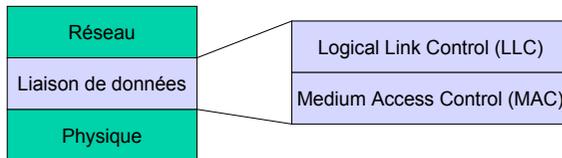
- Objectifs (i.e. au programme) :
 - Notion de multiplexage : T/F/CDMA,
 - Notion de duplexage : T/FDD,
 - Exemples de systèmes pour chaque cas.

Introduction

- Les principales composantes d'un **réseau** :
 - les noeuds : entités qui hébergent les fonctions de communications,
 - les protocoles : ensemble des règles permettant la communication entre noeuds,
 - les canaux : media physiques sur lesquels transitent les signaux d'un noeud à un autre.
- **Réseaux fixes** :
 - Le canal se caractérise par des taux d'erreur binaire très faibles (10^{-6} essentiellement à cause du bruit),
 - Point-à-point : le canal est dédié à une paire de noeuds, la communication entre deux noeuds n'a pas d'effet sur d'autres paires (pas d'interférences).
 - Diffusion : le canal est partagé entre plusieurs noeuds (e.g. CSMA/CA).
- **Réseaux sans fil** :
 - Le canal est caractérisé par de grandes variations et des taux d'erreur binaire plus élevés (10^{-3} ou plus).
 - Le canal est par nature en diffusion (*broadcast*).

Introduction

- La couche **liaison de données** (*data link layer*) a pour objet de fiabiliser la transmission entre systèmes reliés par un support d'interconnexion.
- Les protocoles de liaison de données sont plus ou moins simples suivant la qualité fournie par la couche physique.
 - Exemple de protocole de liaison de données : LAP-B
- Lorsque le medium est partagé (e.g. réseaux locaux ou sans fil), la couche liaison de données est généralement divisée en deux :
 - La sous-couche de contrôle du lien logique (*Logical Link Control*),
 - La sous-couche d'accès et de contrôle du medium (*Medium Access Control*)



[1-2]

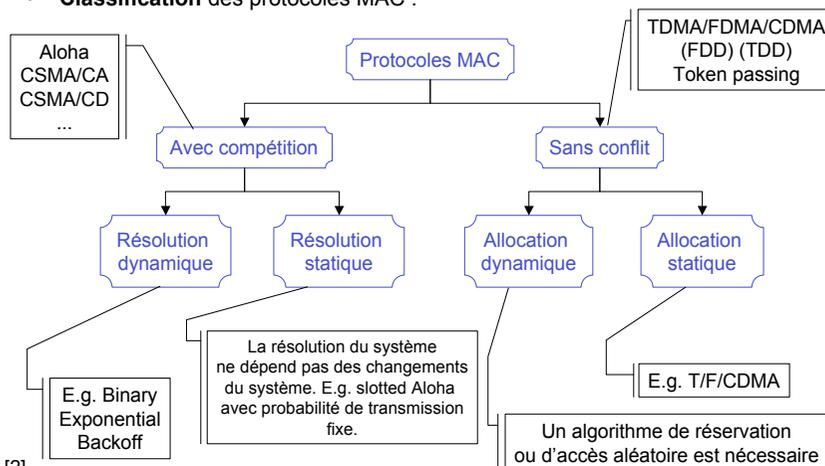
Introduction

- La **sous-couche LLC** fiabilise la transmission entre deux points du réseau et se comporte comme si les stations étaient reliées deux à deux. LLC peut être rendue indépendante de la sous-couche MAC.
- La **sous-couche MAC** définit les règles d'accès au medium partagé et de partage des ressources. Elle filtre les trames qui ne sont pas destinées à la station.
- On distingue principalement :
 - Les protocoles MAC **sans conflit** : une transmission est assurée de ne pas subir de collision, il n'y a pas de compétition pour l'accès au canal.
 - Les protocoles MAC **avec compétition** : les stations entrent en compétition pour l'accès au canal ; un protocole de résolution des collisions est nécessaire.

[1-2]

Introduction

- **Classification** des protocoles MAC :



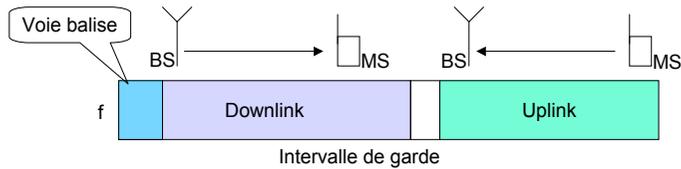
[2]

Duplexage TDD

- La technique de duplexage permet de séparer les deux voies d'une communication duplex.
- Deux types de duplexage : TDD et FDD.
- **Time Division Duplex (TDD)** :
 - Les deux directions utilisent la même bande mais pendant des intervalles de temps différents.
 - Les voies sont séparées par un **intervalle de garde**.
 - La synchronisation est nécessaire entre les deux voies.
 - Il n'est pas nécessaire que les stations supportent le duplex intégral (*full-duplex*).
 - TDD peut être implémenté sur une bande non appareillée.
 - Les ressources peuvent être allouées aux voies montante et descendante de manière souple.
 - Les caractéristiques du canal sont semblables sur les deux voies : **l'estimation du canal MS-BS en boucle ouverte** est possible (MIMO, antennes intelligentes, contrôle de puissance) mais attention aux interférences.
 - TDD semble plus adapté aux petites cellules car le temps de propagation y est plus faible.

Duplexage TDD

- **Time Division Duplex :**



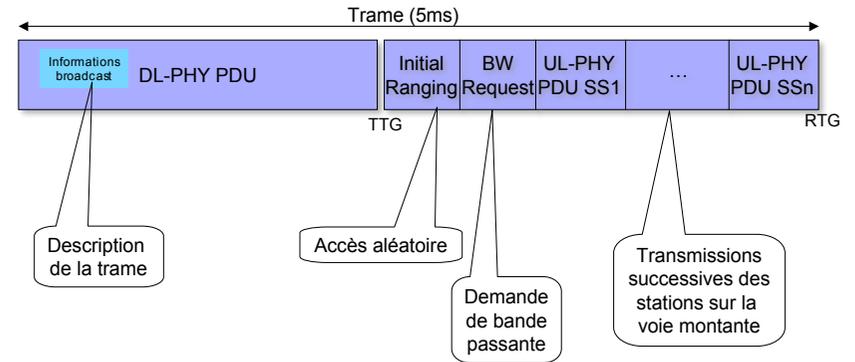
- Intervalle de garde : nécessaire pour absorber le temps de propagation.
- Opération semi duplex (*half-duplex*) :



T : temps d'aller-retour TR : temps de retournement réception/transmission

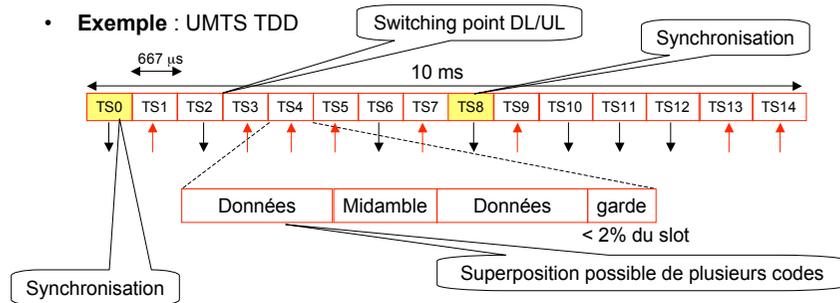
Duplexage TDD

- **Exemple : WiMAX (IEEE 802.16d)**



Duplexage TDD

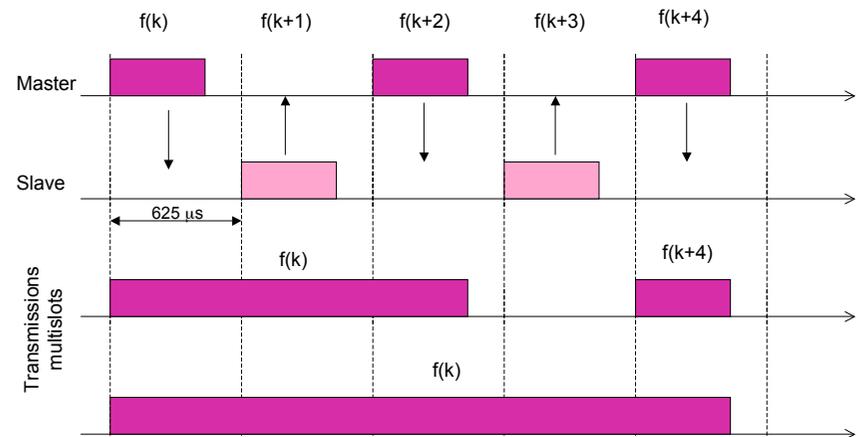
- **Exemple : UMTS TDD**



- Il est possible d'allouer dynamiquement les slots à la voie montante ou à la voie descendante.
- Différents Nodes-B peuvent se voir attribuer différentes parties de la trame.

Duplexage TDD

- **Exemple : Bluetooth, TDD ou FDD ?**

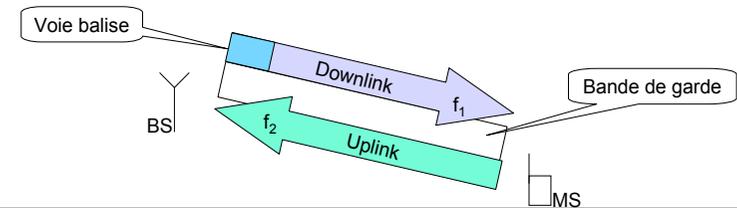


Duplexage TDD

- Autres systèmes utilisant TDD :
 - DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
 - CT2 (Cordless Telephone)
 - PHS (Personal Handyphone System)
 - IEEE 802.11 (WiFi)
 - TD-SCDMA

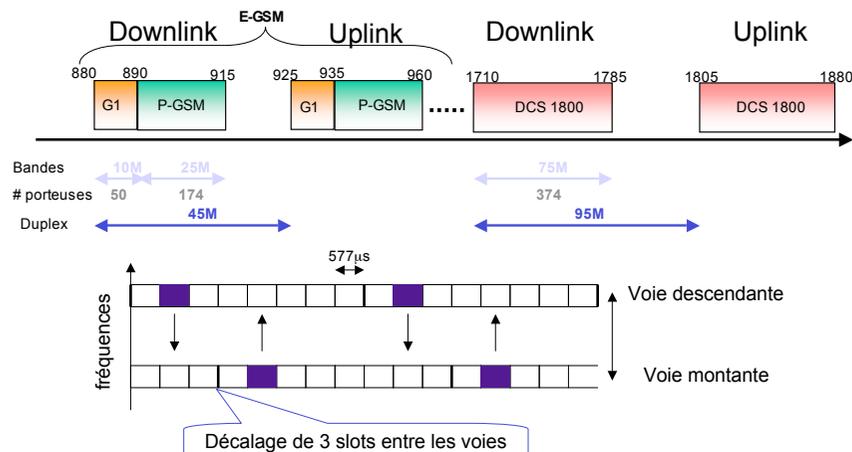
Duplexage FDD

- **Frequency Division Duplex (FDD)**
 - Les deux directions utilisent des fréquences différentes.
 - En duplex intégral, réception et émission peuvent être simultanées.
 - En semi duplex, réception et émission ne peuvent être simultanées (e.g. en GSM).
 - FDD nécessite deux bandes appariées séparées par une bande de garde.
 - La synchronisation temporelle n'est pas nécessaire (sauf en semi duplex).
 - Les évanouissements sur la voie montante et la voie descendante sont indépendants.



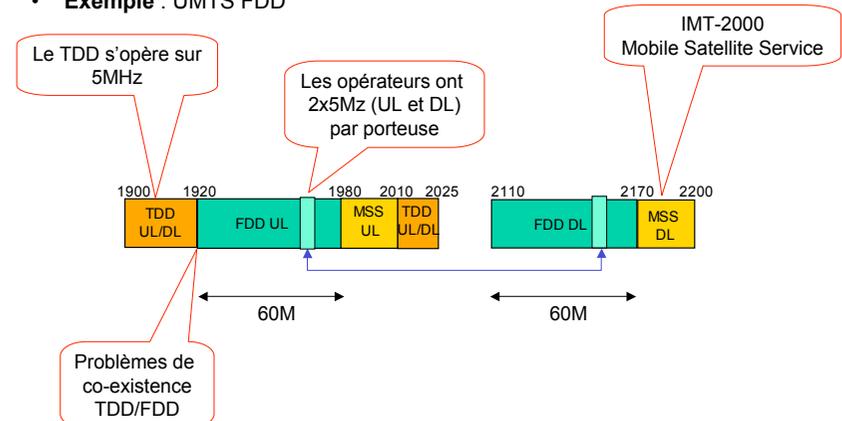
Duplexage FDD

- **Exemple : GSM/GPRS/EDGE (ici GSM900 et GSM1800)**



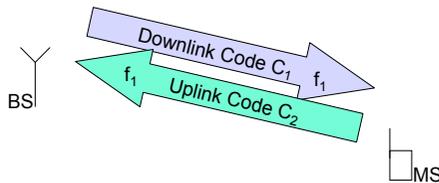
Duplexage FDD

- **Exemple : UMTS FDD**



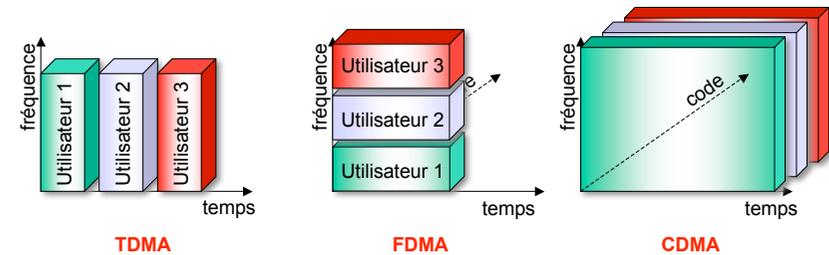
Duplexage CDD ?

- CDD : la voie montante et la voie descendante partagent la même fréquence continuellement mais sont séparées par des codes différents.
- Le CDD n'est utilisé dans aucun système à cause des différences de puissance trop importantes entre l'émission et la réception.
- L'utilisation de codes orthogonaux ne résout pas le problème à cause des multi-trajets.



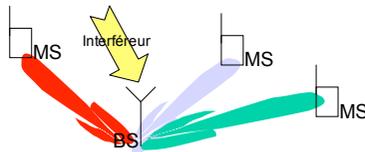
Accès Multiple Sans Conflit Méthodes

- Les méthodes d'accès multiple permettent la communication entre plusieurs utilisateurs partageant un canal commun.
- L'espace des signaux est divisé selon les axes du temps, de la fréquence et des codes : TDMA, FDMA, CDMA.

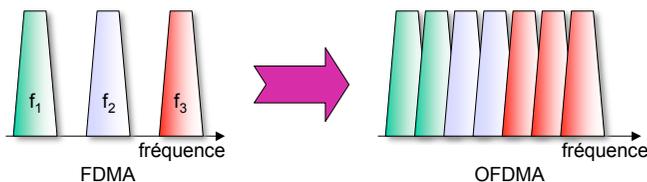


Accès Multiple Sans Conflit Méthodes

- L'utilisation d'antennes directionnelles ou intelligentes ajoute une dimension angulaire : **SDMA** pour Space Division Multiple Access.



- Un cas particulier du FDMA est l'**OFDMA** : Orthogonal Frequency Division Multiple Access.



Accès Multiple Sans Conflit Méthodes

Méthodes d'accès multiple dominantes selon les générations :

- Réseaux mobiles de première génération (1G) FDMA
 - Exemple : Radiocom 2000.
- Réseaux mobiles de seconde génération (2G) TDMA
 - Exemple : GSM/GPRS/EDGE.
- Réseaux mobiles de troisième génération (3G) CDMA
 - Exemple : WCDMA, cdma2000.
- Réseaux mobiles 3.5G ~TDMA
 - Exemple : HSDPA.
- Réseaux mobile « au delà de la 3G » (B3G) OFDMA
 - Exemple : WiMAX, 3G LTE

Accès Multiple Sans Conflit FDMA

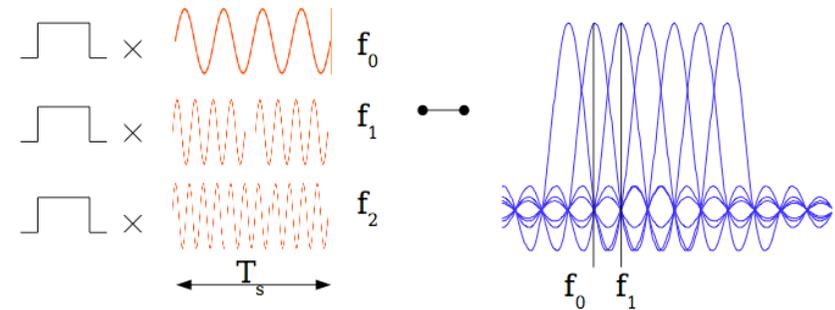


- **Principe :**
 - La bande est divisée en sous-bandes,
 - Chaque utilisateur est associé à une sous-bande,
 - L'utilisateur conserve la sous-bande tout au long de l'appel,
 - Une bande de garde est nécessaire entre sous-bandes.
- **Caractéristiques :**
 - Pas de synchronisation, mais les radios doivent être capables de passer facilement d'une fréquence à l'autre,
 - Il est difficile d'allouer plusieurs canaux à un même utilisateur,
 - Chaque signal transmis sur une sous-bande est à bande étroite, le canal n'est donc pas sélectif en fréquence.
- Systèmes utilisant le FDMA : essentiellement de 1ère génération analogique (Radiocom 2000, AMPS) ou de deuxième génération avec TDMA.
- Systèmes utilisant l'OFDMA : essentiellement WLAN (IEEE 802.11g/a) et B3G (WiMAX, 3GLTE).

Accès Multiple Sans Conflit FDMA



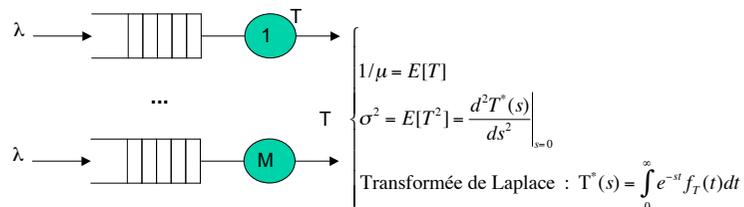
- **Principe de l'OFDM :** diviser une large bande en sous bandes de largeur inférieure à la bande de cohérence du canal.



Accès Multiple Sans Conflit FDMA



- **Evaluation des performances**
- Hypothèses :
 - Il y a M utilisateurs.
 - Le canal a une capacité de R bps, chaque utilisateur dispose de R/M bps.
 - Un utilisateur génère des paquets à un taux λ paquets/s.
 - Les utilisateurs disposent de files d'attente infinies.
 - Le temps de transmission d'un paquet est égal à T.
- Le système FDMA peut être modélisé par M files M/G/1 fonctionnant en parallèle de manière indépendante.



Accès Multiple Sans Conflit FDMA



- Nombre moyen de clients dans le système : $(\rho = \lambda/\mu)$

$$Q = \rho + \frac{\lambda^2 \sigma^2}{2(1-\rho)}$$

- Taux de sortie de la file :

$$\lambda$$

- Taux d'utilisation du serveur (débit) :

$$U = \rho$$

- Temps de séjour moyen dans le système (Loi de Little) :

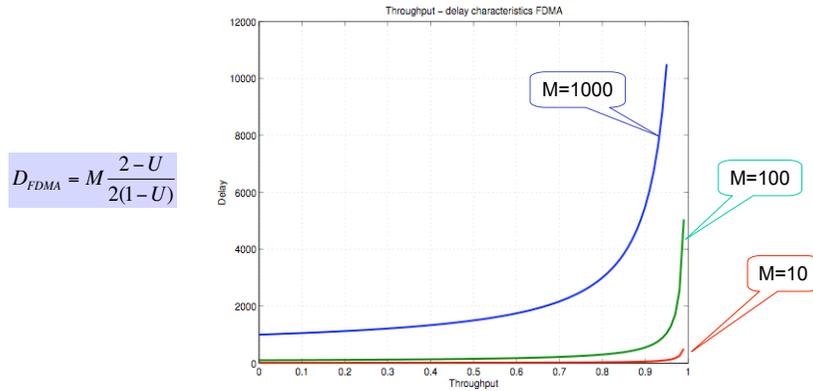
$$D = \frac{Q}{\lambda} = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda \sigma^2}{2(1-\rho)}$$

- Cas d'une M/D/1 (longueur de paquet fixe, P) : $\sigma^2 = 1/\mu^2$ et

$$D_{M/D/1} = \frac{1}{\mu} \frac{2-\rho}{2(1-\rho)} = \frac{MP}{R} \frac{2-U}{2(1-U)}$$

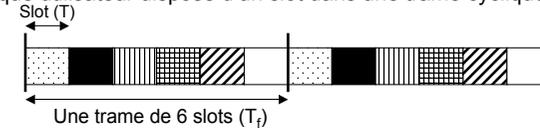
Accès Multiple Sans Conflit FDMA

- Caractéristique délai/débit du FDMA :
 - La taille des paquets est fixe : $T=1/\mu$ est constante et la file est M/D/1
 - Le délai est normalisé par rapport à P/R

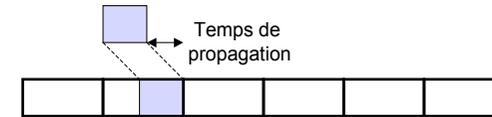


Accès Multiple Sans Conflit TDMA

- Chaque utilisateur dispose d'un slot dans une trame cyclique.



- Caractéristiques :
 - La transmission n'est pas continue.
 - On peut attribuer plusieurs slots à un même utilisateur de façon dynamique (cf. GPRS).
 - Synchronisation nécessaire entre utilisateurs : après réception, les signaux doivent être orthogonaux dans le temps.



Accès Multiple Sans Conflit TDMA

- Deux méthodes pour compenser le temps de propagation :
 1. Intervalle de garde entre slots,
 2. Compensation du temps de propagation.
- **Exemple** : en GSM, les cellules peuvent avoir des rayons de 35 Km. La méthode (1) seule nécessite un intervalle de garde de 200 μ s. L'utilisation de la méthode (2) permet de réduire ce temps à 30 μ s. La BTS estime le *Timing Advance* (TA) au moment de l'accès aléatoire.
- Exemples de systèmes qui utilisent le TDMA :
 - GSM/GPRS/EDGE
 - IS-136
 - PDC (Personal Digital Communications)

Accès Multiple Sans Conflit TDMA

- **Evaluation des performances**
- Le délai W subi par un paquet avant sa transmission complète comprend :
 - Le temps entre sa génération et la fin de la trame courante ($T_f/2$ en moyenne),
 - Le temps d'attente dans la file (W_q),
 - La transmission du paquet ($T=T_f/M$).
- Si les arrivées sont Poisson (λ), le système est une M/D/1 :

$$W_q = \frac{\rho MT}{2(1-\rho)}, \text{ avec } \rho = \lambda MT \text{ car } 1/\mu = T_f = MT$$

- Temps de séjour total dans le système :

$$D_{TDMA} = \frac{T_f}{2} + W_q + T$$

$$= T \left[1 + \frac{M}{2(1-\rho)} \right]$$

Accès Multiple Sans Conflit TDMA



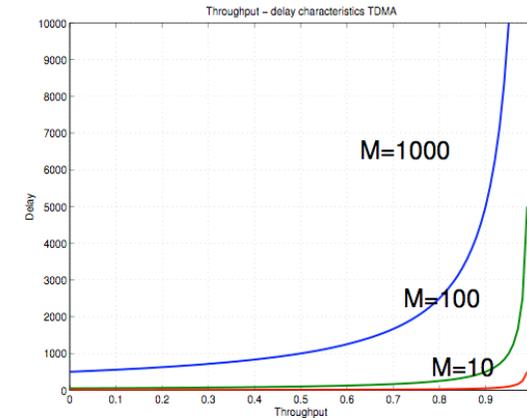
- Comparaison avec FDMA :
 - Les deux méthodes se modélisent avec une $M/G/1$,
 - Les temps d'attente dans la file sont les mêmes car le temps entre deux services est le même et égal à MP/R ,
 - Mais : en TDMA, il faut attendre le début de la trame,
 - En FDMA, le temps effectif de service est plus long (MP/R au lieu de P/R en TDMA).

$$D_{FDMA} = D_{TDMA} + \frac{P}{R} \left(\frac{M}{2} - 1 \right)^{M \geq 2} \geq D_{TDMA}$$

Accès Multiple Sans Conflit TDMA



- Caractéristique délai/débit du TDMA :
- On fait l'hypothèse $M/D/1$ et le délai est normalisé par rapport à T .



Accès Multiple Sans Conflit CDMA

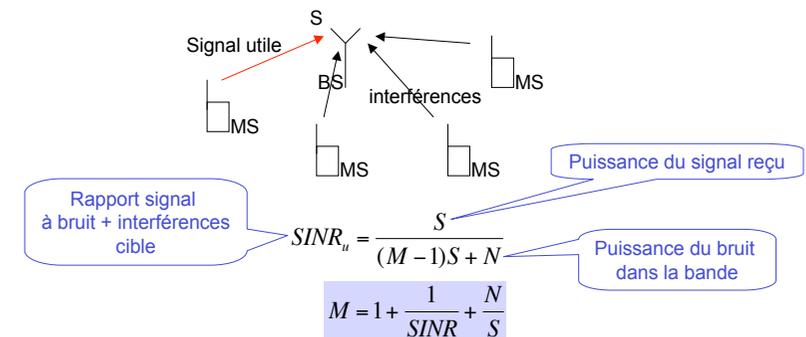


- **Principe** : les signaux sont modulés par des codes d'étalement qui peuvent être orthogonaux ou non. Le récepteur utilise la structure des codes pour séparer les différents utilisateurs.
- Deux grandes méthodes d'étalement : séquence directe et saut de fréquence.
- **Caractéristiques** :
 - Voie descendante : codes orthogonaux de Walsh-Hadamard (l'orthogonalité peut être altérée par les multi-trajets),
 - Voie montante : codes non-orthogonaux mais avec des propriétés de corrélations intéressantes (e.g. codes de Gold).
 - Il n'y a pas de limite dure au nombre d'utilisateurs. Le système est limité par l'interférence.
 - Contrôle de puissance rapide nécessaire : la puissance reçue est la même pour tous les utilisateurs.
 - Multiplexage souple : différents débits sont possibles (cf. OVSF) et plusieurs codes peuvent être attribués à un utilisateur.
- **Exemples** de systèmes CDMA : IS-95, WCDMA, cdma2000.

Accès Multiple Sans Conflit CDMA



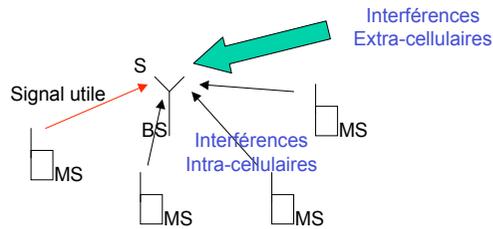
- **Evaluation de performance** naïve (voie montante) :



- **Exemple** : on néglige le bruit devant les interférences, $SINR = -19\text{dB}$, $M = 80$.
En fait, les interférences extra-cellulaires réduisent la capacité à environ 40.

Accès Multiple Sans Conflit CDMA

- **Cas cellulaire :**



$$SINR_u = \frac{S}{I_{in} + I_{ex} + N}$$

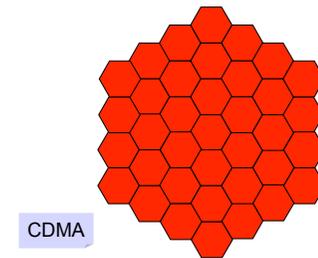
- On pose $f = I_{ex}/I_{in}$ (environ 0.6 en pratique), on néglige le bruit, on approxime $I_{in} \sim M \cdot S$:

$$M \approx \frac{1}{SINR(1+f)}$$

NB: $f = OCIF$ *Other Cell Interference Factor*

Accès Multiple Sans Conflit CDMA

- La planification fréquentielle en CDMA cellulaire est immédiate :



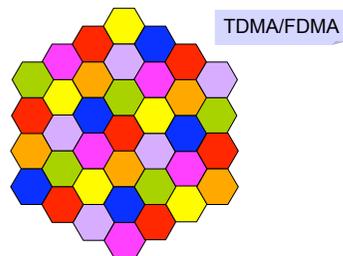
CDMA

UMTS :

- motifs de réutilisation = 1
- Planification des codes PN
- codes de Gold
- + : planification facile
- - : gestion des interférences

Accès Multiple Sans Conflit Méthodes hybrides

- En pratique, les réseaux n'utilisent pas une unique méthode d'accès multiple.
- **Exemple 1 :** GSM. Les cellules voisines utilisent des fréquences différentes. Dans de nombreux réseaux, on utilise du saut de fréquence.



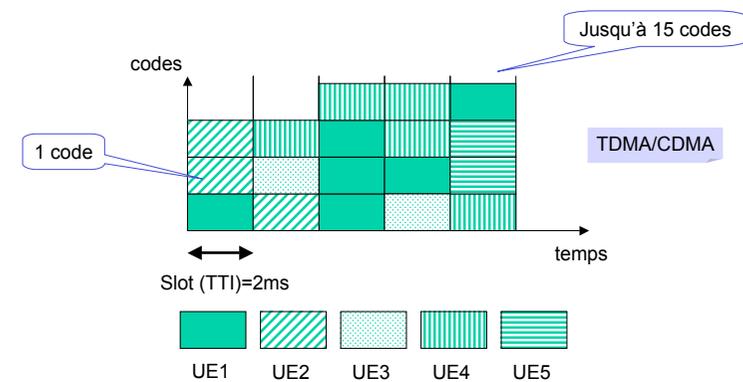
TDMA/FDMA

GSM :

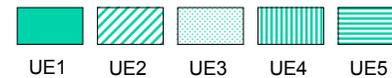
- motifs de réutilisation généralement différents de 1
- Exemple : $K=18$ pour la voie balise
- Exemple : $K=12$ pour les autres canaux
- Exemple : $K=3$ avec du saut de fréquence

Accès Multiple Sans Conflit Méthodes hybrides

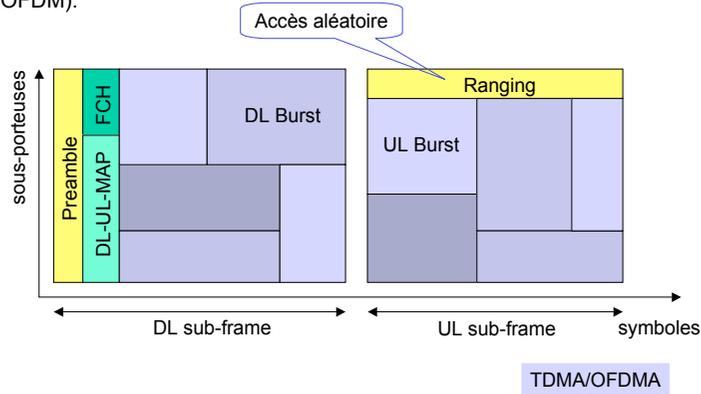
- **Exemple 2 :** HSDPA. Un canal commun slotté est partagé par tous les utilisateurs. Plusieurs utilisateurs peuvent se partager un slot en utilisant des codes différents.



Slot (TTI)=2ms



- **Exemple 3** : IEEE 802.16-2005 (WiMAX). Deux degrés de libertés : la fréquence (les sous-porteuses du symbole OFDM) et le temps (les symboles OFDM).



- Deux notions importantes :
 - Duplexage : séparation des voies,
 - Multiplexage : séparation des utilisateurs.
- Techniques de duplexage :
 - FDD : plutôt pour les grandes cellules,
 - TDD : redevient à la mode avec WiMAX.
- Techniques de multiplexage : essentiellement FDMA, TDMA, CDMA
 - Sont souvent utilisées de manière combinée,
 - Assez difficile de les comparer quantitativement,
 - L'OFDMA semble s'imposer pour B3G,
 - L'accès multiple optimal suppose de la suppression successive d'interférence.

- [1] X. Lagrange et D. Seret, « Introduction aux Réseaux », Hermes, 1998.
- [2] R. Rom et M. Sidi, « Multiple Access Protocols, Performance and Analysis », Springer-Verlag, 1990.
- [3] X. Lagrange, Ph. Godlewski et S. Tabbane, « Réseaux GSM », Hermes, 2000.
- [4] G. Doyon, « Systèmes et Réseaux de Télécommunication en Régime Stochastique », Masson, 1989.
- [5] B. Baynat, « Théorie des Files d'Attente », Hermes, 2000.
- [6] Andrea Goldsmith, « Wireless Communications », Cambridge University Press, 2005.
- [7] D. Tse and P. Viswanath, « Fundamentals of Wireless Communications », Cambridge University Press, 2005.
- [8] P. Bergmans and T. M. Cover, « Cooperative Broadcasting », IEEE Trans. On Information Theory, May 1974.
- [9] S. Hara and R. Prasad, « Overview of Multicarrier CDMA », IEEE Communication Magazine, Dec. 1997.

AMPS : Advanced Mobile Phone System	MAC : Medium Access Control
AWGN : Average White Gaussian Noise	MC-CDMA : Multi-carrier CDMA
B3G : Beyond 3G	MIMO : Multiple Input Multiple Output
BS : Base Station	MS : Mobile Station
BW : Bandwidth	MSS : Mobile Satellite Service
CDD : Code Division Duplex	OCIF : Other Cell Interference Factor
CDMA : Code Division Multiple Access	OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
CSMA : Carrier Sense Multiple Access	OVSF : Orthogonal Variable Spreading Factor
CSMA/CA : CSMA / Collision Avoidance	PDC : Personal Digital Communications
CSMA/CD : CSMA / Collision Detection	PDU : Packet Data Unit
CT2 : Cordless Telephone	PHS : Personal Handyphone System
DCD : Downlink Channel Descriptor	RTG : Receive/Transmit Transition Gap
DECT : Digital Enhanced Cordless Telecom.	SDMA : Space Division Multiple Access
DL : Downlink	SINR : Signal to Interference plus Noise Ratio
EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution	SNR : Signal to Noise Ratio
FCH : Frame Control Header	SS : Subscriber Station
FDD : Frequency Division Duplex	TA : Timing Advance
FDMA : Frequency Division Multiple Access	TAR : temps d'aller-retour
GPRS : Global Packet Radio System	TDD : Time Division Duplex
GSM : Groupe Spécial Mobile	TDMA : Time Division Multiple Access
HSDPA : High Speed Downlink Packet Access	TD-SCDMA : Time-Division Synchronous CDMA
IMT : International Mobile Telecommunications	TRRT : temps de retournement rx/tx
LAP-B : Link Access Procedure Balanced	TRTR : temps de retournement tx/tx
LLC : Logical Link Control	TS : time-slot
LTE : Long Term Evolution	

TTG : Transmit/Receive Transition Gap
UCD : Uplink Channel Descriptor
UMTS : Universal Mobile Telecommunication System
UL : Uplink
WCDMA : Wideband CDMA
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access



Contexte public } **sans modifications**

Par le téléchargement ou la consultation de ce document, l'utilisateur accepte la licence d'utilisation qui y est attachée, telle que détaillée dans les dispositions suivantes, et s'engage à la respecter intégralement.

La licence confère à l'utilisateur un droit d'usage sur le document consulté ou téléchargé, totalement ou en partie, dans les conditions définies ci-après et à l'exclusion expresse de toute utilisation commerciale.

Le droit d'usage défini par la licence autorise un usage à destination de tout public qui comprend :

- Le droit de reproduire tout ou partie du document sur support informatique ou papier,
- Le droit de diffuser tout ou partie du document au public sur support papier ou informatique, y compris par la mise à la disposition du public sur un réseau numérique.

Aucune modification du document dans son contenu, sa forme ou sa présentation n'est autorisée.

Les mentions relatives à la source du document et/ou à son auteur doivent être conservées dans leur intégralité.

Le droit d'usage défini par la licence est personnel, non exclusif et non transmissible.

Tout autre usage que ceux prévus par la licence est soumis à autorisation préalable et expresse de l'auteur : sitpedago@ensf.fr