

Introduction aux réseaux sans fil

rejane.dalce@univ-jfc.fr

Contexte

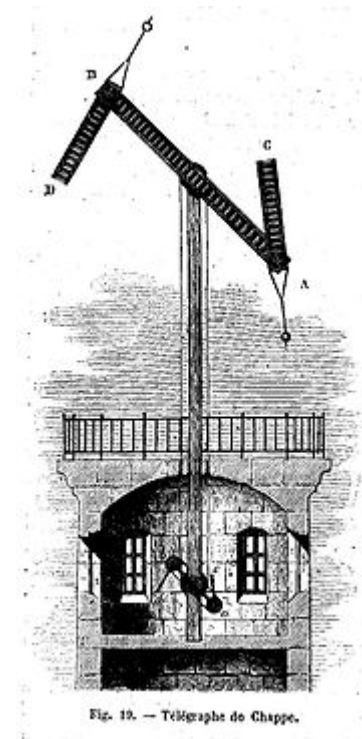
Un peu d'histoire

Communications

- Courte distance
 - Voix
- Moyenne distance sans fil
 - Signaux de fumée (Amérique du nord et du sud)
 - Tambours (Afrique)
 - Tours de Guet placée sur les sommets (Europe)

Télégraphe de Chappe

- Première ligne de communication déployée à grande échelle
- Système télégraphique optique entre Paris et Lille (1792)
- Couvre rapidement toute la France
 - 5000km couverts
 - 534 tours en 1844
 - Une tour tous les 15kms environ
- Abandonné en 1880 au profit du télégraphe électrique



Contexte

Un peu d'histoire

- Première communication radio courte distance en 1893 par Nicolas Tesla
- Transmissions sans fil au sens moderne
 - Début du 20ème siècle sous l'impulsion de Marconi
 - 1899: Première transmission radio trans-Manche
 - 1901: Première transmission radio entre St. John's de Terre-Neuve-et-labrador (Canada) et Poldhu dans le sud du comté des Cornouailles (Angleterre)
- Prix Nobel en 1909

Contexte

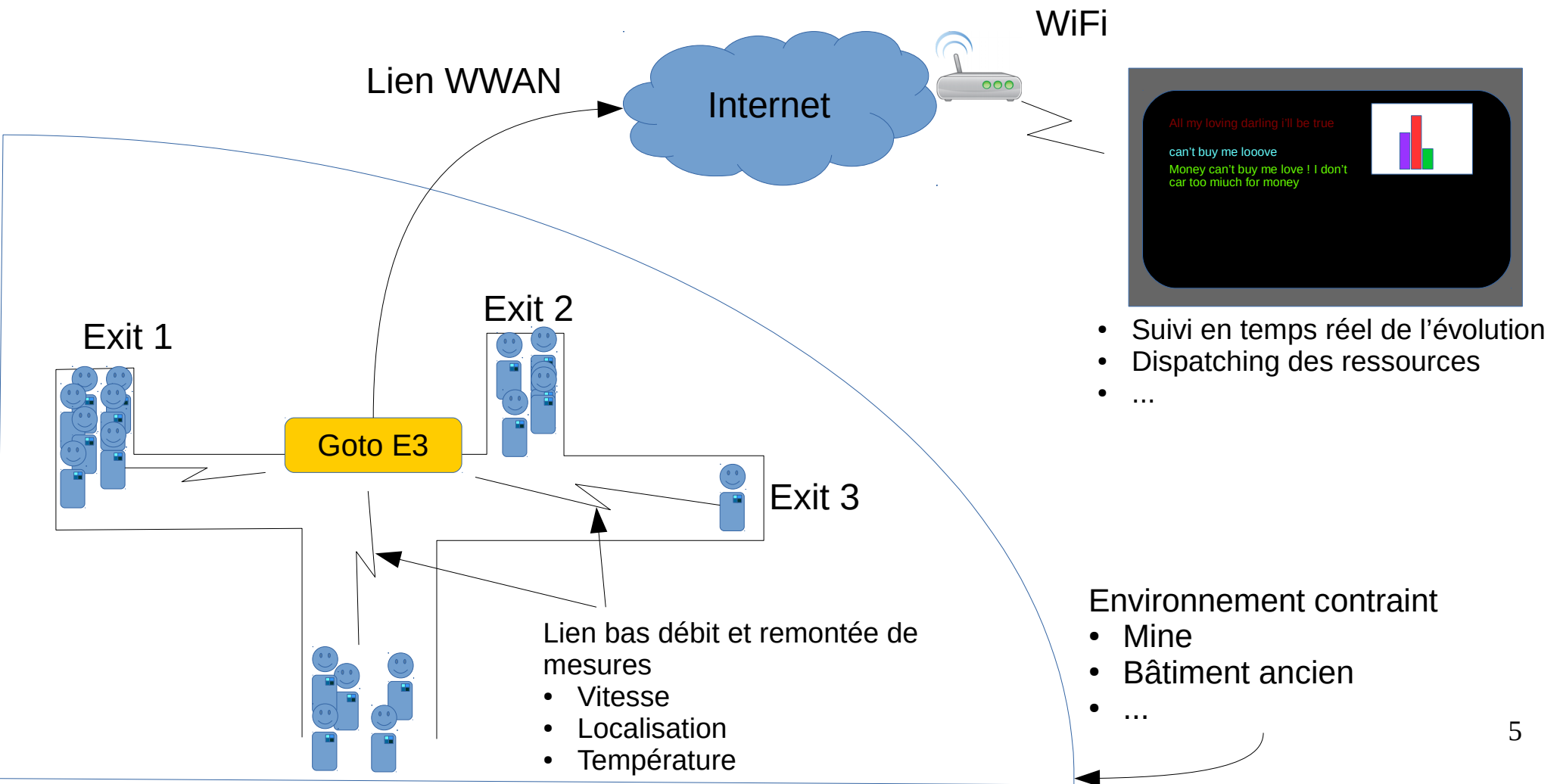
L'adoption des réseaux sans fil aujourd'hui

D'une simple extension du réseau filaire à un réseau à part entière

- Support des utilisateurs mobiles
 - Continuité du service pendant le mouvement
 - Nomadisme
- Couverture de zones géographiques non desservies par les réseaux classiques
 - Campagne
 - Montagne
 - Bâtiments anciens
 - Archipels
 - ...
- Déploiement rapide et économique
 - Peu d'infrastructures nécessaires

Contexte

Les réseaux pour la mesure



Contexte

Plan de cours

- Bases sur les communications sans fil
- Réseaux ad-hoc et réseaux personnels
- Réseaux locaux
- Réseaux longue distance

Sommaire

1. Médium radio
2. Modulations
3. Méthodes d'accès
4. Classification des réseaux sans fil
5. Introduction aux réseaux cellulaires

Médium radio

Signal radio

- Dans le vide, propagation en ligne droite dans plusieurs direction à la vitesse de la lumière (3×10^8 m/s)
- Équation du bilan de liaison

$$P_r = P_t / d^\alpha$$

avec :

P_r : puissance reçue

P_t : puissance transmise

d : distance émetteur-récepteur

α : paramètre de propagation de l'environnement, (2 en rural, 4 en urbain)

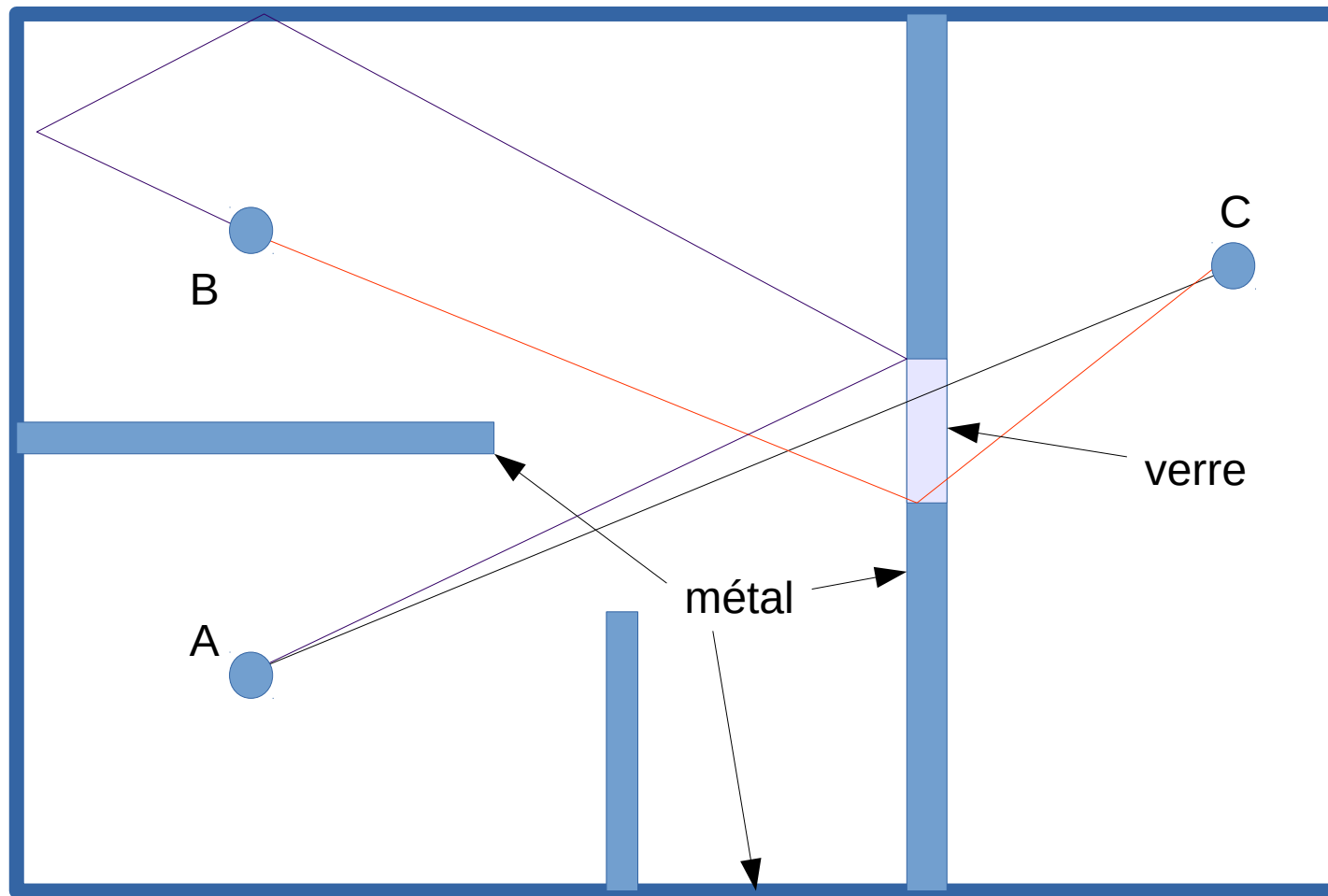
Médium radio

Signal radio

- Dans un environnement perturbé/réel
 - Effets à grande échelle
 - *PathLoss* : perte de puissance entre émetteur et récepteur
 - $f(\text{distance, puissance d'émission, gain des antennes})$
 - Effets à moyenne échelle
 - *Shadowing* : impact des obstructions sur la transmission
 - $f(\text{nature de l'obstacle})$
 - Effets à petite échelle
 - *Fading* : impact des phénomènes de diffraction et de réfraction de l'onde
 - $f(\text{vitesse des nœuds radio, obstacles, chemins empruntés par le signal...})$
- Selon les matériaux présents dans l'environnement, les effets observés seront différents
 - Verre vs Brique
- Unité d'affaiblissement de la puissance : décibel (dB)

Médium radio

Multitrajet et mesure de temps de propagation du signal radio



A-C : trajet direct *Line Of Sight (LOS)*
A-B, B-C : trajets secondaires Non-LOS

Médium radio

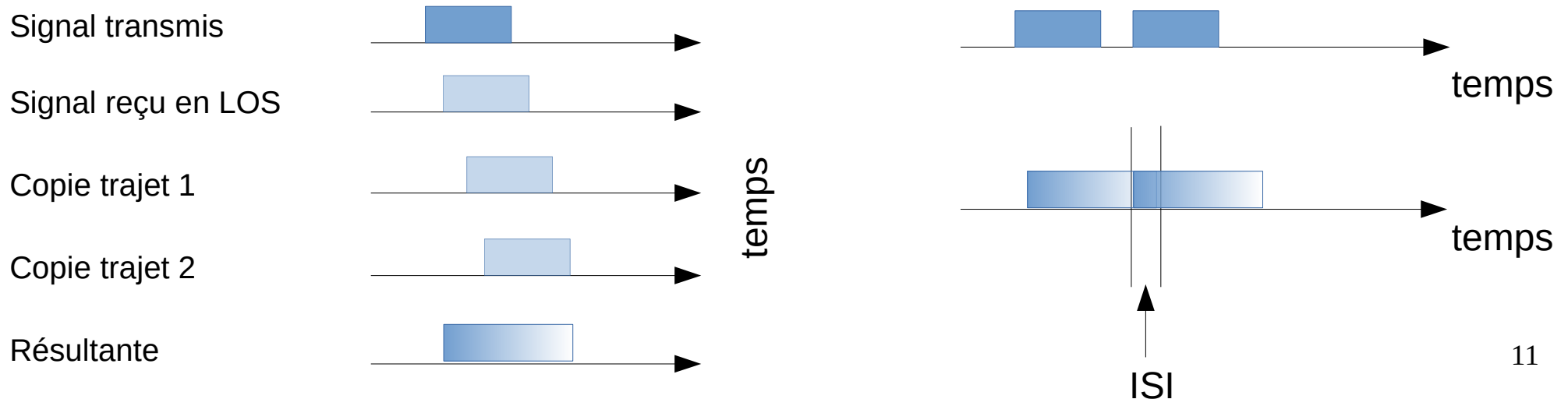
Multitrajet, mesure de temps de propagation du signal radio et IIS

Temps de propagation

- Augmentation significative de la longueur du trajet
- 400cm vs 410cm et 200cm vs 800cm

Interférence Inter-symboles

- Somme vectorielle des différentes versions du signal
- Interférences destructives vs interférences constructives



Sommaire

1. Médium radio
2. Modulations
3. Méthodes d'accès
4. Classification des réseaux sans fil
5. Introduction aux réseaux cellulaires

Modulations

Pour des transmissions radios numériques, le signal binaire b doit moduler un signal plus robuste (atténuation)

Porteuse sinusoïdale

$$s(t) = a \cdot \sin(2\pi f t + \theta)$$

Robustification de la transmission

Modulation de phase $\theta = \theta(b)$

Modulation de fréquence $f = f(b)$

Modulation d'amplitude
 $a = a(b)$

Modulations d'amplitude et de phase

Les techniques d'étalement de spectre

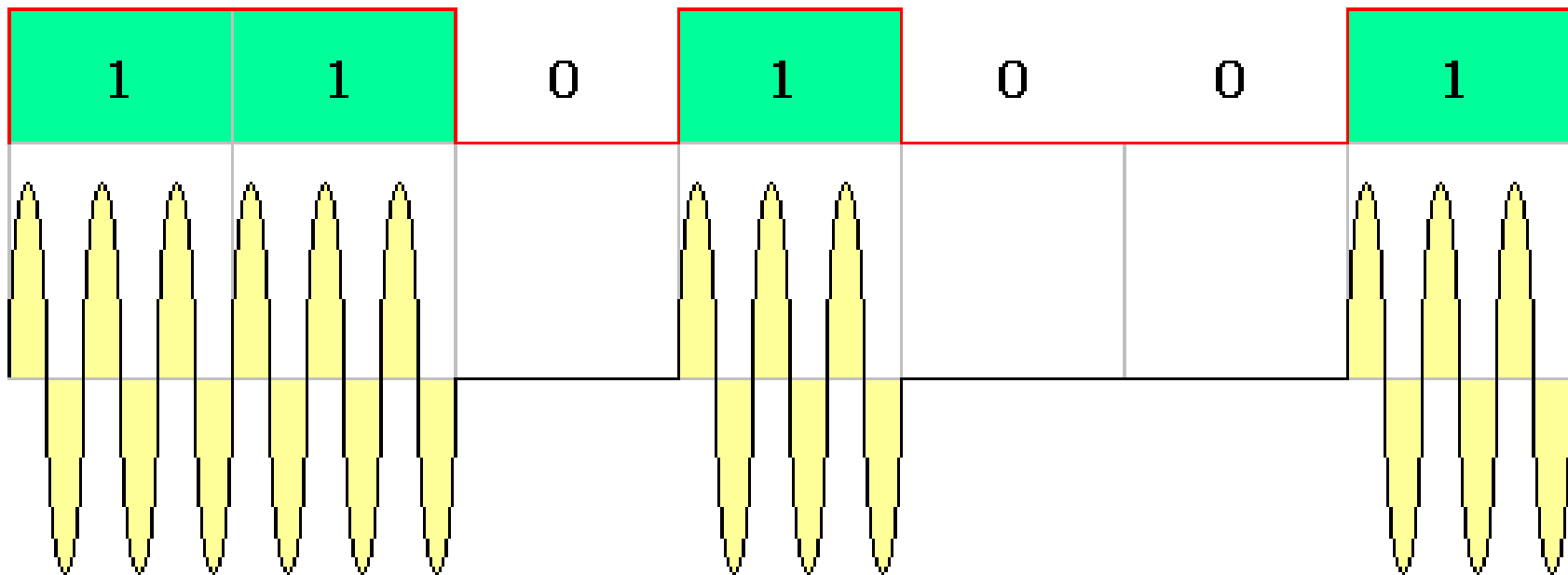
- *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS)
- *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS)
- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)



Modulations

On-Off Keying (OOK)

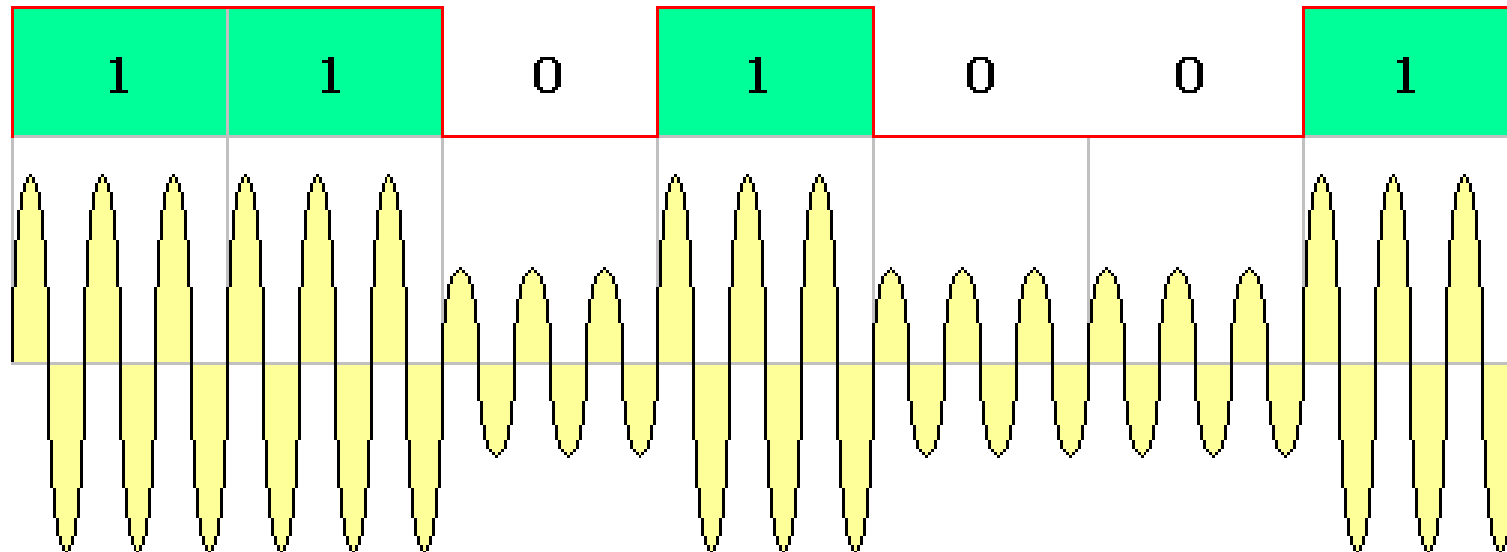
- Modulation d'amplitude très simple
- Type tout ou rien
 - Porteuse *1 \Leftrightarrow « 1 » binaire
 - Porteuse *0 \Leftrightarrow « 0 » binaire
- Transmission de longues séries de « 1 »
 - Consommation énergétique
- Transmission de longues séries de « 0 » ou de « 1 »
 - Récupération de l'horloge



Modulations

Amplitude Shift Keying (ASK)

- Similaire à OOK
- Le « 0 » binaire correspond à un facteur 0,5
- Utilisé pour la fibre optique



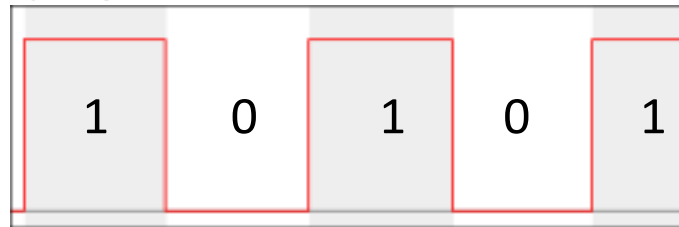
Modulations

Frequency Shift Keying (FSK)

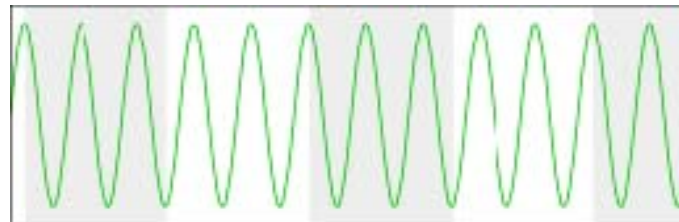
Modulation simple de la fréquence de la porteuse F_o

- $F_o + F_1 \Leftrightarrow \text{« 1 » binaire}$
- $F_o - F_1 \Leftrightarrow \text{« 0 » binaire}$

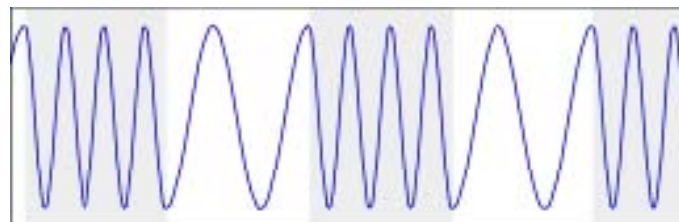
Données
binaires



Porteuse



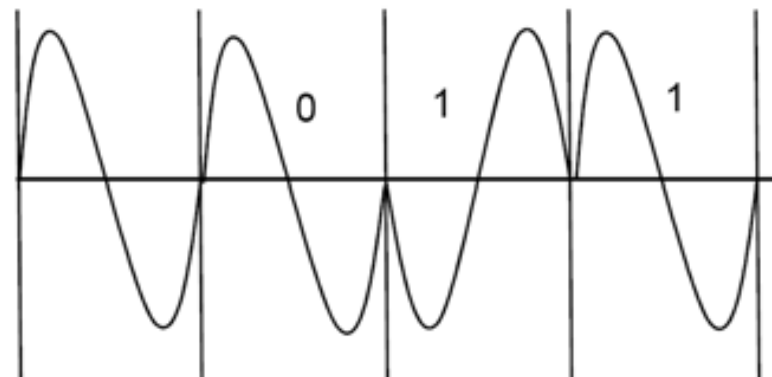
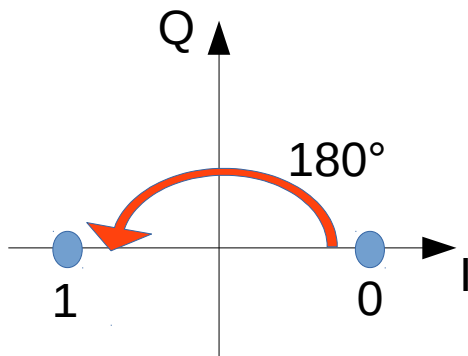
Porteuse
modulée



Modulations

Phase Shift Keying (PSK)

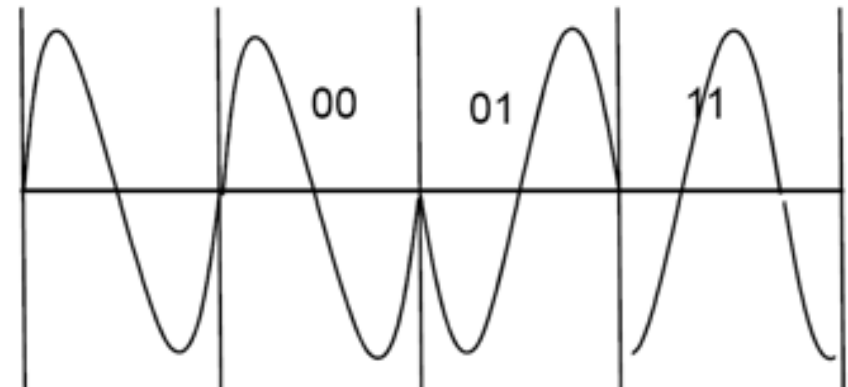
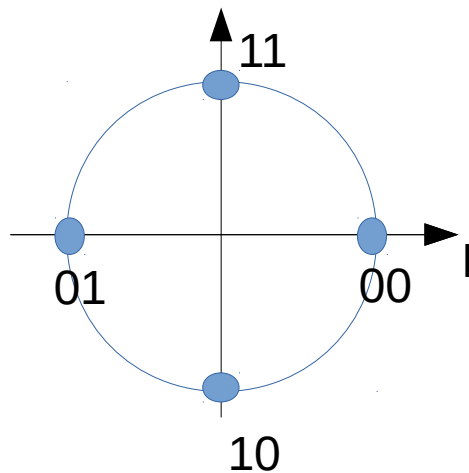
- Modulation par sauts de phase plus efficace que FSK
 - Un code binaire \Leftrightarrow une valeur de décalage de phase de la porteuse
 - Augmentation de la vitesse de transmission sans modification de la fréquence de transmission
- Différents parfums
 - *Differential PSK (DPSK)*
 - 2 mots d'un bit séparés de 180°
 - Saut de phase par rapport au symbole précédent
 - Robuste, simple à démoduler en présence de fortes interférences



Modulations

Phase Shift Keying (PSK)

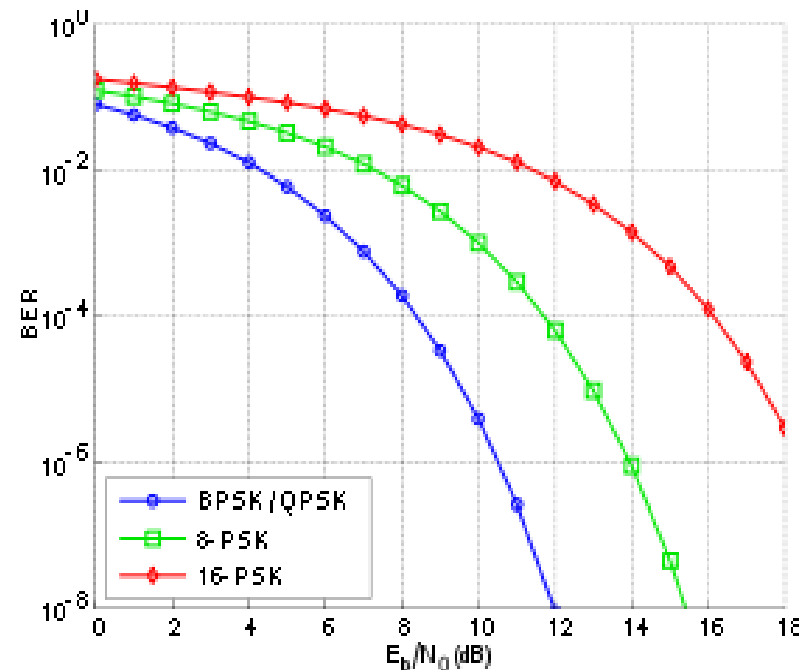
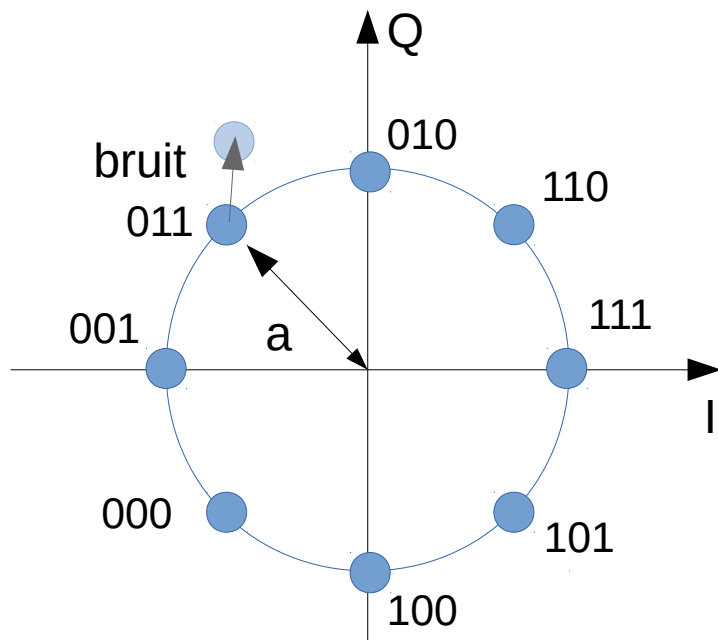
- Différents parfums
 - *Differential Quadrature PSK (DQPSK)*
 - Modulation de phase différentielle sur porteuse en quadrature ($\pi/2$)
 - 2 bits par symbole



Modulations

Phase Shift Keying (PSK)

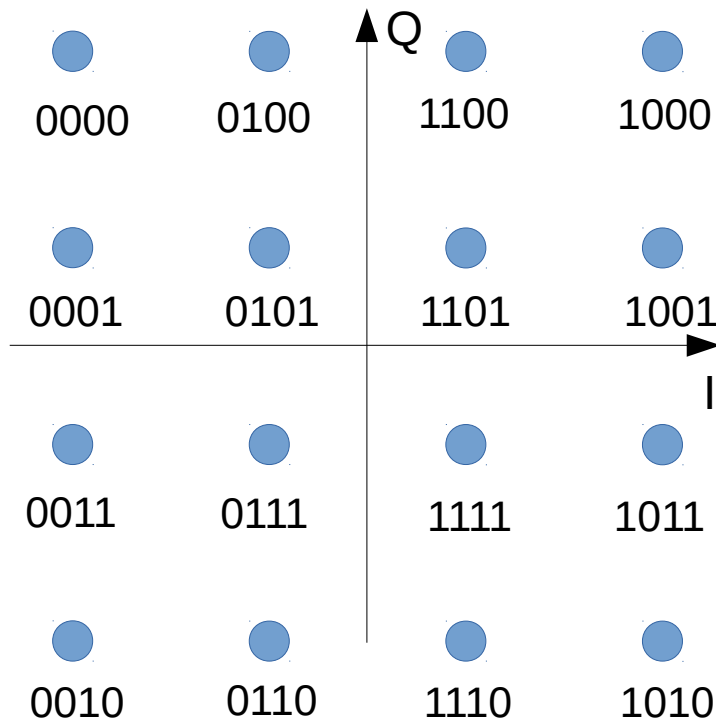
- Différents parfums
 - 8-QPSK
 - Permet de transmettre des mots de taille plus importante
 - Augmente le débit utile
 - Diminue la fiabilité car plus sensible au bruit
 - Le taux d'erreur bit augmente pour les rapports signal à bruit importants



Modulations

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

- Modulation quadratique en amplitude
- Deux fréquences orthogonales
 - Données réparties en deux trains de bits
- Effectue à la fois des sauts de phase et d'amplitude
- 16-QAM : mots de 4 bits
- Diagramme de constellation de 16-QAM



Modulations

Robustification : Pourquoi étaler le spectre ?

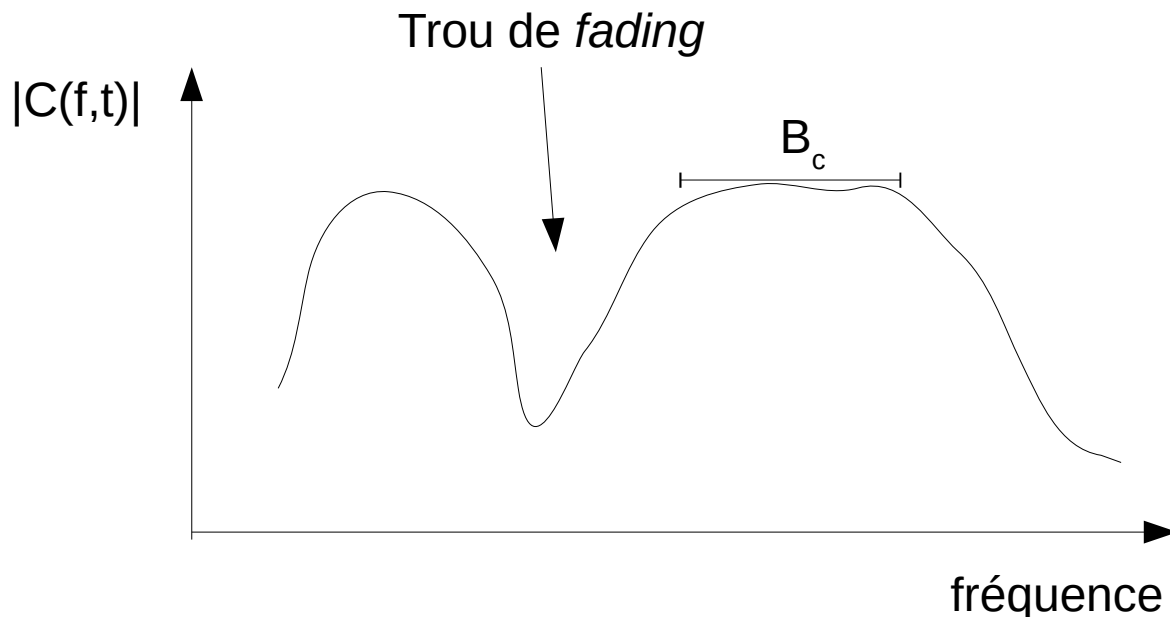
Fonction de transfert du canal $C(f,t)$

- Évolution temporelle
- Dépendant de la fréquence

Bande de cohérence B_c

- Approximation de la bande sur laquelle le canal se comporte comme un gain constant

W : bande occupée par le signal émis



Atténuation homogène
des composantes fréquentielles
du signal transmis

- $B_c > W$: canal non-sélectif en fréquence (*flat fading*)
- $B_c < W$: canal sélectif en fréquence

Atténuation sélective
des composantes fréquentielles
du signal transmis

Modulations

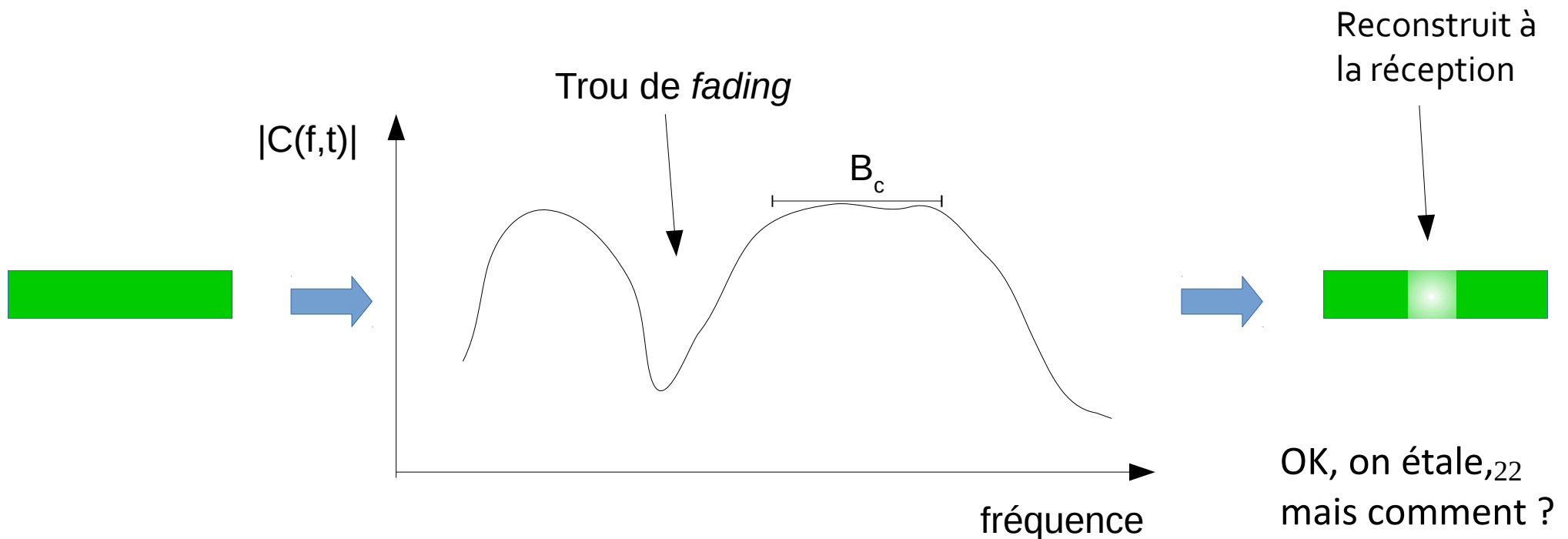
Robustification : Pourquoi étaler le spectre ?

Canal sélectif en fréquence et signal transmis en bande étroite :

- *Hello, is it me you're looking for ?*

Étalement de spectre

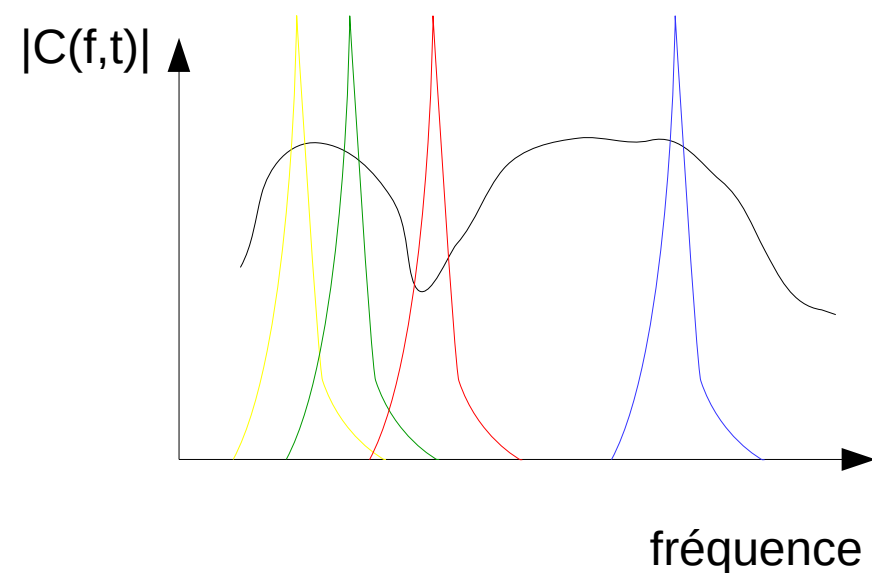
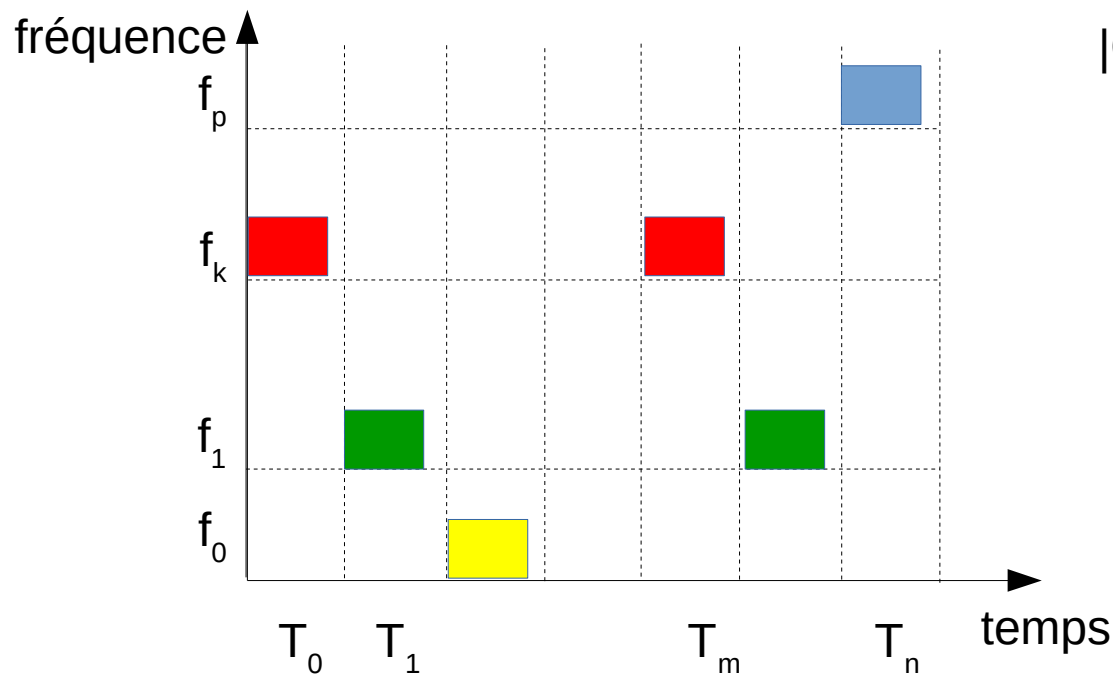
- Redondance des informations
- Reconstruction du message à la réception



Modulations

Étalement de spectre : FHSS

- Utilise plusieurs canaux répartis sur une large bande de fréquences
 - Séquence pseudo-aléatoire connue de l'émetteur et du récepteur
 - Résistant aux interférences, difficile à intercepter, économe en énergie
- Utilisée par Bluetooth (1 600 sauts de fréquence par seconde entre 79 fréquences dans la bande ISM 2,4 GHz)

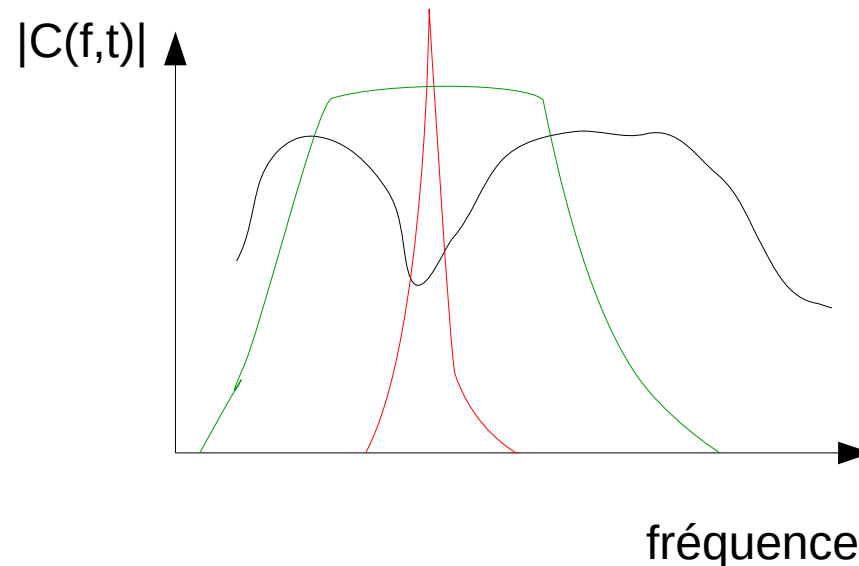


Modulations

Étalement de spectre : DSSS

- Ajout d'un signal pseudo-aléatoire au signal à transmettre (*chipping code*)
 - Séquence de Barker: 1 : 11101100011; 0 : 00010011100
 - Redondance dans le symbole et correction d'erreurs
- Occupe une bande passante plus large autour de la porteuse
- Résiste mieux au brouillage
- Par rapport à FHSS, DSSS utilise l'intégralité de la bande de fréquence
- Utilisée dans les réseaux WiFi et ZigBee

Augmentation de la fréquence par l'augmentation du nombre de transition par temps symbole



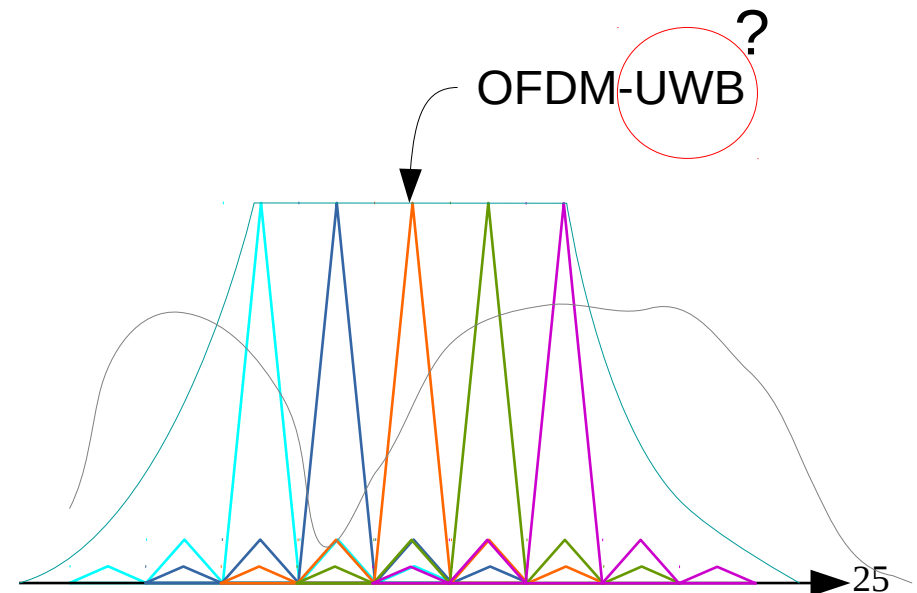
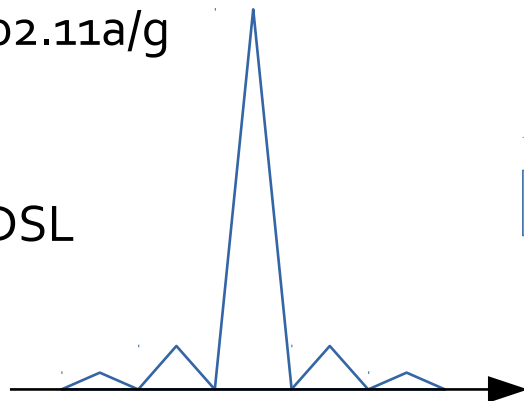
Modulations

Étalement de spectre : OFDM

- Multiplexage par répartition en fréquences orthogonales
- Solution plus résistante aux effets du multi-trajet
- Meilleurs débits que DSSS
- Particulièrement bien adaptée aux communications mobiles à haut débit et longues distances
 - Utilisation des sous-porteuses en parallèle => augmentation du débit
 - Répétition du signal sur plusieurs sous-porteuses => amélioration de la fiabilité

Utilisation

- La TNT (DVB-T et DVB-H)
- Les réseaux 802.11a/g
- WiMax
- La 4G
- Les liaisons ADSL

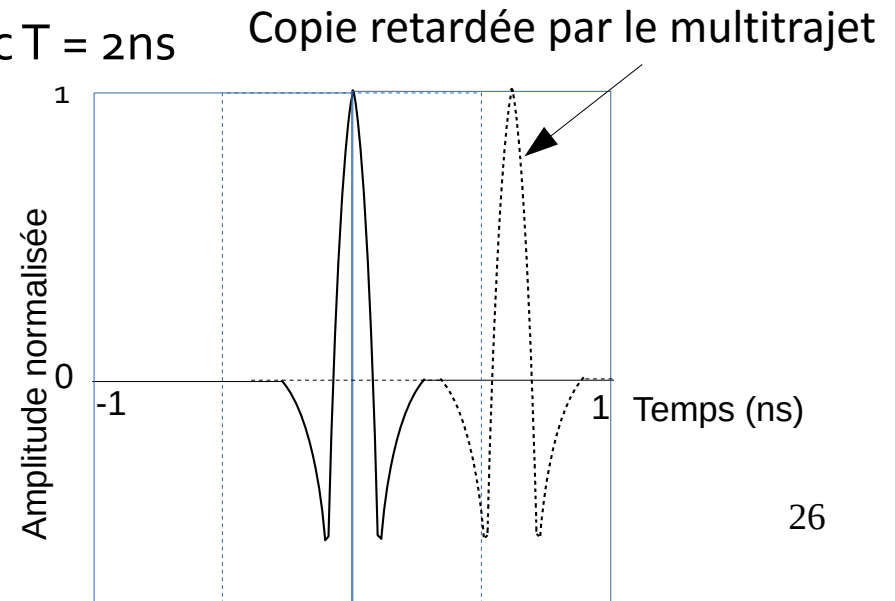


Modulations

Étalement de spectre : UWB

Ultra-Wide Band (UWB)

- $W \geq 500\text{MHz}$
- Densité spectrale de puissance très très faible
 - « Il est très difficile de trouver un chat noir dans une chambre obscure, surtout quand il n'y est pas »
- Génération
 - OFDM
 - Impulse Radio => IR-UWB
 - Variation très rapide du signal $B = 1/T$ avec $T = 2\text{ns}$
 - Résistant au multitrajet
 - Utilisé dans IEEE 802.15.4-2007



Sommaire

1. Médium radio
2. Modulations
3. Méthodes d'accès
4. Classification des réseaux sans fil
5. Introduction aux réseaux cellulaires

Méthodes d'accès

Le medium radio est rare et fragile

- Rare : bande passante utilisable étroite + théorème limite de Shannon => valeur maximale de débit
- Fragile : sensible à l'atténuation et aux interférences

➡ Optimiser l'utilisation de la ressource radio

Réseaux sans fil

- Fonctionnement sur batterie
- Utilisation raisonnée des ressources
- Consommation et états
 - $W\{\text{LAN/MAN/WAN}\} : P_{TX} > P_{RX}$
 - WPAN : $P_{RX} \sim 1,5 * P_{TX}$

➡ Optimiser la consommation de la batterie (autonomie)

Méthodes d'accès

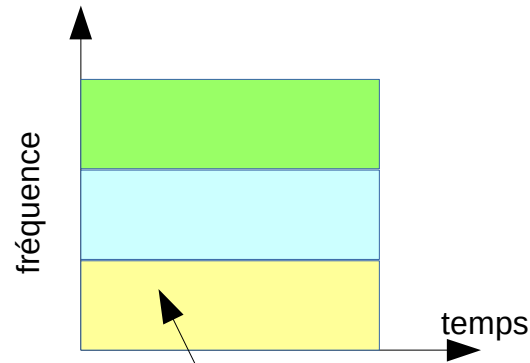
Approches classiques du partage de la bande passante

- *Frequency Division Multiple Access* (FDMA)
- *Time Division Multiple Access* (TDMA)
- *Code Division Multiple Access* (CDMA)
- Contention sur l'accès au médium : Aloha, *slotted* Aloha, CSMA-CA
- Hybride
 - CSMA-CA +TDMA

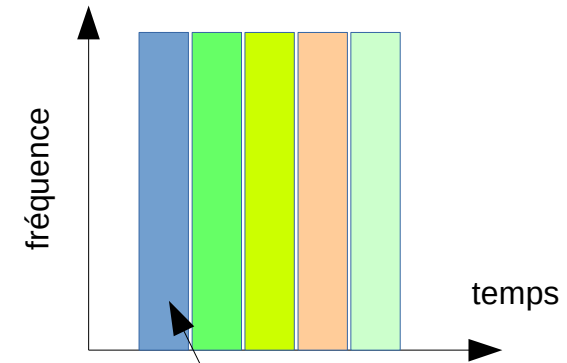
Méthodes d'accès

FDMA

- Division de la bande passante en N porteuses
- Utilisation : signaux analogique
- Utilisé dans l'AMPS (USA) : 823 porteuses séparées de 30 kHz



Canal physique = porteuse



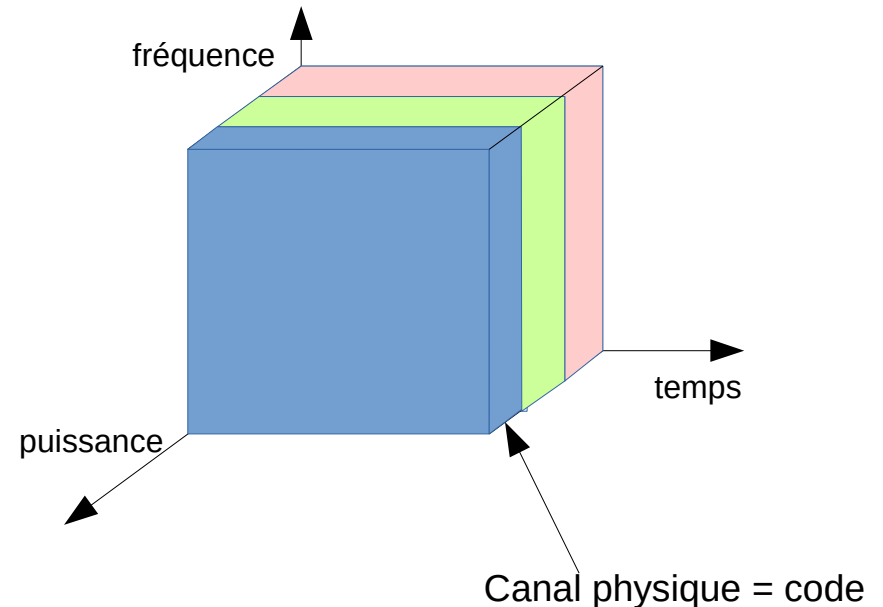
Canal physique = slot

TDMA

- Division du temps en P slots (fractions) regroupés dans un trame
- Utilisation : signaux numériques
- GSM : 1 porteuse montante, 1 porteuse descendante, 8 slots par porteuse

CDMA

- Allocation de toute la bande passante à chaque utilisateur
- Un utilisateur = un code
- Codes orthogonaux pour ne pas créer d'interférences
- Utilisé dans UMTS

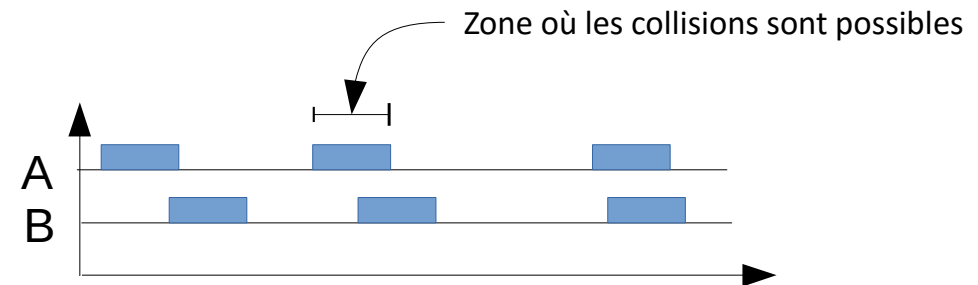


Canal physique = code

Méthodes d'accès

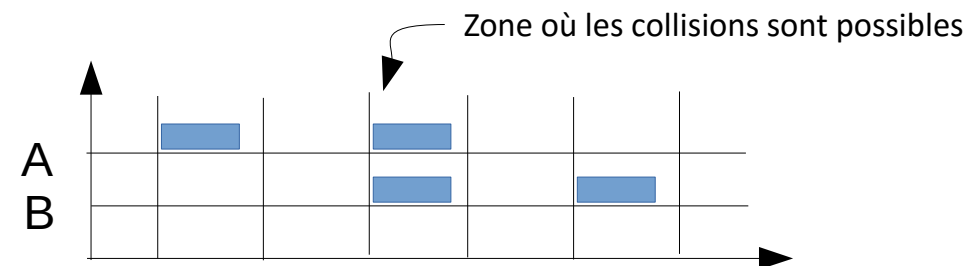
Aloha

- Transmission immédiate du message
- Collisions



Slotted Aloha

- Transmission du message sur un frontière de slot temporel



Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- Trame à transmettre ?
 - (1) Écoute du médium
 - (2) Médium libre : transmission
 - (3) Médium occupé : attente de durée aléatoire
 - (4) Contrôle : recommencer ou abandonner ?

Méthodes d'accès

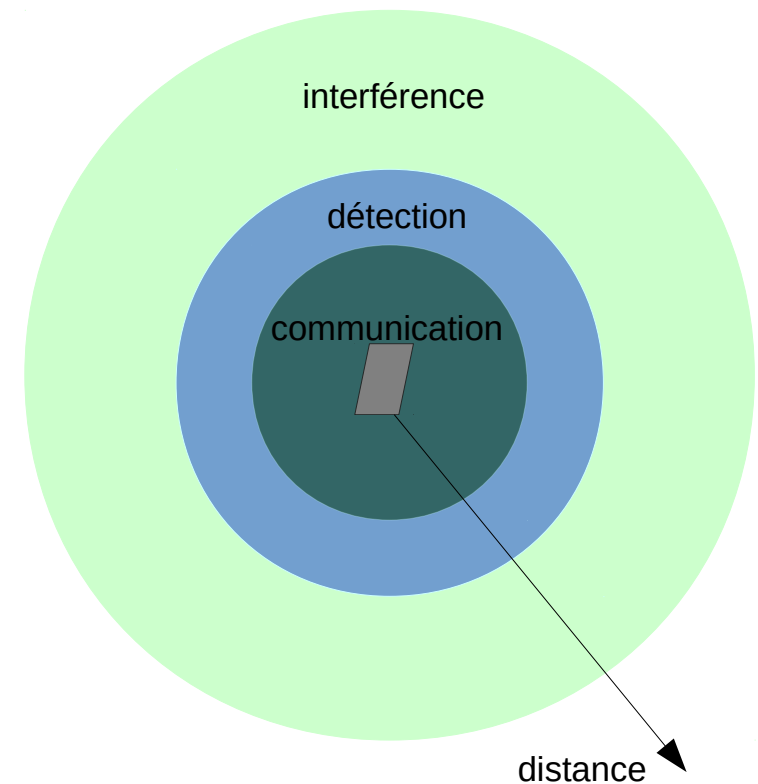
Allocation de ressources

- Ressources
 - Temps
 - Fréquence
 - Code
- Approches
 - Centralisée/décentralisée
 - Résilience du responsable de l'allocation
 - *Fail over solutions ?*
 - *Fixed Channel Allocation* (FCA)
 - Préconfiguration et gaspillage de ressources
 - *Dynamic Channel Allocation* (DCA)
 - Négociation des ressources
 - Ex : mécanisme de réservation de slot
 - *Hybrid Channel Allocation* (HCA)
 - Configuration initiale et possibilité d'enrichir le set de ressources
 - Ex : « emprunt » de porteuse inutilisée d'une cellule voisine

Méthodes d'accès

Problèmes classiques

- Base de communication
 - Un nœud radio
 - Une zone de couverture en émission
 - $R_e = f(PTX)$
 - Une zone de couverture en réception
 - $R_t = f(\text{sensibilité radio})$
- Limites difficiles à définir
 - Patatoïde approchée par des disques
 - $R_e == R_t ?$
- Impossibilité d'écouter et transmettre en même temps
 - Facteur de forme, MIMO et éblouissement
 - Unicité du *transceiver*
- Impacts sur l'accès au médium
 - Terminal caché
 - Terminal exposé

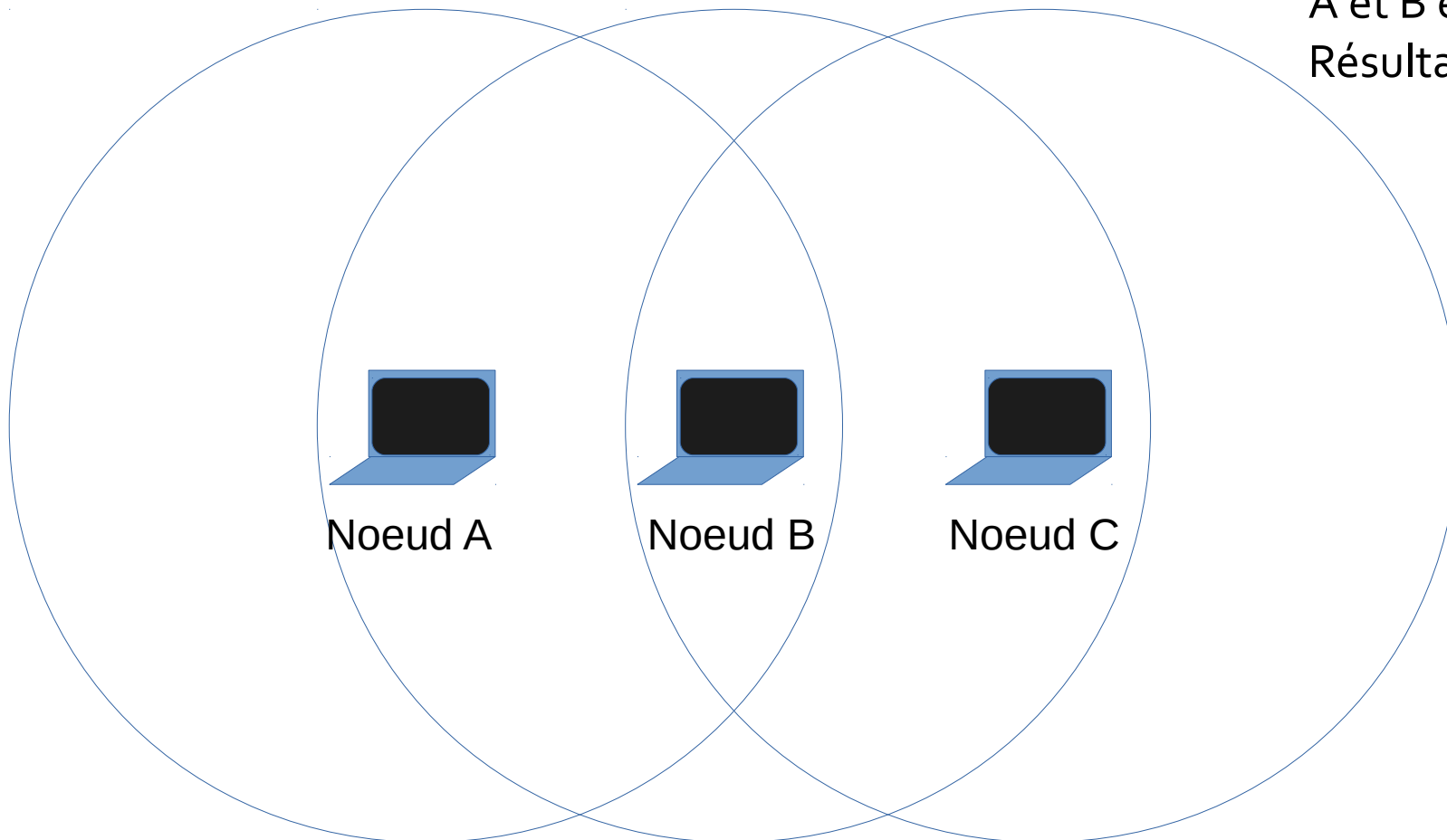


Méthodes d'accès

Problèmes classiques

- Terminal caché

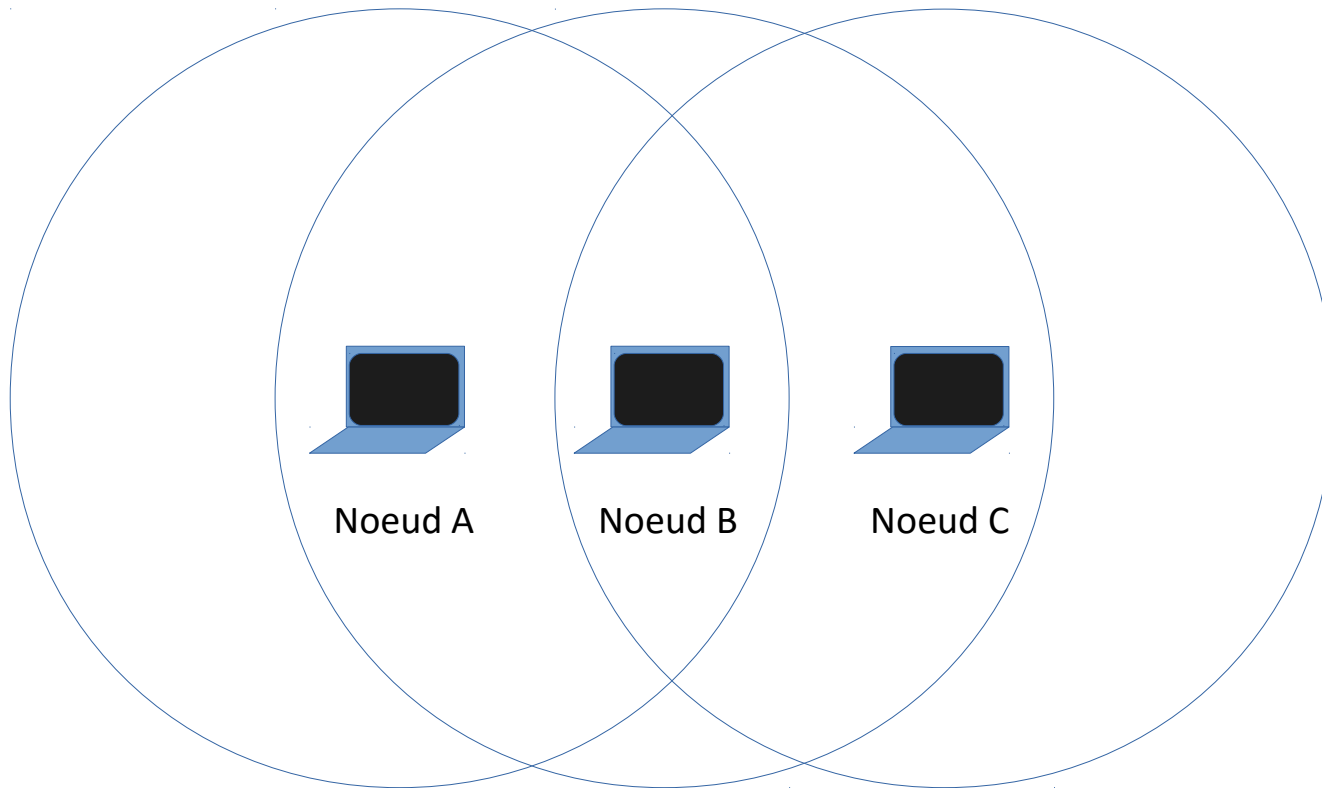
A ne voit pas C
A et B en communication
Résultat ? Collisions



Méthodes d'accès

Problèmes classiques

- Terminal exposé



A émet (vers X)

B veut envoyer un message à C

Résultat ? Gaspillage d'une possibilité de transmission

Sommaire

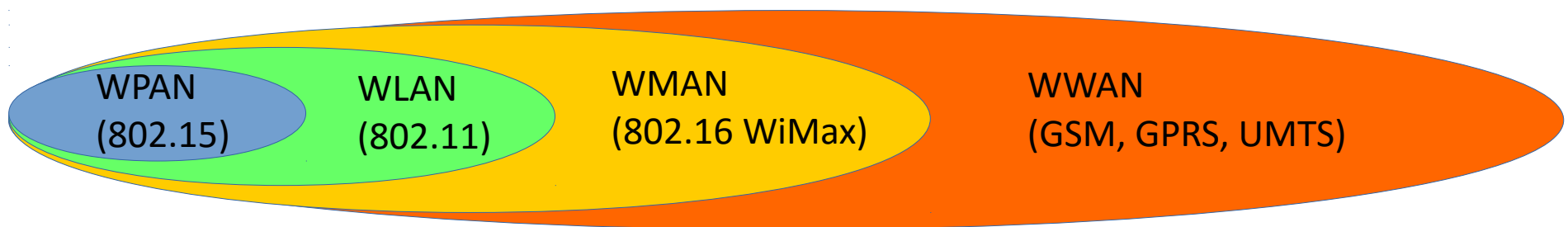
1. Médium radio
2. Modulations
3. Méthodes d'accès
4. Classification des réseaux sans fil
5. Introduction aux réseaux cellulaires

Classification des réseaux sans fil

Classement des réseaux : facteur taille/portée

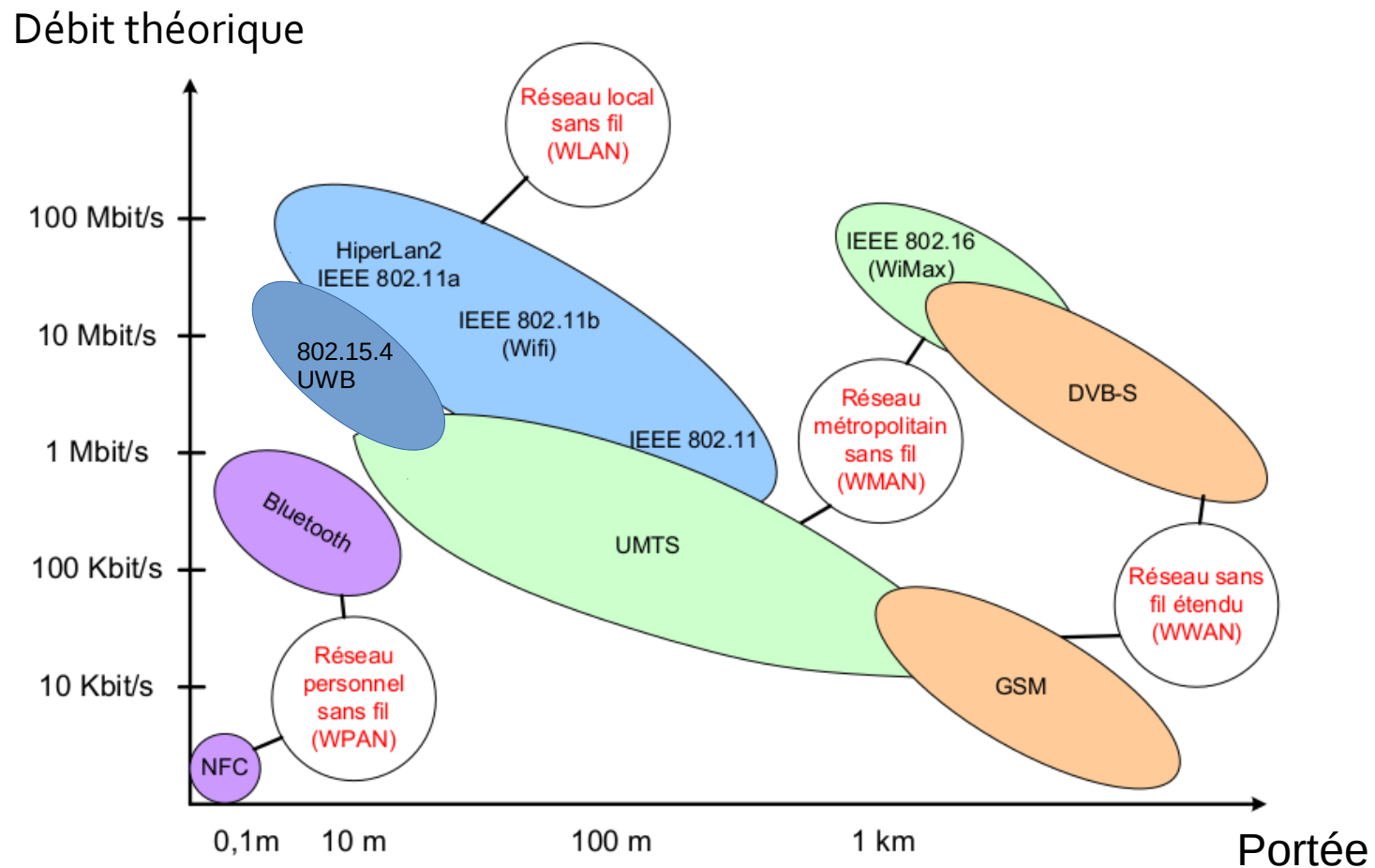
Portées

- WPAN : 10m
- WLAN : 100m
- WMAN: 3 - 10km
- WWAN: >10km



Classification des réseaux sans fil

Classement des réseaux : facteur débit



Classification des réseaux sans fil

Classement des réseaux : facteur architecture

Réseaux avec Infrastructure

- Formation de cellules administrées par un équipement spécifique
 - Allocation de ressources
 - Point d'accès, antenne relais...
- Facile à administrer mais long à déployer

Réseaux Ad-Hoc

- Réseaux sans infrastructure
- Pas de hiérarchie entre les nœuds
- Réseaux souvent auto-organisés
- Communications point à points ou multi-points (routage)
- Facile à déployer mais difficile à administrer

Sommaire

1. Médium radio
2. Modulations
3. Méthodes d'accès
4. Classification des réseaux sans fil
5. Introduction aux réseaux cellulaires

Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

- Réseaux de mobiles : très orienté « télécoms »
 - Evolution
 - Téléphonie : *Global System for Mobile communications* (GSM)
 - Intégration voix et données : *General Packet Radio System* (GPRS)
 - Augmentation du débit et support multimédia : *Universal Mobile Telecom. System* (UMTS)
 - Utilisateur mobile : capable de communiquer à l'extérieur de son réseau d'origine en conservant son adresse
- VS Réseaux privés sans fil : évolution pour les réseaux locaux
 - Réseaux personnels : Bluetooth
 - Réseaux locaux sans fil : WiFi
- VS Réseaux de diffusion
 - Boucle locale radio
 - DVB, satellites
- VS Internet
 - Mobile-IP, *Mobile Ad-Hoc Networks* (MANET), *Vehicular Ad-Hoc Networks* (VANET)

Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

Couverture radio et rareté de la bande passante

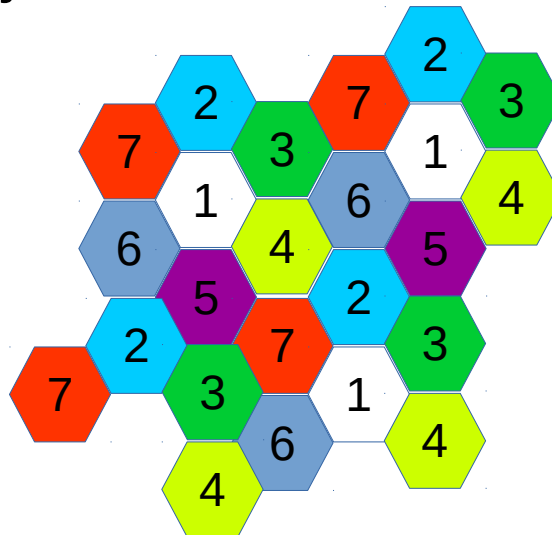
- Concours pour optimiser l'allocation de fréquence
 - Allocation statique vs allocation dynamique basée sur le *machine learning* et les usages par les détenteurs de la bande de fréquence

En attendant...

Recouvrement par unités de surface \Leftrightarrow cellules

- 1 cellule, 1 antenne relais / 1 cellule, 3 antennes sectorielles
- Interférence entre cellules adjacentes et allocation de bandes de fréquence

Réutilisation spatiale des fréquences



Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

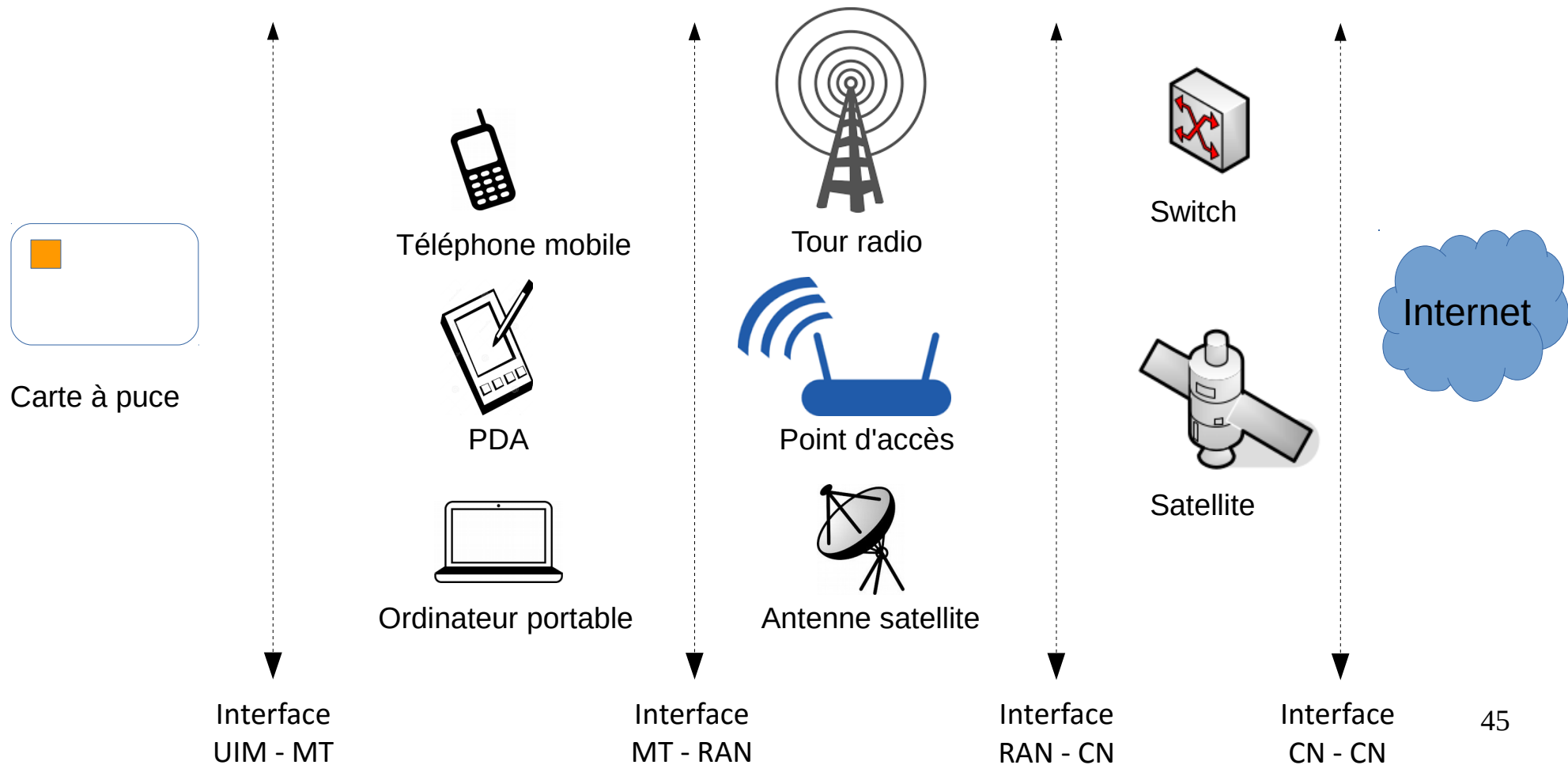
Dimensionnement

- Objectifs
 - Minimiser les coupures de communication
 - Permettre à l'utilisateur d'initier une communication quand il le souhaitent
- Dimensionner (à la conception) le réseau tel que
 - Probabilité de blocage d'une communication
 - Probabilité que le commutateur alloue un canal de communication au mobile initiant la communication
 - Inférieure à 1%
 - Probabilité de coupure d'une communication
 - Raisons : saturation du système, *handover* refusé, passage dans une zone de forte atténuation ou de forte interférences
 - Inférieure à 0.1%

Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

Interfaces fondamentales



Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

Interfaces fondamentales

User Identification Module (UIM)

Ex : carte *Subscriber Identity Module* (SIM)

Mobile Terminal (MT)

- Téléphone mobile, ordinateur portable éventuellement avec lecteur de carte à puce
- Pour simplifier : mobile

Radio Access Network (RAN)

- Antenne GSM ou UMTS, point d'accès Wi-Fi, parabole satellite
- Général point d'accès

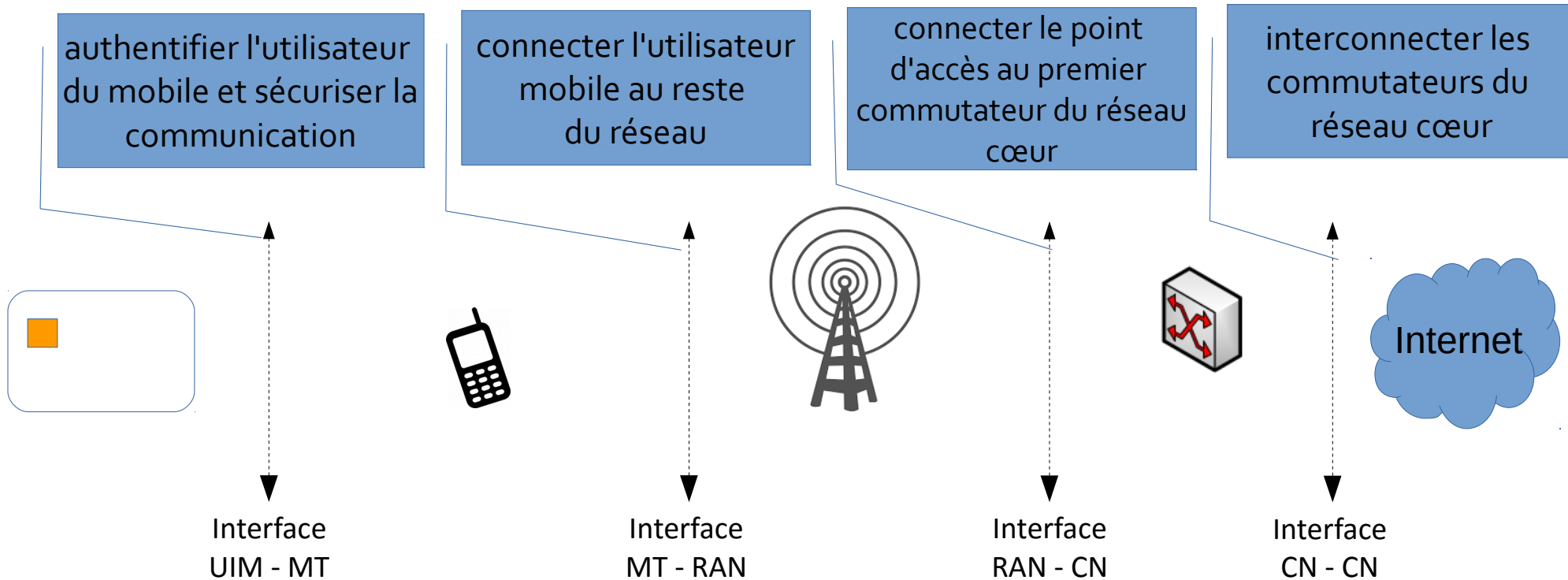
Core Network (CN)

- Réseau IP d'ISIS, commutateur embarqué dans un satellite de communication
- Réseau cœur

Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

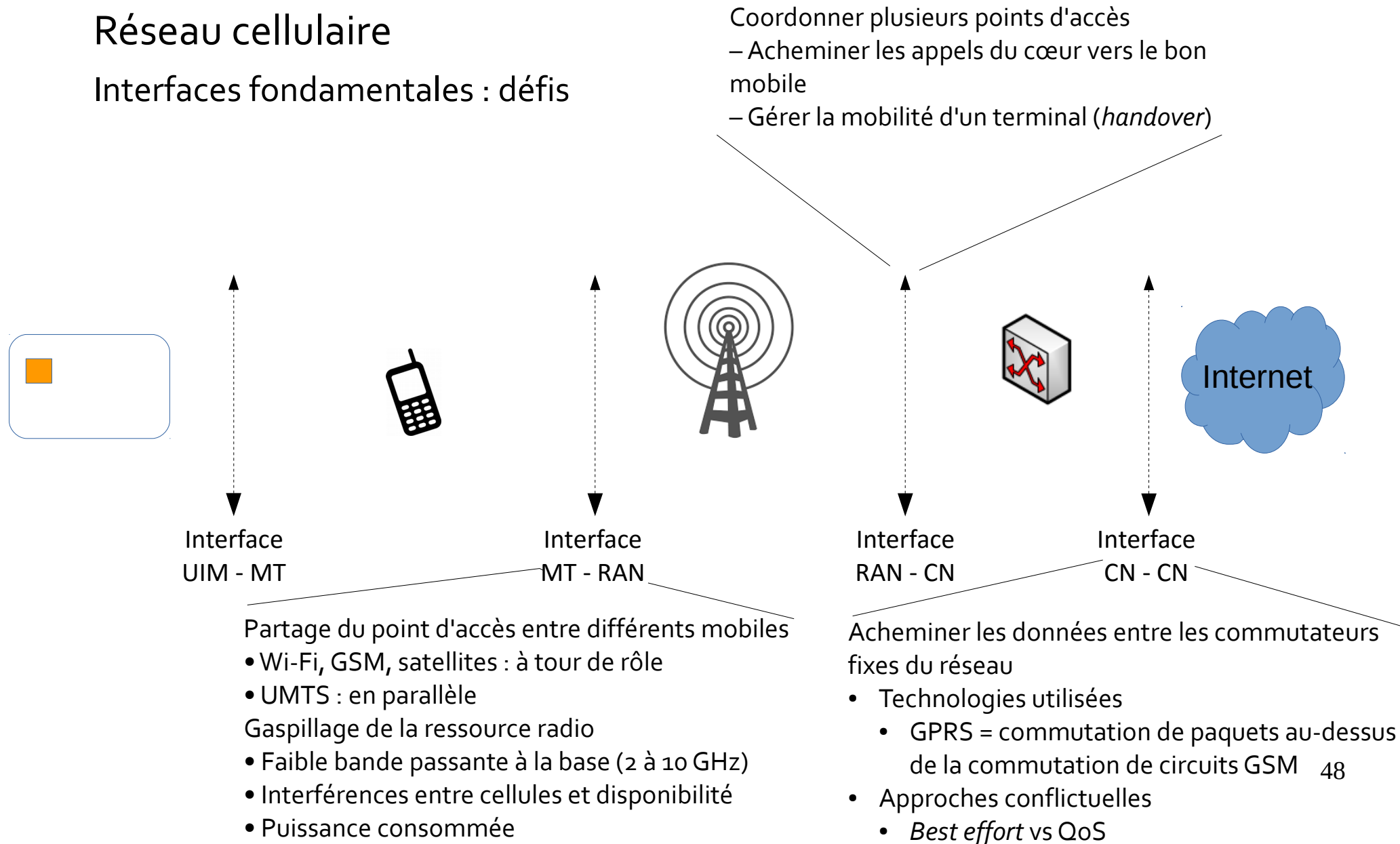
Interfaces fondamentales : rôles



Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

Interfaces fondamentales : défis



Introduction aux réseaux cellulaires

Réseau cellulaire

Transfert intercellulaire : *handover*

- Maintien de la communication durant le changement de point d'accès
- Monitoring par le mobile de la qualité du lien
 - Avec l'antenne en cours
 - Avec les antennes voisines
- Basculement sur *threshold*

Paging et localisation

- MT : sélection de RAN basée sur la proximité
- Localisation du MT pour acheminement des appels
 - Conservation de l'information « zone de localisation »
 - *Home Location Register* (HLR)
 - *Visitor Location Register* (VLR)
 - *Paging*
 - Requête d'un équipement du CN pour trouver le mobile
 - Diffusion d'une requête de *paging* par les stations de base (antennes)

Récapitulatif

Problèmes inhérents
Équation bilan de liaison
Multitrajet

Comment mettre le signal en forme
pour lui permettre d'aller plus loin ?
Modulation : amplitude, fréquence, phase
Étalement de spectre

1. Médium radio

2. Modulations

3. Méthodes d'accès

Comment se partager l'accès au médium ?
Exclusivité sur le temps, sur la fréquence, sur le code
Compétition pour l'accès au médium
Terminal caché/exposé

4. Classification des réseaux sans fil

5. Introduction aux réseaux cellulaires

Étendue des réseaux
Débits supportés
Infrastructure vs Ad-Hoc

Interfaces fondamentales
Paging
Handover