

## Réseau local sans fil

### WiFi

### Wireless Fidelity

### Wireless LAN (WLAN)

### Ethernet sans fil

## Introduction

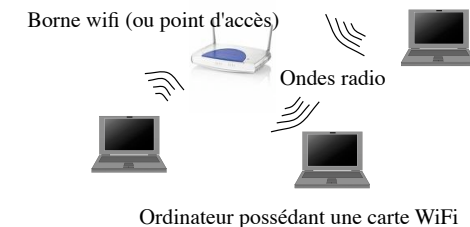
- Ethernet revient vers les ondes radio
- Fort déploiement depuis 2002
  - Installation simple à l'aide de borne d'émission
  - Coût faible
    - » Plus facile et moins coûteux de poser des bornes que de mettre en place des câbles
  - Conjoint à l'essor de l'utilisation des ordinateurs portables
- Vers la convergence de l'informatique mobile et de la téléphonie
  - Hostspots pour un accès à Internet
- Problèmes
  - Portée, Interférence, Débit, ...
  - Sécurité
    - » Tout le monde peut écouter ce qu'il passe sur le réseau
    - » Techniques de cryptage (WEP, WAP, IpSec...)

## Historique

- 1998 la norme 802.11 est finalisée
- 1999 première utilisation par Apple sous le nom de airport
- juin 2002 premières autorisation d'utiliser la plage de fréquence en France (utilisée par les militaires)
- Mars 2003 : premiers hotspots en France
- Juillet 2003 Tous les départements sont autorisés à utiliser la plage de fréquence de 2,4 Ghz

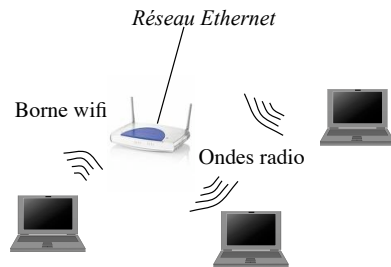
## Différents matériels utilisés

- Carte Wifi dans un ordinateur
  - Comme une carte réseau classique (Ethernet)
  - Fonctionne
    - » en mode client (dialogue avec une borne WIFI)
    - » possibilité en mode point à point (dialogue avec une autre carte Wifi)
- Point d'accès (ou borne WIFI)
  - Similaire à un switch : tous les paquets passent par la borne



## Borne WIFI

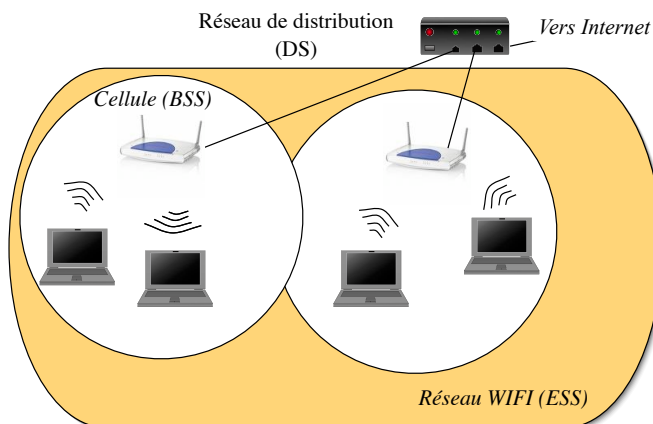
- Une borne WIFI peut servir de pont vers un autre réseau
  - De type filaire par exemple (Ethernet)



## Infrastructures WiFi

- Deux possibilités:
  - Mode “infrastructure” classique basé sur des points accès (switchs WIFI)
    - » Similaire au téléphone cellulaire
    - » Basé sur des cellules au milieu desquelles se trouve un point d'accès
  - Mode “Ad Hoc” : mode point à point (ordinateur à ordinateur)
    - » sans points d'accès (configuration particulière de la carte WIFI)
- En général antenne omnidirectionnelle en mode “infrastructure”
- Mais possibilité d'antennes directionnelles pour le mode Ad Hoc , en particulier pour du point à point fixe

## Mode “Infrastructure”



- **BSS (Basic Service Set): structure de service de base définie par un AP (Point d'Accès)**

## Mode “Infrastructure”

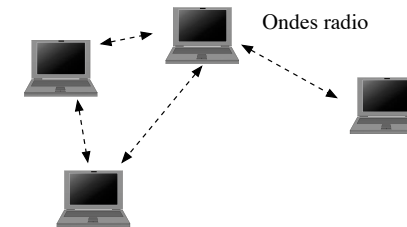
- ESS (Extended Service Set): plusieurs points d'accès servant le même réseau WIFI et reliés par un autre réseau
- DS (Distribution System) : réseau de connexion des points d'accès
  - peut être filaire (par exemple Ethernet)
  - Sans fil: on parle de WDS (Wireless DS)
- ESSID (ESS Identifier) définit un ESS (32 caractères en ASCII): nom du réseau
  - C'est celui qui apparaît dans la liste des réseaux wifi présents
- ESSID souvent abrégé SSID

## Mode "Infrastructure"

- Les cellules se recouvrant utilisent des plages de fréquence différentes
  - 802.11b: 14 canaux de 20 Mhz
  - Il faut qu'il y est au moins 5 canaux "de différences" pour qu'il n'y est pas d'interférence (voir couche physique)
- Si les cellules se recouvrent : possibilités de changer de cellule sans perte de connexion
- Service d'"itinérance" Roaming en Anglais
- Mécanisme pour implémenter ce service: le "handover"
  - Norme 802.11f

## Autre Infrastructure WiFi

- Réseau Ad Hoc
- Les machines utilisateurs servent de routeurs entre elles (besoin d'algorithmes de routage particuliers)
- Infrastructure du réseau dynamique
- On parle de IBSS: Independent Basic Service Set

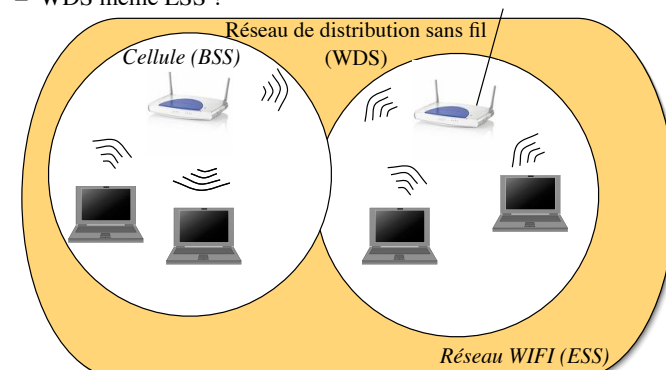


## Autres utilisations d'une borne WiFi

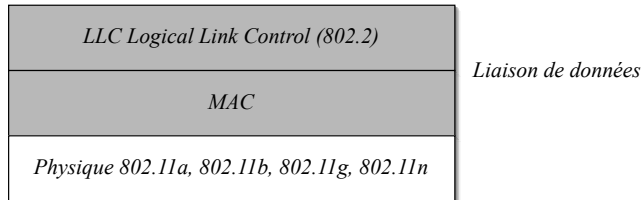
- Mode client: la borne se comporte alors comme une carte WIFI
  - On peut la connecter via un réseau filaire à un ordinateur ne comportant pas de carte Wifi
- Mode répéteur:
  - La borne doit être "connecté" à un ESS particulier (émission et réception sur la même plage de fréquence)
  - Le répéteur réemet les trames qu'il reçoit sur la même plage de fréquence
  - Donc perte de performance dte aux collisions supplémentaires

## Autres Utilisation d'une borne WiFi

- Mode "Pont WIFI"
  - On veut que le réseau de distribution soit aussi sans fil (WDS)
  - La borne WIFI sert donc de point d'accès classique et de "pont" vers un autre réseau sans fil (relié aux autres points d'accès)
  - Canaux utilisés ?
  - WDS même ESS ?



## Les couches protocolaires



- Couche LLC (IEEE 802.2)
  - Plusieurs fonctionnalités possibles dans LLC
    - » type 1: simple aiguillage vers les protocoles supérieurs grâce aux LSAP (Point d'accès source et destination)
    - » Type 2 : Connexion, contrôle de flux, reprise d'erreur
    - » Type 3 : Datagram avec acquittement
  - Pour le WIFI c'est le Type 1 qui est utilisé
- MAC commune à l'ensemble des normes de la couche physique
- Physique : On retrouve les différentes normes

## Normes Wifi (physique)

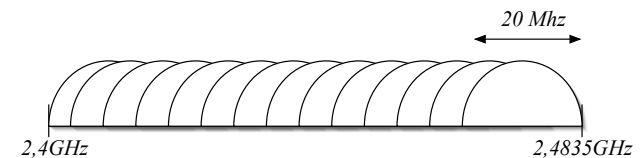
- **Bande de fréquence ISM (Industrie Science et Médecine)**
  - Aucune autorisation nécessaire 2,4 GHz-2,4835 GHz
- **Normes**
  - 802.11 (1997) 1 Mégabit/s, bande 2,4 GigaHertz
  - 802.11b (1999) 11 Mégabit/s, bande 2,4 GHz
  - 802.11a (1999) 6 à 54 Mégabit/s, bande 5 GHz
  - 802.11g (depuis 2001) jusqu'à 54 Mégabit/s, bande 2,4 GHz
  - 802.11n jusqu'à 540 Mégabit/s (premières cartes en 2006, norme pour 2008) bande 2,4 GHz et 5 GHz

## La couche physique

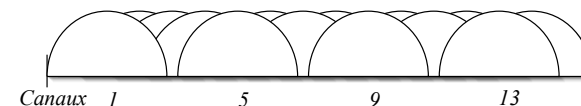
- **Différentes technologies:**
  - DSSS Direct Sequence Spread Spectrum
    - » 802.11 b et g
  - FHSS Frequency Hopping Spread Spectrum
  - OFDM
    - » 802.11 a et g
  - Infrarouge

## DSSS Direct Sequence Spread Spectrum

- 14 canaux de 20Mhz entre 2,4 et 2,4835 (13 utilisés en Europe)
- Utilisation d'un des canaux (choix de l'utilisateur)

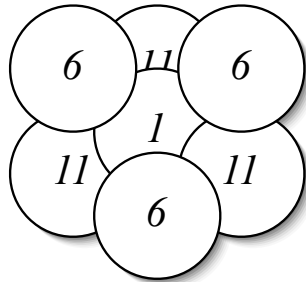


- Interférence entre 2 canaux se recouvrant: au maximum 4 canaux non recouvrant simultanément



## Implication sur l'utilisation des canaux dans les cellules

- En fait 3 canaux vraiment non recouvrant : 1, 6, 11



- Choix des canaux par l'utilisateur en fonctions des réseaux existants

## Couverture WI-FI

- La couverture dépend de :
  - la structure des bâtiments et de l'implantation des antennes
    - » Dalle béton, cloison de plâtre ...
  - Interférences avec d'autres réseaux radio dans les mêmes plages de fréquence : Bluetooth, micro-ondes, autres wifi
- Le bâtiment F est équipé d'une borne Wi-Fi par étage (limite en bout d'étage)
- Norme      Intérieur      Extérieur
 

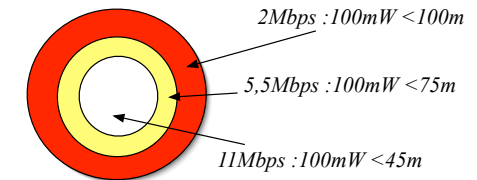
802.11b	35m	100m
802.11g	25m	75m
802.11n	50m	125m

## Débit WI-FI

- Débit théorique >> Débit effectif
- Débit physique dépend :
  - De la distance: autorégulation du débit en fonction du taux de pertes (obstacle, bruit ambiant...)
- Octets supplémentaires dû au protocole MAC et couche physique
  - 11Mbits -> 6,5 Mégabits effectif
- Débit effectif dépend aussi du nombre d'utilisateurs :
  - Collisions (protocole MAC)
  - Partage du débit entre les utilisateurs

## Débit WI-FI

- **Débit physique variable : exemple en terrain sans obstacle**



Norme 802.11b (Puissance d'émission de 100mW)

- **Pour 2008 norme définitive: 802.11n**
  - Débit théorique de 540 Mbit/s
  - 100 Mbit/s à 90 m, 200Mbit/s maximum
  - Compatibilité avec 802.11b et 802.11g

## Principe WI-FI Accès à un réseau

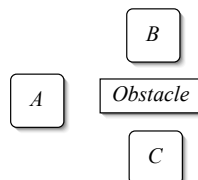
- Emission périodique de paquet de signalisation (trame balise “beacon”) par les AP
  - Toutes les 0,1 s
  - Contient le SSID, débit possible, taux de pertes courant...
- Une machine possédant une carte WIFI
  - Si elle est configurée pour un réseau donné (mode actif):
    - Elle émet le SSID voulu dans une trame de sondage
    - Un AP du réseau lui répond éventuellement
  - Sinon (mode passif)
    - Elle attend les paquets de signalisation des AP
    - Si plusieurs AP sont détectés pour le même SSID: elle choisit en fonction de la qualité de réception (débit / charge)

## La couche MAC 802.11

- Réseau à diffusion ressemble à Ethernet
- Contrôle d'accès au support CSMA/CA
- Adressage et formatage des trames
- Détection d'erreur par CRC
- Fragmentation et réassemblage
- QoS
- Gestion de la mobilité
- Sécurité

## Principe du protocole d'accès au support

- Une station peut savoir si le réseau est occupé
  - Comme Ethernet: CSMA (Carrier Sense Multiple Acces)
    - » Contrôle du niveau d'énergie de la fréquence radio
    - » Si le canal est détecté inactif pendant au moins une durée fixée DIFS (Distributed Inter Frame Space)
- Possibilité de collision
- Contrairement à Ethernet incapacité de détecter toutes les collisions
  - Station cachée (obstacle aux ondes radio ou éloignement)
    - » A “voit” B et C mais B et C ne se “voient” pas



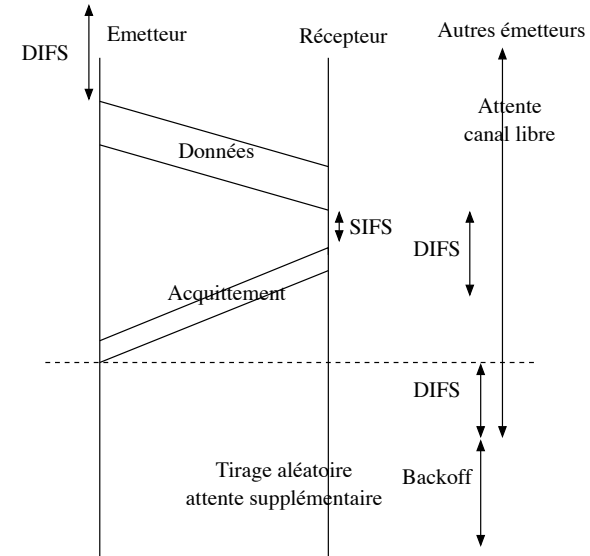
## Principe du protocole

- CSMA/CA (Collision Avoidance) : il faut essayer d'éviter les collisions
- Il faut savoir si il y eu ou pas de collision (le paquet est bien arrivé): mécanisme d'acquittement
- Une trame qui est reçue sans collision est acquitté (paquet spécial) après une durée fixe SIFS (Short Inter Frame Spacing)
  - Durée incompressible nécessaire pour la commutation Réception/Emission (~10  $\mu$ s)

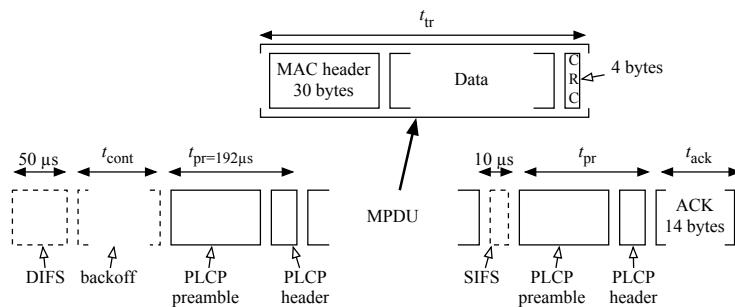
## Principe du protocole

- Dans le cas où le canal est détecté occupé,
  - on attend qu'il se libère
  - puis on attend la durée DIFS ( $50 \mu s$ )
  - $DIFS > SIFS$  pour permettre l'émission des ACK sans collision
  - puis on effectue un tirage aléatoire d'attente supplémentaire (appelé backoff) dans
    - »  $0$  à  $CW * \text{tranche canal}$  ( $\sim 20 \mu s$ )
  - $\text{Backoff} = \text{Aléatoire}(0, CW) * TC$
  - $CW$  : Fenêtre de contention (au départ elle vaut  $7$ )
- En cas de collision (l'acquittement n'est pas reçu)
  - L'intervalle du tirage aléatoire double à chaque nouvelle collision (même principe que Ethernet)
  - Fenêtre de contention après le  $i$ ème essai :  $CW_i = 2^{k+1}$

## Principe du protocole



## Efficacité

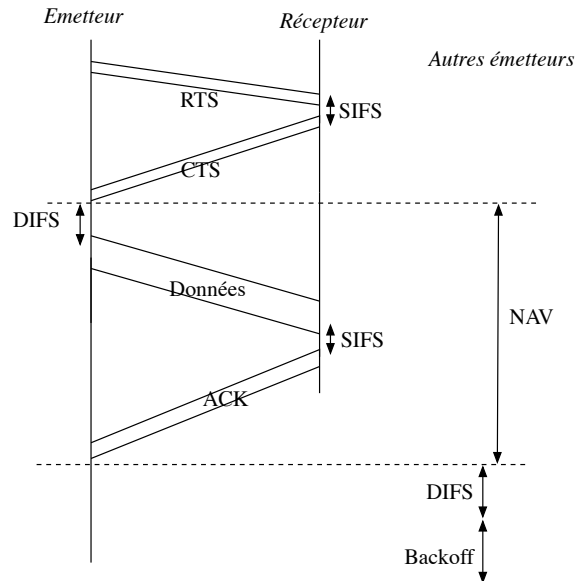


- Une seule station émet à **11 Mégabit/s**
- Paquets de tailles **1500 octets soit 12 kbits; temps émission: 1 ms**
- **Backoff** : moyenne de  $16 * 20 \mu s = 320 \mu s$
- **Entête + Ack = 48 octets à 11 Mbit/s soit  $\sim 40 \mu s$**
- **Débit effectif:**
  - $12 \text{ kbit} / 1000 + 50 + 320 + 192 + 10 + 192 + 20 + 40 = 12000 / 1800 \mu s$
  - $\sim 6,6 \text{ Méga bit/s}$

## Pour éviter les collisions

- Extension possible (optionnel)
  - Résout le problème de la station cachée
  - Intéressant pour les émissions de gros paquets car ajoute de la charge aux réseaux
- Avant d'envoyer des données, il y a un échange de paquets spéciaux
  - RTS : Request To Send
    - » L'émetteur demande une émission et précise la durée de l'émission
  - CTS : Clear To Send
    - » Le récepteur (le point d'accès) accepte la transmission
    - » Toutes les stations reçoivent ce paquet (stations cachées)
- Les autres émetteurs qui reçoivent ces paquets CTS se mettent en attente de la durée indiquée (NAV Network Allocation Vector)
  - S'il n'y pas de collision sur le RTS et CTS, on est alors sûr qu'il n'y aura pas de collision pour les paquets de donnée qui suivent

## Pour éviter les collisions



## Modes de contrôle

- Mode de contrôle précédent : mode DCF (Distributed Control Function)
- Mode de contrôle centralisé dans le point d'accès (PCF : Point CF)
  - Le AP gère les émissions et distribue les autorisations d'émissions en interrogeant successivement les stations présentes (Pooling)
  - Paquets de signalisation supplémentaires
  - Il n'y a plus de collision
  - Possibilité de gérer des qualités de services: priorité possible entre les stations
- Les deux modes peuvent cohabiter, grâce aux durées d'attente inter-trame
  - Le mode PCF attend moins longtemps entre les trames (PIFS < DIFS)

## L'entête 802.11 MAC

- Plusieurs types de trames
- L'entête varie suivant le type défini dans les 2 premiers octets (champ contrôle de trame)
  - trame de donnée
  - trame de contrôle d'accès au support : RTS, CTS, ACK...
  - trame de gestion: association, synchronisation, authentification

## L'entête 802.11 MAC Trame de donnée

- Contrôle : détermine entre autre le type de trame
- Durée: Temps d'occupation du canal par la trame et son acquittement. Utilisé pour calculer le NAV
- Adresse Ethernet Destination, Borne de la cellule et Source
- No Fragment (sur 4 bits): permet la fragmentation
- No Séquence (sur 12 bits): nécessaire au mécanisme de fragmentation et d'acquiescement
- Données maximum 2312 octets

Contrôle	2
Durée	2
Adresse Dest	6
Adresse BSSID	6
Adresse Source	6
No fragment No Séquence	2
Données	
CRC	4



## L'entête 802.11 MAC Trames de contrôle

- Trame CTS et ACK

Contrôle	2
Durée	2
Adresse Dest	6
CRC	4

- Trame RTS

Contrôle	2
Durée	2
Adresse Dest	6
Adresse Source	6
CRC	4

## Autres réseaux locaux sans fil

- Bluetooth

- Connexion d'appareils numériques : téléphone, caméra, appareil photos, imprimantes, système d'alarme, ordinateurs
- Porté : 10 m à 100 m (suivant la puissance)
- Plage de fréquence de 2,4 GHz (Interférence avec le WiFi)
  - » Changement de fréquence possible à chaque paquet
- Normes (802.15):
  - » Version 1 (1999): Débit 1 Mégabit/s
  - » Version 2.0 (2004) : Débit 3 Mégabit/s

- **UWB (Ultra Wide Band):** 480 Mégabits sur quelques mètres normalisé en 2007 n'a pas réussi à s'imposer

## Autres réseaux locaux sans fil

- 802.15.4 (Zigbee): 256kbits/s en 2,4 GHz ou 868MHz sur quelques dizaines de mètres très faible puissance
- LoRa : Long range GHz kbit/s sur plusieurs km

## WIMAX

### Sans fil à large bande ou WMAN

- Normes 802.16 (à partir d'Avril 2002)
- Réseau radio moyenne distance (1 à 15 km)
- Plage de fréquence de 11 à 66 GHz
- Efficace si il y a peu d'obstacle (ligne de vue de l'antenne)
- En 2003 (802.16a): 10 Mbit/s sur 20 km
- Alternative à l'ADSL pour les zones isolées
- En 2005: 802.16e: 30 Mbits/s jusqu'à 3,5 km permettant la mobilité des équipements
- Forte utilisation au USA, première offre commerciale en 2010 dans des départements du Nord de la France
- Mode connecté, QoS garanties (contrairement au WIFI)
- 802.16m (2009) 1 Gbits/s en immobile, 100Mbits/s en mobile: Norme qui devrait être utilisée pour la 4ème génération du réseau téléphonique en Europe ?

## Satellites géostationnaires

- 36 000 km : Temps de propagation de 0,27s (aller-retour)
- Utilisé pour les lignes internationales du téléphone
- Problème du temps de propagation
- Intérêt
  - Pour point isolé (îles ...)
  - Pour accéder facilement (directement) à du haut débit
  - Pour application mobile
- Plusieurs offres sur le territoire français (en 2011)
- Exemple Proposition Nordnet
  - Station bi-directionnelle fournie et installée : ~400 Euros
  - 6 Mbit/s (25 Euros/mois), quantité transmise maximum de 3 Go
  - Autres offres avec quantité plus grande (jusqu'à 5 Go)



## Pour finir: Les risques sanitaires

- La puissance émise par les équipements Wi-Fi (~30 mW) est vingt fois plus petite que celle émise par les téléphones mobile
- La puissance du signal est inversement proportionnelle à la distance au carré :  $P = 1/D^2$
- Risque sanitaire en cours d'évaluation
- En Allemagne et en France arrêt de l'utilisation de réseau WIFI dans des bibliothèques : plaintes du personnels suite à des troubles (malaises, maux de têtes...)