M1 Informatique, Réseaux
Cours 8 : Réseaux mobiles et sans-fil

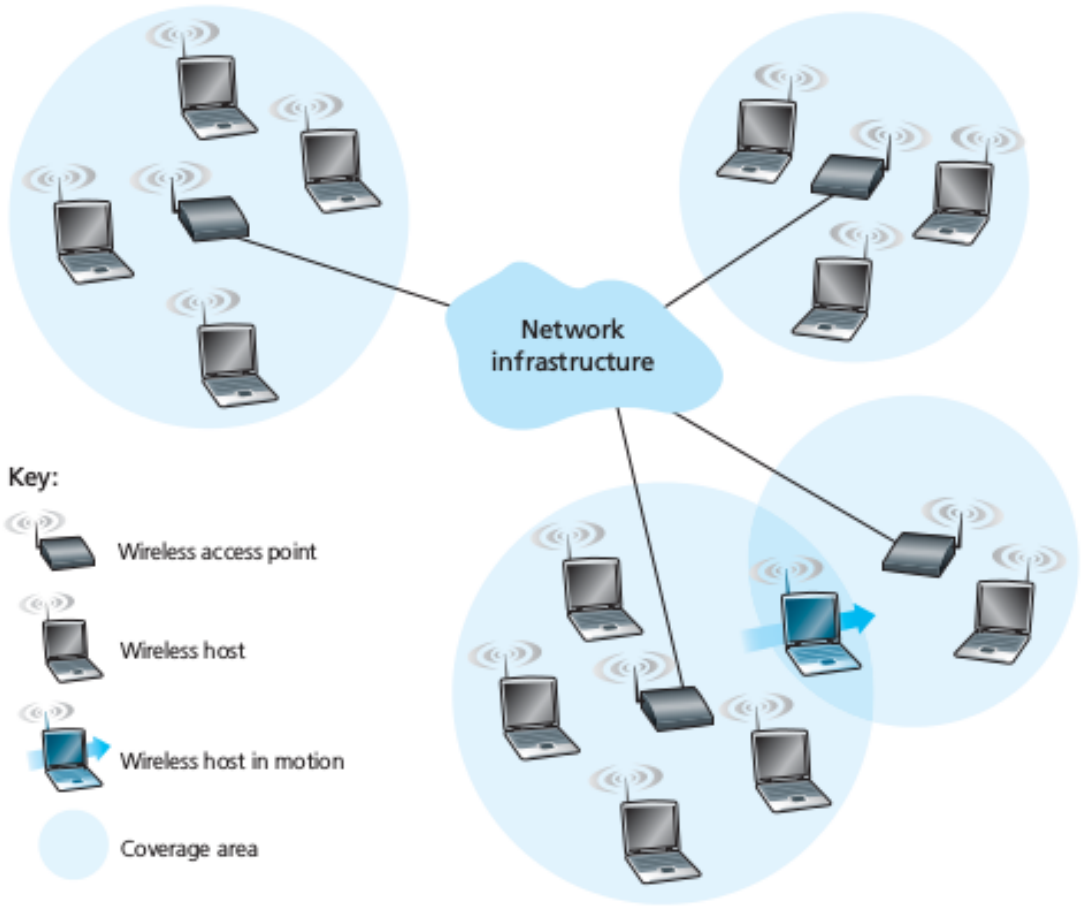
Olivier Togni
Université de Bourgogne, IEM/LIB
Bureau G206
olivier.togni@u-bourgogne.fr

23 février 2021

Contexte

- nombre d'abonnements téléphonie mobile 5 fois plus grand que celui des téléphones fixes
- même nombre d'équipements connectés à internet en filaire et en sans fil
- sans fil mais pas forcement (très) mobile
- mobile mais pas forcement sans fil
- $\Rightarrow$ réseau avec utilisateurs sans fil et possiblement mobiles
- $\Rightarrow$ 2 challenges : communication sur liens sans fil et gestion de la mobilité

Éléments d'un réseau sans fil



(de Kurose et Ross, Computer networking : a top-down approach, 6E, Pearson)

Mode Ad-hoc vs infrastructure

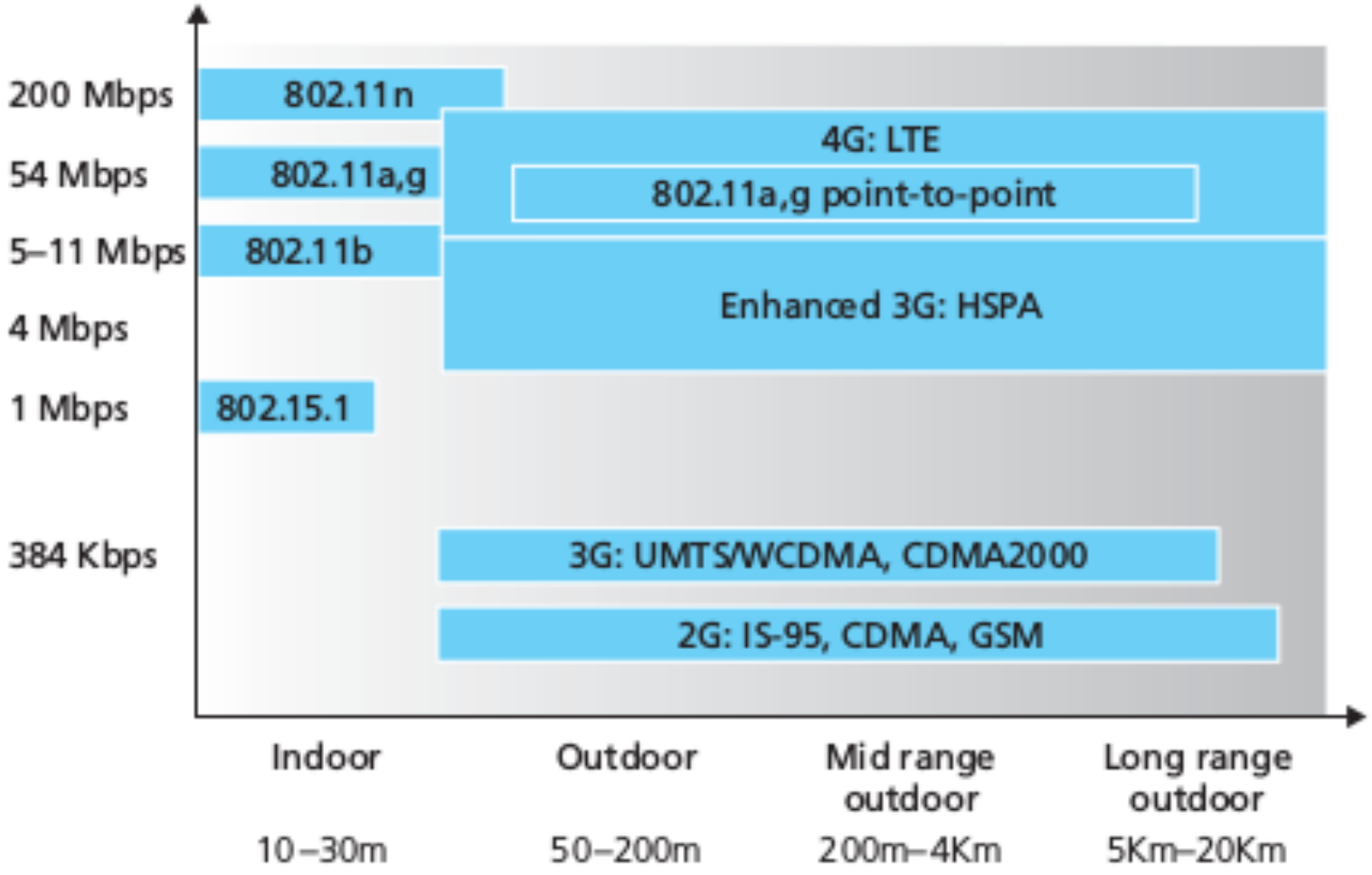
Infrastructure : les communications passent par une station de base (BS) :

- Acces Point (AP)
- Base Terminal Station (BTS)

Ad-hoc :

- Pas de station de base
- les noeuds peuvent seulement transmettre aux autres noeuds dans leur rayon de couverture

Caractéristiques des technologies sans fil



(de Kurose et Ross, Computer networking : a top-down approach, 6E, Pearson)

Classification des réseaux sans fil

	avec infrastructure	sans infrastructure
1 saut	hôtes connectés aux BS (wifi, wimax, 3G)	bluetooth, ad-hoc 802.11 nets
multisauts	réseaux maillés (WMN, WSN)	(MANET, VANET)

Caractéristiques des liens sans fil 1/2

Problèmes de niveau liaison différents de filaire :

- dispertion du signal (decreased signal strength, ou path loss)
- interférences avec d'autres sources + bruits électromagnétiques
- propagation multi-chemins (réflexions sur surfaces)

rendant la communication plus difficile

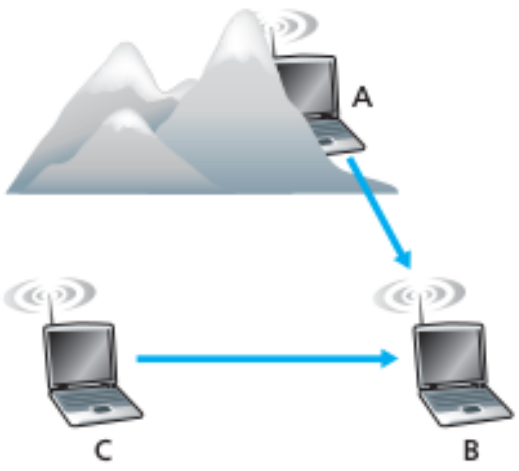
Caractéristiques des liens sans fil 2/2

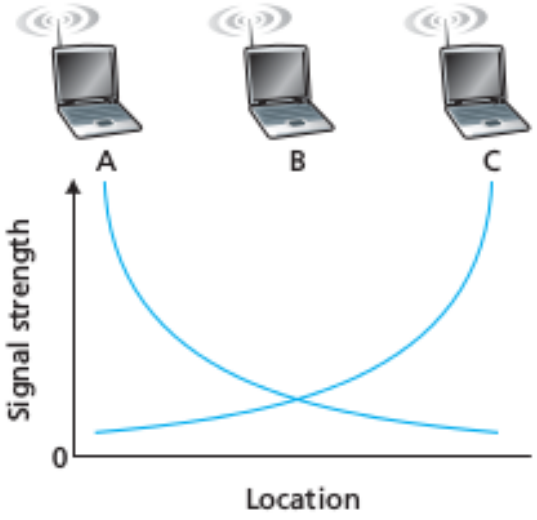
- SNR = rapport signal/bruit (Signal to Noise Ratio) en dB
- BER = taux d'erreur (Bit Error Rate) en %

- pour une technique de modulation donnée, le BER est inversement proportionnel au SNR ⇒ une source peut diminuer la probabilité qu'une trame soit reçue éronnée en augmentant la puissance du signal
- pour un SNR donné, le BER est proportionnel au débit
- sélection dyunamique de la technique de modulation avec 802.11 et réseaux mobiles 3G pour adapter au contexte (SNR)

Caractéristiques des réseaux sans fil

Si plusieurs sources (et récepteurs) : problème du terminal caché





(de Kurose et Ross, Computer networking : a top-down approach, 6E, Pearson)

Code Division Multiple Access (CDMA)

- très utilisé en sans fil
- multiplexage par étalement de spectre
- chaque bit envoyé est multiplié par un signal (le code, indépendant des données) à un débit plus grand
- le choix adéquat des codes de chaque émetteur permet aux récepteurs de reconstituer le message reçu

Ex. bits 010 à envoyer, code = 11101001,
signal envoyé = -1-1-11-111-1 111-11-1-11 0-1-1-11-111-1
Récepteur : fait un et binaire entre signal reçu et code ⇒ 010
Ex. 2 : 2 émetteurs envoient 01 et 11 avec codes 11101001 et 00110111 ⇒ signal composé = 112012111211012

Wi-Fi

- omniprésents malgré nombreuses autres technologies similaires des années 90
- différents standards

Standard	Année	Fréquence	Canaux	Débit
802.11b	1999	2.4 - 2.485 GHz	13	$\leq$ 11 Mb/s
802.11a	1999	5.1 - 5.8 GHz	52	$\leq$ 54 Mb/s
802.11g	2003	2.4 - 2.485 GHz	13	$\leq$ 54 Mb/s
802.11n	2009	2.4 ou 5 GHz	xx	$\leq$ 450 Mb/s
802.11ac	2013	5 GHz	xx	$\leq$ 1300 Mb/s
802.11ax	2021	2.4 & 5 GHz	xx	$\leq 10,5 Gb/s$

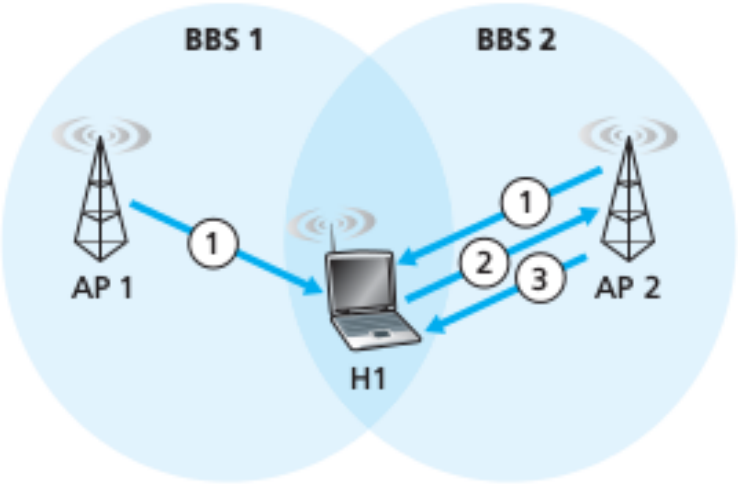
Rem : à partir de 802.11n, interfaces avec plusieurs antennes (MIMO, multiple input, multiple output)

Architecture 802.11

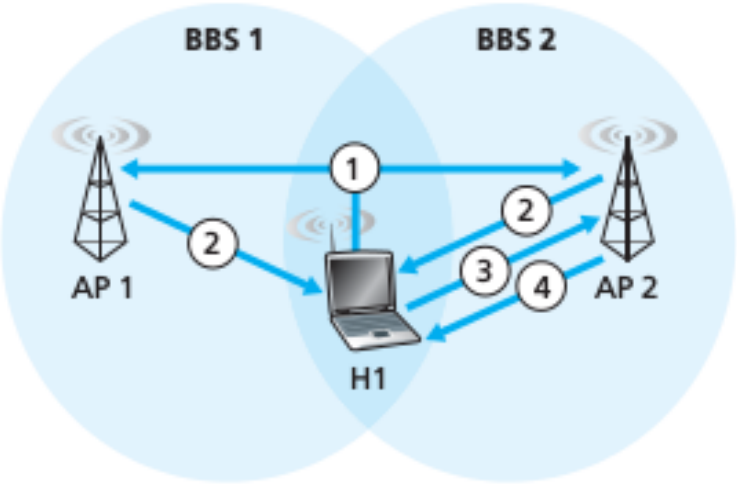
- Basic Service Set (BSS) = Station de base (AP) + stations sans fil
- Service Set Identifier (SSID) = nom (1 ou 2 mots) associé à l'AP par l'administrateur
- Trame Beacon : envoyée périodiquement par chaque AP et qui contient (SSID, MAC(AP))
- Extended Service Set (ESS) = regroupement de plusieurs BSS au sein d'un même réseau

Choix du réseau

Choix après scan actif ou passif suivant force du signal



a. Passive scanning
1. Beacon frames sent from APs
2. Association Request frame sent: H1 to selected AP
3. Association Response frame sent: Selected AP to H1



a. Active scanning
1. Probe Request frame broadcast from H1
2. Probes Response frame sent from APs
3. Association Request frame sent: H1 to selected AP
4. Association Response frame sent: Selected AP to H1

(de Kurose et Ross, Computer networking : a top-down approach, 6E, Pearson)

Accès au média en 802.11

- accès aléatoire à la Ethernet
- CSMA/CA (Collision Avoidance)
- acquitements/retransmissions car BER peut être élevé
- pas de détection d'erreur car :
  - doit écouter en envoyant mais signal reçu faible par rapport à signal émis
  - pas possible de détecter toutes les collisions (station cachée)

$\Rightarrow$ toute trame transmise l'est entièrement

Acquitements

- trame d'acquitement envoyée pour chaque trame de données reçue
- Récepteur : trame reçue et CRC OK $\Rightarrow$ attente temps SIFS (Short Inter-Frame Spacing) et envoi Ack
- Emetteur : envoi trame et attente Ack (temporisation)
  si pas d'Ack après α retransmissions $\Rightarrow$ jeter trame

CSMA/CA

1. si canal libre, transmission après petit délai (DIFS, Distributed Inter-Frame Space)
2. sinon tempo aléatoire (décrémentée à chaque fois que canal libre)
3. quand tempo = 0, envoi et attente ack
4. si ack reçu, retour étape 2 pour trame suivante ; sinon retour 2 avec tempo dans interval plus grand

Rem : ne prévient pas toutes les collisions (station cachée) $\Rightarrow$ réservation de canal

Réservation de canal

Mécanisme optionnel de 802.11

- trame Request To Send (RTS) envoyée à l'AP par l'émetteur, indiquant le temps dont il a besoin pour envoi de sa trame et de l'ACK
- trame Clear To Send (CTS) diffusée par l'AP $\Rightarrow$ autorise l'envoi par l'émetteur et informe les autres terminaux de ne pas émettre pendant la durée

Rem : collisions possibles sur trames RTS/CTS, mais ce sont des trames de petite taille (20/14 octets)

Rem2 : coûteux en délai et bande passante $\Rightarrow$ en pratique utilisé pour les trames de taille $>$ à un seuil prédéfini

Format trame 802.11

2	2	6	6	6	2	6	0-2312	4
Contrôle	Durée	addr1	addr2	addr3	seq	addr4	data	CRC

- Champs Contrôle contient 11 champs dont : type/sous-type pour préciser le type de trame (RTS/CTS, ACK, ...)
- durée : pour RTS/CTS
- addr1 : adresse MAC de destination sans fil (en général l'AP)
- addr2 : adresse MAC de la source
- addr3 : addresse de la destination finale ou du routeur vers le réseau filaire
- seq : numéro associé à la trame (pour réémission)
- addr4 : source initiale, pour réseau étendu (ESS) uniquement (transmission entre 2 AP du même réseau)

Gestion de l'énergie en 802.11

- terminal vers AP : "je vais dormir jusqu'à prochaine trame beacon"
  - AP sait qu'elle ne doit pas transmettre de trame au terminal
  - le terminal se réveillera juste avant la prochaine trame beacon
- la trame beacon contient la liste des mobiles pour lesquels elle a des trames en attente ⇒ les terminaux resteront réveillés s'ils sont dans ce cas, sinon rendormissement jusqu'à prochaine trame beacon

Réseaux personnels 802.15

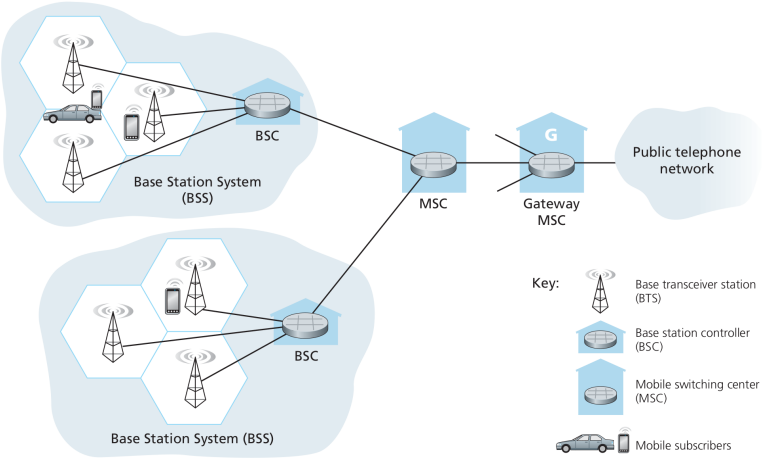
- moins de 10m de diamètre
- remplace les cables pour souris, clavier, casque, ...
- pas d'infrastructure : ad-hoc
- chaque piconet contient 1 maître et au plus 7 escalves (+ jusqu'à 255 dispositifs "parqués")
- maître/esclave : les esclaves demandent la permission d'émettre au maître, le maître attribue cette permission
- WPAN (Wireless Personnal Area Network) :
  - Bluetooth (de 802.15.1) : bande des 2.4 GHz, débits jusqu'à 720 Kb/s
  - ZigBee (802.15.4) : faible puissance et faible débit : bande de 2.4 GHz (868 MHz en Europe), débits entre 20 et 250 Kb/s

Aperçu des réseaux cellulaires

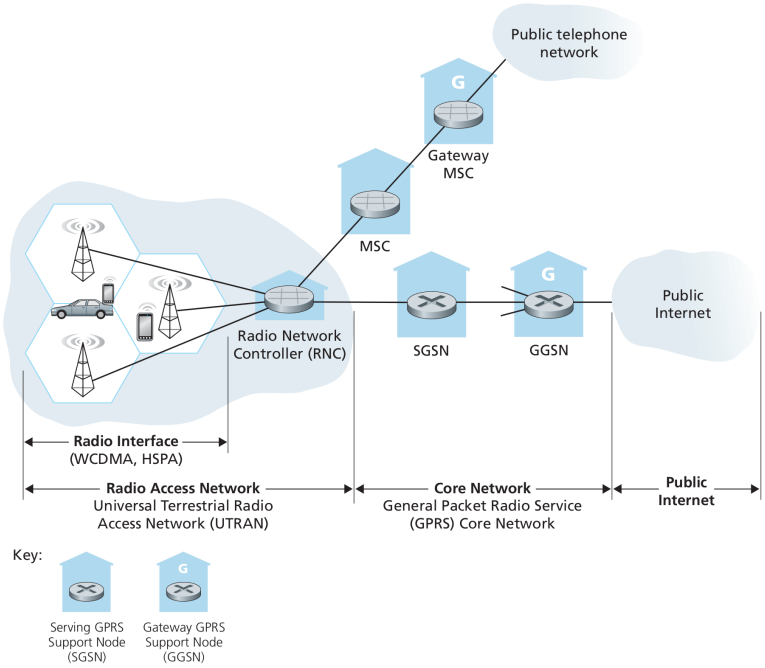
- 1G : voix, analogique
- 2G : voix, digital + données (2.5G) GSM, GPRS (FDMA/TDMA)
- 3G : voix et données, débit + important, UMTS (CDMA)
- 4G : voix et données, débit + important, LTE (OFDM + MIMO)
- : 5G : en 2020

Réseaux GSM et UMTS

Infrastructure GSM :



Infrastructure UMTS :

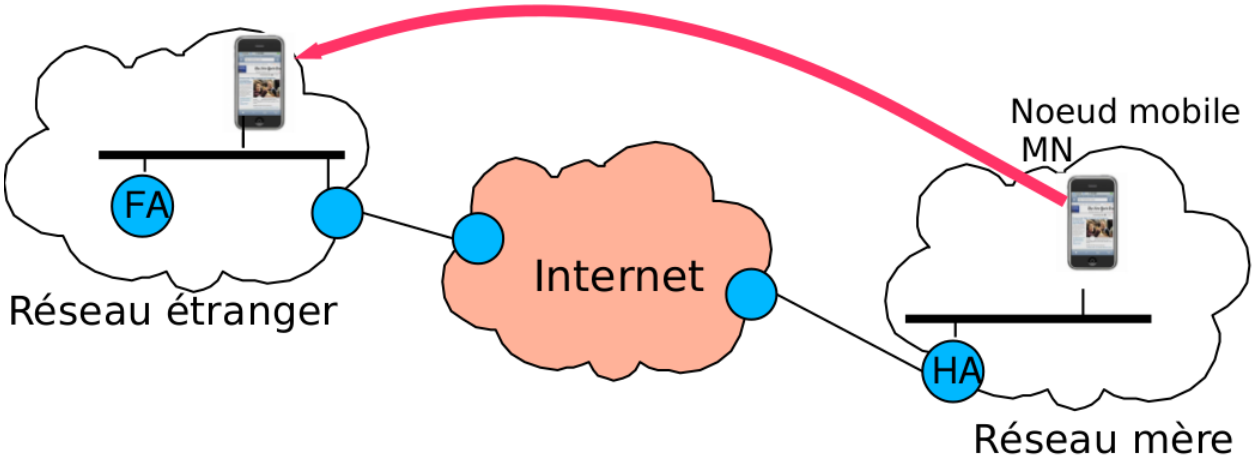


(de Kurose et Ross, Computer networking : a top-down approach, 6E, Pearson)

Degré de mobilité

- déplacement dans le même BSS ⇒ mobilité réseau nulle
- déplacement avec changement d'AP sur même réseau ⇒ mobilité de niveau 2
- déplacement avec changement d'AP et de réseau
  - avec déconnexion et reconnexion : nomadisme, DHCP suffisant
  - avec maintien des sessions en cours : Mobile IP

Mobilité IP



- Agent mère (HA) : entité gérant la mobilité sur réseau mère
- Agent étranger (FA) : entité gérant la mobilité pour les mobiles en visite
- Correspondant : n'importe quel terminal qui communique avec le mobile

Mobilité IP

Problématique :

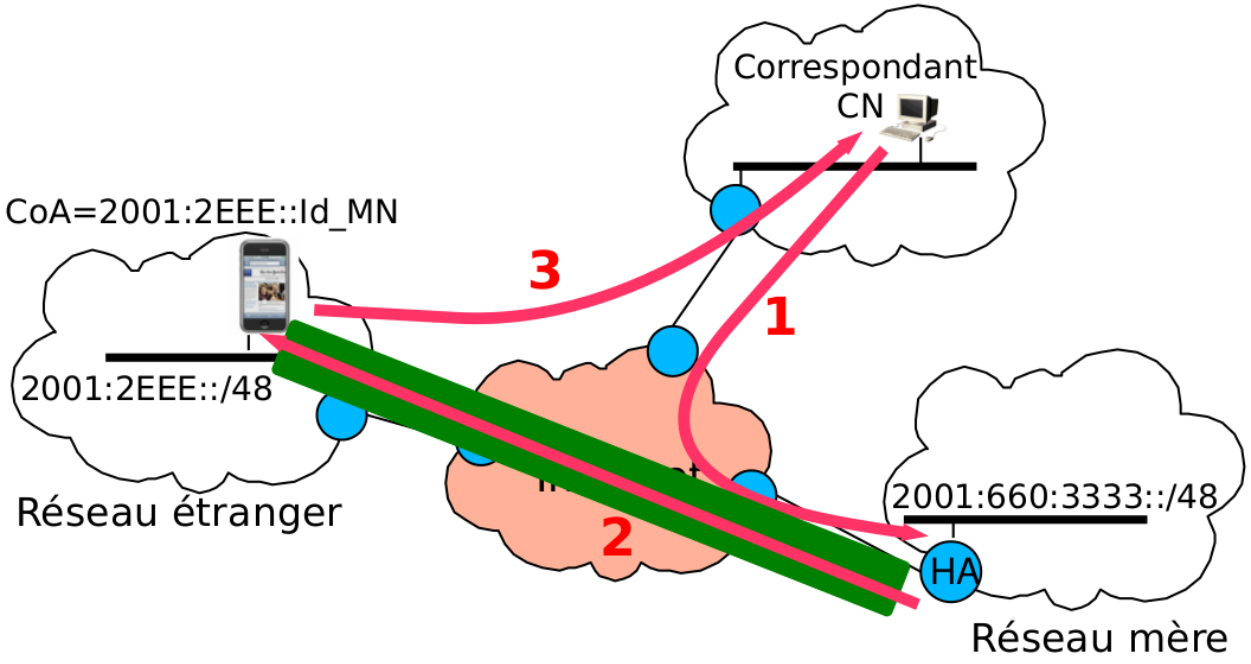
- en théorie : 1 adresse IP $\leftrightarrow$ 1 interface
- en pratique : 1 adresse IP $\leftrightarrow$ 1 localisation (car routage hiérarchique)

Le nœud mobile doit garder son adresse mais comment rester joignable à cette adresse ?

- Solution 1 : le réseau visité avertit les autres de sa présence chez lui
- Solution 2 : gestion de la mobilité à la périphérie par les agents mère et étrangers

Routage

- indirect : les paquets transitent par réseau mère et sont encapsulés par le HA
- direct : sans passer par réseau mère



Mobile IPv6 (RFC 3775, 2004)

- pas d'agent étranger (c'est le mobile qui dialogue avec l'agent mère)
- plus facile car plusieurs adresses possibles par interface
- routage direct (avec options de routage / de destination) ou indirect
- plusieurs extensions pour :
  - gérer la mobilité de façon hiérarchique (HMIPv6)
  - accélérer le handover (FMIPv6)
  - gérer la mobilité d'un réseau (nemo)
  - gérer la mobilité par le réseau (PMIPv6)