

Cours

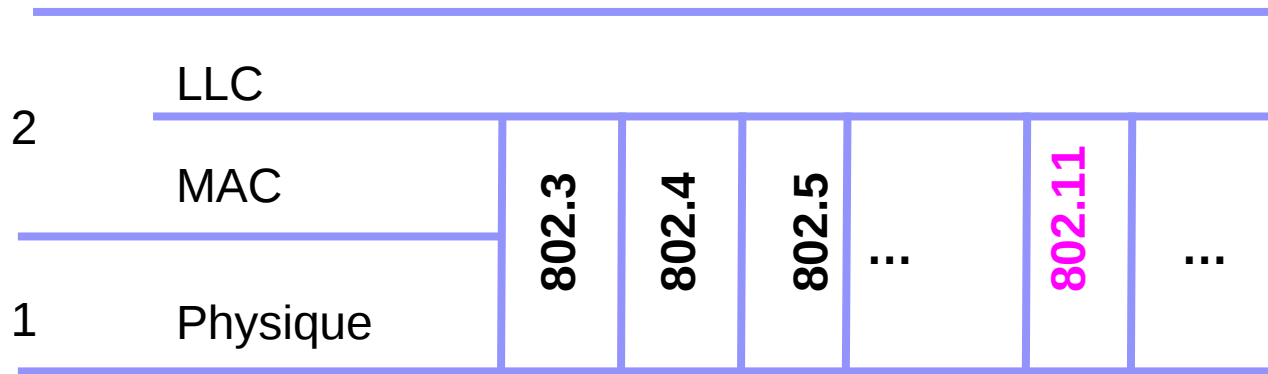
Réseaux Nouvelles générations

Chapitre 2:

Norme 802.11

réseaux ad hoc

le standard 802.11



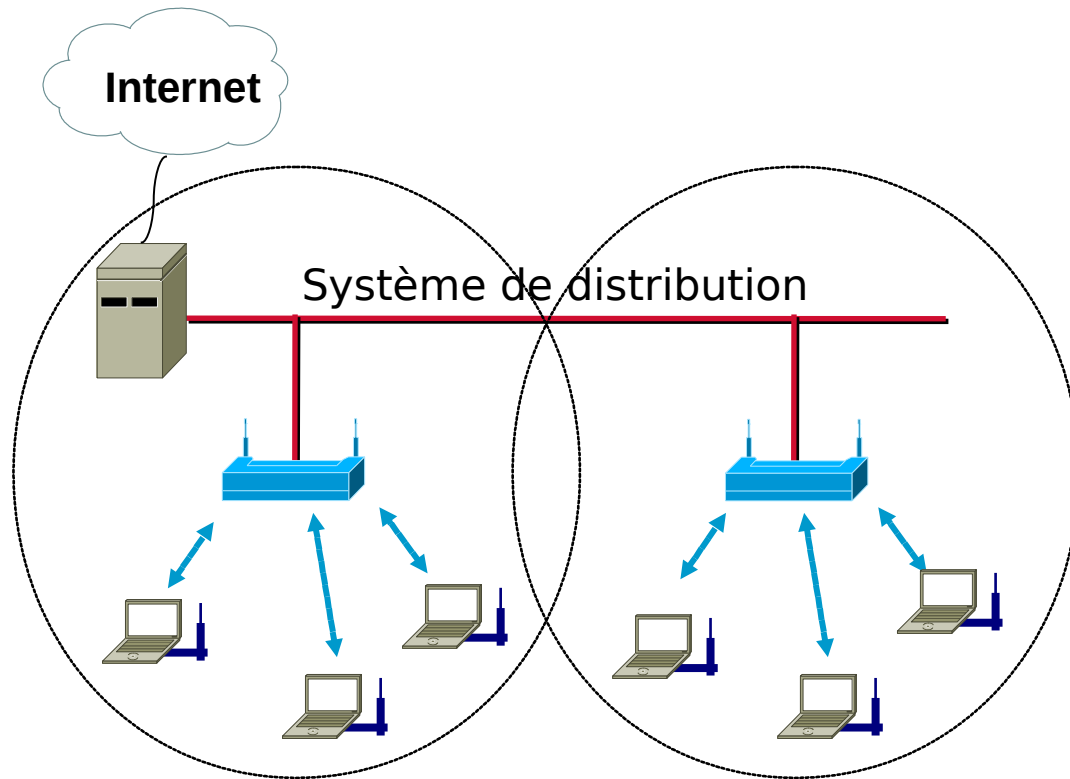
- 802.11 - Standard d'origine
- 802.11x - dérivées (amendements)
 - 802.11b - 11 Mbits/s (bande ISM)
 - 802.11a - 54 Mbits/s (bande UN-II)
 - 802.11g - 20 Mbits/s (bande ISM)
 - 802.11e - Qualité de service
 - 802.11i - Amélioration de la sécurité
 - 802.11f - Roaming

Standards 802.11

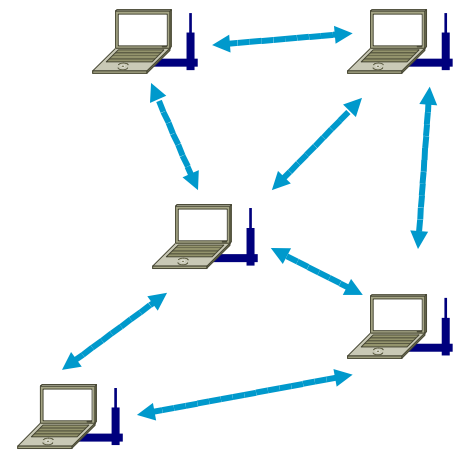
- Couche physique
 - IEEE 802.11, 1997, débit de 1 et 2 Mbs, bande 2.4 GHz,
 - IEEE 802.11 b, 1999, débit jusqu'à 11 Mbs, bande 2.4 GHz
 - IEEE 802.11 b+, 2002, débit jusqu'à 22 Mbs, bande 2.4 GHz
 - IEEE 802.11 a, 2001, débit jusqu'à 54 Mbs, bande 5 GHz
 - IEEE 802.11 g, compatible avec 802.11 b, débit jusqu'à 54 Mbs, Modulation OFDM, bande 2.4 GHz
 - IEEE 802.11 n, 2005-2006, débit jusqu'à 108 Mbs, voir 320 Mbs, technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output), bandes 2.4 GHz et 5 GHz
- Couche de liaison
 - IEEE 802.11 e, 2005, qualité de service
 - IEEE 802.11 i, 2004, amélioration de la sécurité
 - IEEE 802.11 f, roaming (protocole entre points d'accès)
 - IEEE 802.11 h, amélioration de 802.11 a pour l'Europe (Mécanisme de sélection dynamique de fréquence et de contrôle de puissance de transmission)

- Autres standards
 - IEEE 802.1X : sécurité
 - IEEE 802.11j : pour le marché japonais (2004)
 - IEEE 802.11k : maintenance et gestion (2008)
 - IEEE 802.11p : pour les véhicules (2010)
 - IEEE 802.11r : roaming (passer d'un point d'accès à un autre avec transparence) (2008)
 - IEEE 802.11s : pour les réseaux mesh (les points d'accès sont interconnectés via le médium radio) (2010)
 - IEEE 802.11T : Wireless Performance Prediction (WPP)
 - IEEE 802.11u : connexion à des réseaux non 802.11 (cellulaire par exemple) (2010)
 - IEEE 802.11v : gestion (2010)
 - IEEE 802.11w : sécurité des trames de gestion (2009)
 - etc

Modes de fonctionnement



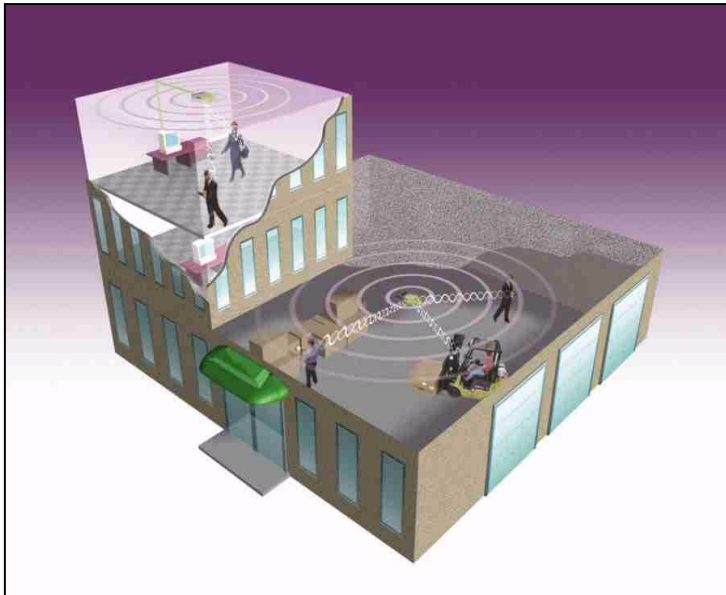
Mode infrastructure



Mode ad hoc

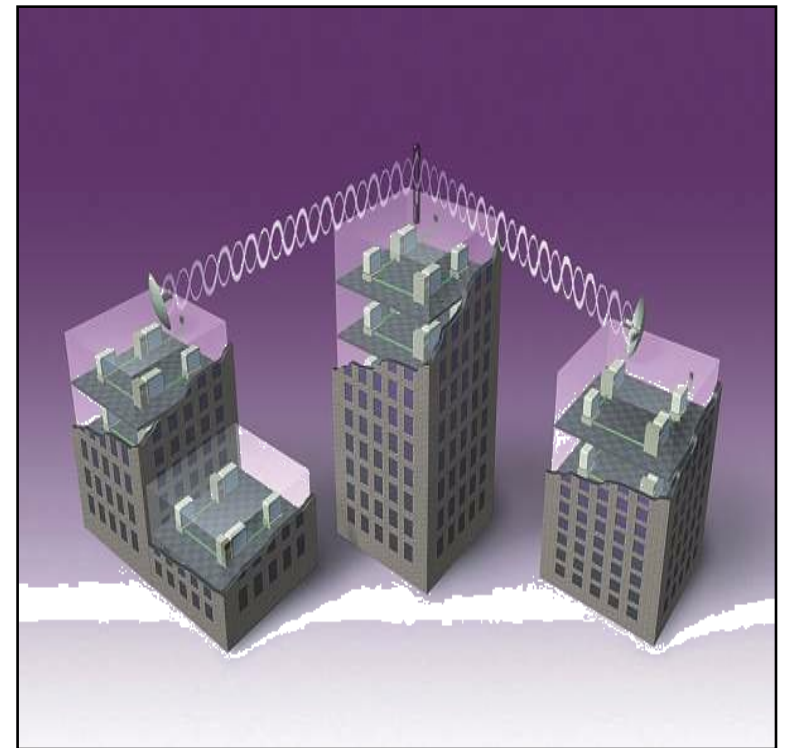
■ Interne

- Complète le réseau câblé existant
- Mobilité des users
- Souplesse de déploiement (pièces non câblées...)

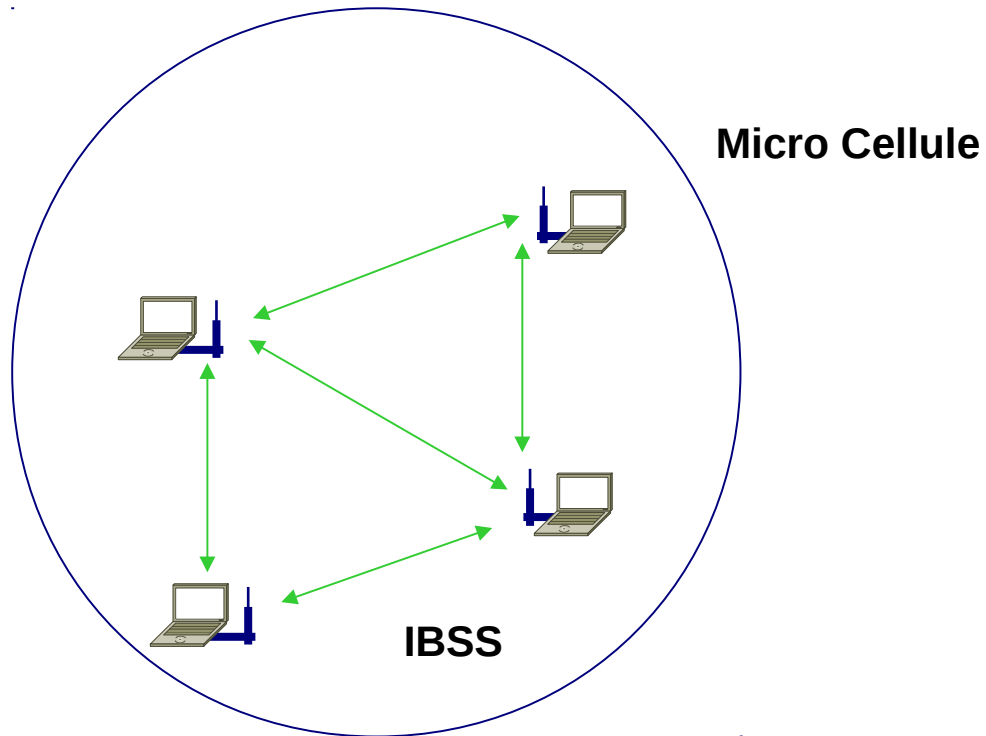
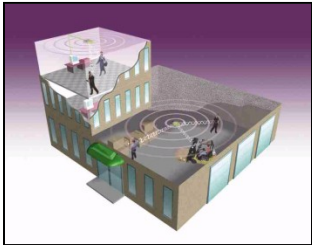


■ Inter-batiment

- Connexion de réseau distant
- Bande passante importante

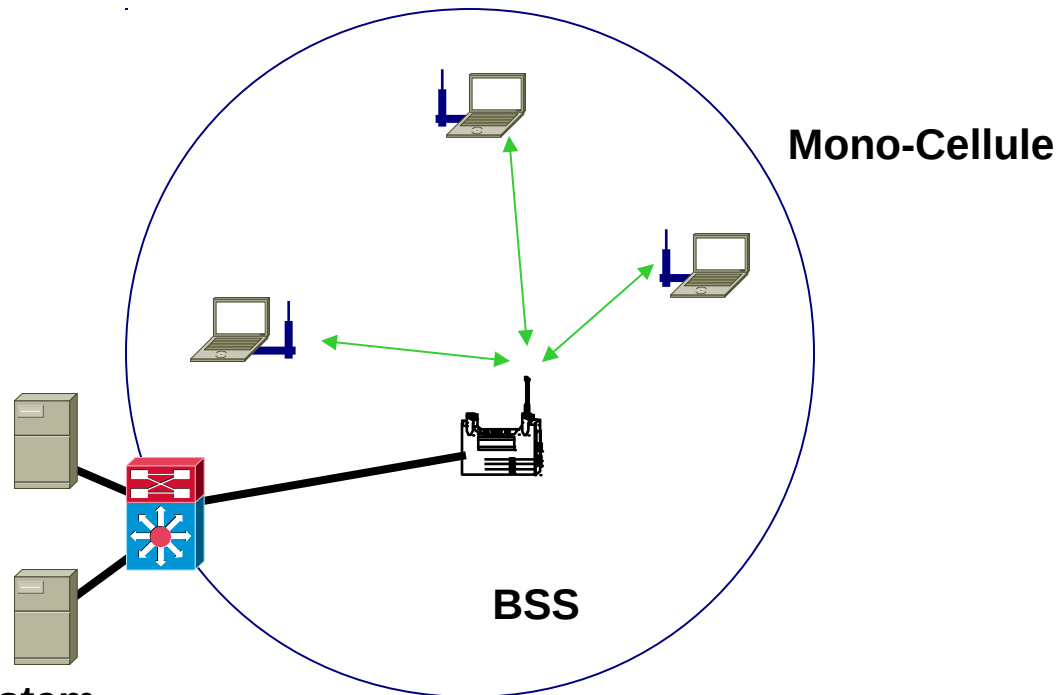


WLAN Micro-Cellule ou ad hoc: IBSS Independant Basic Service Set



■ WLAN Mono-Cellule (BSS: Basic Service Set)

- Configuration la plus courante
 - Un AP couvrant une certaine zone
 - Interconnexion avec un réseau filaire

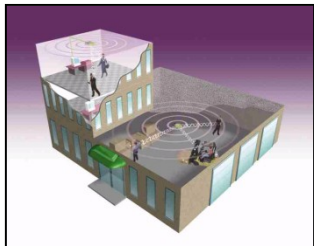
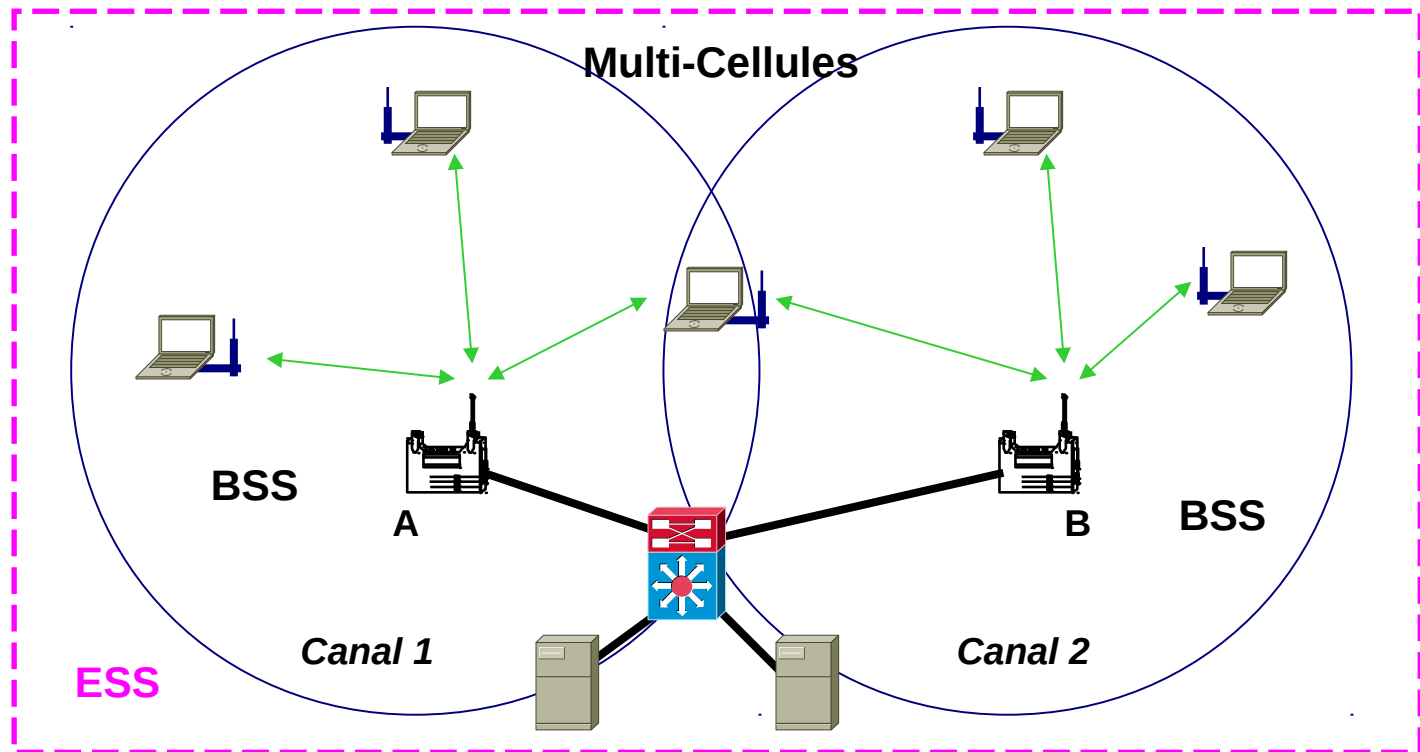


« DS – Distribution System »

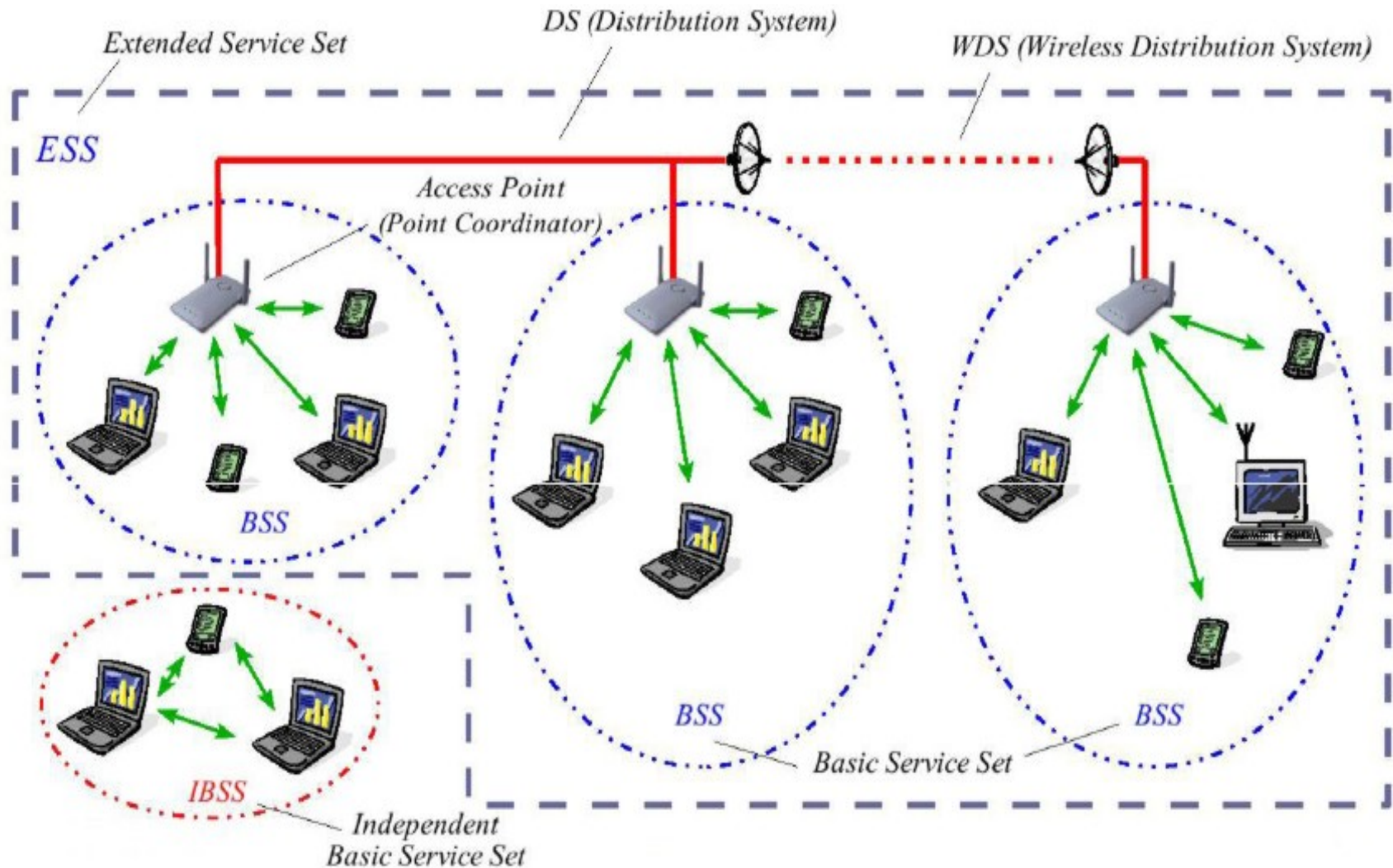
Architectures réseaux internes

■ WLAN Multi-Cellule (ESS: Extended Service Set)

- Configuration avec plusieurs cellules
 - Plusieurs AP (plusieurs canaux sans chevauchement)
 - Couverture étendue
 - Mobilité = Roaming

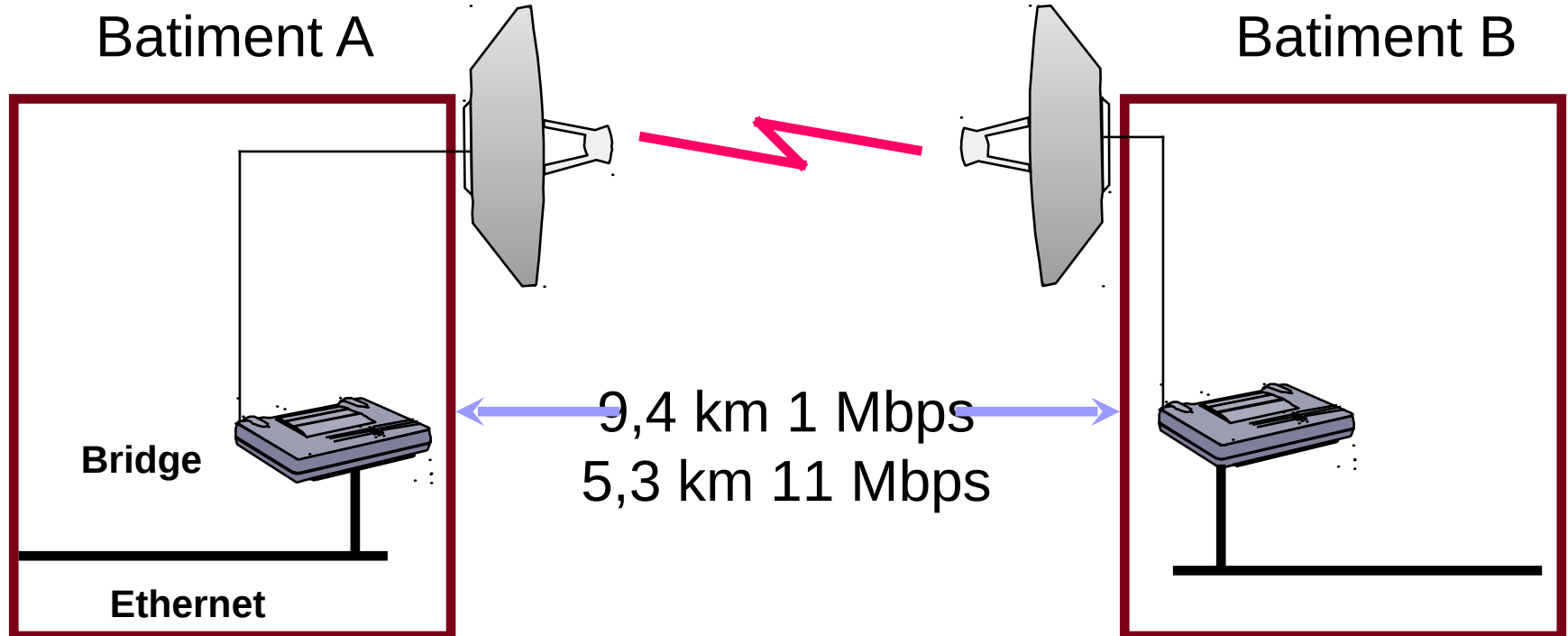
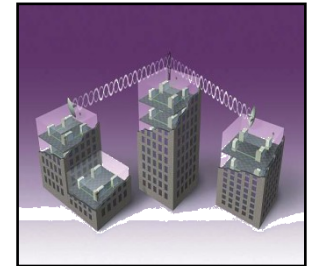


Architectures réseaux internes (récapitulatif)



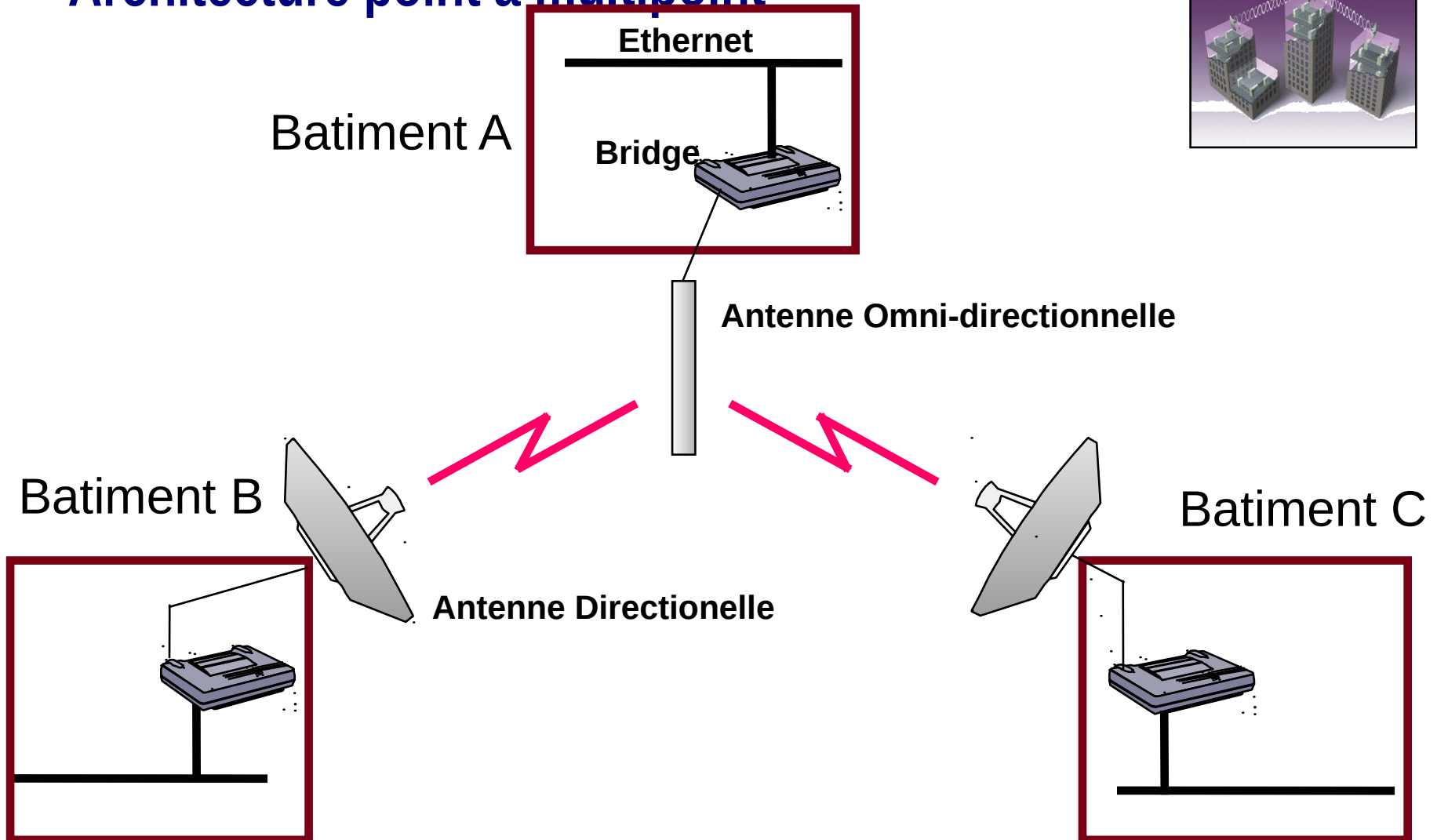
Architectures réseaux inter-batiments

■ Configuration point à point



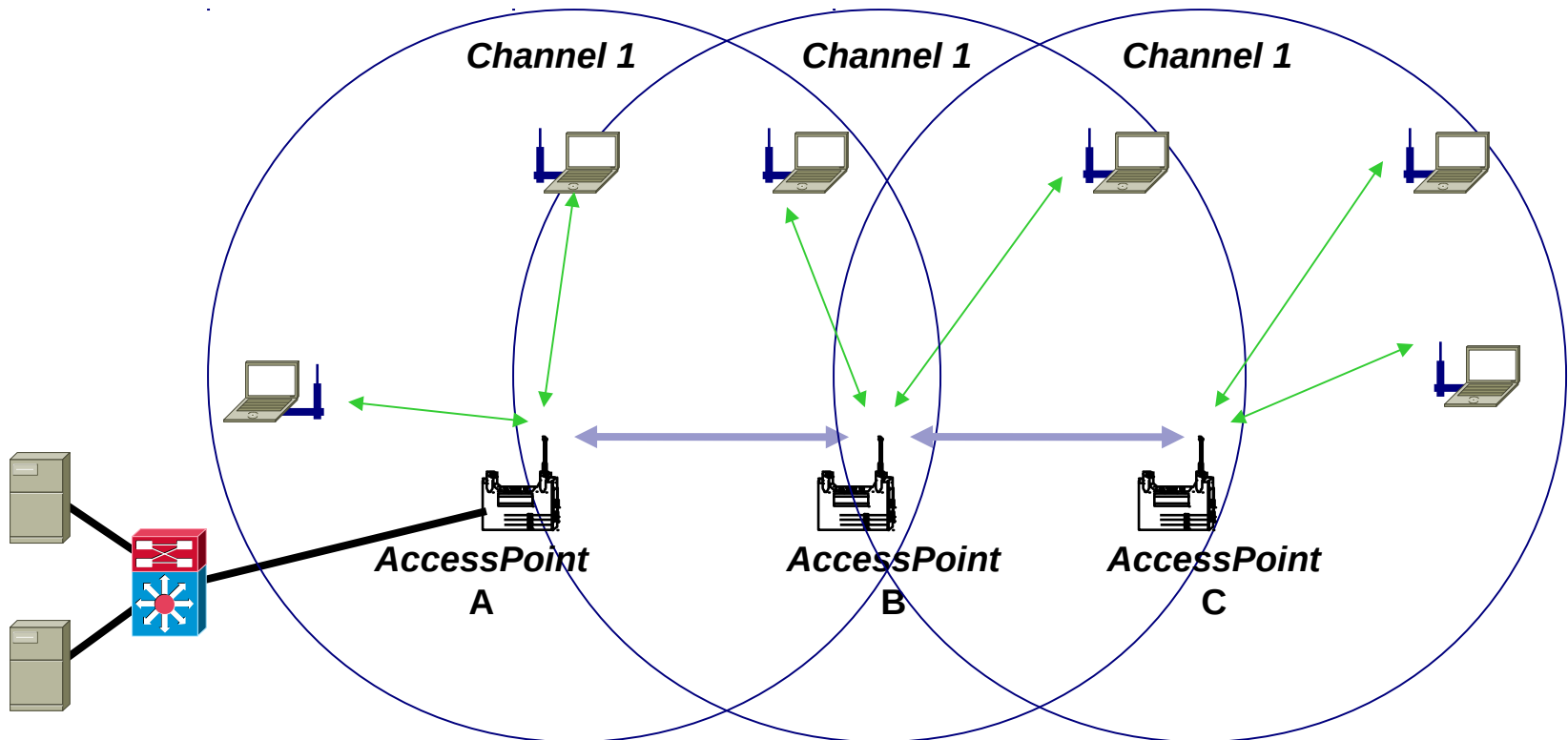
Architectures réseaux inter-batiments

Architecture point à multipoint



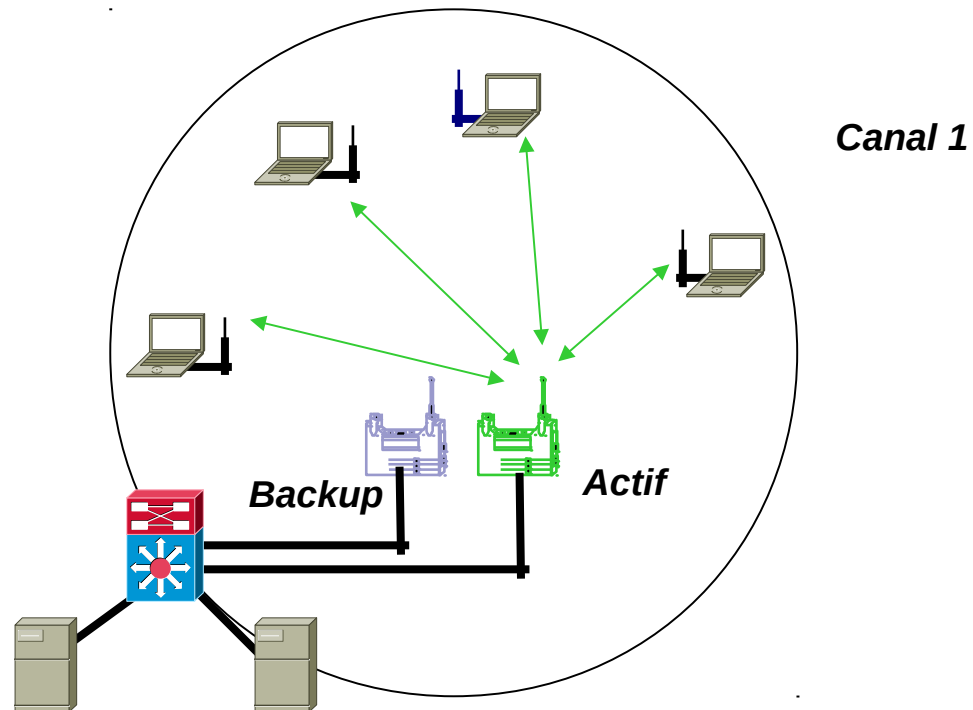
■ Configuration d'un AP en répéteur

- Permet d'étendre la zone couverte
- Partage de la bande passante totale sur toute la zone



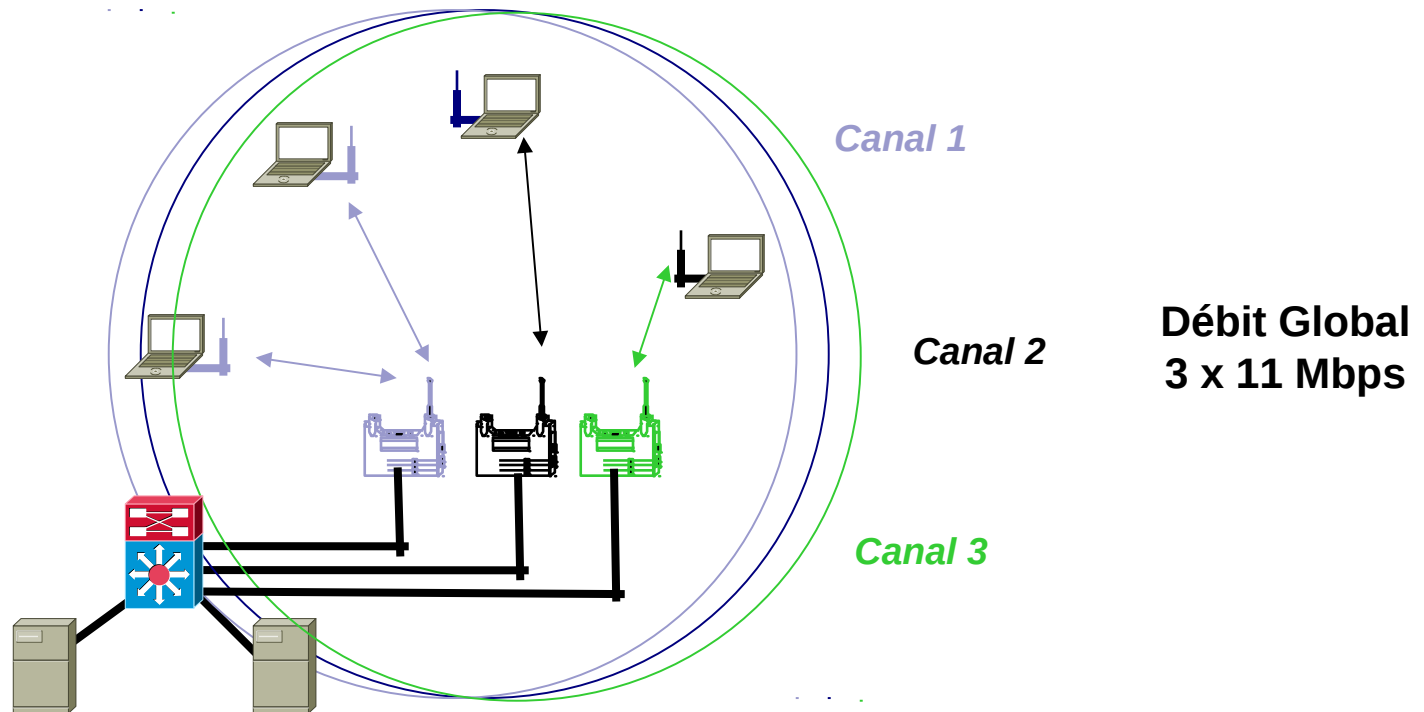
Backup

- Fonction de résilience
- Un seul AP actif à un moment donné
- L'AP de backup vérifie en permanence la vie de l'AP actif



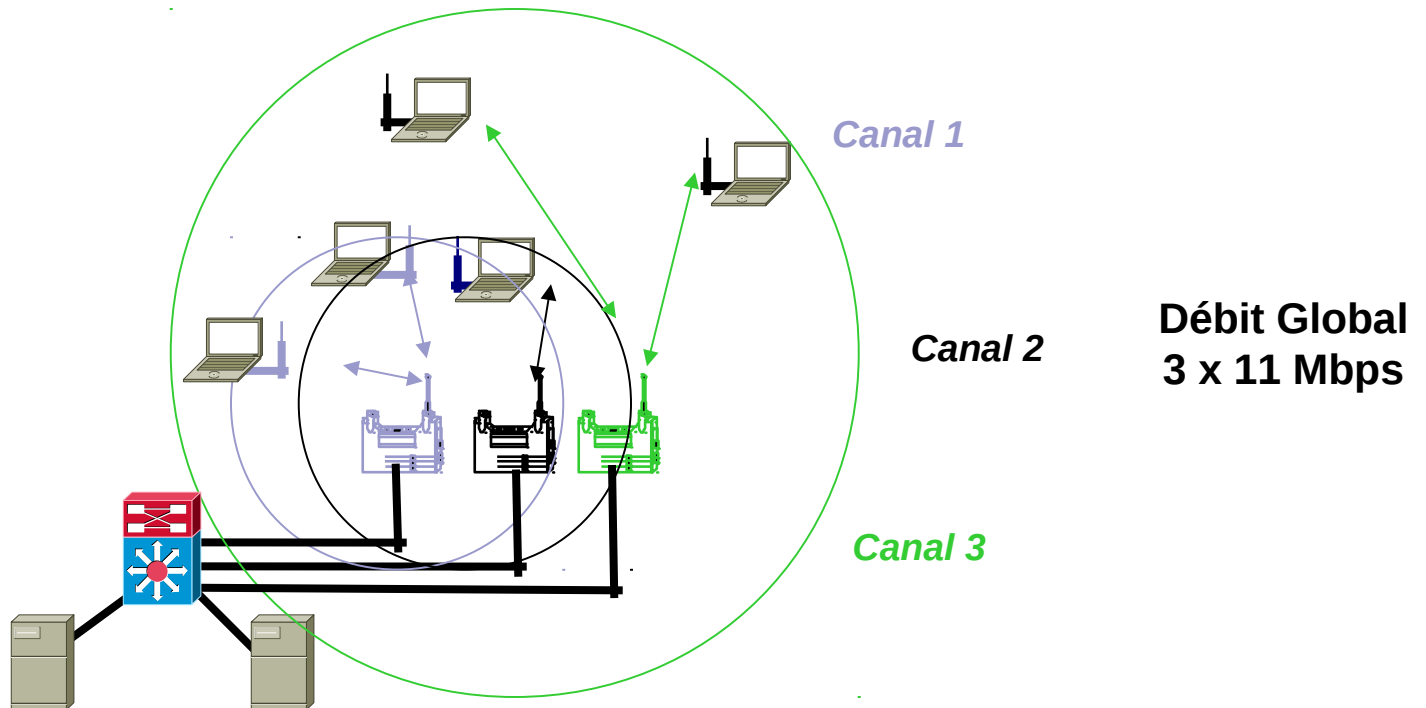
■ Load balancing (1)

- Recouvrement de plusieurs canaux sur la même zone
- Chaque canal va offrir 11 Mbps, soit un total de 33 Mbps
- Le client détermine le meilleur AP selon la force du signal et la charge de l'AP

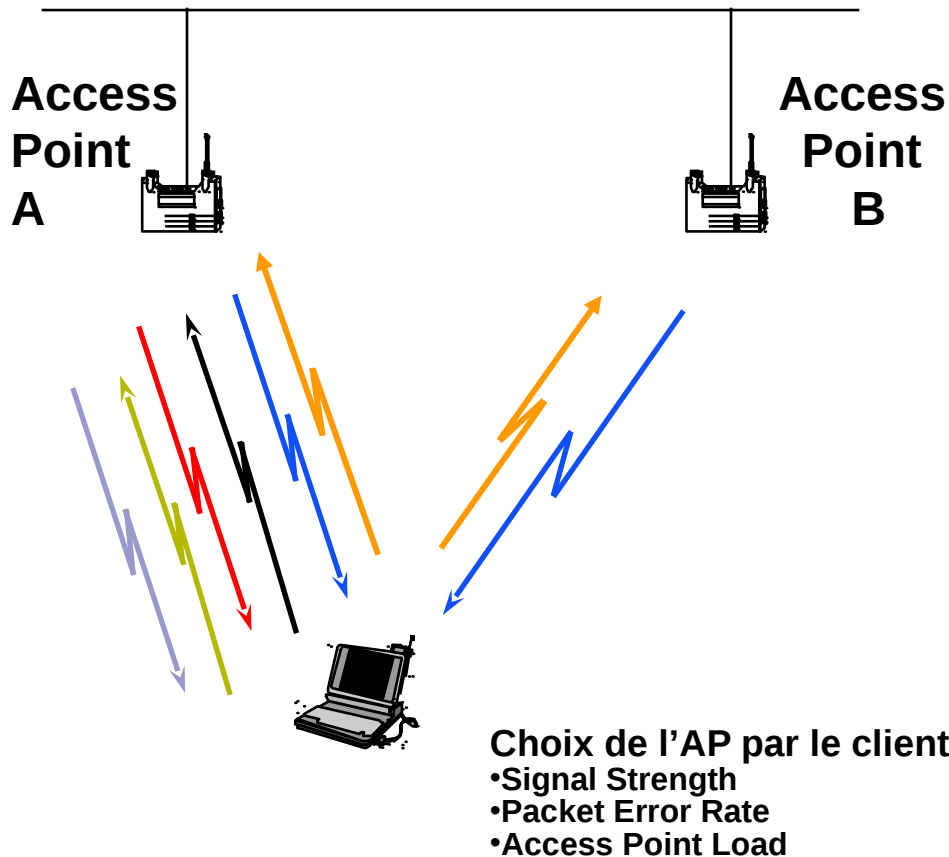


Load balancing (2)

- Exemple: 1 canal à 100mW, 2 canaux à 10mW



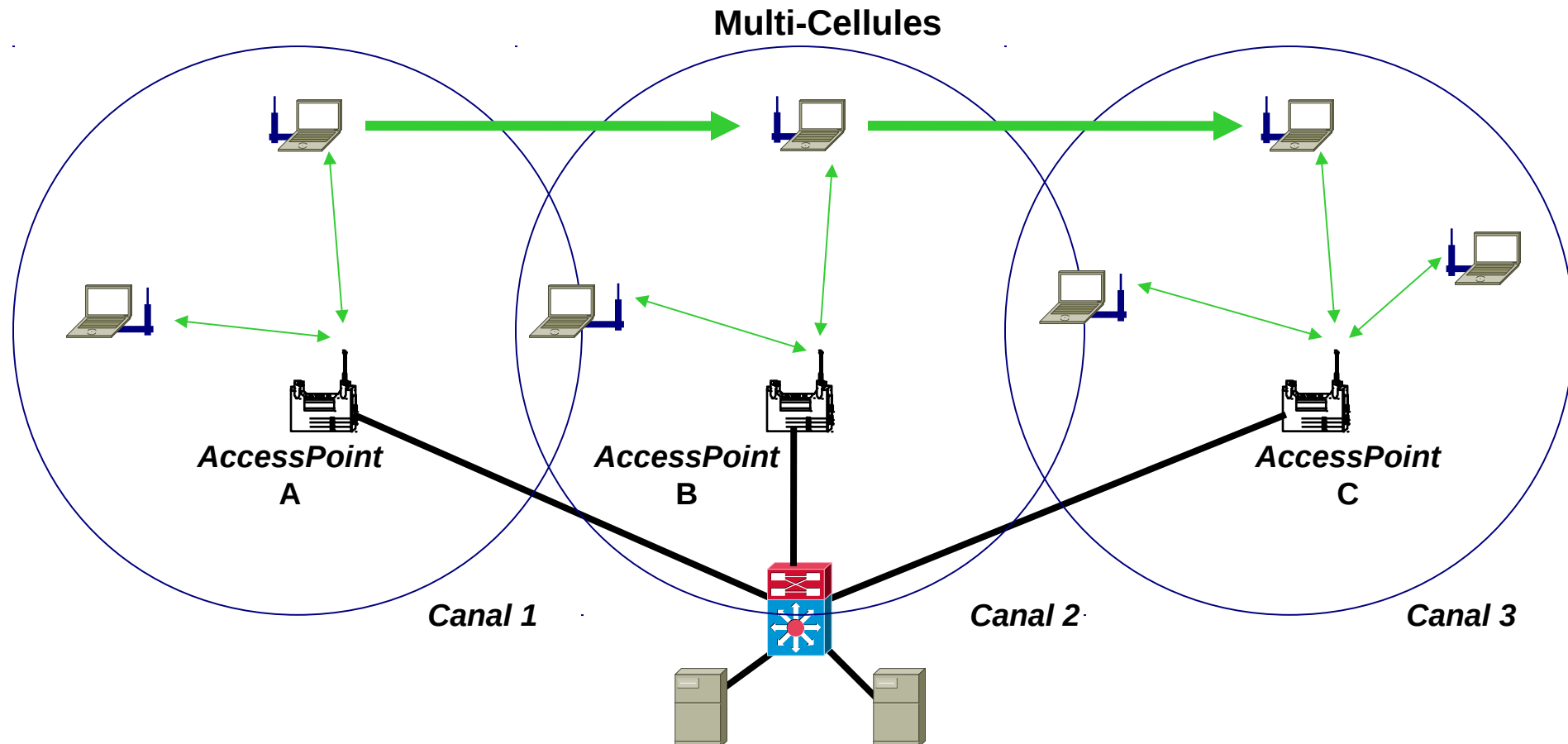
Enregistrement à un point d'accès

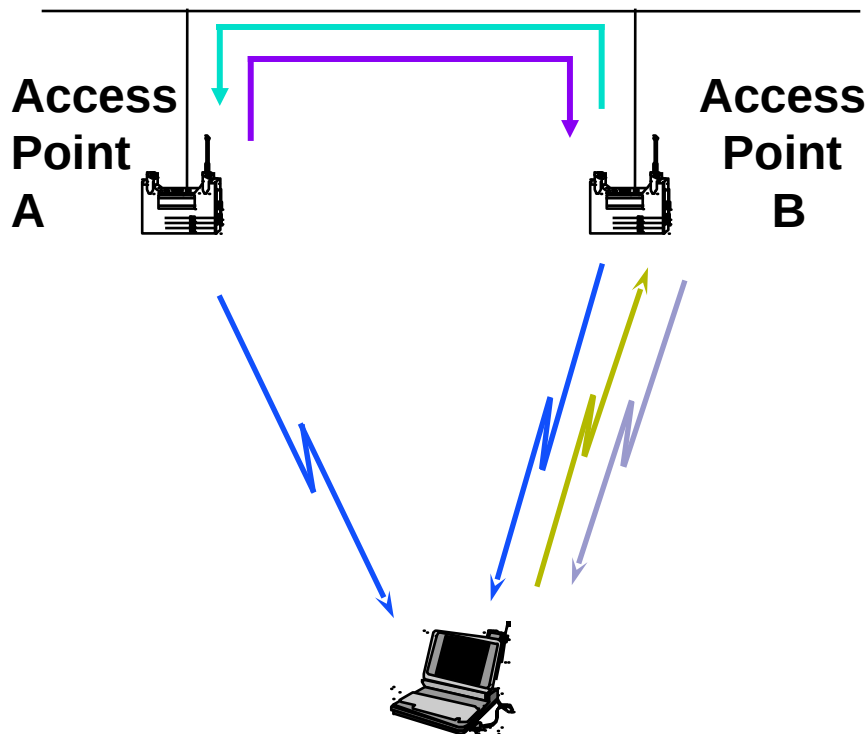


Phases d'enregistrement :

- ← Broadcast demande d'enregistrement
- AP répond
- Client évalue la réponse et sélectionne le meilleur AP
- ← Client envoi authentication
- AP confirme authentication et enregistre le client.
- ← Client envoi demande d'association à l'AP
- AP confirme l'association

■ Mobilité multicellule=roaming

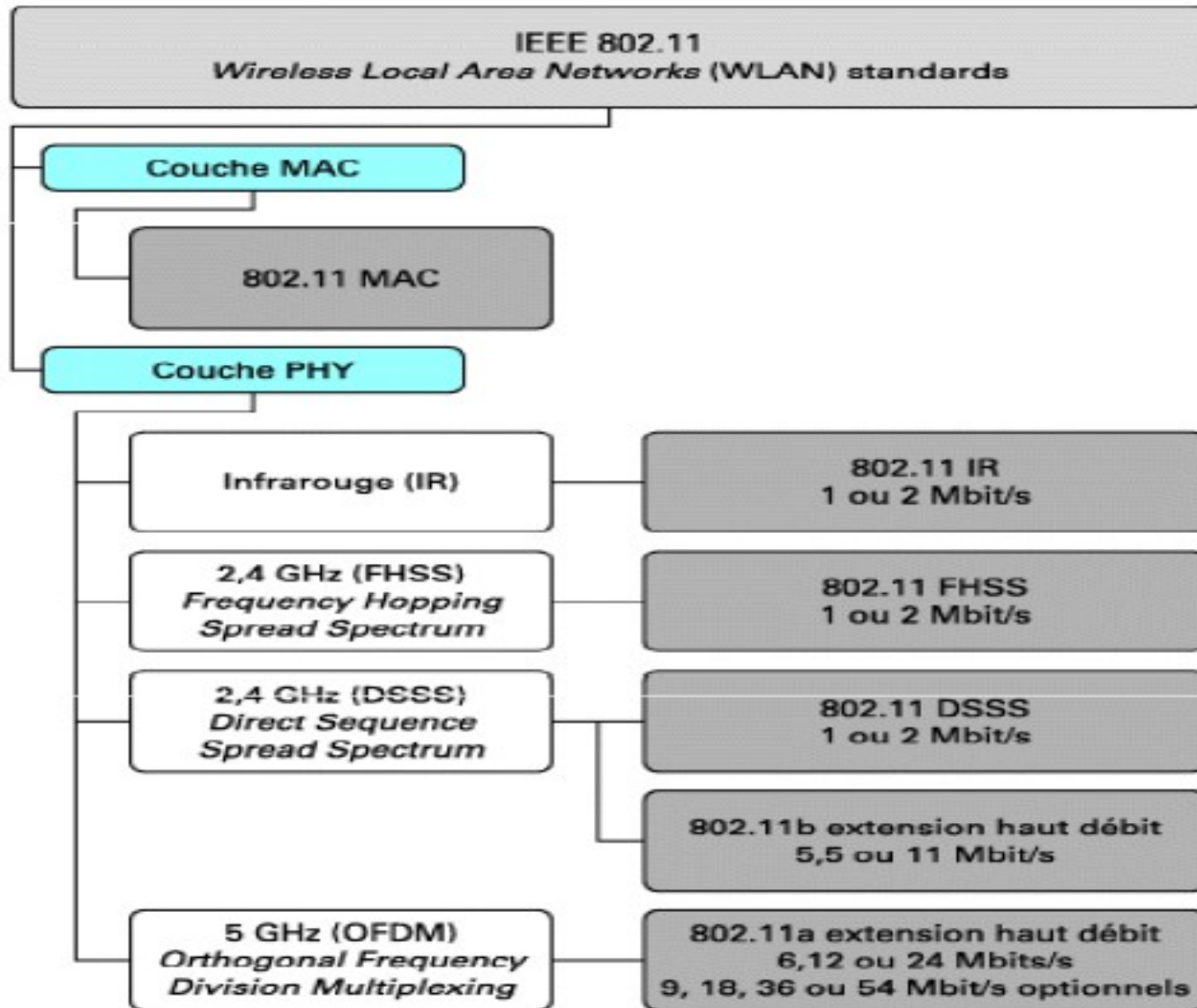




**Roaming entre *AccessPoint A*
et *AccessPoint B***

Etapes de ré-association :

- AP envoient des “*beacons*” réguliers
Client évalue les “*beacons*” et selectionne le meilleur AP
- ← Client envoie requête d’association au meilleur AP
- L’AP confirme l’association et enregistre le client
- ← L’AP B avertit l’AP A de la ré-association
- AP A envoi les paquets bufferisés à l’AP B et désenregistre le client



- Mécanismes d'accès au médium
- Protection contre les stations cachées
- Format des trames MAC

■ Méthodes d'accès

- CSMA/CA ou DCF (Distribution Coordination Function)
 - Méthode d'accès avec collision
 - CA (collision avoidance)
 - Méthode avec acquittement (ack)

- PCF (Point Coordination Function)
 - méthode d'accès sans collision
 - Méthode d'accès basé sur le polling
 - non implémenté au niveau des points d'accès

CSMA source

Si (canal libre pour DIFS) alors
transmettre toute la trame

Sinon

tantque (canal occupé)
attendre

fin tq

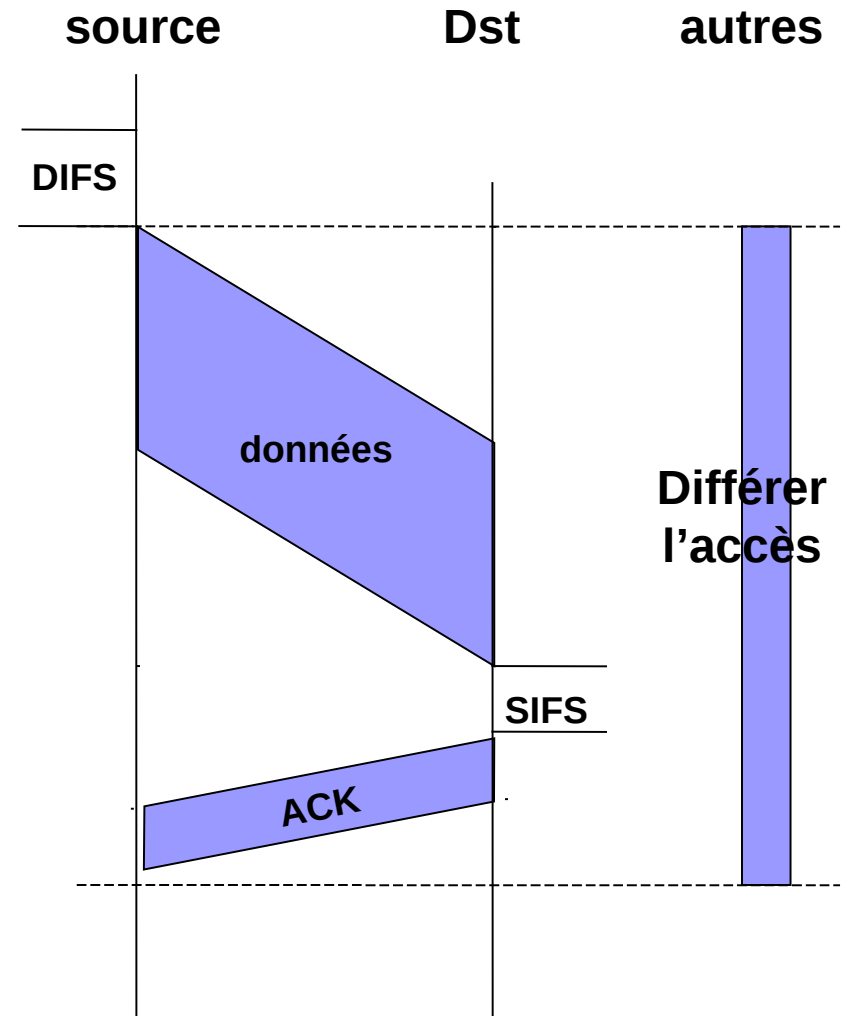
exécuter backoff

Finsi

CSMA recepateur

Si (reception = OK) alors
envoyer ACK après SIFS

Finsi



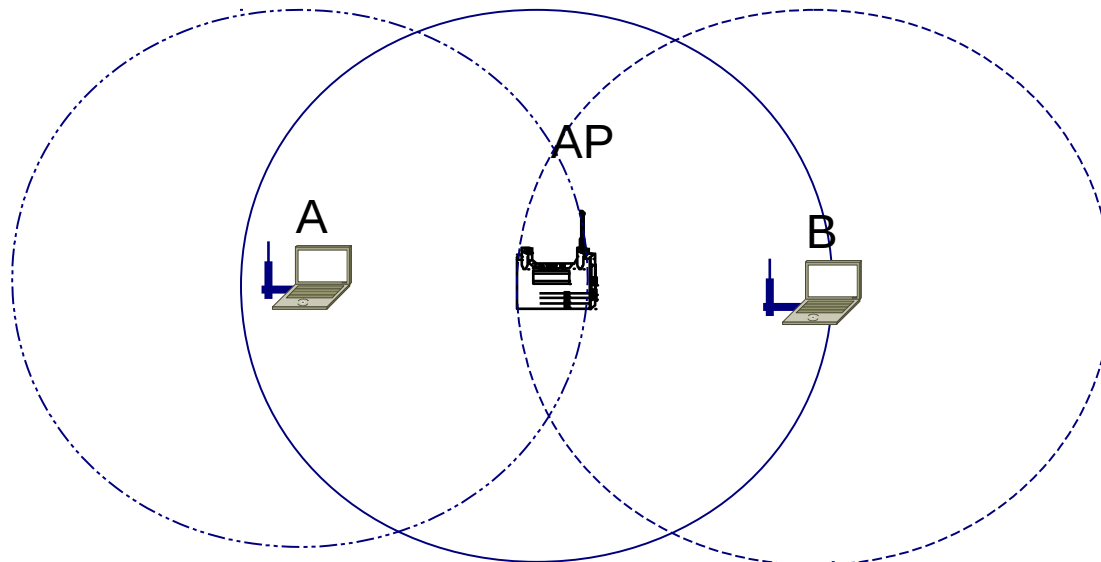
- ACK est nécessaire pour résoudre le problème du terminal caché

Problèmes des stations cachées

□ Problème:

- A et B peuvent entendre AP (ou une station à la place de AP)
 - A et B ne peuvent pas s'entendre l'une l'autre car la distance entre les 2 est trop grande (ou qu'un obstacle les empêche de communiquer entre elles)
- ➔ A transmet des données à AP, mais B ne détecte pas d'activité de la station A

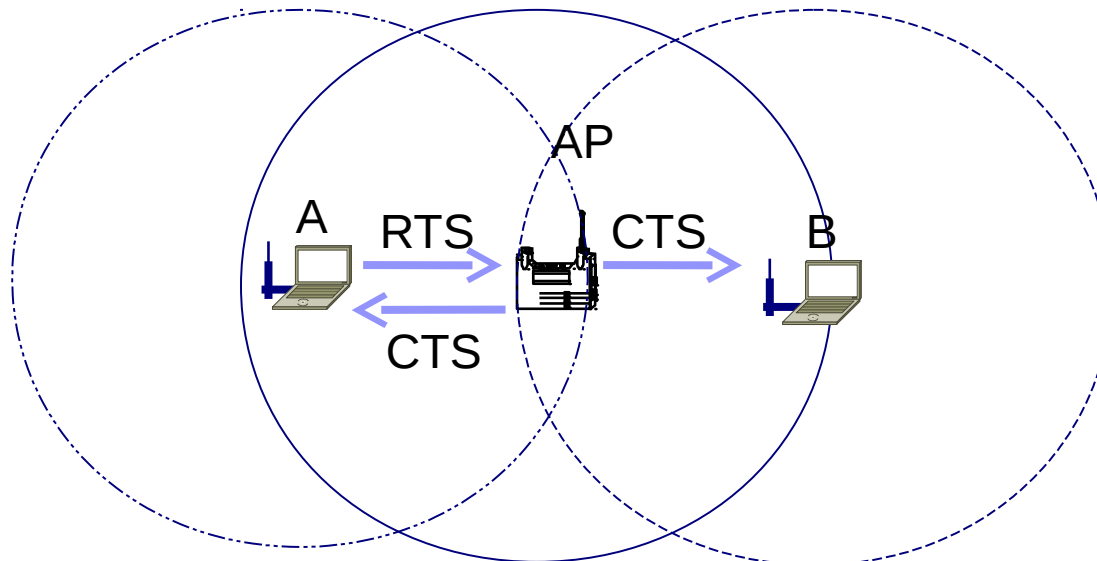
□ Solution RTS/CTS



Problèmes des stations cachées

□ RTS/CTS

- Si A et AP échangent des RTS / CTS, la station B est informée que le support est occupé après réception du CTS
 - B n'essaie donc pas de transmettre durant la transmission entre A et AP
- RTS/CTS ne permet pas d'éviter les collisions, mais une collision de RTS / CTS ne gaspille pas autant de bande passante qu'une collision de données



Méthodes d'accès CSMA/CA (avec RTS/CTS)

■ Source

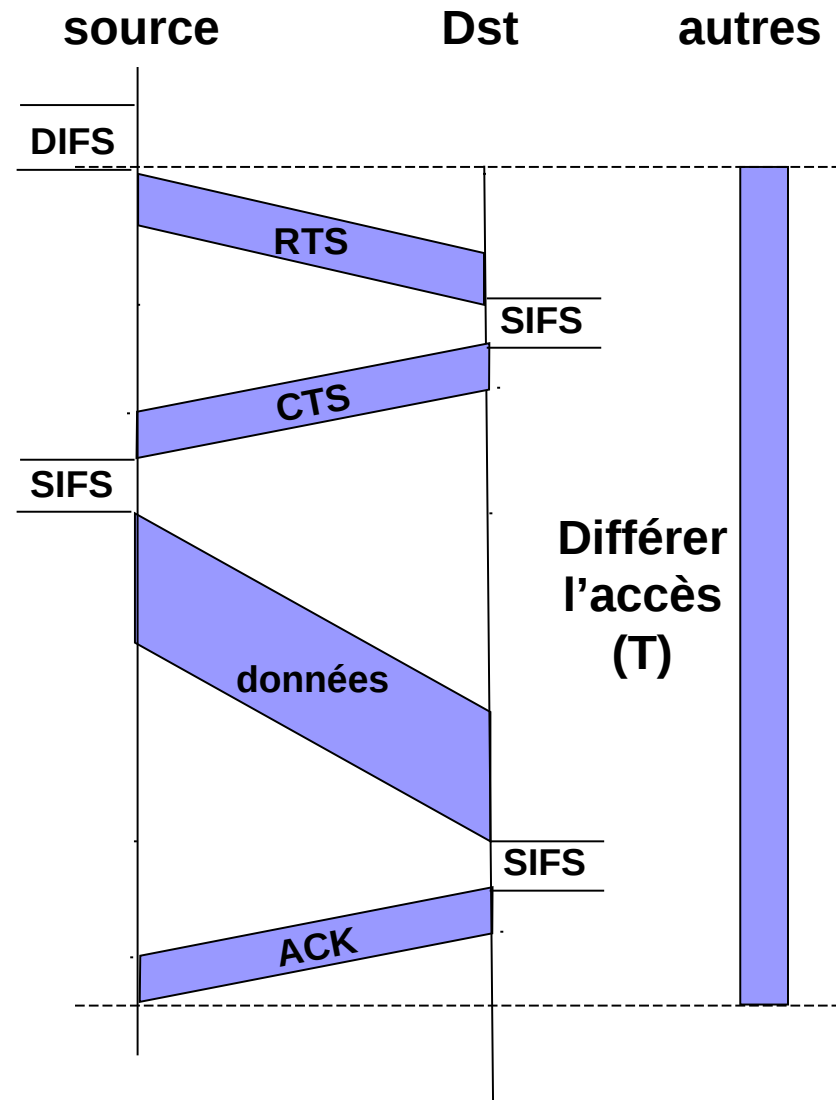
- Transmet un petit paquet RTS (Request To Send): indique la durée de transmission

■ Récepteur

- Répond par un petit paquet CTS (Clear To Send) notifiant s'il y a des nœuds cachés

■ Les autres

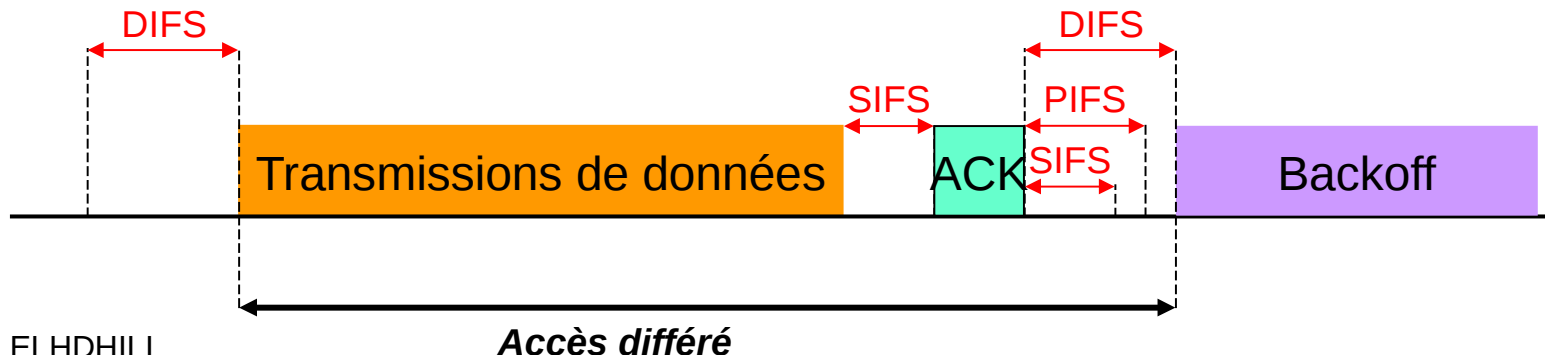
- S'ils reçoivent soit RTS soit CTS, ne vont pas transmettre durant le temps T



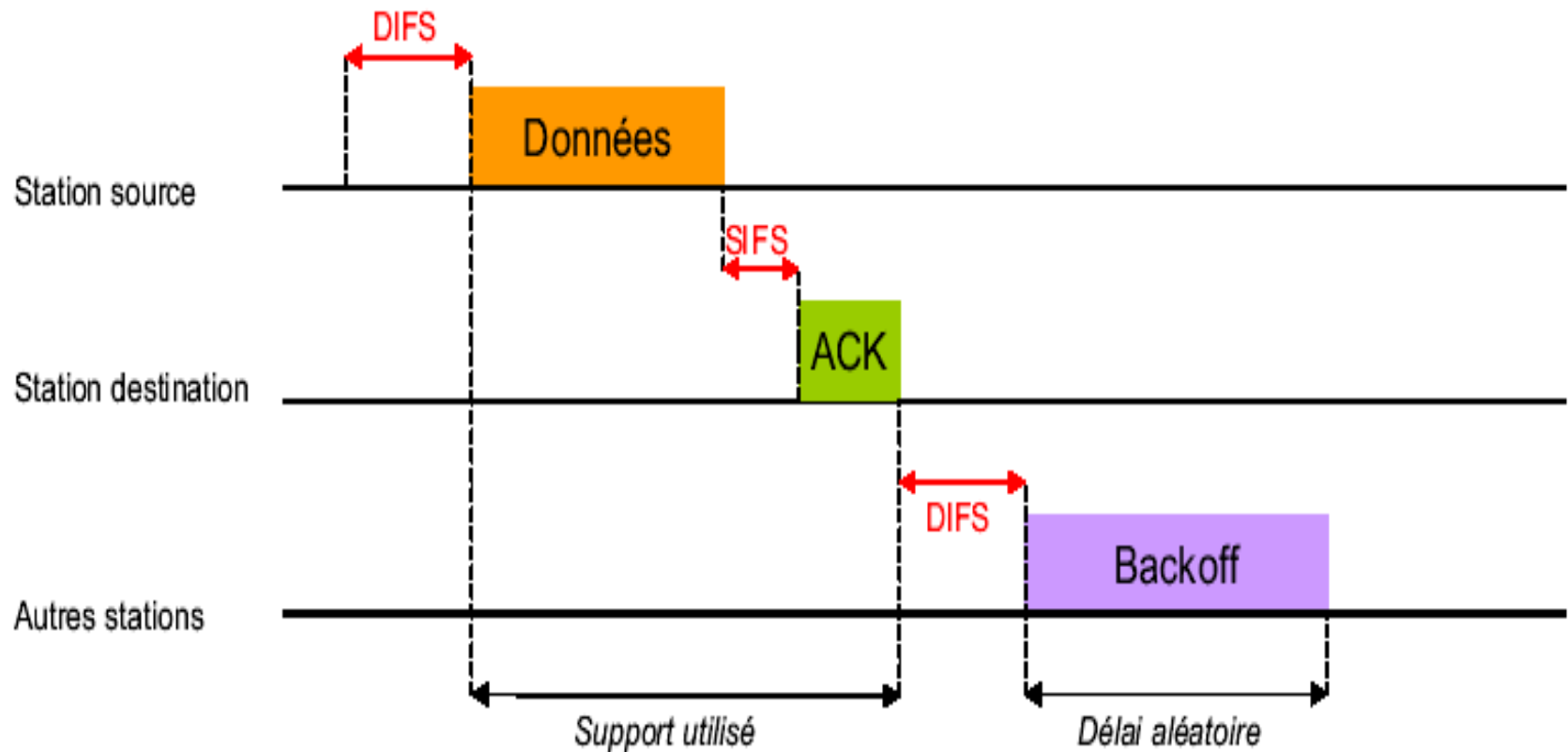
■ 4 types temporisateurs

- **SIFS** (*Short IFS*): utilisé pour la transmission des ACK et des rafales de trames issues d'une même station.
- **PIFS** (*PCF IFS*) : temps minimal d'attente avant transmission en mode PCF
- **DIFS** (*DCF IFS*): temps minimal d'attente avant transmission en mode DCF.
- **EIFS** (Extended IFS): utilisé lorsqu'il y a détection de collision pour éviter des collisions en série. Ce temps relativement long par rapport aux autres IFS.

■ SIFS < PIFS < DIFS < EIFS

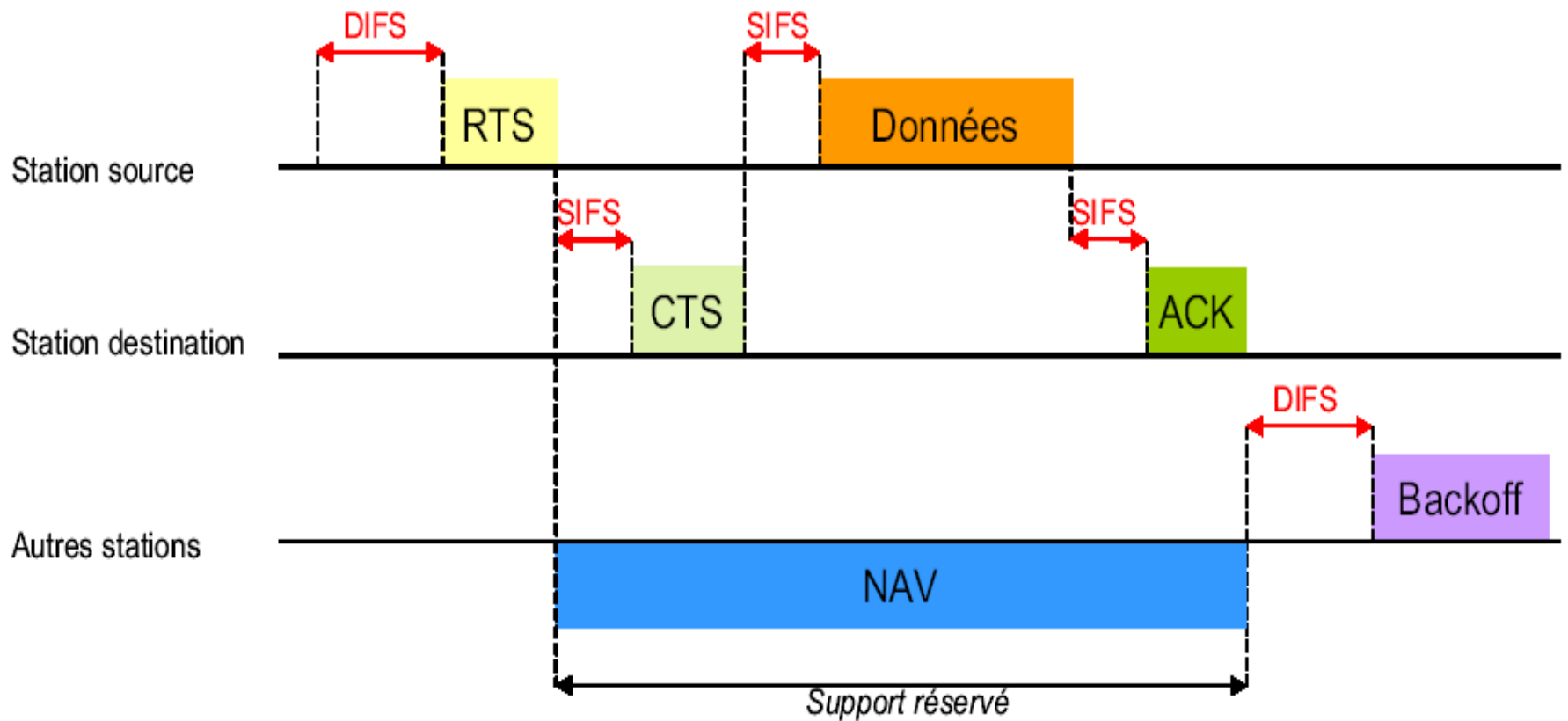


Exemple de transmission



■ exemple de transmission avec réservation

□ RTS/CTS



Le temps est découpé en Timeslot : durée un peu plus petite que la durée de transmission minimale d'une trame.

Chaque station:

calcule la valeur d'un temporisateur TB= timer backoff, compris entre 0 et 7

Tantque (support libre **et** TB >0) faire
 décrémentent TB

Fintq

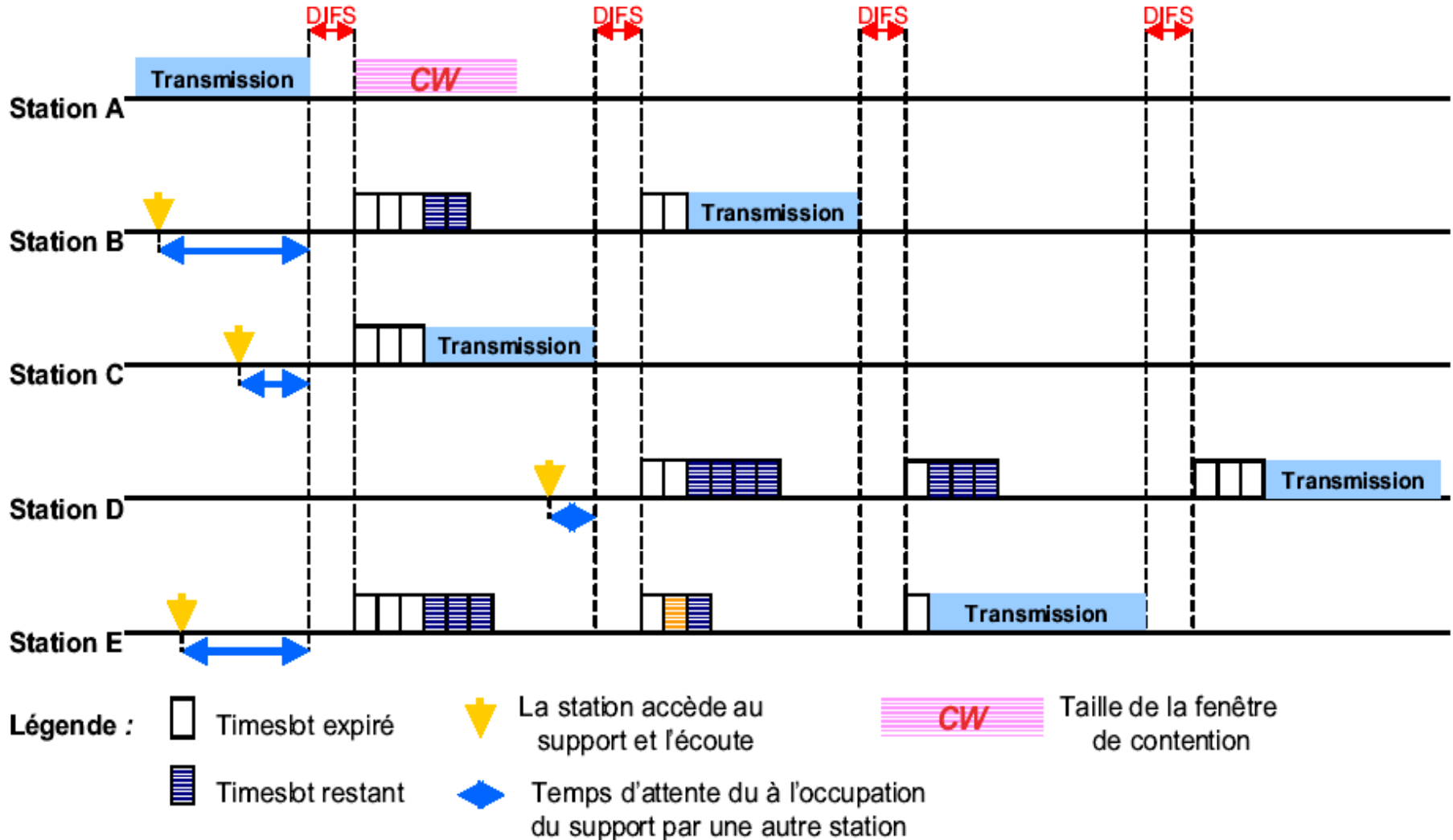
Si (TB>0) **alors** //support occupé
 bloquer le temporisateur TB

Sinon // support libre et TB=0
 Transmettre la trame

finsi

Si (collision) **alors** //2 ou plusieurs stations ont atteint la valeur 0 au même instant,
 régénérer un nouveau temporisateur aléatoire TB appartenant à $[[0..2^n]]$ * timeslot

finsi

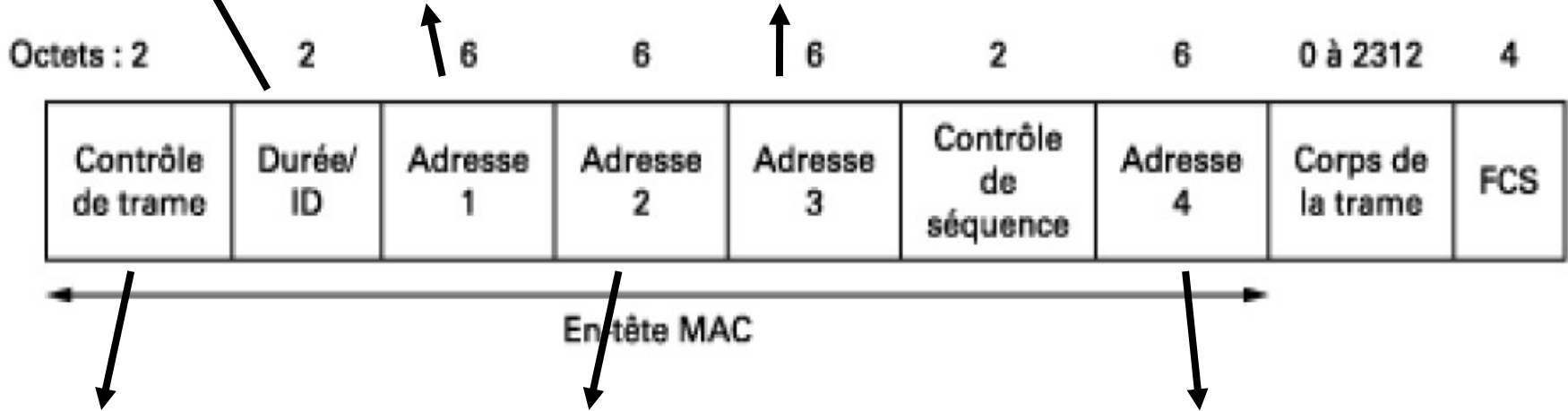


Format général d'une trame de données

durée
calculée
pour la
transmission
de la trame.

destinataire
des données

l'adresse de la station à laquelle
cette trame est envoyée (utile
lorsque la trame doit transiter par
des relais avant d'atteindre sa
destination) ;



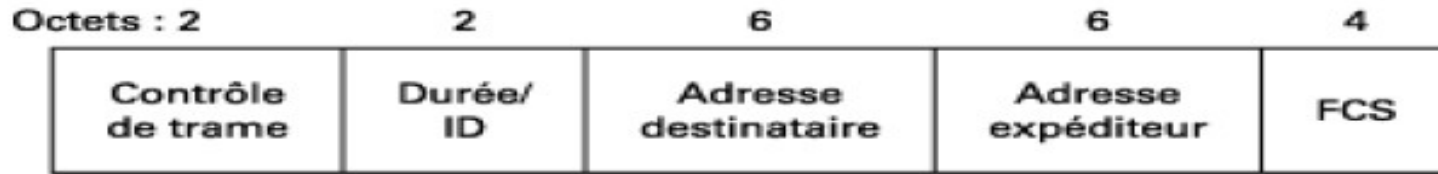
données telles que
le protocole utilisé
et le type de trame
transmise.

Source des
données

numéro de
séquence ou
numéro de
fragment (en cas
de fragmentation)

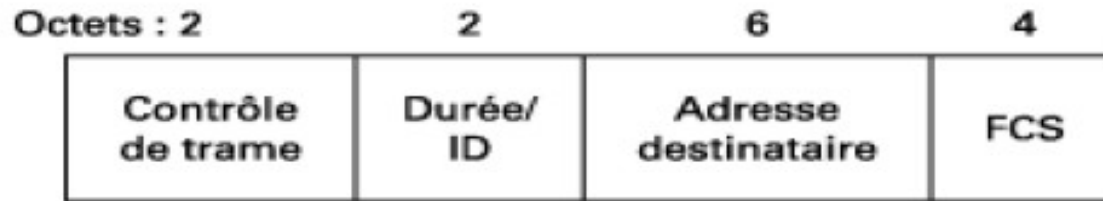
l'adresse de la station
expédiant la présente
trame (utile lorsque cette
station est une station
relais).

Format des trames MAC



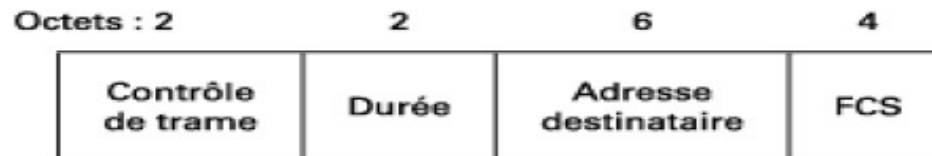
Trame RTS

- $Durée = SIFS + \text{temps nécessaire à la transmission de CTS} + SIFS + \text{temps nécessaire à la transmission des données} + SIFS + \text{temps nécessaire à la transmission du ACK}$



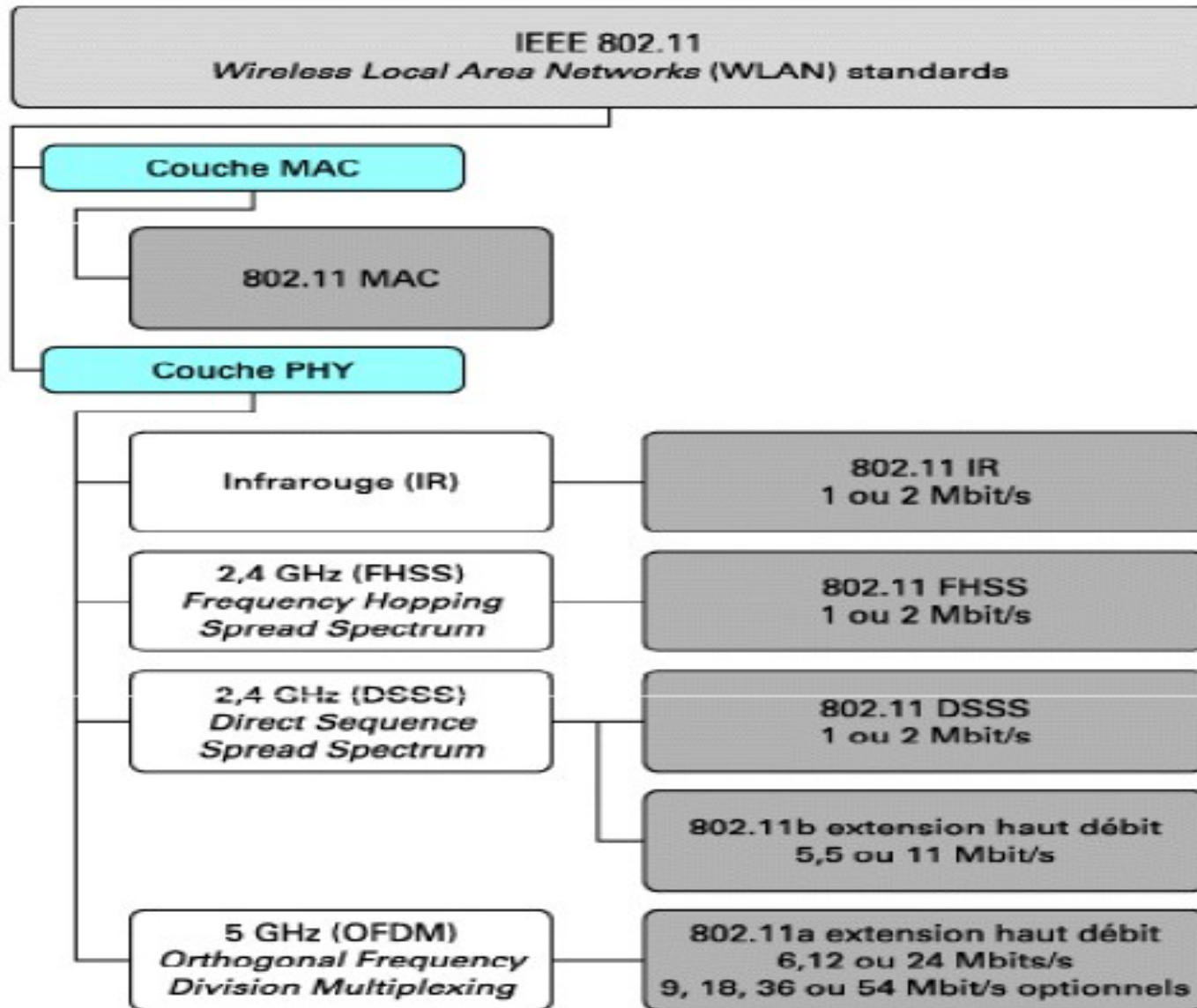
Trame CTS

- $Durée = \text{duration de RTS} - \text{temps de transmission de CTS} - SIFS$

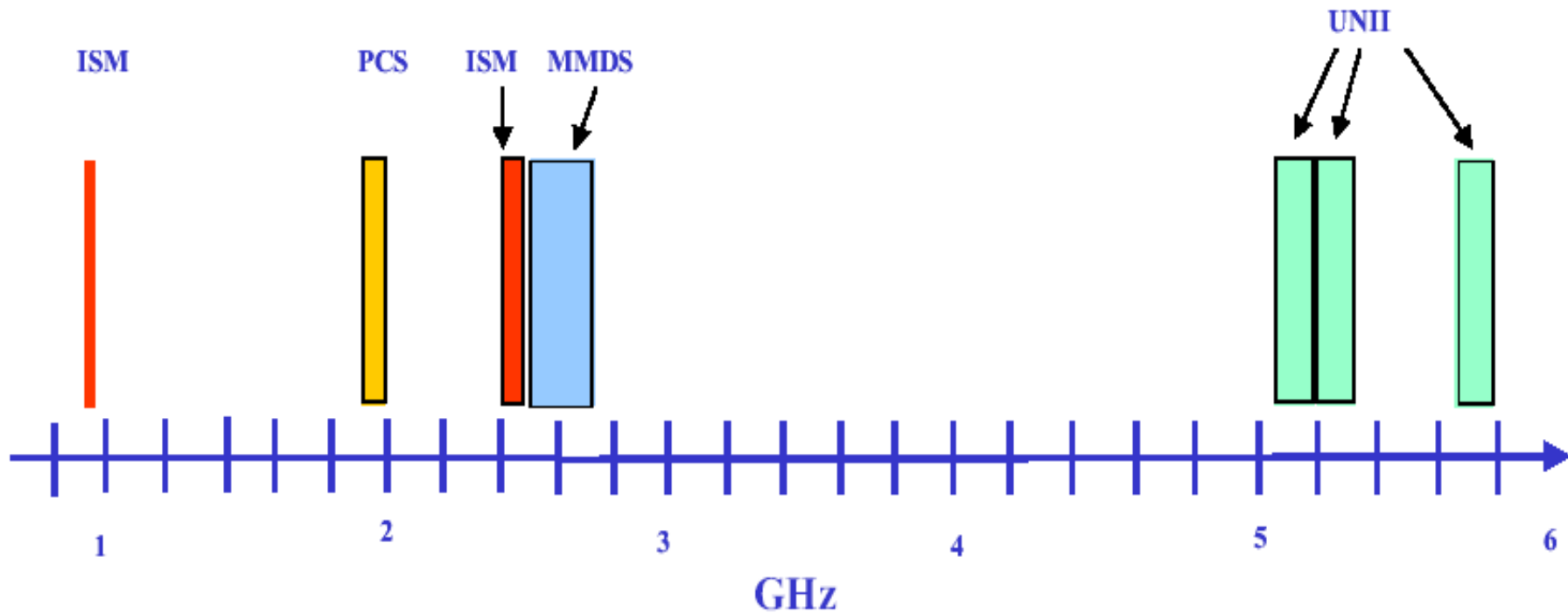


Trame d'acquiescement

- $Durée = 0$ (sauf s'il y a fragmentation)



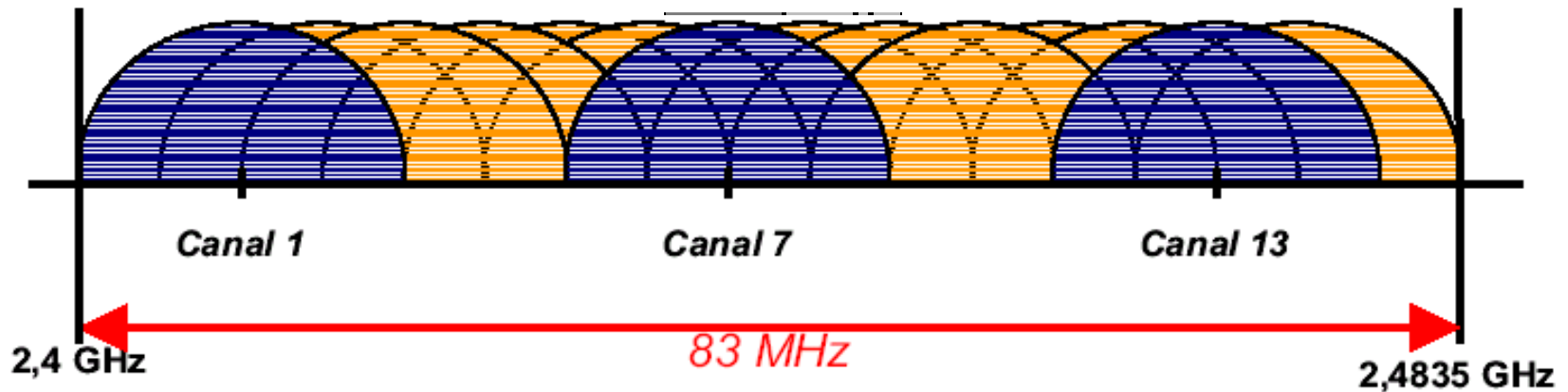
Couche physique



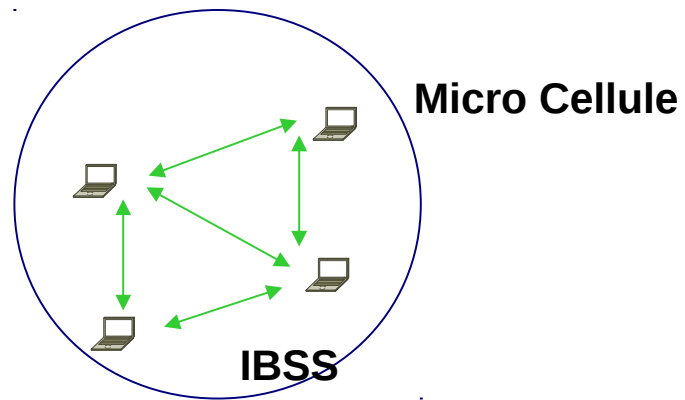
-  **ISM: Industry, Science & Medicine**
-  **PCS: Personal Communication Services**
-  **MMDS: Multi-channel Multipoint Distribution System**
-  **UNII: Unlicensed National Information Infrastructure**

Couche physique 802.11b

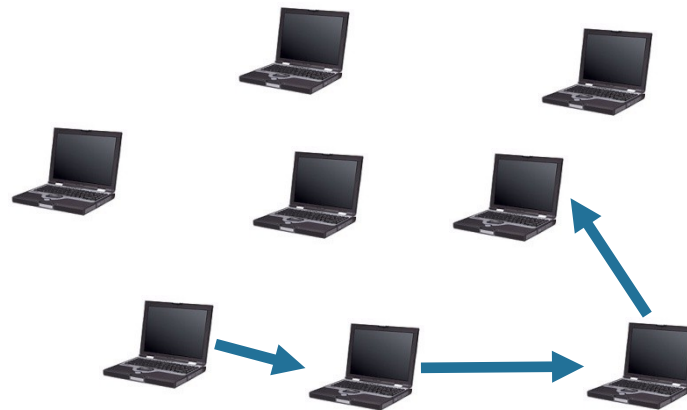
- Bande ISM
- Bande divisée en 14 canaux de 20 MHz
- Fréquences centrales des canaux espacées de 5 MHz
- La transmission ne se fait que sur un seul canal
- Co-localisation de 3 réseaux au sein d'un même espace



Réseaux ad hoc



- Ensemble de nœuds autonomes qui communiquent librement sans aucune infrastructure préexistante



- Les applications militaires
 - Dans les champs de bataille

- Les applications environnementales
 - Réseaux de capteurs

- Les applications d'urgences:
 - Sauvetage, inondation, tremblement de terre

- Les applications commerciales
 - vente de produits dans les grandes surfaces

- Extension des réseaux à infrastructure
 - sur des zones non couverte par l'infrastructure
- Réseaux en mouvement
 - Vanets
- Travail collaboratif
 - lors d'une réunion ou d'une conférence.

Réseaux ad hoc: caractéristiques

■ Absence d'infrastructure :

- les nœuds collaborent pour accomplir les fonctions du réseau (routage, gestion...).
- un réseau ad hoc peut être facilement formé pour un besoin **temporaire** ou dans des régions où il est très difficile de mettre en place une infrastructure.

■ Topologie dynamique

- Nœuds mobiles → changements fréquents de topologie.

• Auto-organisation

- les nœuds ne peuvent pas dépendre d'un seul nœud central d'administration (la disponibilité de ce dernier n'est pas garantie).
- Ainsi, les nœuds du réseau doivent s'auto-organiser (routage, adressage, sécurité...)

Réseaux ad hoc: caractéristiques

■ Système distribué

- Pas de protocoles ou services centralisés

■ Énergie limitée :

- nœuds alimentés à l'aide de batteries parce qu'ils sont mobiles et destinés à former des réseaux dans des régions où il est souvent difficile de trouver des sources d'alimentation.

■ Bande passante limitée

- partagée entre les différents noeuds du réseau,

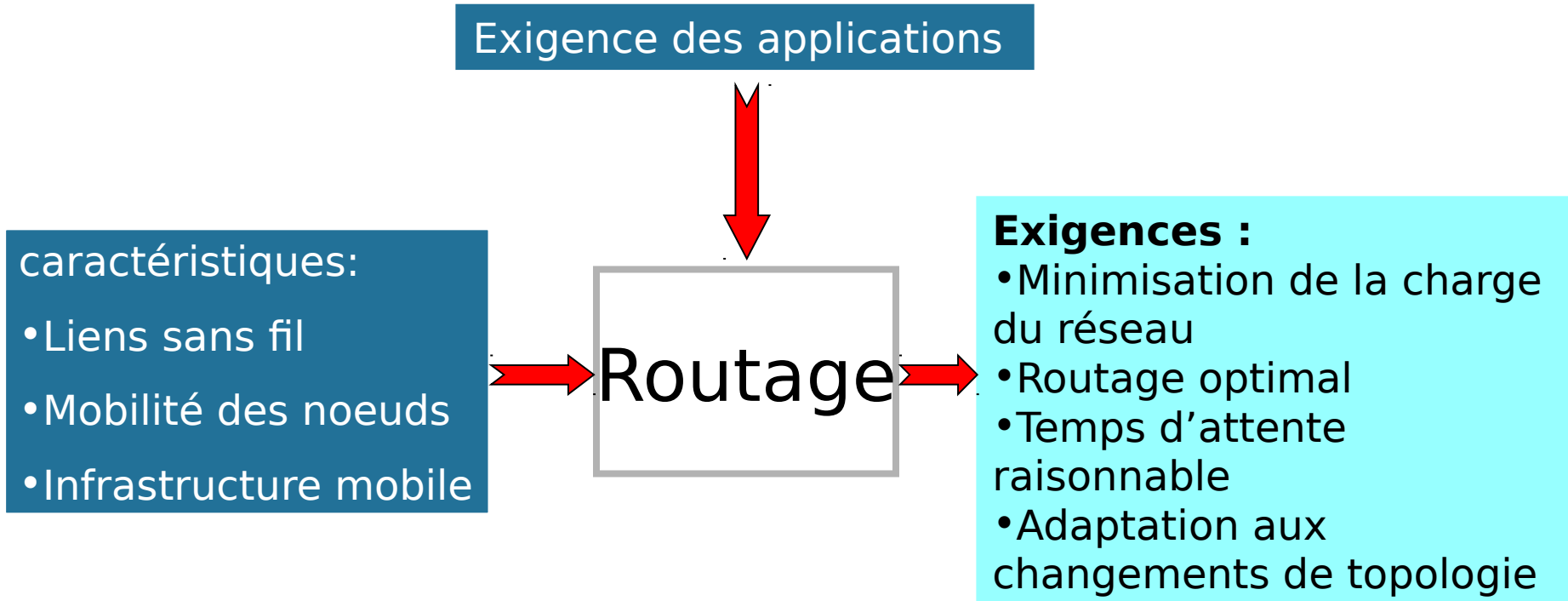
■ Médium partagé :

- Canal radio diffuseur par nature et est partagé entre les noeuds du réseau

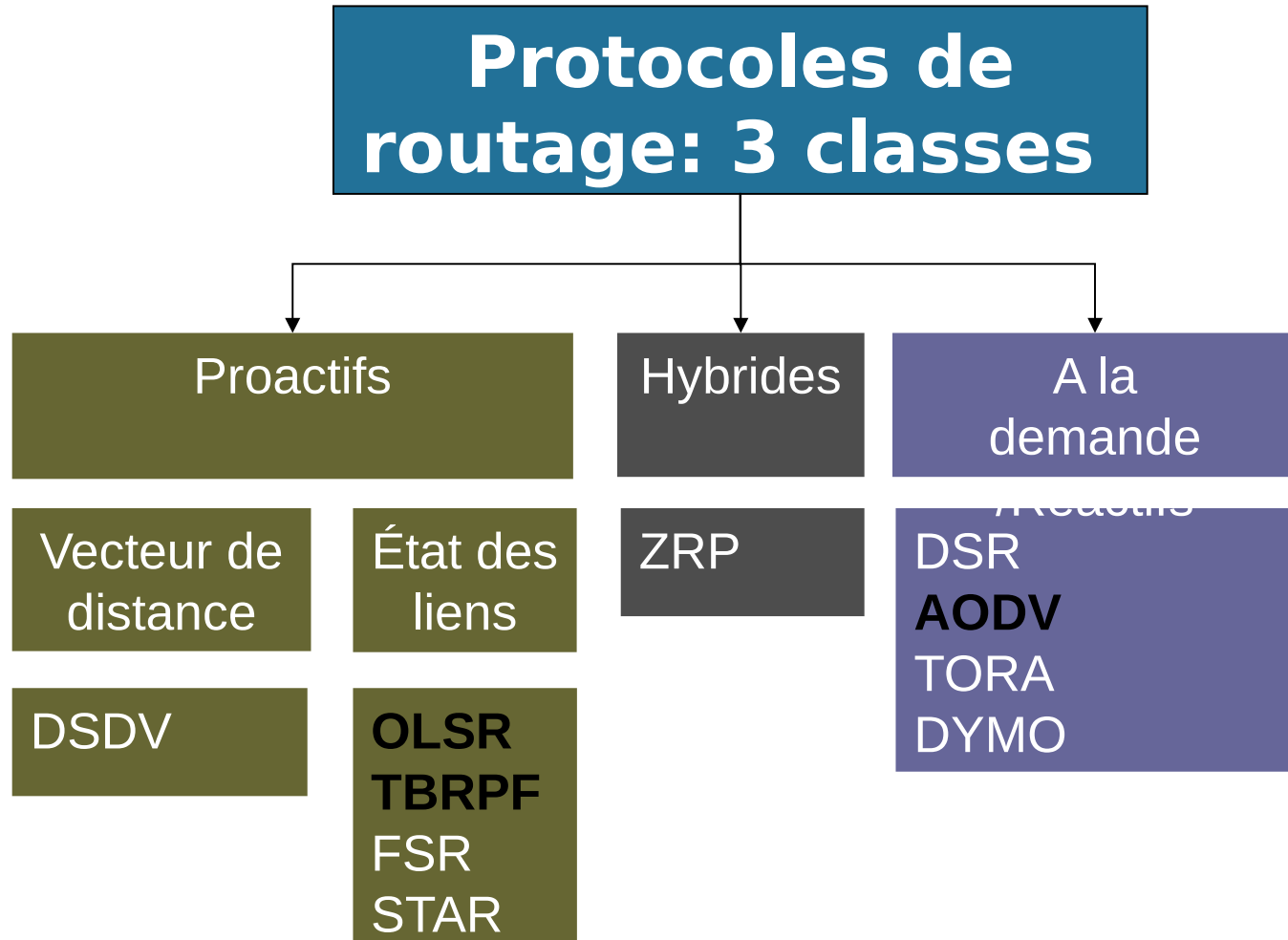
■ Ces caractéristiques → apparition de nouveaux **problèmes**:

- routage
- Gestion des transmissions
- Économie d'énergie
- Sécurité
- Auto-organisation
- Configuration
- ...

Problématique de routage



Les protocoles de routage



Protocoles réactifs

- **Établissement des routes à la demande**

- **Induit une lenteur**



- **Deux techniques:**

- La source envoie au prochain nœud vers la destination (AODV)
- Routage par la source : la source spécifie tout le chemin à suivre par le paquet de donnée (DSR)

- **Exemple : AODV, DSR, DYMO,...**

Protocoles proactifs

- **L'établissement des routes à l'avance**
➔ **induit un contrôle excessif (overhead)**

- **Deux méthodes:**

- **Vecteur de Distance** (Distance Vector)

- Prochain nœud vers chaque destination
 - Métrique
 - Exemple: DSDV

- **État de Lien** (Link State):

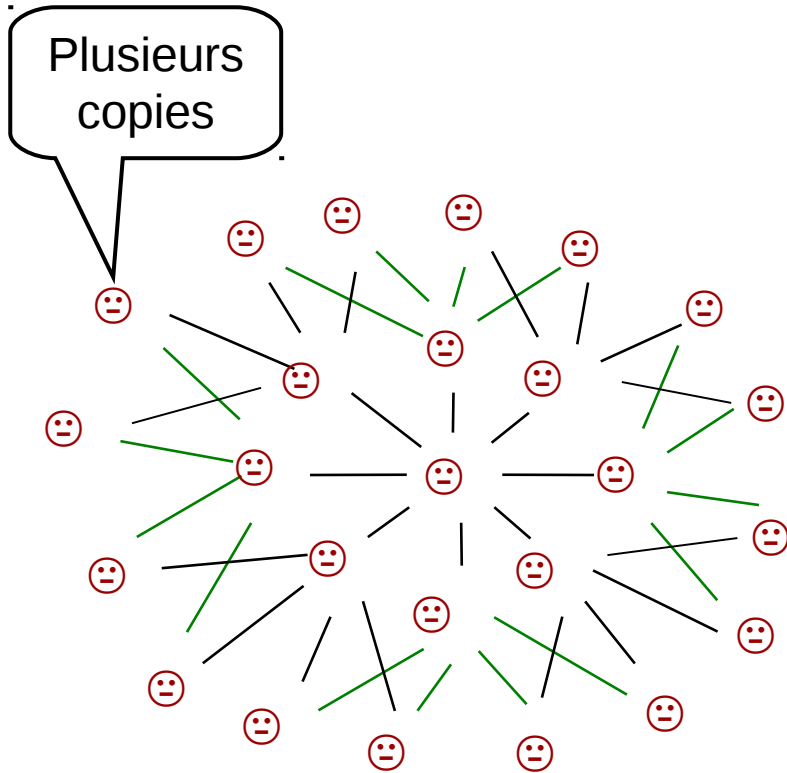
- Topologie du réseau
 - Exemple: **OLSR**, TBRPF

Optimized **L**ink **S**tate **R**outing Protocol (**OLSR**)

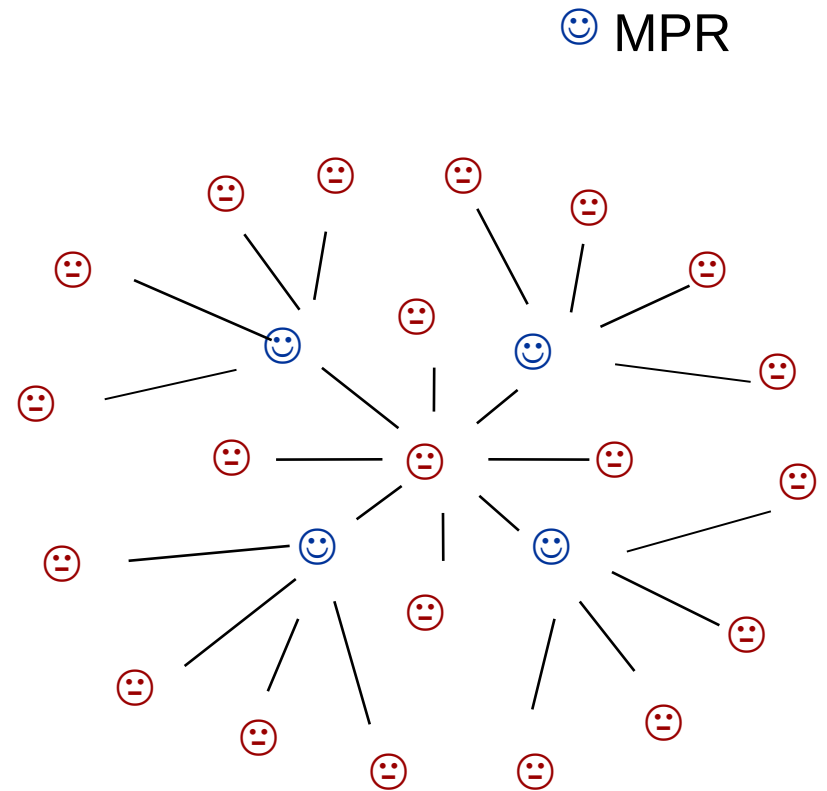
OLSR – Présentation

- Optimized Link State Routing Protocol
 - Project Hipercom, INRIA
 - T. Clausen, P. Jacquet (RFC 3626) Octobre 2003
- Proactif, état de lien
- Échange périodique:
 - Hello
 - voisins
 - TC (Topology Control)
 - Informations de routage
 - Transmission par MPR
- Relais multipoint (MPR)
 - Liste des voisins
 - minimiser les effets d'inondation

OLSR - MPR



Inondation simple



Inondation par MPR

- **MPR : Multipoint Relay**

- Chaque noeud N du réseau sélectionne un ensemble $MPR(N)$ parmi ses voisins. Cet ensemble couvre tous les noeuds à 2 sauts de N
- Les voisins n'appartenant pas à $MPR(N)$ traitent les paquets de contrôle de N, **mais ne les relayent pas**



Comment un voisin de N puisse connaître qu'il appartient ou non à $MPR(N)$?



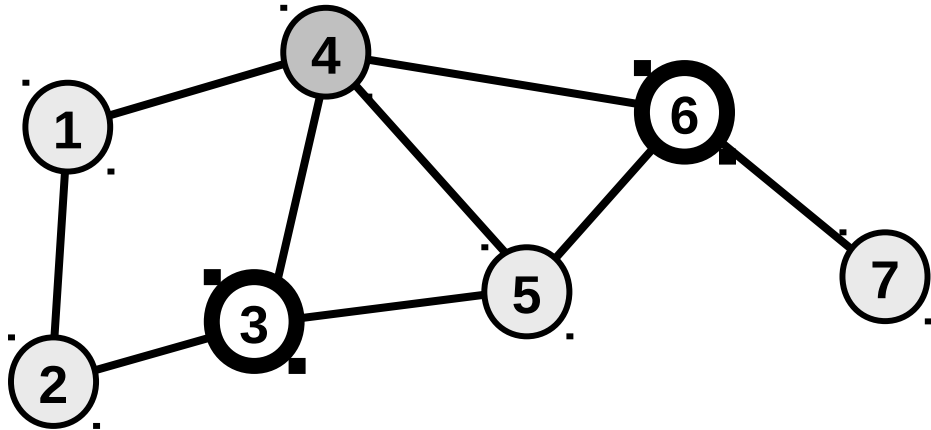
Garder des listes MS (**Multipoint Relay Selector**)

OLSR – MS

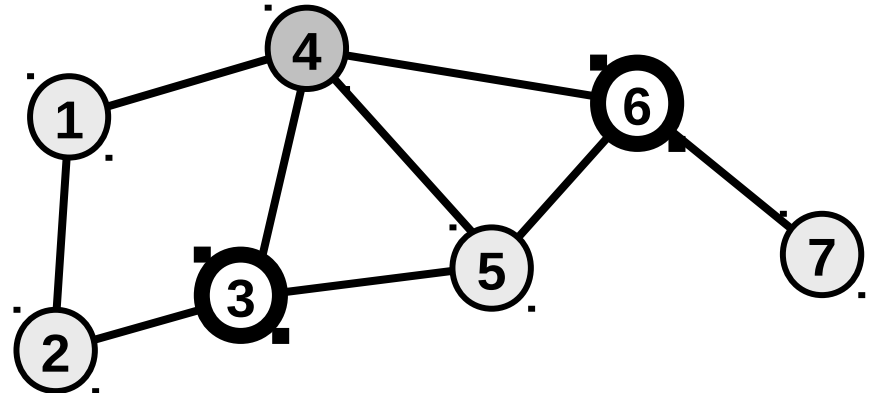
•MS : Multipoint Relay Selector

–MS(N) : Ensemble de noeuds qui ont choisi N comme leurs MPR.

Exemple: $MPR(4) = \{ 3, 6 \}$



$MS(3) = \{ \dots, 4, \dots \}$
 $MS(6) = \{ \dots, 4, \dots \}$



OLSR – Messages

- Messages périodiquement transmis:

- HELLO (émis chaque 2s)

- Contiennent la liste des voisins ainsi que les types de liens (Symétrique, Asymétrique,...).
 - Permettent de sélectionner les MPRs.
 - Utilisés pour le calcul des tables de voisins

- TC : Topology Control (émis chaque 2s)

- Permettent de déclarer les relais multipoints dans le réseau.
 - Transmis par MPRs
 - Utilisés pour le calcul des tables de topologie

- MID: Multiple Interface Declaration

- Multi interface

OLSR -HELLO

A

B

A n'entend pas B. la trame hello de A est vide



B entend A. la trame hello de B contient A avec statut asymétrique



A entend B et sait être entendu par B. la trame hello de A contient B avec statut symétrique

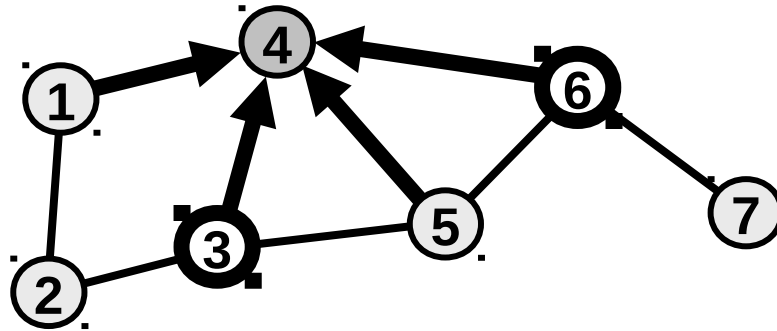


B entend A et sait être entendu par A. la trame hello de B contient A avec statut symétrique



Hello(N)={voisin_N, type de lien (sym, asym,MPR ou perdu)}

OLSR – Heuristique de calcul des MPRs



Étape1:

- MPR(4) = {}
- Supprimer les voisins immédiats de (4) qui ne couvrent que des voisins directs qui ont été considérés comme voisins à 2 sauts
- Ajouter les uniques voisins directs de quelques voisins à 2 sauts de 4 → MPR(4) = {6}

Étape2:

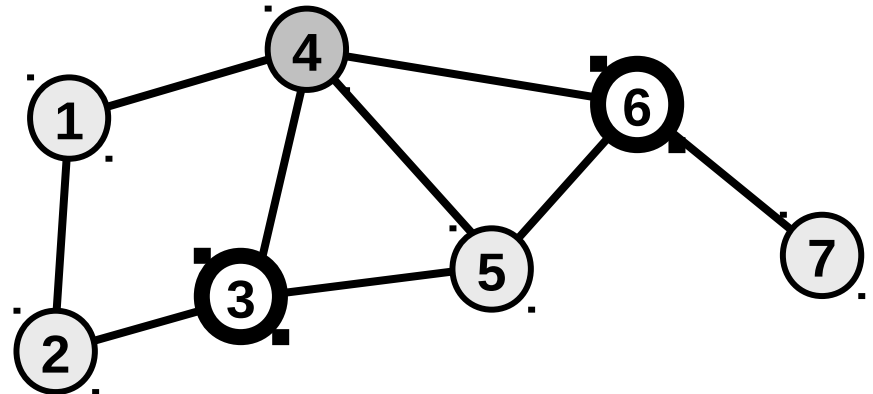
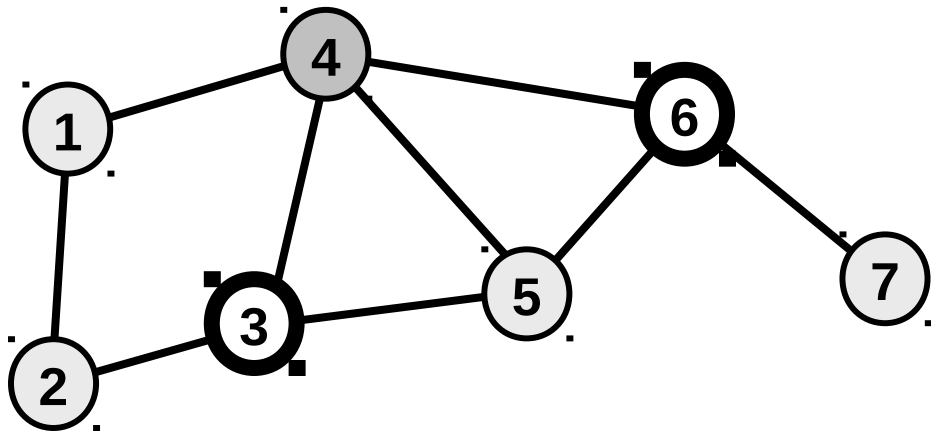
- Tant qu'il existe encore des voisins à 2 sauts non couverts par MPR(x), on choisit le voisin qui couvre plus de voisins à 2 sauts
- MPR(4) = {6, 3}

OLSR – TC

- Un noeud N traite les messages TC, mais ne relaye que les messages TC venant de l'un de ses MS(N) : Si le noeud est MPR de N.

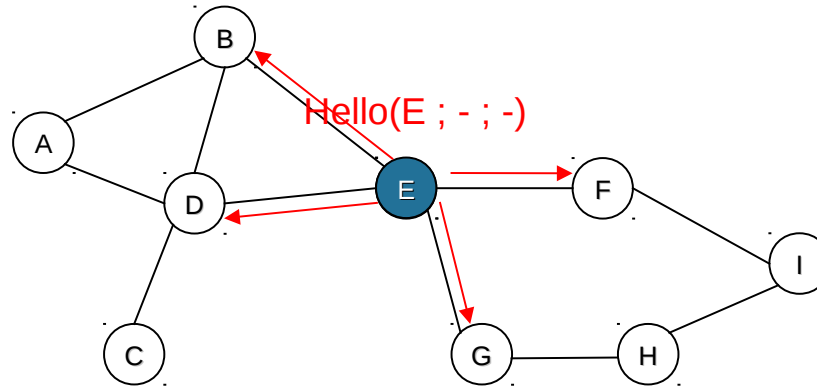
Exemple: $MPR(4) = \{ 3, 6 \}$

**$MS(3) = \{ \dots, 4, \dots \}$
 $MS(6) = \{ \dots, 4, \dots \}$**

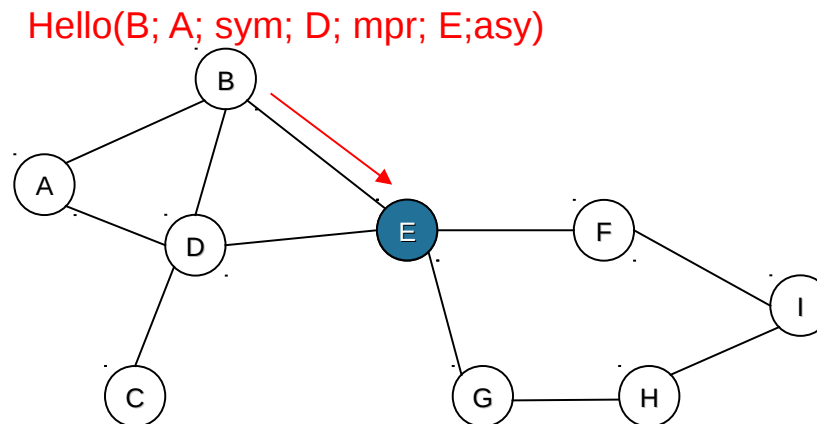


En utilisant les message TC, chaque noeud forme une table topologique qu'il utilise pour calculer une table de routage

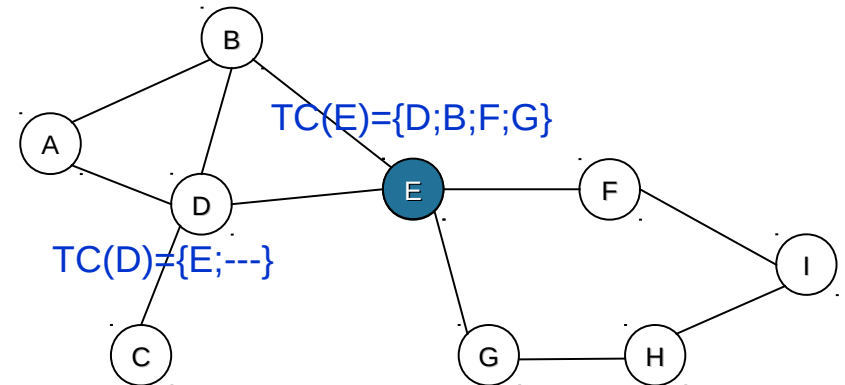
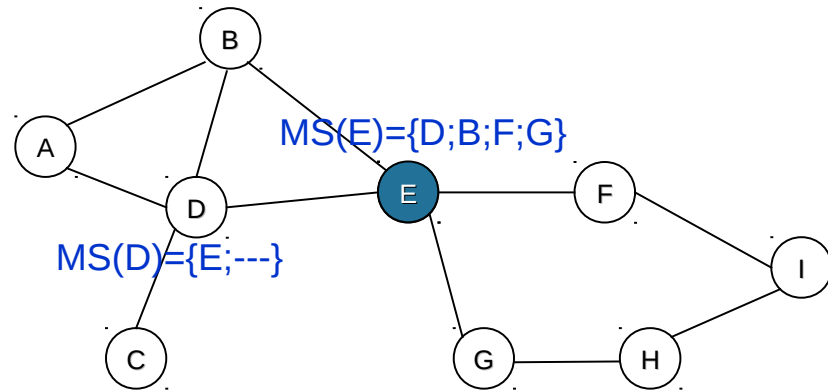
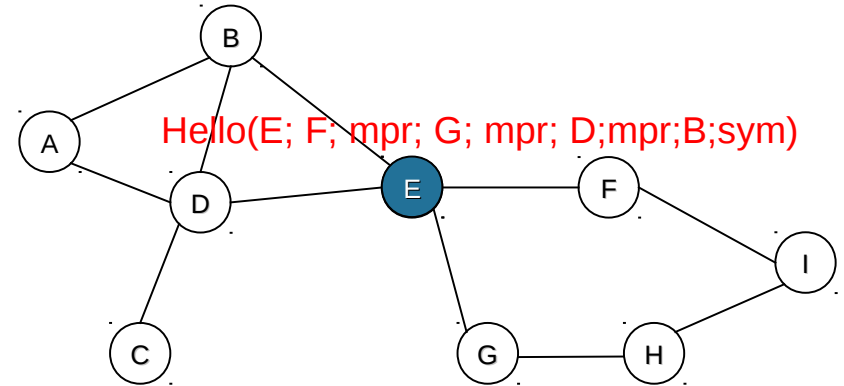
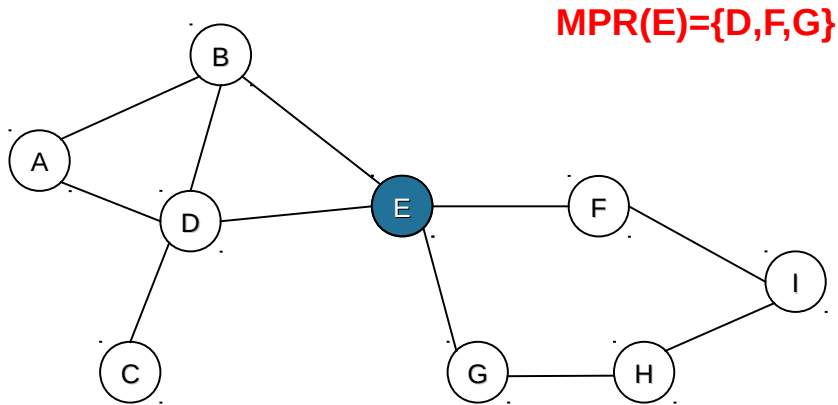
OLSR – Exemple



- Supposons que le nœud E est connecté au réseau à cet instant
- E envoie un Hello vide à **tous** ses voisins



OLSR – Exemple



OLSR – Tables

Chaque nœud maintient:

–Base de voisinage

- Table des Voisins directs
- Table des Voisins à deux sauts.
- Liste des MPRs.
- Liste des MPRs Selector

–Base de topologie

- Table de topologie

T_dest	T_last	T_seq	T_time
Adresse de la destination	adresse d'un MPR de la destination	Numéro de séquence	au bout duquel ce tuple expire.

- Table de routage

R_dest	R_next	R_dist	R_if_id
adresse destination	prochain nœud vers la destination	distance en nombre de saut	interface du nœud local

OLSR: calcul des tables de routage

- 1- Supprimer toutes les entrées de la table de routage TR
- 2- Pour chaque entrée de la table des voisins (1 saut) dont la statut de lien est autre que unidirectionnel, ajouter dans la TR une route avec :
 - R_dest = R_next: adresse du voisin correspondant
 - R_dist = 1
- 3- pour chaque voisin à deux sauts, créer une entrée dans TR avec :
 - R_dest : adresse du nœud voisin à deux sauts (Ad_v2)
 - R_next = R_next de TR qui a T_dest = adresse Ad_v2
 - R_dist = 2
- 4- Répéter (5) et (6) en commençant par R_distCourante=1, et en s'arrêtant lorsqu'il n'y a plus de routes à ajouter

OLSR: calcul de la table de routage

5- Pour chaque entrée dans la table topologique vérifiant:

L'adresse destination ne figure pas en tant que destination dans la TR

T_last correspond à une destination dans la TR avec une distance

R_distCourante

créer une nouvelle entrée dans la TR avec:

La même adresse destination (R_dest = T_dest)

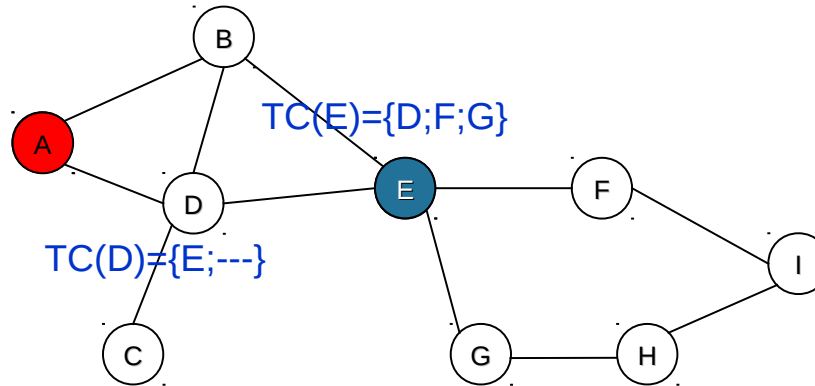
R_next égal à R_next de la route dont la destination est T_last déjà
mentionnée

Une distance R_dist égale à R_distCourante+1

6- Incrémenter R_distCourante de 1

7- Les entrées de la table topologique qui n'ont pas été utilisées dans le calcul des routes sont supprimées

OLSR – Exemple



TT(A)

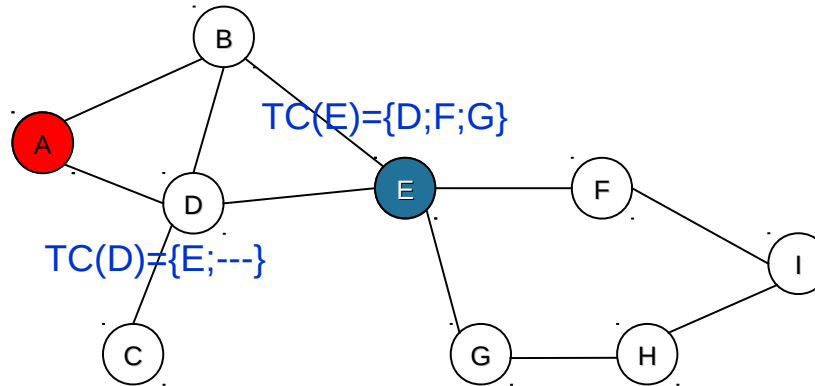
T_des	T_last	T_seq	T_time
D	E		
F	E		
G	E		
E	D		
C	D		
...



TR(A)

R_des	R_next	R_dist	R_if_id
B	B	1	
D	D	1	
C	D	2	
E	D	2	
F	D	3	
G	D	3	
...			

OLSR – Exemple



TT(A)

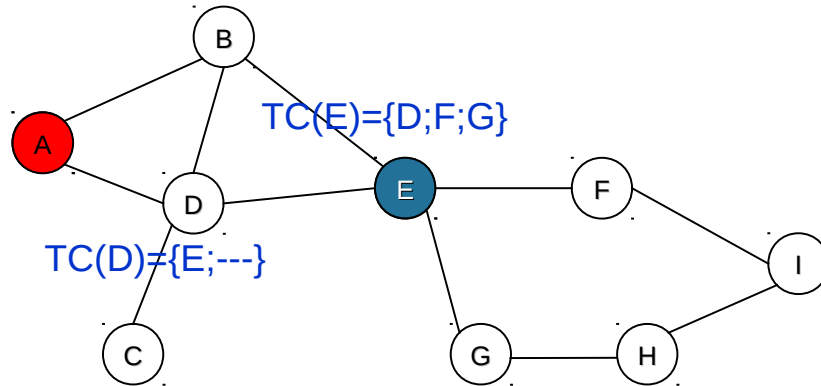
T_des	T_last	T_seq	T_time
D	E		
F	E		
G	E		
E	D		
C	D		
...



TR(A)

R_des	R_next	R_dist	R_if_id
B	B	1	
D	D	1	
C	D	2	
E	D	2	
F	D	3	
G	D	3	
...			

OLSR – Exemple



TT(A)

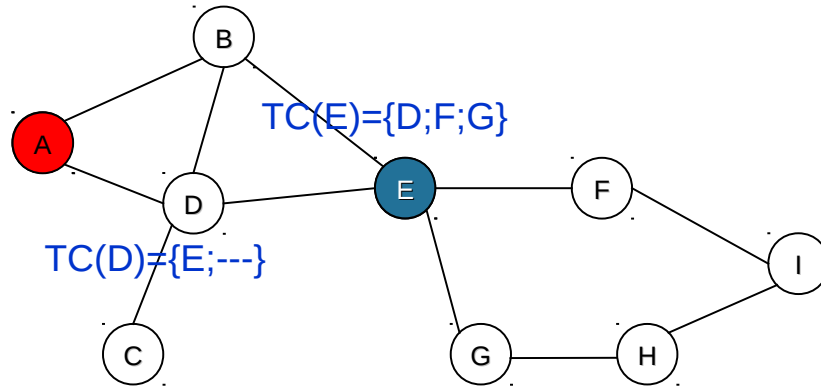
T_des	T_last	T_seq	T_time
D	E		
F	E		
G	E		
E	D		
C	D		
...

TR(A)

R_des	R_next	R_dist	R_if_id
B	B	1	
D	D	1	
C	D	2	
E	D	2	
F	D	3	
G	D	3	
...			



OLSR – Exemple



TT(A)

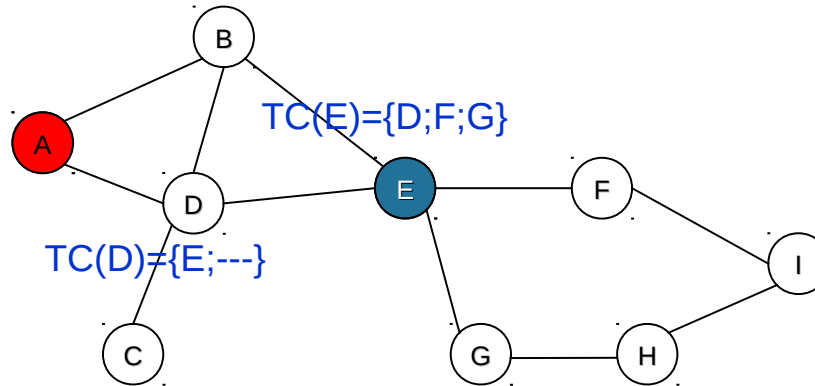
T_des	T_last	T_seq	T_time
D	E		
F	E		
G	E		
E	D		
C	D		
...

TR(A)

R_des	R_next	R_dist	R_if_id
B	B	1	
D	D	1	
C	D	2	
E	D	2	
F	D	3	
G	D	3	
...			



OLSR – Exemple



TT(A)

T_des	T_last	T_seq	T_time
D	E		
F	E		
G	E		
E	D		
C	D		
...

TR(A)

R_des	R_next	R_dist	R_if_id
B	B	1	
D	D	1	
C	D	2	
E	D	2	
F	D	3	
G	D	3	
...			



OLSR – Synthèse

- **Se base sur le concept des MPRs(Multipoint Relays)**
- **Optimisation de la technique de diffusion**
 - La diffusion des paquets de contrôle ne passe que par les MPR
 - Overhead (nombre de paquets) réduit
 - Routes symétriques
 - Un paquet de contrôle ne contient qu' un sous ensemble des voisins
 - Overhead (taille des paquets) réduit
 - Les nœuds connaissent une topologie partielle
 - Les routes calculées sont optimales.
 - Possibilité de construire plusieurs routes (saturation des tables de routage)
- **Les routes sont immédiatement disponibles**
 - Délai de bout en bout faible.

OLSR - Inconvénients

Messages périodiques \neq mobilité des nœuds

- Augmente la fréquence d'envoi des messages de contrôle
 - surcharge du réseau
 - congestion des liens

- Diminue la fréquence d'envoi des message Hello
 - faible adaptation aux changement de topologie
 - garder des listes fictives des MPR
 - fausser les informations de contrôle

Fast-OLSR [BEN02]

- Période dynamique (état *rapide* ou *normal*)

AODV - Présentation

● Ad hoc On-Demand Distance Vector

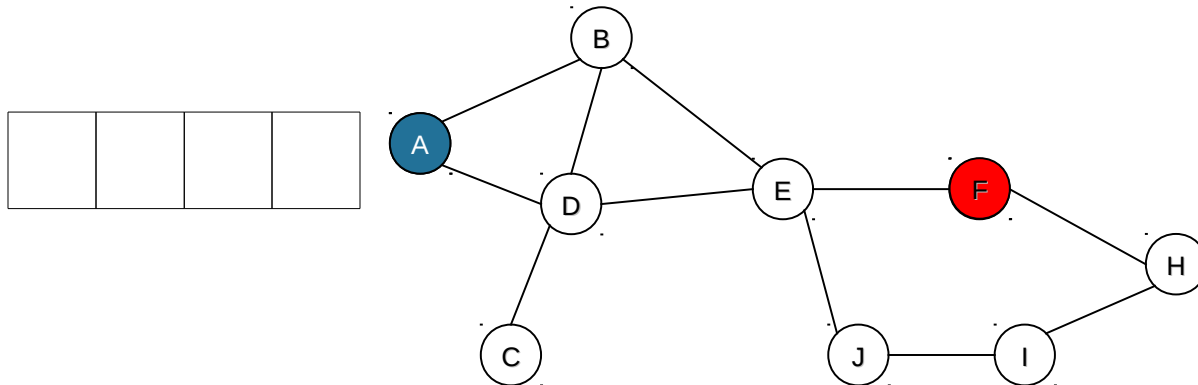
- C. Perkins, E. Belding-Royer et S. Das (RFC 3561) juillet 2003**

● Réactif, vecteur de distance

● Messages échangés

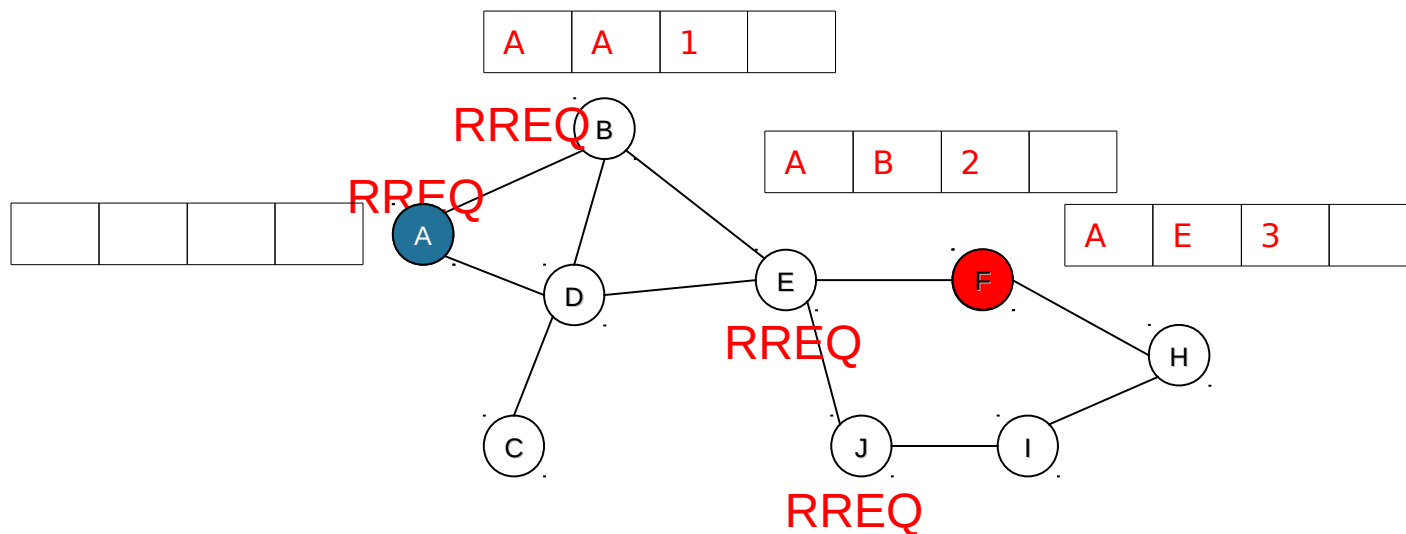
- RREQ (inondation)**
- RREP (unicast)**
- RERR (unicast)**

AODV - Exemple



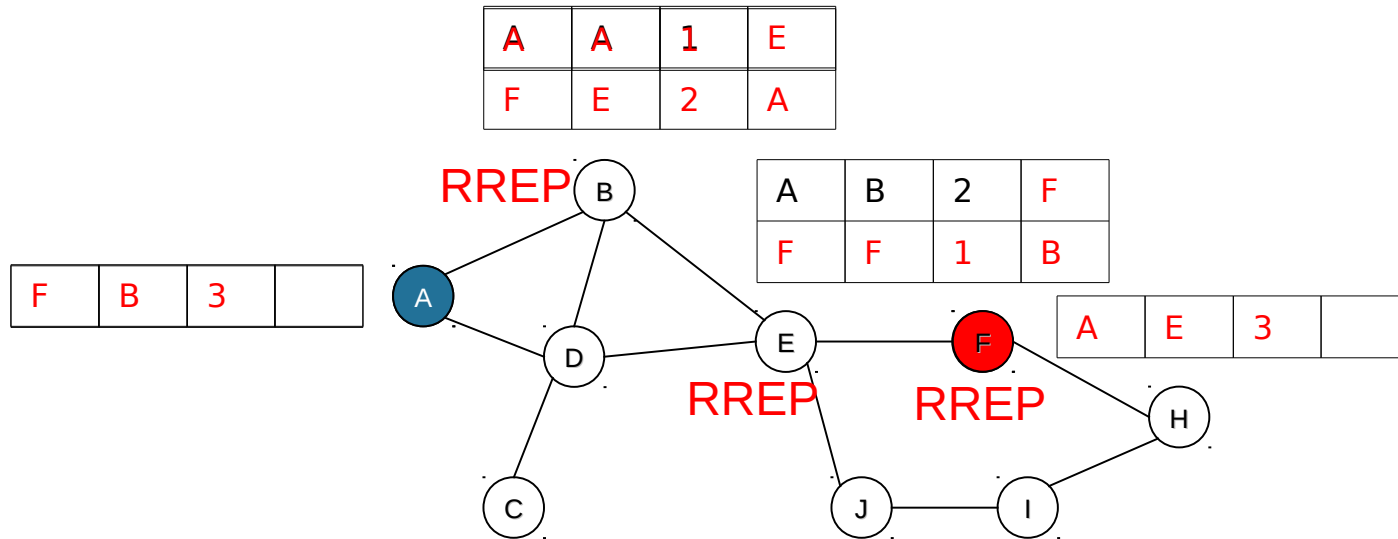
- Supposons que les tables de routage sont vides
- Table de routage
 - Destination
 - Prochain nœud
 - Métrique
 - Liste des précurseurs
 - ...

AODV - Exemple

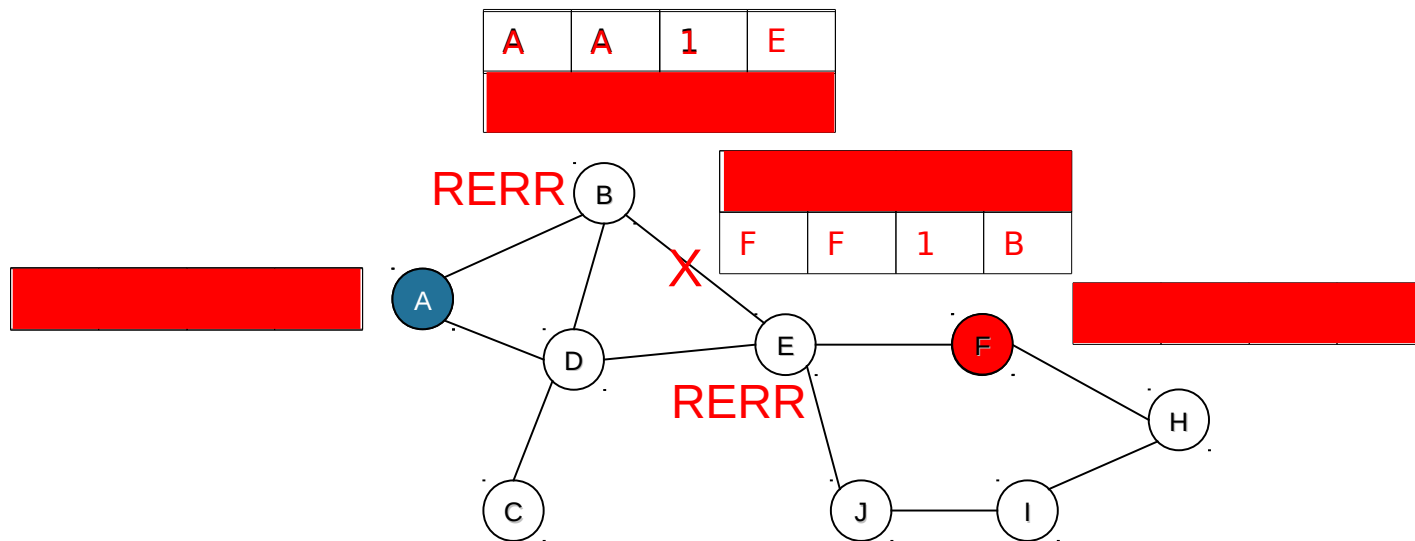


- RREQ en broadcast
- RREQ sera ignoré par un nœud si {adresse ip, Broadcast_ID} existe dans la table des « Broadcast_ID »

AODV - Exemple



AODV - Exemple



AODV - Récapitulatif

● Avantages:

- Faible charge de routage
- Adaptation aux changements de topologie

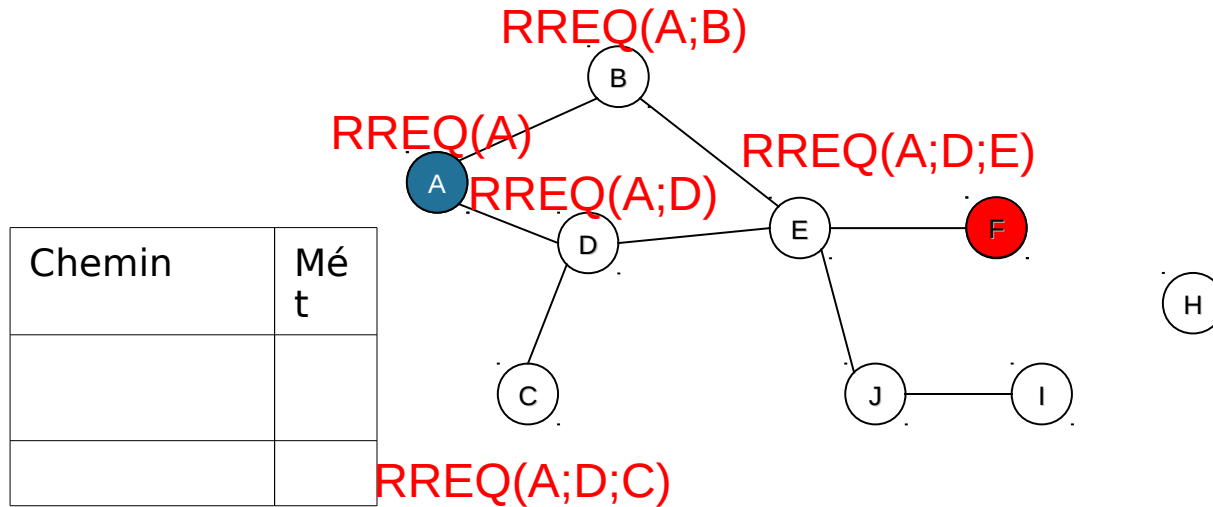
● Inconvénients:

- Inondation des RREQ

● Améliorations:

- AODV (multiple path):
 - Plusieurs chemins
- AODV-PA:
 - Accumulation du chemin

DSR - Exemple

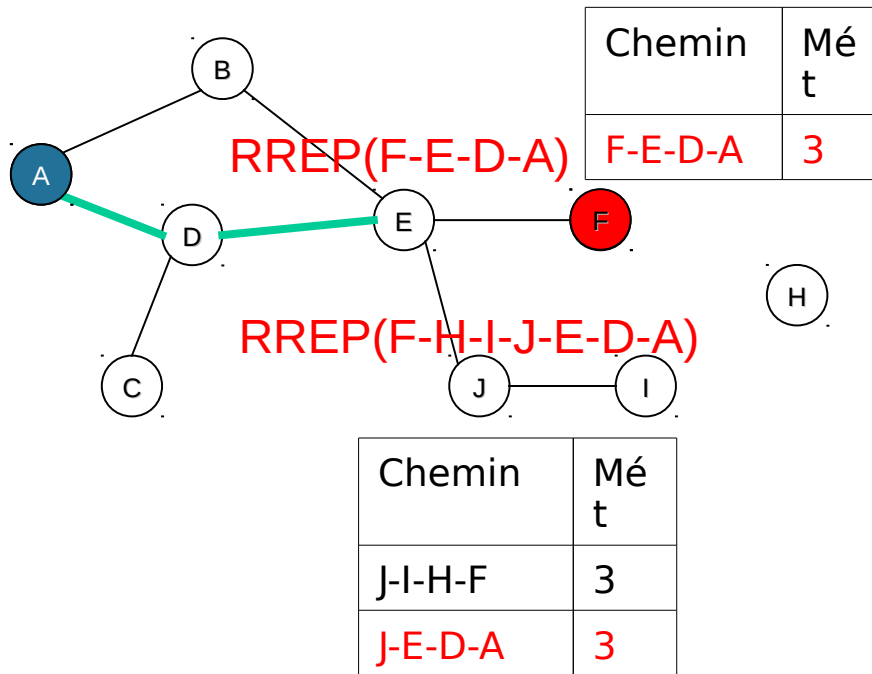


RREQ sera ignoré si:

- {adresse ip, RREQ_ID} déjà dans la liste des requêtes récemment reçues.
- l'adresse du nœud existe dans le chemin du RREQ.

DSR - Exemple

Chemin	Mé t
A-D-E-J-I-H- F	6
A-D-E-F	3



Si un noeud garde un chemin dans sa cache pour la destination alors il concatène le chemin de la requête et le chemin de son cache et envoi une réponse de route à la source.

Le noeud choisit le chemin le plus court vers la destination