

# Module M2102

## Architecture des réseaux

**Total heures d'enseignement par étudiant : 36,5 heures**

- 10h30 h cours (7 semaines)
- 12h TD/TP + 14h AA, par regroupement de 1h TD/TP + 1h AA

**Travail personnel régulier** (environ 14h, non compris les révisions)

- étude du cours avant les séances : lectures, notions à apprendre.
- exercices et TP à finir.

**Évaluation** : coefficient total **15** (S2)

- contrôle continu (QCMs) : coefficient 6
- contrôle final (2 heures) : coefficient 9

# Contenu du module M2102

1. Introduction, Ethernet et Wi-Fi
2. Protocole IP : Adressage
3. Protocole IP : Routage
4. VLAN
5. Protocole TCP
6. Architecture Internet

Supports : en local : cours, TD, TP, QCM  
... et en ligne : wikipédia, openclassroom,  
commentçamarche, frameip, etc.



# Module M2102

# Architecture des réseaux

## Chapitre 1

### Introduction & Réseaux Ethernet et Wi-Fi

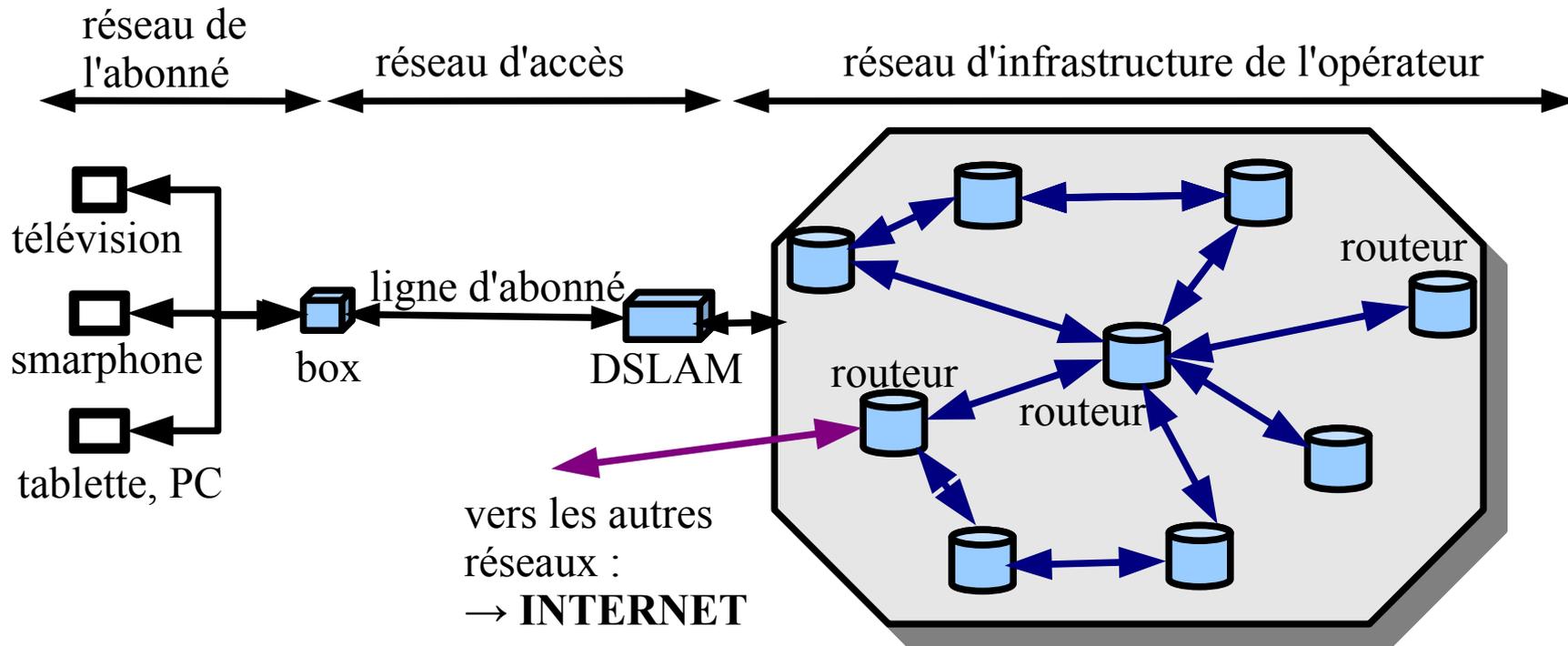
Lectures préalables :

- Notions de « réseau informatique » sur [Wikipédia](#), sur "[Openclassrooms](#)", sur "[Comment Ça Marche](#)"
- Ethernet sur [Wikipédia](#), Ethernet sur "[Comment Ça Marche](#)"
- Wi-Fi sur "[Comment Ça Marche](#)", Wi-Fi sur [Wikipédia](#)

# Sommaire du chapitre 1

1. Qu'est-ce qu'un réseau ?
2. Réseaux Ethernet
  - 1.Principales normes Ethernet
  - 2.Niveau physique : câblage, signaux, topologie
  - 3.Format des trames Ethernet
  - 4.Réseaux Ethernet 100baseT sur commutateurs
3. Réseaux Wi-Fi
  - 1.Introduction à la transmission sans fil
  - 2.Les normes Wi-Fi
  - 3.Protocoles Wi-Fi de la couche MAC
4. Compléments sur Ethernet (en ligne uniquement)
5. Compléments sur Wi-Fi (en ligne uniquement)

# 1. Qu'est-ce qu'un réseau ?



Un réseau informatique est :

- un ensemble **d'équipements**
- reliés entre eux pour échanger
- des **informations**

*(source Wikipédia)*

# Quels équipements et quels supports ?

- Équipements « nœud » d'interconnexion : commutateur (ou switch), routeur, firewall, « box », DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), etc.
- Supports de transmission :
  - **Paire torsadée** de fils de cuivre, dans un câble => signal électrique.
  - **Fibre optique**, dans un câble optique => signal = **onde lumineuse**, de **longueur d'onde** entre 700 à 400 nm (et la fréquence 430 à 750 THz)
  - **(Micro)-onde** => signal = **onde électromagnétique** supérieure à 2 Ghz.
  - Autres : câble coaxial, **CPL** (Courant Porteur en Ligne).
- Propriétés des supports :
  - Débit d'émission **De = Volume de données / temps, en b/s**
  - Temps de propagation **Tp = distance / Vitesse de propagation**
  - Qualité de service (taux d'erreur, synchronisation dans les échanges...)
  - Facilité d'utilisation : connectivité, mobilité.

# « Échanger des informations » ?

- Identifier l'émetteur et le/les récepteurs :
  - notion d'adresse des personnes, des applications, des machines, ...
- Réaliser des échanges de « bonne qualité » :
  - Fiabilité : gestion des erreurs de transmission et des équipements pour que les applications fonctionnent quels que soient les aléas du réseau.
  - Adaptabilité : gestion des différents flux (texte, audio, vidéo).
  - Équité d'accès aux ressources (**MAC** : Medium Access Control).
  - « parler » le même langage : standardisation du format des données échangées.
  - respecter les mêmes règles : « protocole ».
- Gérer les ressources « réseau » : liens, routeurs ; techniques de partage (multiplexage, commutation), contrôle de congestion.

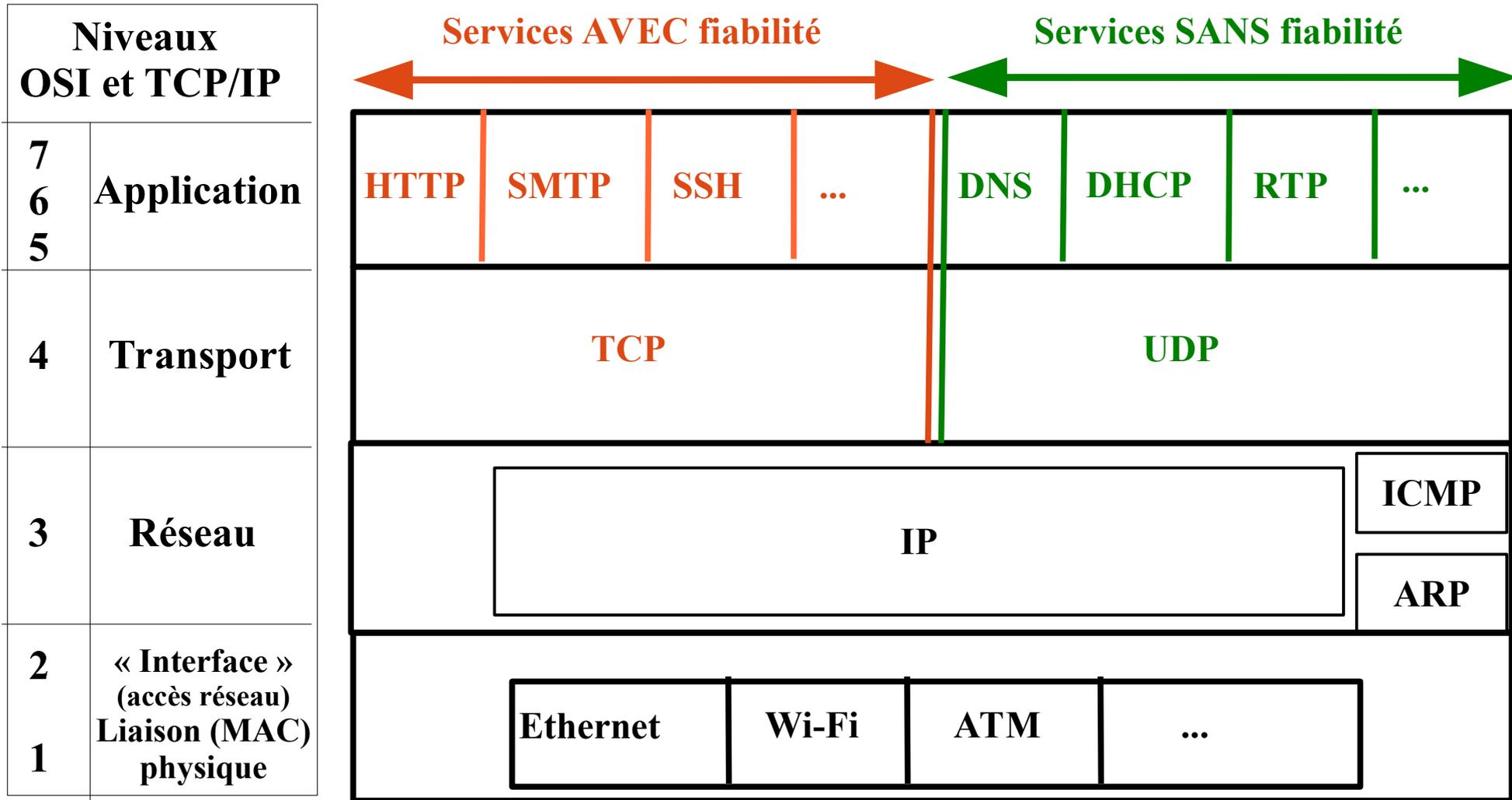
# Architecture réseau et protocoles

- Organisation des fonctions réalisées dans un réseau sous forme d'une **architecture en niveaux**, chaque niveau est défini par :
  - Des **entités** logicielles ou matérielles qui implantent les fonctions : circuits ou (micro-)programmes.
  - Des **protocoles** qui fixent la structure des données et les règles d'échange entre les entités.
- Architecture en niveaux de protocoles :
  - Niveau application, échange de **messages** (web, mail...).
  - Niveau transport : échange de datagrammes ou de **segments** (protocole TCP)
  - Niveau réseau : acheminement de **paquets** entre réseaux (protocole IP).
  - Niveaux liaison/physique : échange de **trames** (Ethernet, Wi-Fi, DWDM).
- Principe d'encapsulation :



- Débit utile **Du** : quantité de données « utilisateur » transmise par sec.

# Architecture TCP/IP et protocoles



# Adressage dans les réseaux

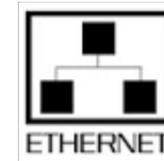
- Adresses de niveau **application** : identifiants utilisés dans les applications : adresse mail, uri, nom dns, etc.
- Adresses du niveau **transport**: Numéros de port TCP ou UDP pour identifier les processus : port 80 (HTTP)
- Adresses du niveau **réseau** : « **adresses IP** » pour identifier les **équipements d'un réseau**, indépendamment de la localisation géographique :
  - IPv4 (sur 32 bits) : 194.62.123.43
  - IPv6 (sur 128 bits) : 1fff:0000:0a88:85a3:0000:0000:ac1f:8001
- Adresses du niveau **liaison/physique** : adresses « **physiques** » (« HWaddr », « MAC ») des cartes réseau des stations, des routeurs.
  - Exemple : adresses Ethernet **MAC** sur 48 bits notés en hexa : 00:C0:4F:26:E1:CF

# Réseaux locaux

- Technologies principales :

- **Ethernet :**

transmission par câble, signal électrique,  
topologie arborescente, norme IEEE 802.3



- **Wi-Fi :**

transmission par onde électromagnétique,  
topologie point à point ou arborescente, norme IEEE 802.11



- **Bluetooth :**

comme Wi-Fi mais sur de plus courtes distances et  
avec des débits plus faibles, norme IEEE 802.15



- **CPL : Courant Porteur en Ligne,**

transmission sur câble du réseau électrique,  
standardisé par « Homeplug Alliance » et IEEE 1901



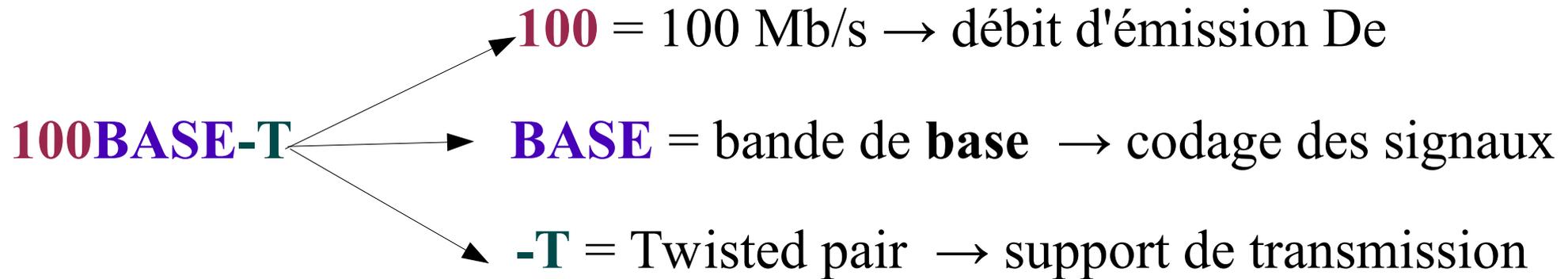
- Standardisation de chaque technologie au niveau **MAC** « Medium Access Control », pour définir le **format des trames** et la méthode d'accès au support pour la transmission de ces trames,

## 2. Réseaux locaux Ethernet

1. Principales normes Ethernet et IEEE 802.3
2. Niveau physique : câblage, signaux, topologie
3. Niveau liaison : format des trames Ethernet
4. Réseaux Ethernet 100baseT sur commutateurs

## 2.1. Normes de la famille Ethernet

Invention en 1973/76 par Bob Metcalfe et David Boggs (Xerox)

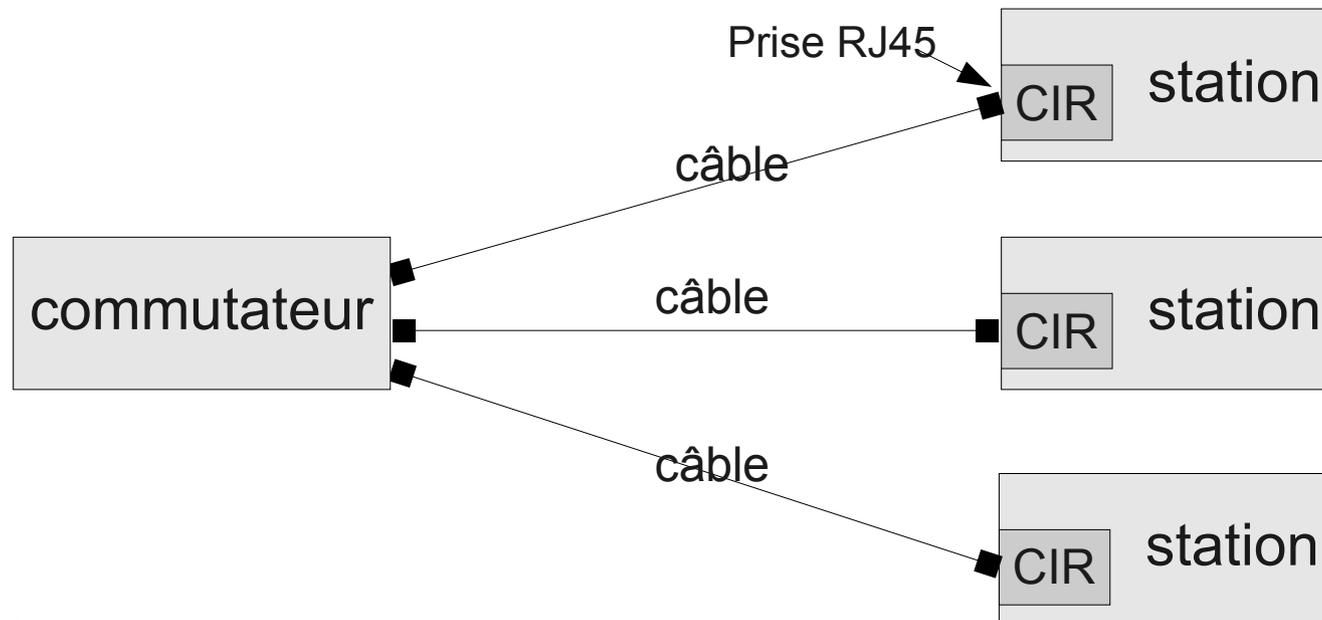


- Débit d'émission **De** : 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s (= 1000Mb/s), 2,5 Gb/s, 5 Gb/s ou 10Gb/s
- Support de transmission :
  - paires torsadées : 100BASE-T, 1000BASE-T
  - câble coaxial : 1000BASE-CX
  - fibres optiques : 100BASE-FX, 1000BASE-LX
- Interopérabilité entre les réseaux de cette famille :
  - **format de trame commun**
  - règles de câblage compatibles.

## 2.2. Réseau Ethernet 1xxxBase-T

**Commutateur (ou switch)** : nœud d'interconnexion qui redirige les trames en fonction de l'adresse du destinataire. Le **temps de latence** est le délai de transit dans le switch (ex : il est de  $7,4\mu\text{s}$  dans les switchs HP2350 de l'IUT).

- **Câble** : 4 paires torsadées de fil de cuivre. Transmission des signaux avec  $V_p \sim 200\,000\text{ Km/s}$ . Longueur max = 100m pour que l'atténuation du signal ne génère pas d'erreur. 100BaseT : 2 paires du câble sont utilisées, une par sens de transmission. 1000BaseT : les 4 paires sont utilisées.
- **Carte CIR** : Carte Interface Réseau (interne ou externe) : code et décode les trames en signaux, détecte les erreurs, assure la synchronisation.



# Transmission sur un réseau Ethernet

- La carte CIR d'une station émet et reçoit des **trames** :
  - soit en mode **Unicast** : 1 émetteur vers 1 destinataire.
  - soit en mode **Broadcast** (diffusion) : 1 vers toutes les stations.
- Les trames sont transformées en signaux électriques ou optiques.
- Transmission en **full-duplex** (dans les 2 sens en même temps).
- Les trames sont émises à la demande, avec un délai entre chacune appelé « **silence inter-trames** ».
  - Ce silence est nécessaire pour garantir la dissipation du signal écho produit par tout signal de trame. Sinon, cet écho agirait comme un bruit aléatoire sur le signal de la trame suivante... et générerait des erreurs.
  - La valeur du silence inter-trames est équivalente à la durée d'émission de 96 bits, c'est-à-dire égale à **96 / De**, soit  $0,96 \mu\text{s}$  en 100Base-T et  $0,096 \mu\text{s}$  en 1000Base-T.

## 2.3. Format des trames Ethernet

Préambule	Adresse MAC destination	Adresse MAC source	Type trame	Informations	FCS
8 octets	6 octets	6 octets	2 oct.	entre 46 et 1500 octets	4 octets

- **Préambule** :  $(AA\ AA\ AA\ AA\ AA\ AA\ AA\ AB)_{16}$  pour permettre au récepteur de se synchroniser. Rappel :  $A_{16} = 1010_2$ ,  $B_{16} = 1011_2$
- **Adresses Destination et Source** : adresses MAC ou « HWAddr ».
- **Type trame** : identifiant du protocole du niveau hiérarchique supérieur (IP=\$0800, ARP=\$0806, ...).
- **Information** : contient les données du niveau supérieur :
  - Taille minimale : 46 octets (compatibilité avec les « hub »).
  - **Taille maximale** : 1500 octets.  
(pour assurer un taux d'erreur suffisamment faible).
- **FCS (Frame Check Sequence)** : 32 bits de détection d'erreur.

# Adressage Ethernet

- Chaque carte CIR est identifiée par une **adresse MAC unique** (mondialement!) allouée par le fabricant de la carte CIR.
  - Rq: une station a autant d'adresses MAC que de cartes CIR.
  - Chaque carte est identifiée par un nom donné par le système d'exploitation de la machine : ce nom s'appelle « **interface** », par exemple : eth0, enp0s25,... À voir avec la commande **ip addr**.
- **Adressage MAC** « Medium Access Control » :
  - longueur : 6 octets.
  - **notation par groupes de 2 chiffres hexa séparés par « : »**
  - exemple : **00:0B:DB:DF:6F:35**
  - les 3 premiers octets identifient le **fabricant** (ex : Dell\_77:58:c2).
- Adresse de **diffusion** pour accéder à **toutes** les machines du réseau :  
FF:FF:FF:FF:FF:FF

# Exemple de trame

0: **0800 2087 b044 0800 1108 c063 0800** 4500  
 16: 0048 49ba 0000 1e06 698d c137 33f6 c137  
 32: 3304 1770 96d4 397f 84c2 bf3a 21fd 5018  
 48: 111c 99bc 0000 0e00 313f 02c0 0011 0000  
 64: 3ec1 0000 0011 0000 0002 2828 a7b0 8029  
 80: eafc 8158 9070 +**FCS**

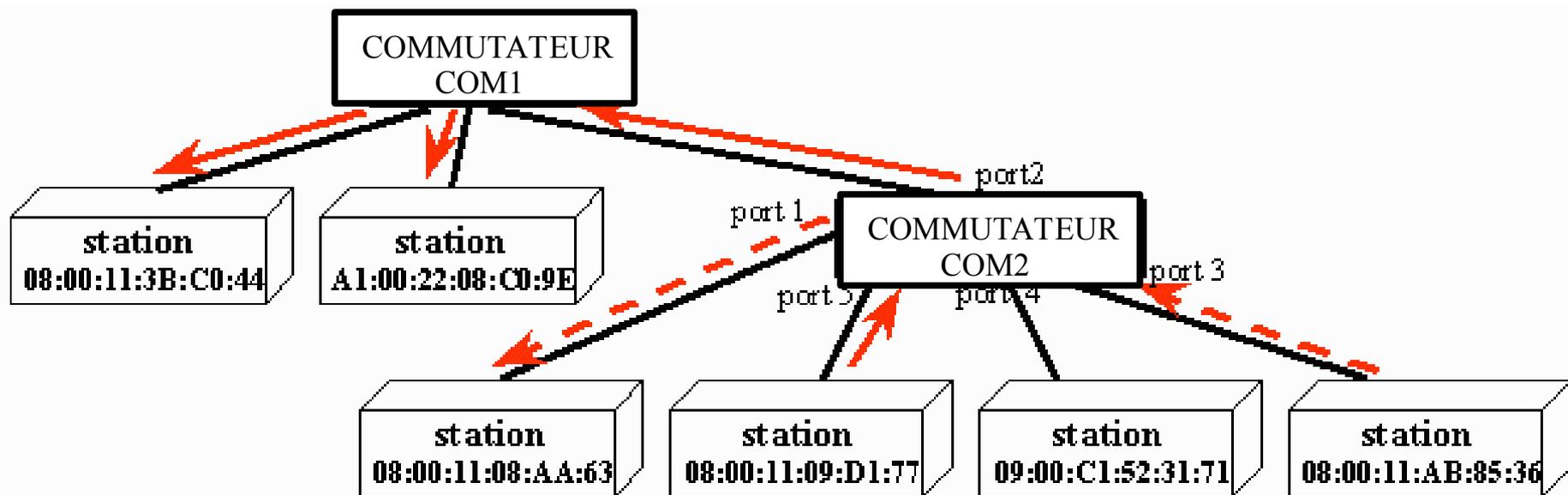
Adresse MAC destination : **0800 2087 b044**

Adresse MAC source : **0800 1108 c063**

Type trame = \$**0800** : la trame contient un paquet IP.

rq : le préambule et le code de détection d'erreur FCS ne sont pas affichés.

## 2.4. Commutateur Ethernet (switch)



**Table de commutation** : indique, pour chaque adresse Ethernet, le numéro de port associé.

**Algorithme de commutation** :

@source -> mise à jour de la table

@dest -> utilise la table pour rediriger la trame vers le bon port.

Si l'@dest n'est pas dans la table (ou si c'est l'@diffusion), la trame est envoyée vers tous les ports, sauf le port d'arrivée de la trame.

Table de COM2

Adresse destination	Port associé
08:00:11:08:AA:63	1
08:00:11:AB:85:36	3
08:00:11:3B:C0:44	2
09:00:C1:52:31:71	4
A1:00:22:08:C0:9E	2
08:00:11:09:D1:77	5

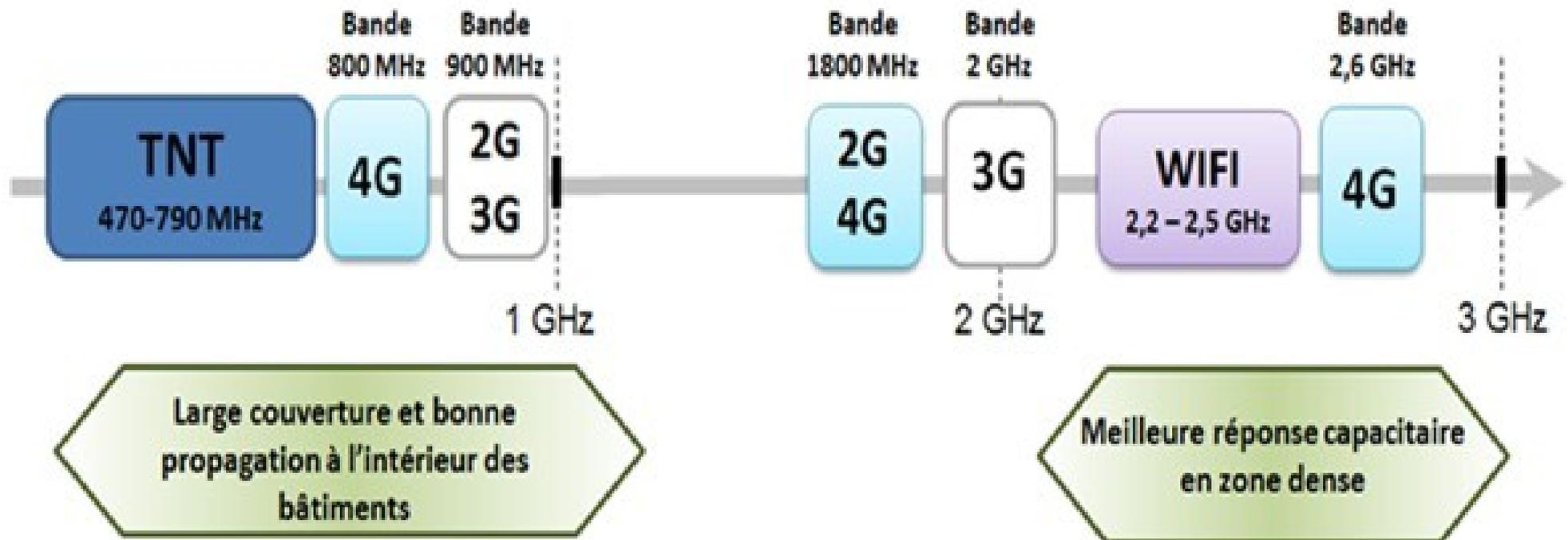
# 3. Réseaux locaux Wi-Fi

1. Introduction à la transmission sans fil
2. Les normes Wi-Fi
3. Protocoles Wi-Fi de la couche MAC

# 3.1. Technologies sans fil

La transmission sans fil utilise comme support des ondes électromagnétiques modulées. On différencie les réseaux sans fil par :

- La nature de ce qui est transporté : données et/ou voix.
- La distance : très courte (BlueTooth), local (Wi-Fi), réseau d'accès (WiMax, LTE), téléphonie mobile (2G à 5G), lien grande distance (liaisons hertziennes).
- Le type de réseau : réseau Internet, réseau (téléphonique) cellulaire.



Source : Agence Nationale des fréquences (ANFR)

## 3.2. Les normes Wi-Fi

- Wi-Fi (WIREless Fidelity) : label de certification défini sur des tests d'interopérabilité pour les équipements 802.11 (plus de 45 000 produits certifiés).



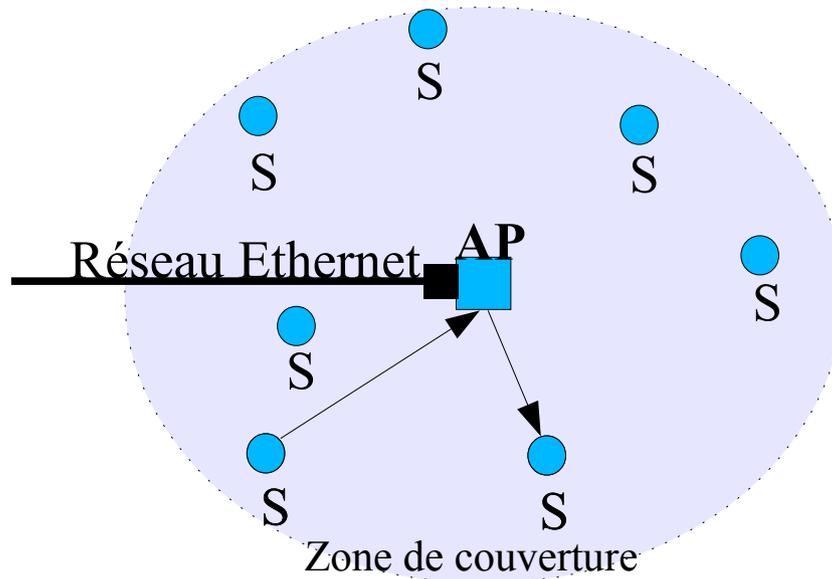
- Organisation : Wi-Fi Alliance (créée par 6 fabricants en 1999 ... aujourd'hui plusieurs centaines d'entreprises).

Désignation	Année	Débit max	Débit réel moyen	Bande fréquentielle
802.11a – <i>WIFI 2</i>	1999	54 Mb/s	30 Mb/s	5 Ghz
802.11b – <i>WIFI 1</i>	1999	11 Mb/s	6 Mb/s	2,4 Ghz
802.11g – <i>WIFI 3</i>	2003	54 Mb/s	30 Mb/s	2,4 Ghz
802.11n – <i>WIFI 4</i>	2009	600 Mb/s	100 Mb/s	2,4 et 5 Ghz
802.11ac – <i>WIFI 5</i>	2014	1,3 Gb/s	900 Mb/s	5 Ghz
802.11ax – <i>WIFI 6</i>	2019	4,6 Gb/s	??	2,4, 5 Ghz +...

# Principes de la transmission Wi-Fi

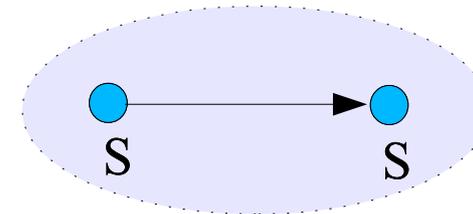
- Méthode :
  - transmission d'une onde radio
  - de haute fréquence (2 à 5 Ghz)
  - à courte/moyenne portée (10 à 100 mètres)
  - à faible puissance (30 mW)
  - avec un taux d'erreur compatible avec les besoins de la transmission de données.
- Propriétés :
  - Affaiblissement du signal très important avec la distance.
  - Taux d'erreur plus important qu'en transmission filaire.
  - Pas de diffusion fiable.

# Modes de fonctionnement d'un réseau Wi-Fi



## Mode infrastructure :

toute communication entre stations  
passe par le point d'accès AP



## Modes ad hoc et Wi-Fi Direct :

communication directe  
entre stations

- Modes d'utilisation : infrastructure (avec point d'accès AP « Access Point »), ou direct entre stations (ad-hoc, Wi-Fi Direct), mais les échanges se font toujours en mode **point à point par compétition sur le canal**.
- **Zone de couverture** autour d'un point d'accès : espace accessible depuis/vers le point d'accès.

# Équipements d'un réseau Wi-Fi

- Pas de système de câblage !
- Cartes réseaux (adaptateurs) et antennes :
  - Émission (modem : modulation).
  - Réception (modem : démodulation).
  - des signaux hertziens (analogiques).
  - Fonctions de la couche MAC : accès au support, gestion des trames, détection des erreurs, sécurité.
- Routeurs / points d'accès :
  - Connexion à un autre réseau (par Ethernet).
  - Routage des flux entre les réseaux.



© 2002 CNET Networks, Inc.

## 3.3. Protocoles Wi-Fi niveau MAC

<i>2 octets</i>	<i>2 octets</i>	<i>6 octets</i>	<i>6 octets</i>	<i>6 octets</i>	<i>2 octets</i>	<i>6 octets</i>	<i>0 - 2312 octets</i>	<i>4 octets</i>
contrôle	durée	adresse1	adresse2	adresse3	Numéro de séquence	adresse4	données	CRC

- **Format de trames :**

- Format d'adresses : MAC (sur 6 octets), comme celui d'Ethernet.
- Adressage à deux niveaux : adresse de station (MAC) et adresse du réseau Wi-Fi (= adresse MAC du point d'accès AP = BSSID).
- Plusieurs types de trames : trames de gestion, trames de contrôle des échanges et trames d'information.

- **Acheminement des trames :**

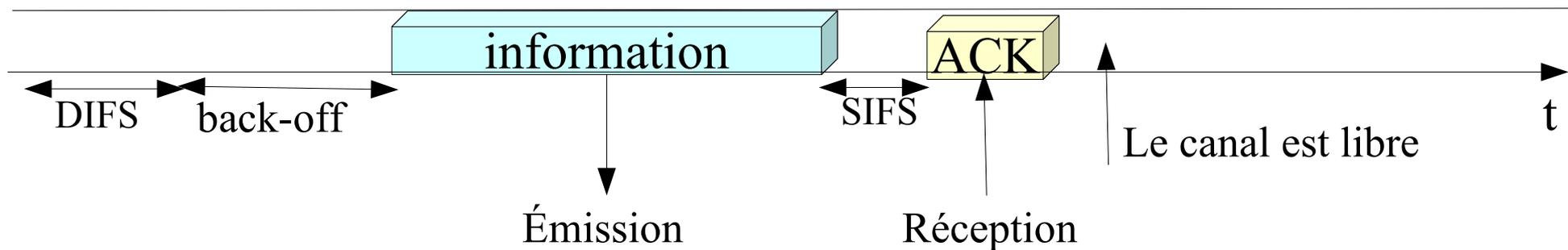
- « **best-effort** » -> fiabilité non garantie
- **Accès** au support (bande fréquentielle de 22 Mhz) par compétition, de façon distribuée et équitable entre les stations -> collisions possibles.

# Accès au support

- Principe de partage du support (appelé canal) par **compétition** :
  - Écoute avant d'émettre, émission si le canal est libre.
  - Si deux stations détectent en même temps que le canal est libre, deux trames seront émises et il y aura collision de signal.
- Comme il n'y a pas de détection de collision possible par l'émetteur au niveau physique, le récepteur envoie un **acquiescement** systématiquement.
- Pour limiter les collisions, **un protocole d'évitement** de collision est mis en place : CSMA/CA (Collision Avoidance) :
  - **Pré-réservation** du canal (optionnelle) : trames spécifiques RTS/CTS.
  - **Attente de durée aléatoire** appelée « back-off » avant toute tentative d'émission.
  - **Priorité** de l'envoi des acquiescements.

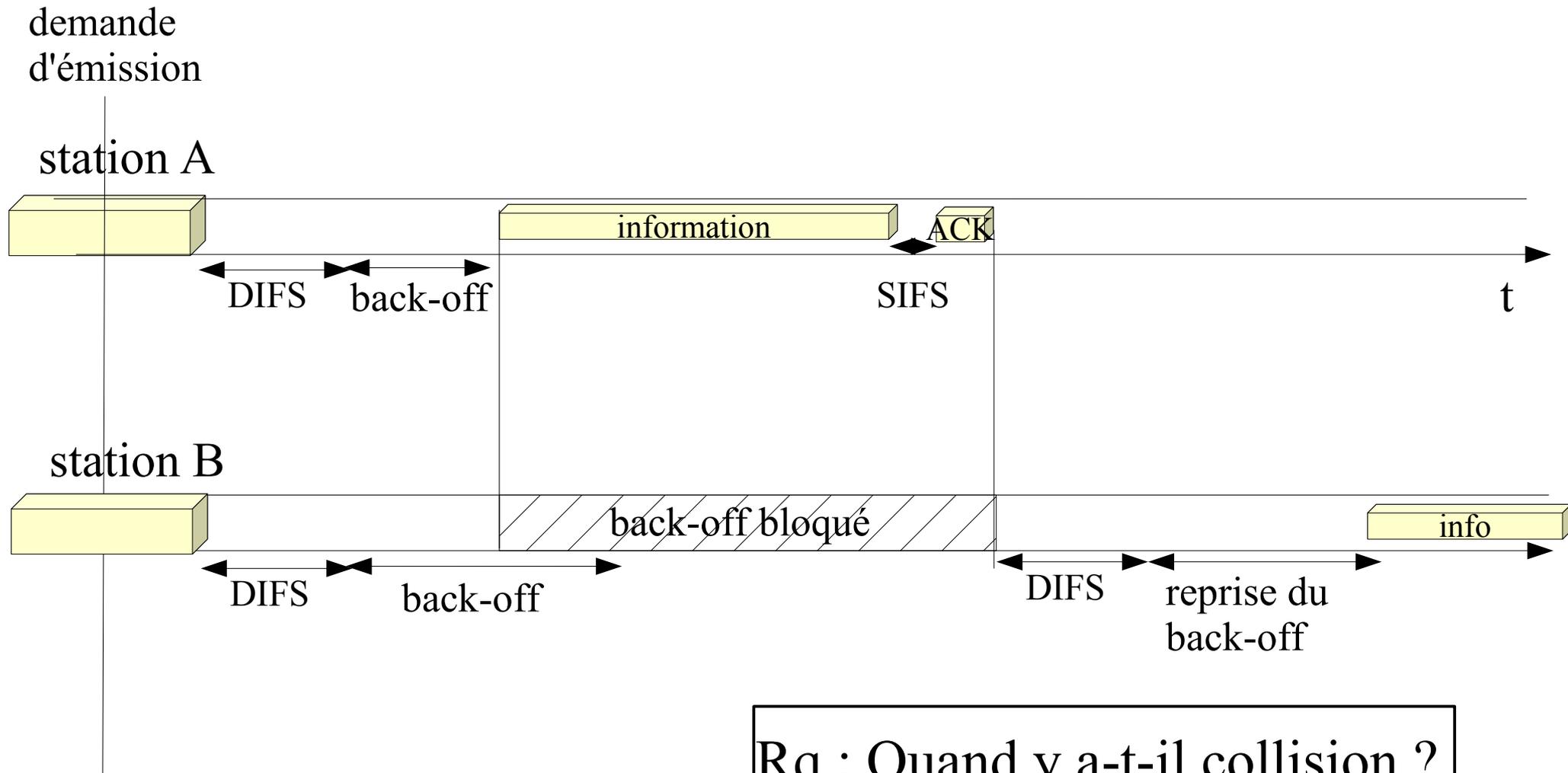
# Étapes de l'émission d'une trame

- Écoute jusqu'à ce que le canal soit libre.
- Attente DIFS (délai fixe) et back-off (délai aléatoire).
- Émission de la trame d'information (ou de gestion).
- A la fin du dernier bit émis, attente d'un délai SIFS (plus court que DIFS).
- Réception de l'acquittement au bout du délai SIFS : si l'acquittement n'arrive pas, la station détecte qu'il y a eu collision.



# Cas de multiples demandes d'émission

- Hypothèse : A et B veulent émettre en même temps,  
le back-off de A est d'une durée plus courte que B



# Fonctions de gestion au niveau MAC

- **Association / désassociation** d'une station auprès d'un AP.  
Trames de requête (*req ASSOC*) et de réponse (*rép ASSOC*).
- **Chiffrement** par clé symétrique partagée par toutes les stations du réseau : niveau de sécurité WEP (Wired Equivalent Privacy), ou WPA (WiFi Protected Access) et WPA-2 (802.11.i).
- **Synchronisation** avec une trame « *Balise* » ou « *beacon* » émise régulièrement et contenant une estampille temporelle.
- **Économie d'énergie** : l'AP stocke les trames à destination des différentes stations et émet à intervalle régulier des trames « *Balise* » indiquant quelles stations ont des trames en attente. Les stations n'écoutent le réseau que de temps en temps, pour recevoir les trames « *Balise* » ; le reste du temps, elles sont en veille.

# Association d'une station à un AP

- Identifiants :
  - BSSID Basic Service Set Identifier : @MAC du point d'accès AP.
  - ESSID (ou SSID), Extended Service Set Identifier : nom du réseau sous la forme d'une chaîne de 32 octets (caractères ASCII).
- Étapes :
  - La station entrant dans le réseau émet une trame **probe request** avec le ESSID avec lequel elle est configurée.
  - Lorsqu'un AP reçoit une telle requête, il compare le ESSID reçu avec le sien. Si OK, il répond avec des infos (charge du AP, débit offert, ...).
  - La station peut alors choisir de s'associer avec l'AP lui offrant le meilleur débit (si plusieurs disponibles).
  - Remarque : chaque AP émet régulièrement ( $\sim 0,1$  s) une trame **balise (beacon)** avec son BSSID et son ESSID (+ info de débit).

# Glossaire

- 100BaseT
- AP
- BSSID
- CIR
- CPL
- CSMA/CA
- De
- DSLAM
- Du
- FCS
- Full-duplex
- HWaddr
- MAC
- Tp
- WEP
- WPA