

Rappel 1

OSI

TCP/IP

7	Application <i>Application</i>	échanges de données d'application (selon l'application)	Application
6	Présentation <i>Presentation</i>	mise en forme des données pour la transmission	
5	Session <i>Session</i>	synchronisation de processus	
4	Transport <i>Transport</i>	transfert de blocs d'octets entre processus	Transport
3	Réseau <i>Network</i>	transfert de blocs d'octets entre systèmes (pas forcément raccordés au même médium)	Internet
2	Liaison de données <i>Data Link</i>	transfert fiable de blocs d'octets entre systèmes raccordés au même médium	Accès Réseau
1	Physique <i>Physical</i>	transfert de bits entre systèmes raccordés au même médium	

Rappel 2

✦ Couche physique

◆ Transfert des données

- Câble électrique
- Fibre optique
- Ondes

◆ Inconvénient

- Atténuation
- Taux d'erreur

La couche physique permet d'envoyer physiquement des bits entre une source et un destinataire qui sont reliés entre eux, mais avec possibilité d'erreurs.

Plan du chapitre

Transfert de données sur un réseau local

- 1) La couche 2 (liaison de données)
 - 1) La couche MAC
 - 2) La couche LLC
- 2) Codes détecteurs/correcteurs d'erreurs
- 3) Présentation de quelques protocoles
 - Ethernet
 - 802.11, Wifi
- 4) Equipement
 - Le switch

La couche MAC - Généralité (1)

But :

Transmission de bits entre systèmes raccordés au même médium (même réseau local)

Liaison de données	Logical Link Control (802.2)					LLC
	CSMA/CD (802.3)	Bus (802.4)	Jeton (802.5)	DQDB (802.6)	Sans fil (802.11)	
Physique	Paire torsadée	Fibre optique		Air	

MAC : Medium Access Control

En général, tout signal émis par l'un des systèmes raccordés peut être entendu par tous les autres

Équipement : *switch*, HUB, *point d'accès*

Couche 2 - Généralité

Les fonctionnalités de la couche 2

- Gestion des données
 - Problème : Repérage des différentes trames sur le support physique (suite de bits)



utilisation d'un fanion

- Détection et correction des erreurs
 - Numérotation des trames
 - Utilisation de code détecteur/correcteur d'erreurs
- Régulation du trafic
 - utilisation d'acquittement
 - Emission entre une source et un destinataire

- **Trouver le destinataire**

Appellation unique de chaque entité MAC sur le médium

Identifie le système sur le médium

Appellation physique → **adresse MAC**

L'adresse MAC

✦ Identification du niveau 2 :

- ✦ **Unicité sur le médium**

- ✦ **adresse sur 6 octets**

- 3 premiers octets : OUI (Organizationally Unique Identifier)
 - ✦ Concerne entreprise
- 3 octets suivants : un numéro unique pour l'entreprise
- Existe des @mac de groupe ou de broadcast
- **@MAC permet d'identifier d'une manière unique un ordinateur sur un réseau local**

Test : ipconfig /all dans un shell windows : cmd

La couche MAC - Généralité (2)

Une entité-MAC par système

- ◆ reçoit les demandes d'émission (de la couche supérieure)
- ◆ décide quand émettre (**méthode d'accès au médium**)
- ◆ écoute ce qui est transmis, et décide de recevoir ou non

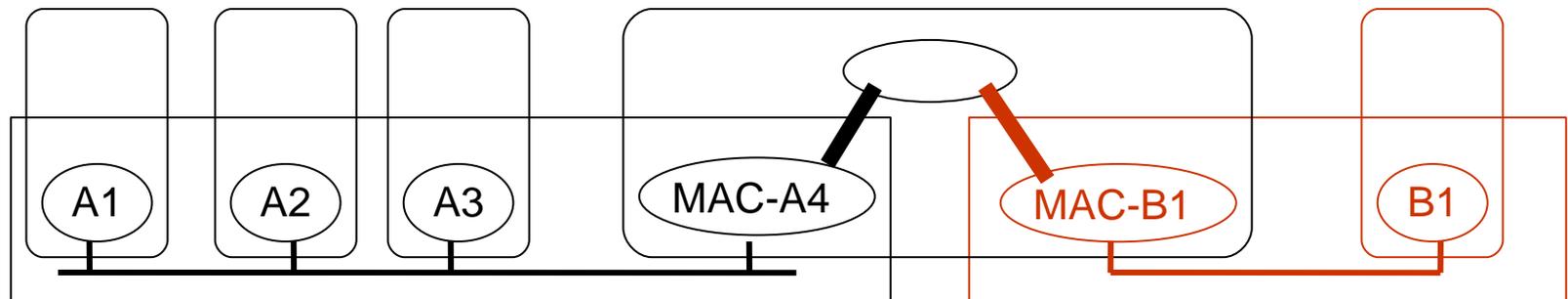
Si plusieurs couches MAC

Pas de communication entre deux couches MAC

Sauf si

un système est raccordé aux 2 supports et contient :

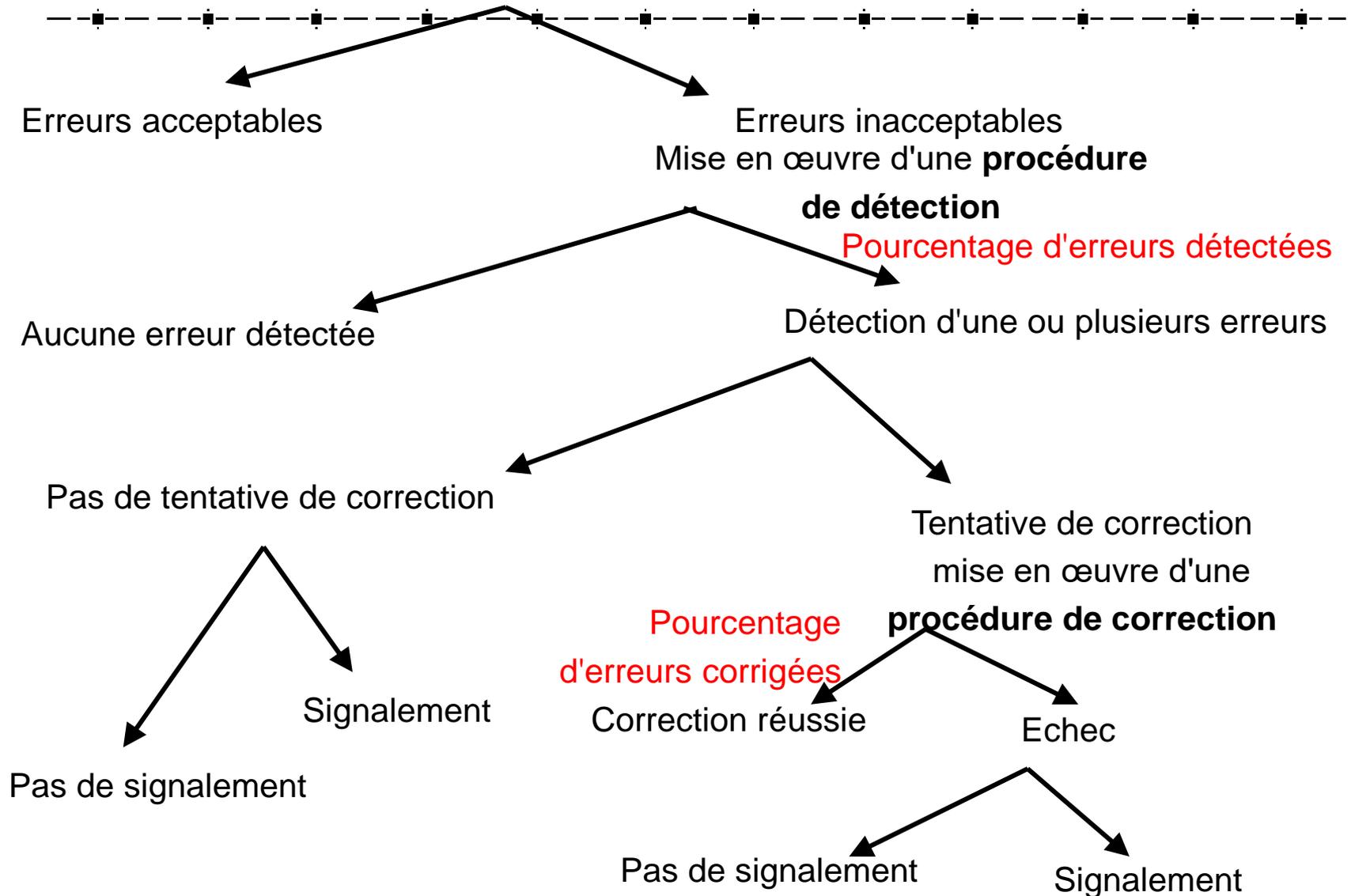
- une entité MAC pour chaque médium
- une entité-utilisateur de couches MAC liée à chacune des deux couches MAC ➡ **Routeur (utilisation couche niveau 3)**





Traitement des erreurs

Stratégie de traitement d'une erreur



Code détecteur d'erreurs (1)

Contrôle de parité

- ◆ code VCR (Vertical Redundancy Check)
- ◆ code LCR (Longitudinal Redundancy Check)

Codes Polynomiaux

- ◆ CRC : Cyclic Redundancy Check
- ◆ FCS : Frame Control Check

$G(x)$: polynôme générateur de degré r

$M(x)$: message à encoder

$$1100101 \quad \leftrightarrow \quad 1 \cdot x^6 + 1 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0$$

$$\quad \leftrightarrow \quad x^6 + x^5 + x^2 + 1$$

$$\text{ex : } G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

CRC-CCITT

$$G(x) = x^8 + x^2 + x + 1$$

ATM

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 \quad \text{CRC-32-ethernet}$$

Code détecteur d'erreurs (2)

Méthode

- On divise le polynôme $M(x) \cdot x^r$ par $G(x)$ et on obtient le reste $R(x)$

$$M(x) \cdot x^r = G(x) \cdot Q(x) + R(x)$$

- On envoie la séquence de bits de longueur $n=m+r$ tel que :

$$N(x) = M(x) \cdot x^r + R(x)$$

- $N(x)$ est multiple de $G(x)$ car :

$$\begin{aligned} N(x) &= M(x) \cdot x^r + R(x) = G(x) \cdot Q(x) + R(x) + R(x) \\ &= G(x) \cdot Q(x) \end{aligned}$$

- On décode en faisant la division, **le reste doit être nul**

Mathématique en base 2 :

Addition

+	0	1
0	0	1
1	1	0

Soustraction

-	0	1
0	0	1
1	1	0

Exemple

✦ $G(x) = x^2 + 1$, \rightarrow 101

✦ Message à envoyer : 1100 , c'est à dire $x^3 + x^2$

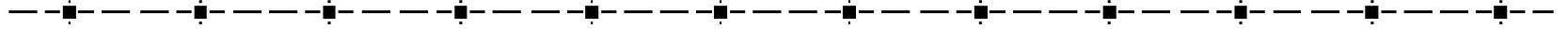
Division de $(x^3 + x^2) * x^2 = x^5 + x^4$ par le polynôme $G(x)$

$$\begin{array}{r|l} 110000 & 101 \\ 011 & \text{xxxx} \\ 011 & \\ 011 & \\ 011 & \end{array}$$

Reste 11

Message envoyé : 110011

$$\begin{array}{r|l} \text{Vérification : } 110011 & 101 \\ 011 & \\ 011 & \\ 010 & \\ 000 & \end{array}$$



Protocole de niveau 2

IEEE 802.3..., Ethernet -II

- ◆ Technique : CSMA/CD
Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection
- ◆ Topologie : Bus et maintenant maillage
- ◆ Méthode d'accès : par compétition

➔ Sur un bus :
(écoute du médium : si libre, émission
sinon attente)
Réémission après un temps d'attente si collision -> **half-duplex**

➔ **Topologie maillée** :
full-duplex → aucune collision possible

- ◆ Débit : 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10Gb/s

IEEE 802.3..., Ethernet -II

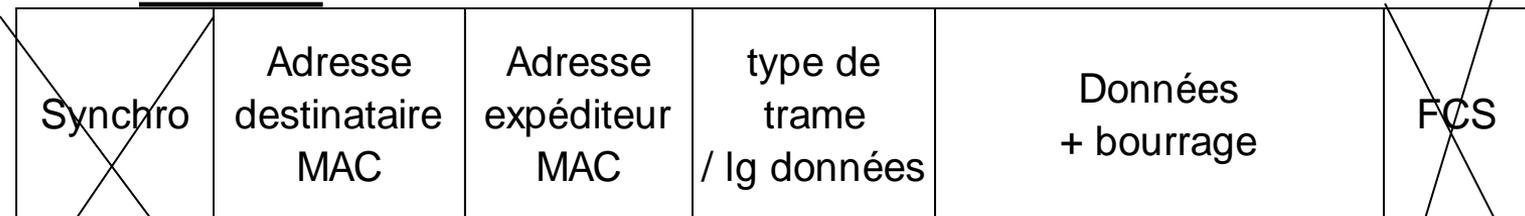
◆ Equipement :

Half-duplex -> HUB

Full-duplex → switch (commutateur)



◆ Trame :

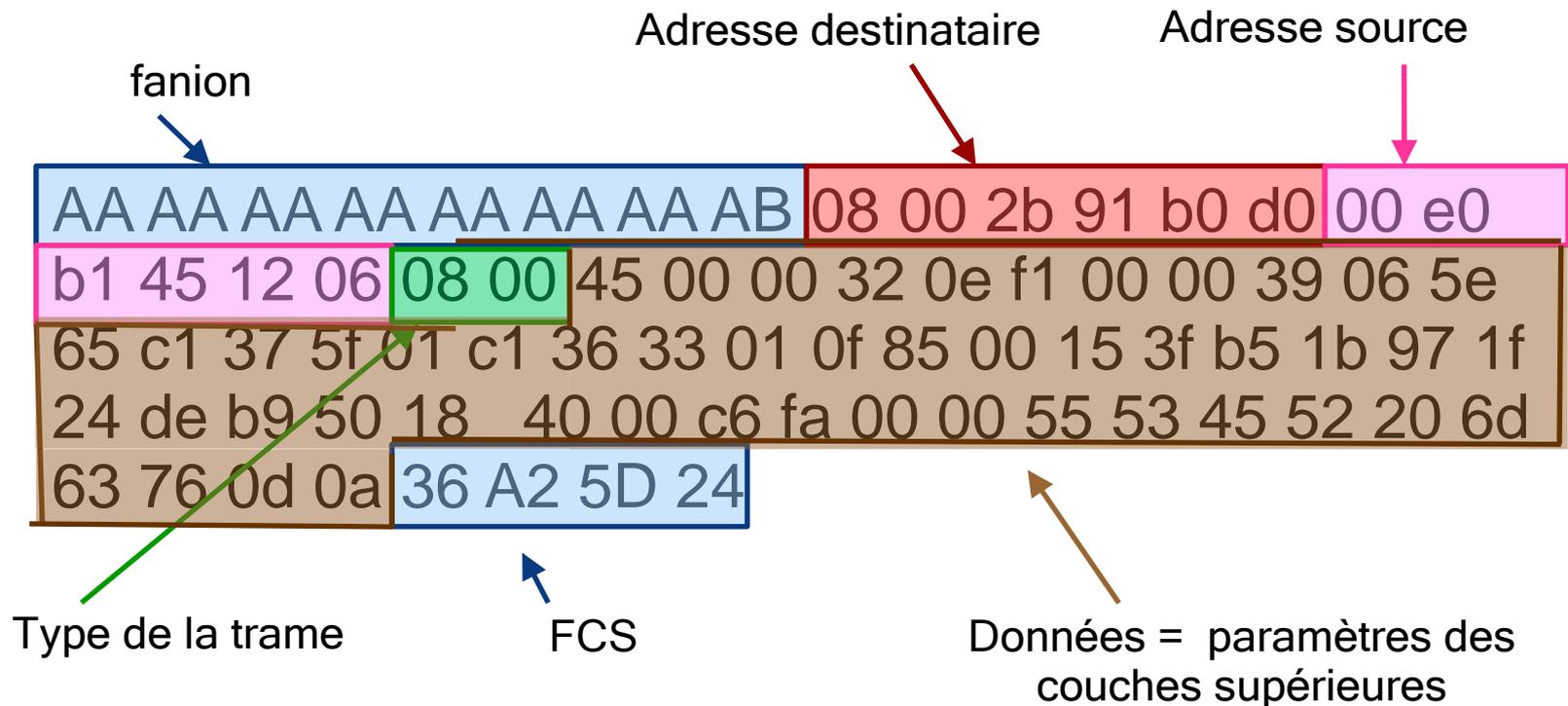


◆ Ethernet 802.3: lg données < 0x05DC

Ethernet -II : protocole de niveau 3 encapsulé > 0x05DC

Exemple ethernet -II

Exemple d'une trame en hexadécimal :



Le fanion et le contrôle d'erreur (FCS) ne sont jamais représentés sauf ici.

La norme 802.11

La norme **802.11** définit la couche 1 et 2 pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques :

- La couche physique
codage DSSS, FHSS, IrDA
DSSS: étalement de spectre en séquence directe
FHSS : étalement de spectre avec sauts de fréquence
- La couche Liaison de données
couche LLC et couche MAC

Cette norme permet d'avoir un débit de 1 ou 2Mb/s et elle utilise un accès au médium par compétition (méthode CSMA/CA)
(CA : Collision Avoidance)

**Mais, évolution de cette norme Wi-Fi
(Wireless Fidelity)**

Wi-Fi

Nom de la norme	Nom	Description
802.11a	Wi-fi 2	Débit : 54Mb/s, 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 Ghz.
802.11b	Wi-fi 1	Débit : 11Mb/s, portée 300m, 3 canaux radio dans la bande de fréquence des 2,4 Ghz
802.11c	Pontage	Etablissement d'un pont pour la norme 802.11d
802.11d	International	Etablit les règles à respecter entre les différents pays pour transporter les données 802.11
802.11f	Roaming	Interopérabilité entre les différents points d'accès pour permettre l'itinérance (définition de l'IAPP)
802.11g	Wi-fi 3	Débit : 54MB/s, portée 300m, compatible avec 802.11b
802.11i	WPA2	Amélioration de la sécurité pour les normes a, b et g.
802.11n	Wi-fi 4	Débit : 600 Mb/s avec intégration de la norme i mais pas de compatibilité avec les normes précédentes
802.11ac	Wi-fi 5	Débit : 1 300 Mb/s , utilisation de la bande de fréquences des 5 Ghz
802.11ax	Wi-fi 6, 6E	Débit max : 10 Gb/s , utilisation de la bande de fréquences des 5 Ghz et 2,4 Ghz
802.11be	Wi-fi 7	Débit max : 46 Gb/s , utilisation de la bande de fréquences des 5 Ghz , 2,4 Ghz mais aussi 6 Ghz, latence réduite

Topologies sans fils (1)

• 2 Sortes d'équipement

- *Une station sans fil*

- un ordinateur, smartphone, etc. muni d'une carte Wifi
(carte PCI, PCMCIA, adaptateur USB, carte compactflash, ...)

- *Un point d'accès* (Access Point) ou borne sans fil

- joue le rôle de pont entre réseau filaire et sans fil
- équipé : d'un émetteur/récepteur radio
d'une carte réseau filaire
d'un logiciel de pontage conforme à la norme 802.11d



Access Point

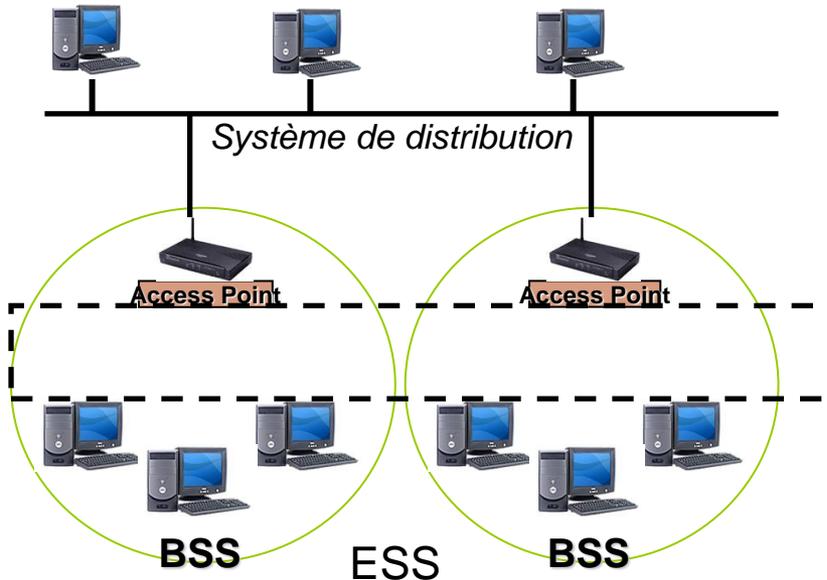


Topologies sans fils (2)

➤ Mode Infrastructure, autrement nommé **HOTSPOT**

- Au minimum , 1 **AP** + postes sans fil
BSS : Basic Service Set
 - identifié par un BSSID (abrégé en SSID -> Service Set Identifier)

Toute communication passe par le Point d'Accès



- Plusieurs BSS forment un ESS (Extended Service Set) relié par un DS (Système de Distribution)
 - identifié par un SSID

Possibilité de roaming si même SSID

Topologies sans fils (3)

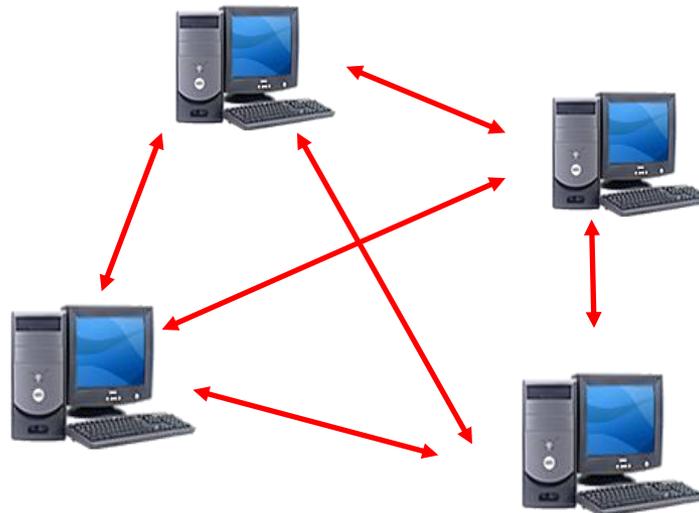
➤ Mode Ad-Hoc

- Aucun AP, que des postes sans fil

IBSS : Independant Basic Service Set

- identifié par un SSID

Communication directe entre poste



Distributed Coordination Function

❖ DCF

- Basé sur un accès CSMA/CA

Pour émettre :

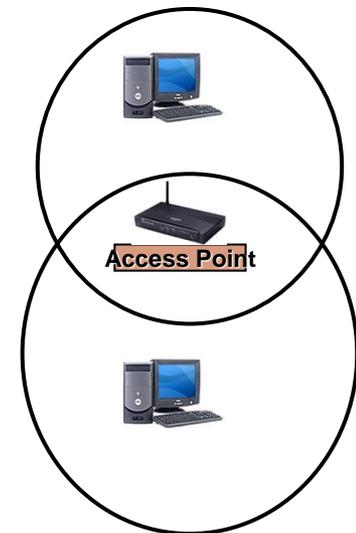
- On écoute le support (ondes)
- Si libre pendant un temps donné (*DIFS*, Distributed Inter Frame Space)
 - > transmission d'une trame Ready To Send (RTS) contenant les informations sur le volume de données et la vitesse de transmission.
 - > réception d'un Clear To Send (CTS)
 - > envoie des données
 - > récupération d'un ACK pour chaque trame

(RTS et CTS sont maintenant optionnelles)

Pourquoi un ACK pour chaque trame ?



2 stations peuvent vouloir émettre en même temps sans se voir. (Collision Avoidance...)



Sécurité Wifi

Problème : impossible d'arrêter les ondes

- > chiffrement des données sur le médium (niveau 2)
- > gérer par la norme : **WEP**

- Implémentation WEP (Wired Equivalent Privacy) (clé sur 40 bits / 104bits)
donnée par les utilisateurs auquel est rajouté un vecteur d'initialisation (24 bits).

Fonctionnement : chiffrement RC4 en utilisant clé + vecteurs
d'initialisation (IV)

Actuellement, quelques minutes pour le cracker.....

▪ Evolution

- Utilisation de la **norme WPA2 ou WPA3**
 - clé sur 2048 bits si nécessaire
 - chiffrement par AES
 - nouvel algorithme pour chiffrer les datas

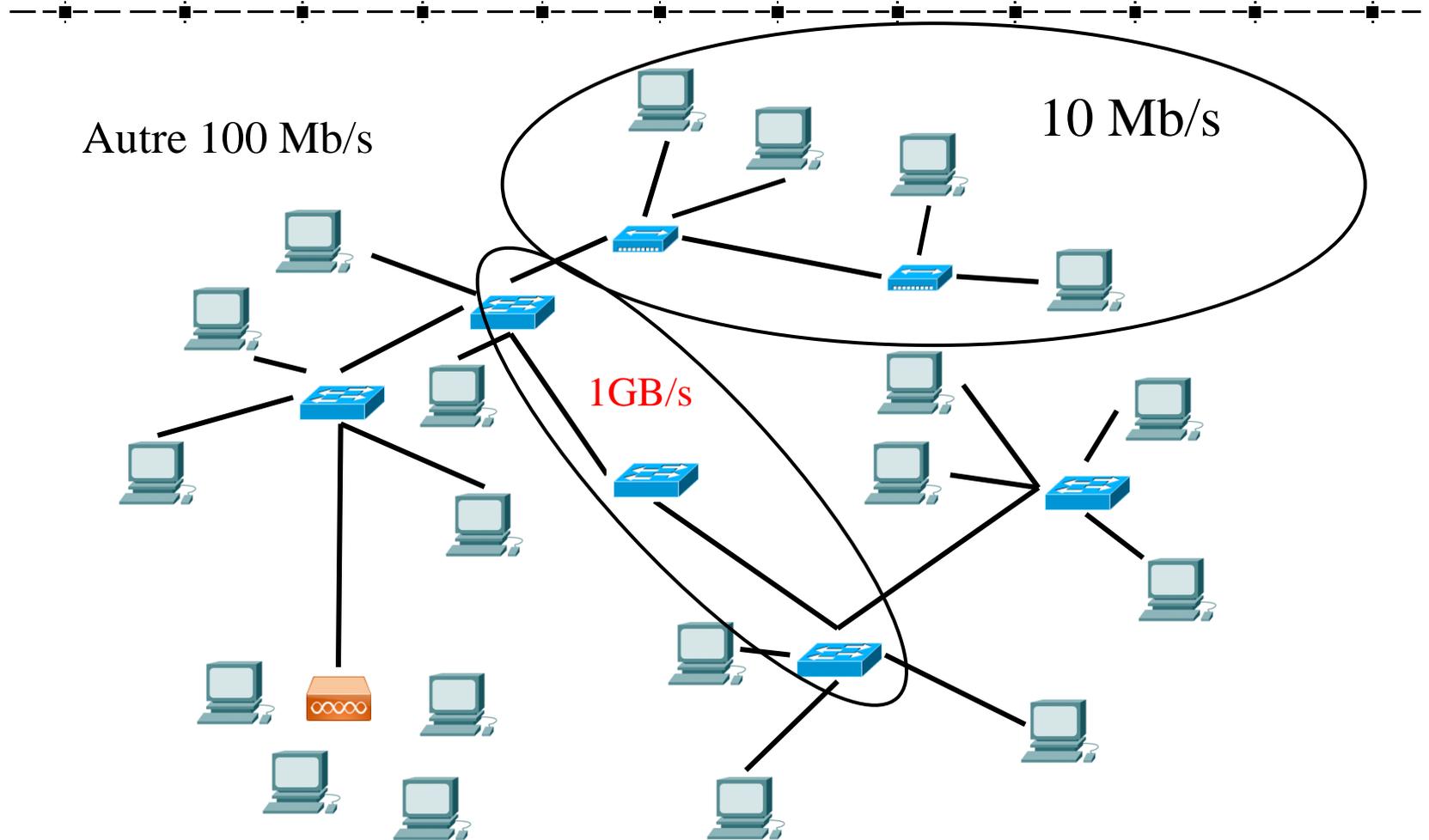
La couche LLC

-
- ✦ Les fonctions de la couche 2 non prises en charge par la couche MAC ont été placées dans la sous-couche LLC (Logical Link Control) :
 - ◆ points d'accès pour les entités des fournisseurs de couches 3.
 - ◆ rattrapage des erreurs (transformées en pertes par les couches MAC).
 - ◆ contrôle de flux.

Mais comme les 2 dernières fonctions ne sont pas toujours nécessaires, différentes couches LLC ont été spécifiées

Ethernet n'utilise pas de couche LLC, Wifi l'utilise.

LAN



Un LAN : ensemble d'équipements reliés entre eux par des switches, HUB ou Point d'accès.

Un switch

-
- ✦ Permet la connexion point à point (full-duplex)
 - ✦ Apprentissage des @MAC
 - ◆ Table d'adresse mac
 - ✦ Laisse passer les trames du niveau 2 en broadcast
 - ✦ Permet de sécuriser le réseau car les données ne sont transmises que sur le lien destinataire
 - ✦ Création de VLAN (virtual LAN)
 - ✦ Pb : possibilité de saturer la table des @MAC → Hub
 - ✦ Vol d'@MAC
 - ✦ **Sécurisation des ports du switch**

ADSL (1)

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line

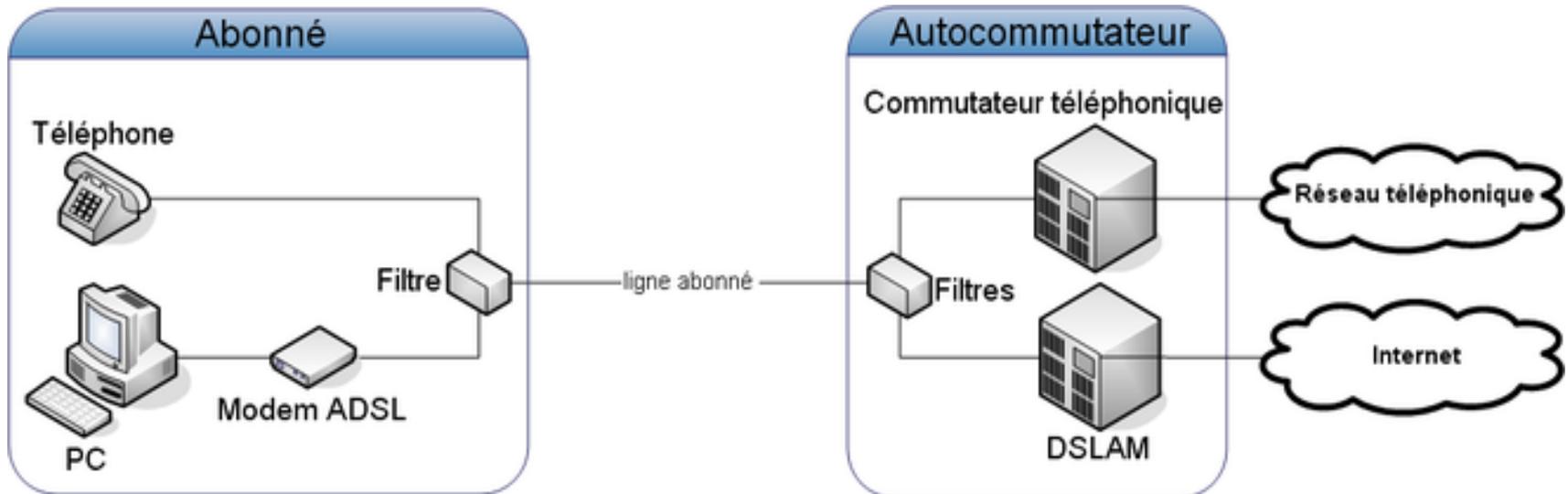
La ligne d'abonné (paire de cuivres) a une bande passante dont la largeur est de plusieurs centaines de Khz, mais le téléphone (vocal) n'utilisait qu'une petite partie.

✦ Transmission dans la communication téléphonique

✦ bande : 0 à 3400 Hz

$W = 4000 \text{ Hz}$

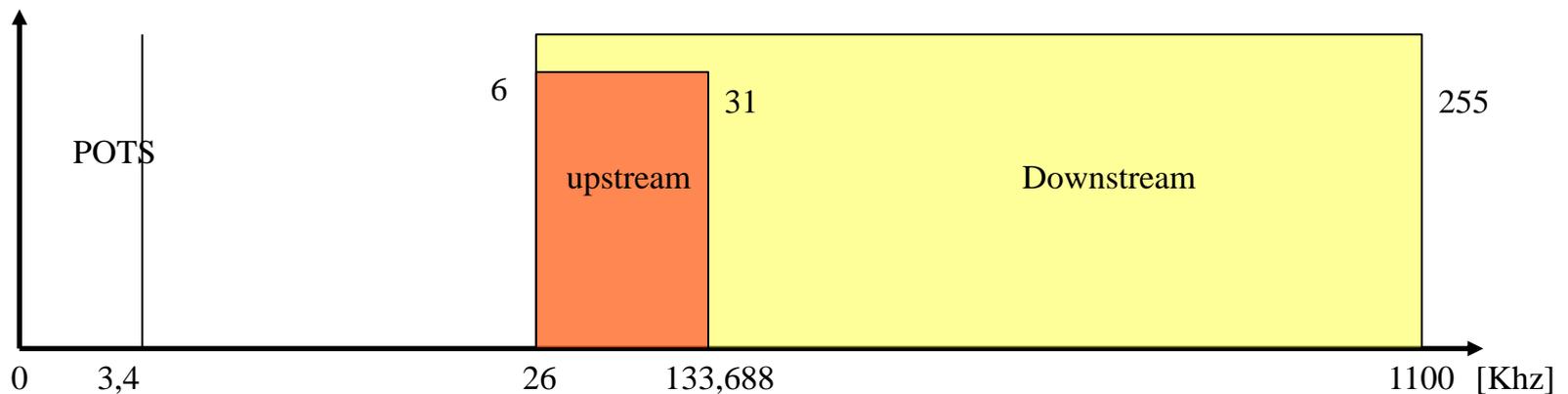
$D_{\text{max}} = 64 \text{ Kb/s}$

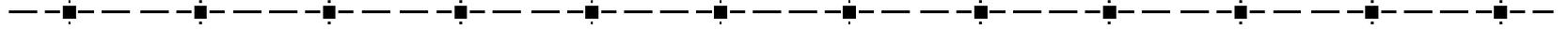


ADSL (2)

Transmission sur toute la capacité de la ligne : xDSL

- ◆ la bande est divisée en canaux (sous-bandes) de 4,3125 KHz
- ◆ le canal 0 n'est pas utilisé, et les canaux 1 à 6 sont réservés pour la téléphonie classique (POTS – *Plain Old Telephone Service*). *Tout le canal est maintenant utilisé par le réseau informatique.*
- ◆ les autres canaux (8 à 255) sont répartis d'une manière asymétrique entre le flux *upstream* (de 8 à 31) et le flux *downstream* (de 32 à 255)
 - Pour l'ADSL et l'ADSL2, BP = 1,1 Mhz
 - Pour l'ADSL 2+, BP = 2,2 Mhz
- ◆ Valence d'un signal sur une porteuse entre 2^2 et 2^{15}
- ◆ Un signal est répété 4000 fois par seconde environs
- ◆ $D_{\text{max_théorique}} = 223 * 15 * 4000 = 13\,380$ kb/s pour ADSL





La couche 3

Réseau ou Internet

Communiquer dans le monde entier

Plan du chapitre

La couche Réseau (couche 3)

- 1) Les fonctionnalités
- 2) Les adresses IP
 - IPv4
 - IPv6
- 3) Le routage
- 4) Fonctionnement de la couche réseau
 - ARP

Couche 3 - Fonctionnalités

- L'unité d'information est le **paquet**
- Les fonctionnalités de la couche 3
 - *Mode de connexion*
 - 2 modes existent : connecté (ATM, X25,...), non connecté (IP,...)
 - *Désignation des systèmes (adressage)*
 - **Unicité des adresses (obligatoire) au niveau mondial**
 - *Calcul des routes*
 - Trouver un chemin entre la source et la destination

Désignation des systèmes

✦ Adressage

- ✦ L'adresse permet de déterminer de **façon unique** le destinataire d'un paquet et son emplacement géographique **au niveau mondial.**

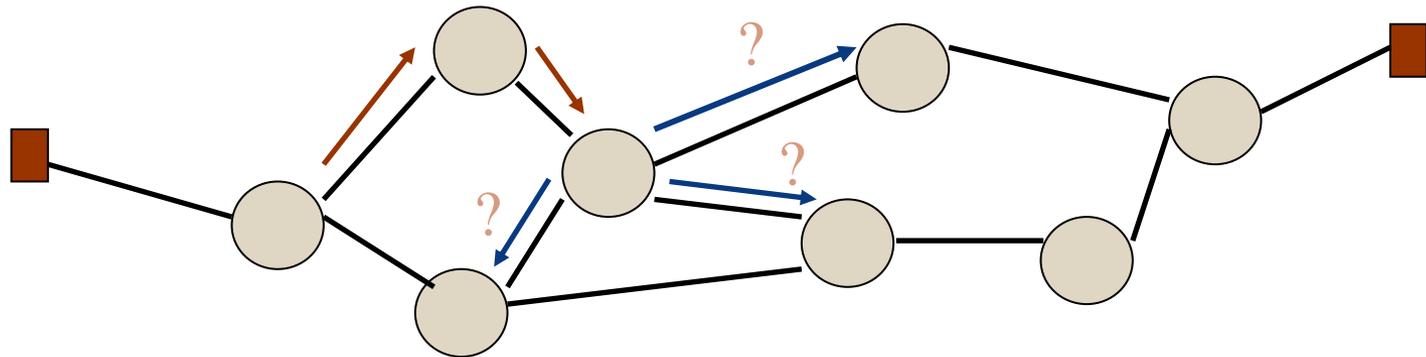
Ex : N° téléphone pour le RTC

N° IP pour une machine

- ✦ mode connecté après création circuit virtuel :
 - N° du circuit virtuel
- ✦ mode non connecté:
 - **L'adresse complète pour chaque paquet**

Calcul des routes - Routage

L'acheminement des paquets vers un destinataire dans un réseau maillé est réalisé par un procédé appelé **routage**.



A chaque nœud correspond **un routeur** contenant *une table (table de routage)* et mettant en place des algorithmes permettant *l'acheminement des paquets dans Internet* et éventuellement la mise à jour des tables automatiquement.

Les nœuds routent du mieux qu'ils peuvent (notion de best effort d'IP).

Routage (2)

Politiques de calcul

- Fixe (une fois pour toutes)
- Adaptative aux modifications de topologie ou de charge

Participants aux calculs

- Un seul centre (routage centralisé)
- Tout ou partie des systèmes appelés routeurs (routage distribué ou réparti)

Portée du calcul

- Le prochain pas (hop by hop)
- Toute la route (source routing)

Méthodes de calcul

- Aléatoire (dirigé ou non)
- Inondation
- Avec table de routage
 - Fixes
 - Adaptatives
 - Nécessitent la transmission d'informations d'état de la topologie et de la charge
 - Protocoles d'échange d'informations de routage : RIP, BGP, OSPF, IS-IS...