

# Plan du chapitre

## Communications sur un médium

- 1) La couche 1 (couche physique)
  - Quelques définitions
  - Les différents câbles
- 2) La couche 2 (liaison de données), MAC, LLC
- 3) Présentation de quelques protocoles
  - IEEE 802.3 et Ethernet II
  - Anneau à jeton
  - 802.11, Wifi
- 4) Code détecteurs/correcteurs d'erreurs

# La Couche Physique

# Caractéristiques des médiums

## bande passante

- Espace de fréquence des signaux transmis sans affaiblissement

## valence

- Nombre d'états logiques distincts pour représenter l'information

## débit maximal d'une voie

- $D = W * \log_2 (1+S/B)$     S/B : rapport signal sur bruit (db).
- Théorème de Shannon

## taux d'erreurs

### Matériaux conducteurs

Cuivre  
Argent  
Or

### semi-conducteurs

Carbone  
Silicium  
Germanium

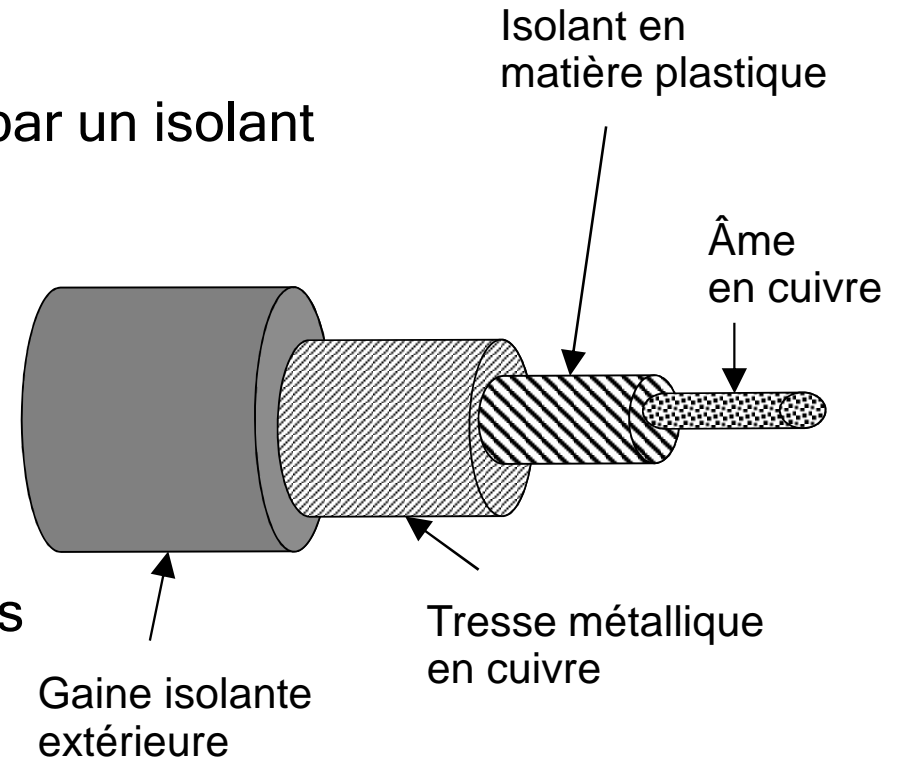
### isolants

Verre  
Papier  
Air  
Matière plastique

# Types de médium (1)

## Le câble coaxial:

- 2 conducteurs concentriques séparés par un isolant
- BP = 120MHz, débit = 10 Mb/s
- Longueur de câble max : 500m
- $T_e = 10^{-9}$
- Coût : économique
- Très utilisé pour la télévision
- Nécessite des bouchons aux extrémités

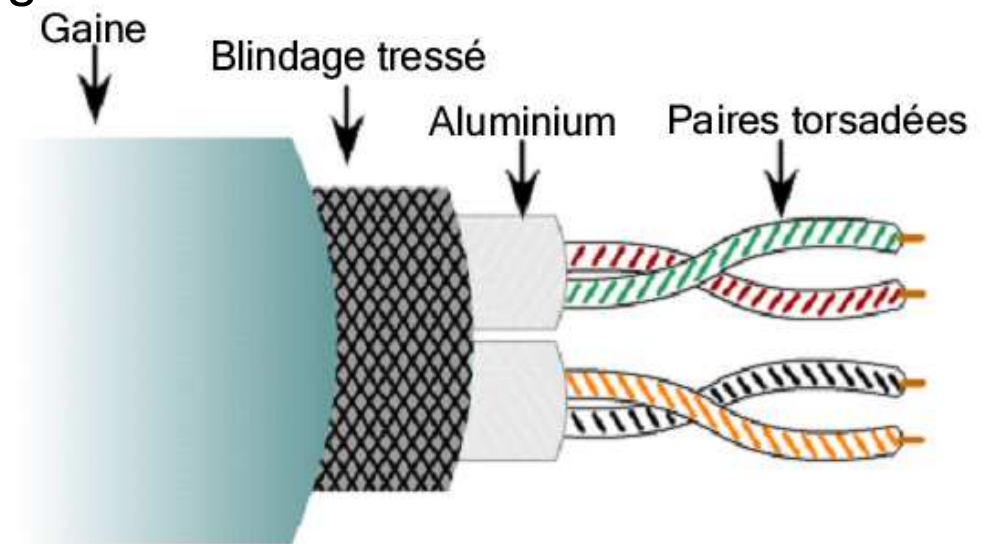


- 2 sortes de câble coaxial pour les réseaux informatiques
  - Nom : câble Ethernet épais -> norme ethernet : 10 Base 5
  - Nom : câble Ethernet fin -> norme ethernet : 10 base 2 (le plus utilisé)

# Types de médium (2)

## Le câble à paires torsadées blindées (STP : Shielded Twisted Pair)

- conducteurs de cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe et protégés par de l'aluminium (torsade -> réduction du bruit électromagnétique)
- 2 paires de fils
- BP = 500kHz, débit = 10 à 1000Mb/s
- Longueur de câble max : 100 m
- $T_e = 10^{-7}$
- Coût : modéré

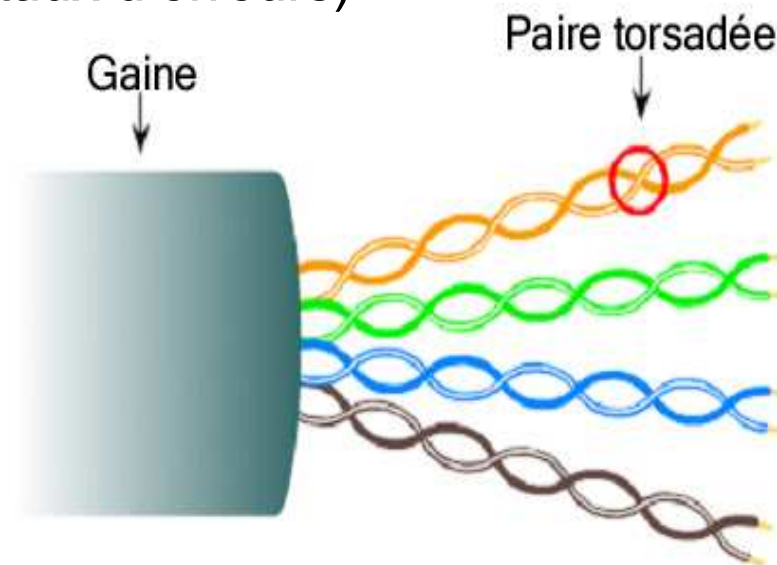


## • Le câble ScSTP (screened Twisted Pair)

- Câble STP avec 4 paires de fils (très utilisé et assimilé à STP)

# Types de médium (3)

- **Le câble à paires torsadées non blindées (UTP : unshielded Twisted Pair)**
  - conducteurs de cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe  
( torsade ->réduction du bruit électromagnétique)
  - 4 paires de fils
  - BP = 500kHz, débit = 10 à 1000Mb/s
  - Longueur de câble max : 100 m
  - Catégorie 4, 5, 5e, 6 (diminue le taux d'erreurs)
  - Coût : le moins onéreux



# Types de médium (4)

## Le Faisceau satellitaire :

- 40 GHz > BP > 400 MHz, débit = 140 Mb/s
- antenne directive vers satellite + relais sur terre
- satellite géostationnaire ( à 36000 km de la terre)

## • Le Faisceau Hertzien :

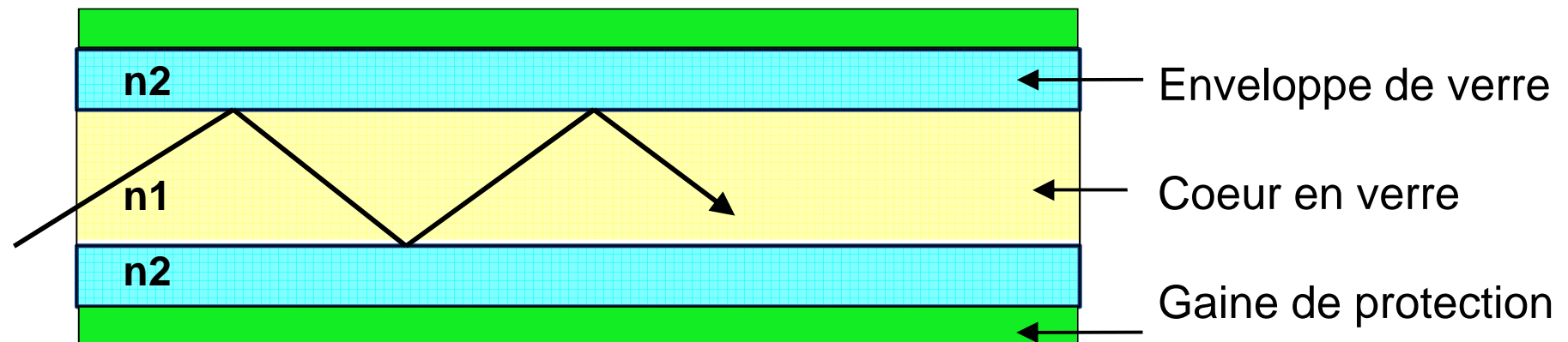
- BP limitée , bande ISM : Industrial, Scientific and Medical  
( 900 Mhz, 1800 Mhz, 2,4 Ghz, 5 Ghz, 5,7 Ghz...)
- Débit : dépend de la norme utilisée et du mode d'accès aux fréquences  
( de 1MB/s à 100 MB/s)
- Distance : jusqu'à 200 m (diffusion circulaire) -> norme 802.11, Wifi, bluetooth, Zigbee  
jusqu'à 50 km (point à point) -> norme Wimax

( Pourquoi maximum = 50 km ? )

# Types de médium (5)

## La fibre optique :

- BP > 1 GHz, débit = 10 Gb/s, mode simplex -> toujours 2 fibres
- distance = 2 ou 3 Kms.
- propagation de la lumière par réflexions successives sans perte
  - Indice de réfraction  $n_1$  (cœur) >  $n_2$  (enveloppe)
  - Angle d'incidence du rayon lumineux supérieur à l'angle critique du cœur et de l'enveloppe ( pour éviter la réfraction)
- fibre monomode ( un chemin, cœur = 10 microns, diamètre extérieure = 125 microns)
- fibre multimode ( plusieurs chemins, cœur 50 microns, diamètre extérieure = 125 microns)
- Utilisation laser ou LED, aucun bruit électromagnétique





# Récapitulatif

	débits	longueur maximale	raccordement	prix
<b>câble coaxial</b>	10 Mb/s	200 m à 500 m	BNC	ancien
<b>paire torsadée</b> <b>Blindée ou non</b>	10 Mb/s à 1 Gb/s	100 m	RJ45	le moins cher
<b>fibre optique</b>	100 Mb/s à 10 Gb/s	quelques km	SC	cher
<b>faisceau satellitaire</b>	140 Mb/s	qq centaines km à qq milliers km	antenne directive	très cher
<b>faisceau hertzien</b> <b>(réseau sans fil)</b>	1Mb/s à 70Mb/s	qq cm à qq km	antenne (directive)	très divers
<b>ligne série</b>	très divers	très divers	Modem	très divers

# Médium téléphone

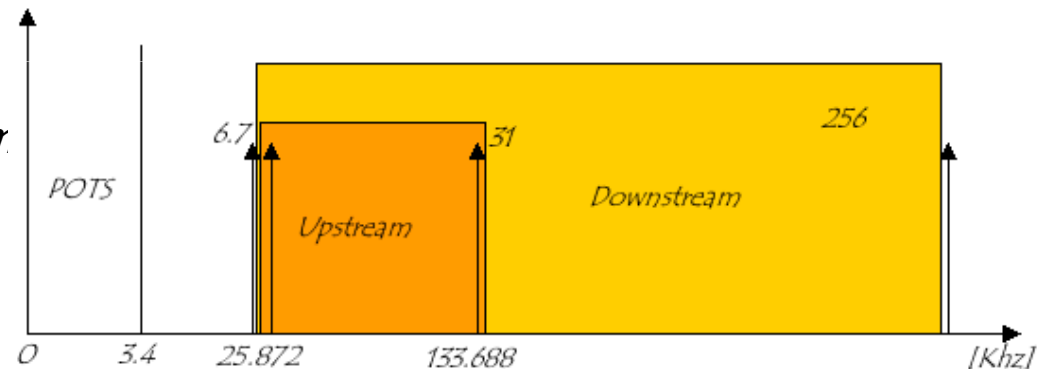
La ligne d'abonné (paire de cuivres) a une bande passante dont la largeur est de plusieurs centaines de KHz, mais le téléphone (vocal) n'utilise que la bande de largeur 0 à 4000 Hz

- Transmission dans la communication téléphonique

- bande : 0 à 3400 Hz       $W = 4000 \text{ Hz}$        $D_{\max} = 64 \text{ Kb/s}$

- Transmission sur toute la capacité de la ligne : xDSL

- la bande est divisée en canaux (sous-bandes) de 4,3125 KHz
- le canal 0 (0 à 4312 Hz) est réservé pour la téléphonie (POTS - *Plain Old Telephone Service*), et les canaux 1 à 6 sont réservés
- les autres canaux (7 à 255) sont répartis entre le flux *upstream* et le flux *downstream* (de l'opérateur vers le client)
- $D_{\max} = 60 \text{ Kb/s}$  par canal



# Les médiums - raccordement



## ETTD équipement terminal de traitement de données

- *DTE data terminal equipment*
- *Exemple : PC, routeur,...*

## ETCD équipement terminal de circuit de données

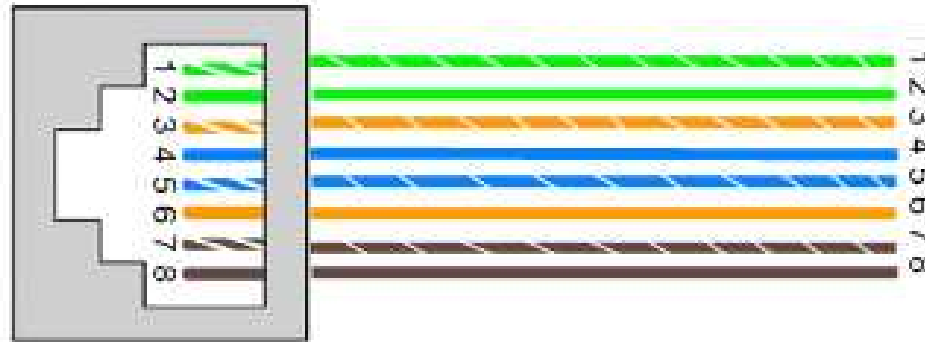
- *DCE data circuit equipment*
- *Exemple : modem téléphonique, modem RNIS, modem DSL, capteur...*

## la transmission peut être :

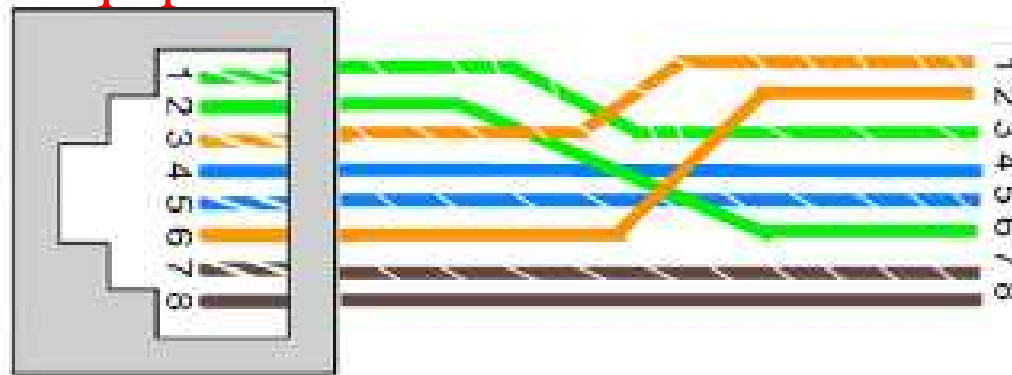
- *simplex*                      *semi-duplex (half-duplex)*                      *duplex*

# Raccordements physiques en RJ45

- Connexion d'équipements différents -> câble droit (straight-through cable)



- Connexion d'équipements similaires -> câble croisé (crossover cable)



1-2 : émission  
3-6 : réception

# Codages de l'information pour la transmission

## 2 modes de transmission

- Bande de base

- différents codages possibles:
  - code NRZ ( Non Remise à Zéro)
  - code de Miller
  - code de Manchester ou Manchester différentiel
  - code bipolaire

- Large bande ou bande modulée

- Sinusoïde modulée :
  - en amplitude
  - en fréquence
  - en phase,...
  - modulations combinées

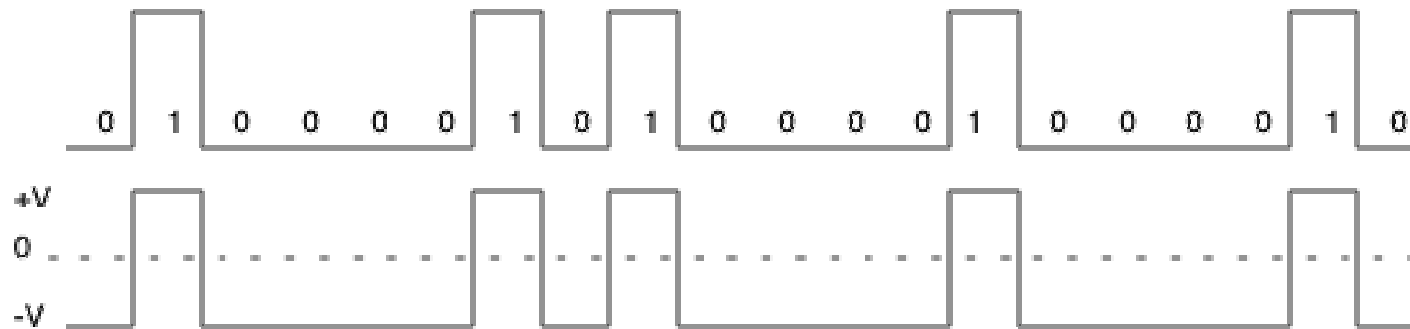
# NRZ

## Utilisation

- pour relier deux ordinateurs par câble croisé

## Inconvénients

- pas de transition lors de longues séquences de 0 ou de 1 => pas de possibilité de synchroniser les horloges,
- composante continue diminuée, mais non nulle



# Manchester

## Codage

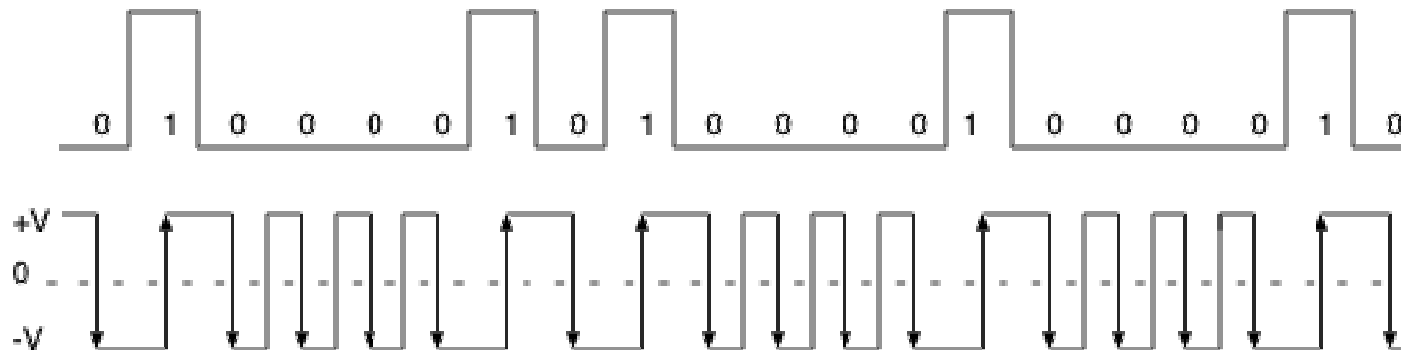
- Une transition est faite au milieu de chaque temps bit.
- La transition est montante pour 1, descendante pour 0

## Utilisation

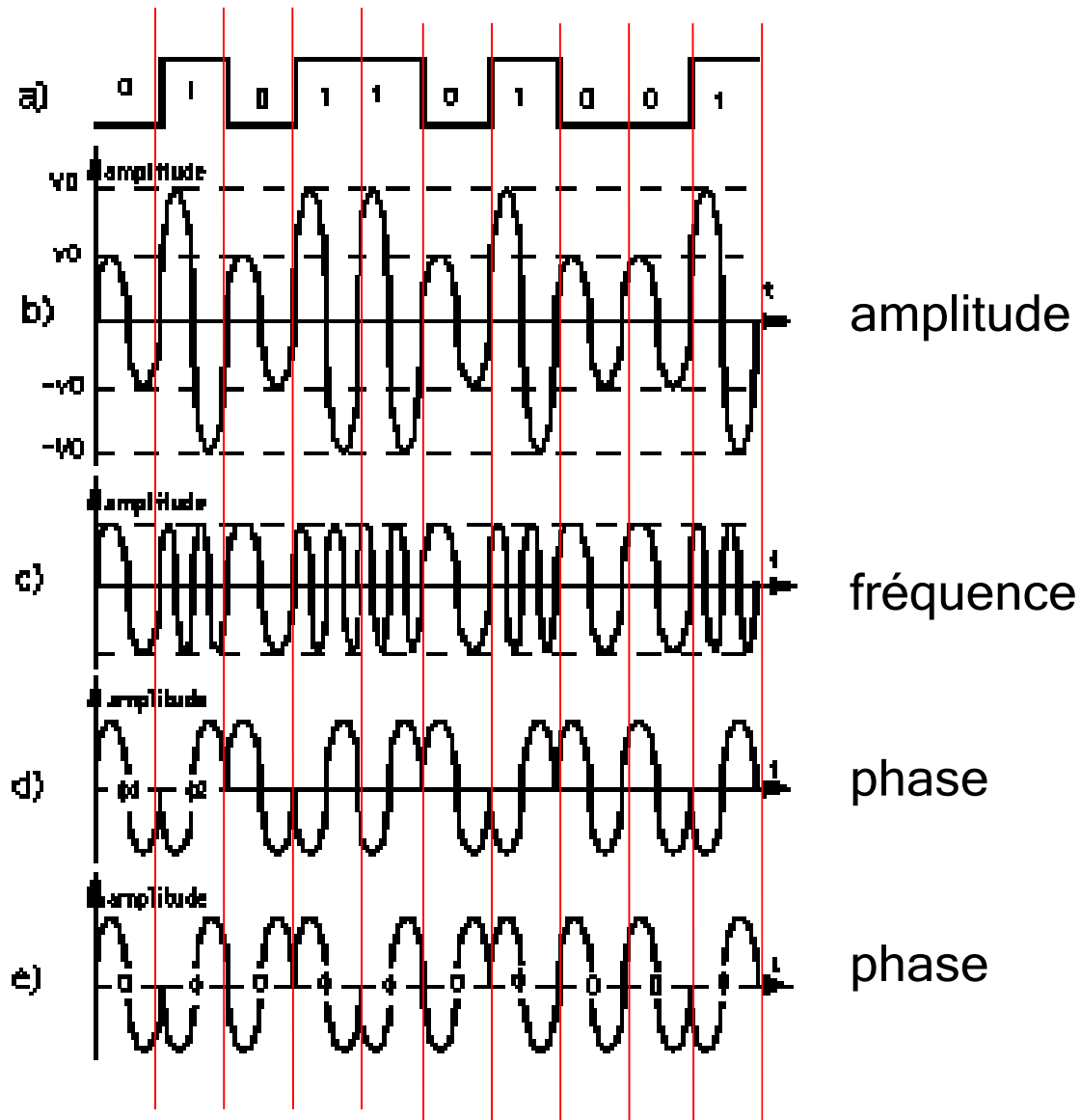
- pour les liaisons Ethernet

## Inconvénients

- largeur du spectre de la bande passante (BP double de celle du codage NRZ)
- ne pas inverser les polarités, sinon le code est inversé



# Modulations





# Les problèmes physiques

- *L'atténuation* : baisse d'amplitude du signal le long d'une liaison (db)  
->nécessité de régénérer le signal
- *Discontinuité d'impédance* : mauvaise adaptation du câble sur la prise  
**⇒Atténuation + discontinuité d'impédance = affaiblissement d'insertion**
- *Diaphonie* : transmission des signaux d'un fil à un autre fil proche
  - diaphonie locale
  - diaphonie distante
- **Test physique d'un câble** :
  - schéma de câblage (correct, ouvert, court-circuit),
  - affaiblissement d'insertion,
  - diaphonie locale et distante,
  - délai de propagation,
  - longueur de câble, etc...

# Les équipements physiques

- Les Différents câbles
- Les équipements actifs pour relier le réseau ou régénérer le signal



HUB



Modem




Répéteur

et aussi pont, routeur,...

- Les antennes






# La couche 2

## Les couches MAC

# Couche 2 - Généralité

## Les différentes fonctionnalités de la couche 2

- Gestion des données sous forme de trames (*frames*)
  - Problème : Repérage des 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

# La couche MAC - Généralité (1)

Transmission de bits entre systèmes raccordés à un médium

Liaison de données	Logical Link Control ( 802.2 )					<b>LLC</b>  <b>MAC</b>
	CSMA/CD (802.3 )	Bus (802.4)	Jeton (802.5)	DQDB (802.6)	Sans fil (802.11)	
Physique	Câble coaxial	Fibre optique	Paire torsadée		....	

MAC : Medium Access Control

Tout signal émis par l'un des systèmes raccordés est entendu par tous les autres

# La couche MAC - Généralité (2)

## Une entité-MAC par système

- reçoit les demandes d'émission (de l'intérieur du système)
- décide quand émettre (méthode d'accès au médium)
- écoute ce qui est transmis, et décide de recevoir

Tout signal émis par l'un des systèmes raccordés est entendu par tous les autres

## Appellation unique de chaque entité MAC sur le médium

- Identifie le système sur le médium

## Remarque:

Un système raccordé à plusieurs médiums a autant d'entités-MAC que de raccordements, donc autant d'appellations.

# La couche MAC - Généralité (3)

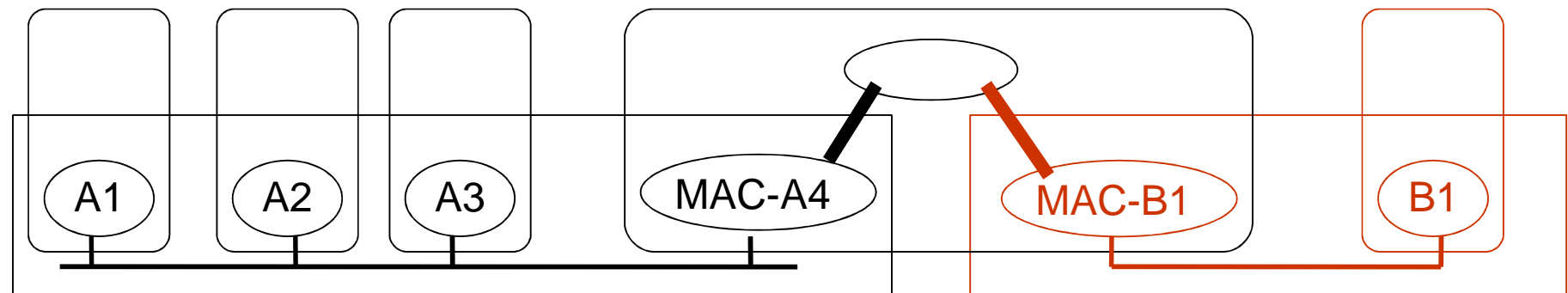
## ❏ Si plusieurs couches MAC

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



# MAC - méthodes d'accès

## point-à-point

- les 2 systèmes peuvent émettre en même temps, sur des fréquences différentes (pré-allocation en fréquence)

## point-à-multipoint

- toutes les stations doivent émettre sur la même fréquence
- mais pas en même temps (sinon collision)
- il faut un règlement pour le droit d'émission (méthode d'accès)
  - pré-allocation en fréquence, en temps, en fréquence et en temps
  - par un jeton (token) :
    - la possession du jeton donne le droit d'émettre
    - transmission du jeton de système en système (anneau réel ou virtuel)
  - géré par un maître (le maître donne le droit d'émettre)
  - CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
    - écoute avant d'émettre, attente si transmission en cours
    - CD (Collision Detection) : transmission, et écoute pour détecter une collision
    - CA (Collision Avoidance) : envoi d'une demande de transmission et acquittement du destinataire



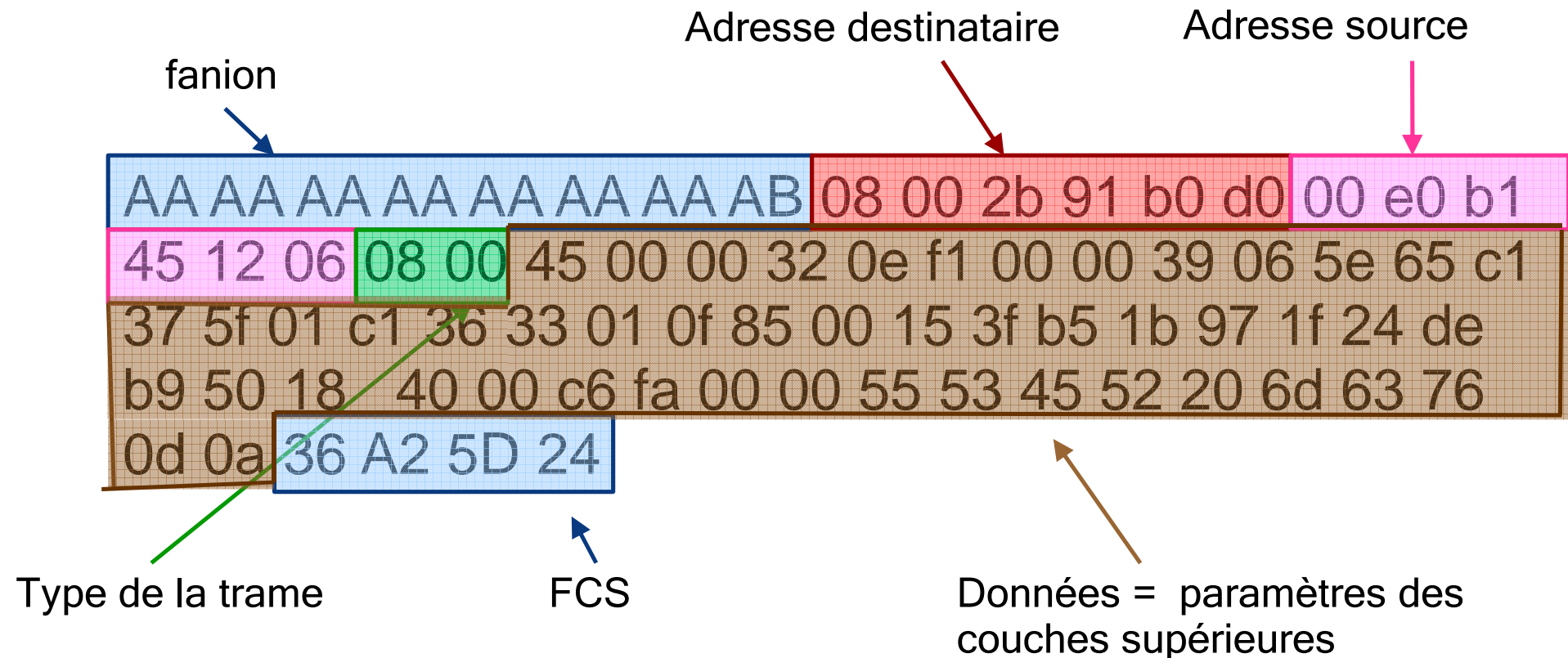
# IEEE 802.3, Ethernet -II

- ◆ Technique : CSMA/CD  
Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection
- ◆ Topologie : Bus et maintenant maillage
- ◆ Méthode d'accès : par compétition  
(écoute du médium : si libre, émission  
sinon attente)  
➡ Réémission après un temps d'attente si collision
- ◆ Débit : 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10Gb/s
- ◆ Trame :

8 octets	6 octets	6 octets	2 octets	1 à 1500 octets	4 octets
Synchro	Adresse destinataire	Adresse expéditeur	type de trame / lg données	Données + bourrage	FCS

# Exemple ethernet -II

Exemple d'une trame en hexadécimal :



En général, le fanion et le contrôle d'erreur (FCS) ne sont jamais représentés.

# Anneau à Jeton 802.5

- ◆ Technique : Token Ring
- ◆ Topologie : Anneau
- ◆ Méthode d'accès : par élection
  - Passage d'un jeton (droit de parole) entre les machines
  - Priorité des messages
  - Jeton de 3 octets (SD , AC, ED)
- ◆ Débit : 4 ou 16 Mb/s
- ◆ Trame :

2 octets	1 octet	2 ou 6 octets	2 ou 6 octets	x octets	4 octets	2 octets
SD+AC	Contrôle de trames	Adresse destinataire	Adresse expéditeur	Données	FCS	synchro

# 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	Wifi5	Débit : 54Mb/s, 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 Ghz.
802.11b	Wi-fi	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
802.11e	QoS	Définition d'une QoS
802.11f	Roaming	Interopérabilité entre les différents points d'accès pour permettre l'itinérance ( définition de l'IAPP)
802.11g	Wi-fi	Débit : 54MB/s, portée 300m, compatible avec 802.11b
802.11h	?	Norme proche de HyperLan 2, réseau européen
802.11i	WPA2	Amélioration de la sécurité pour les normes a, b et g.
802.11j	?	Norme pour la communauté japonaise
802.11n	Wi-fi	Débit : 320 Mb/s avec intégration de la norme i mais pas de compatibilité (norme acceptée en 09/2009)

# Topologies sans fils (1)

- **2 Sortes d'équipement**

- *Une station sans fil*

- un ordinateur 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

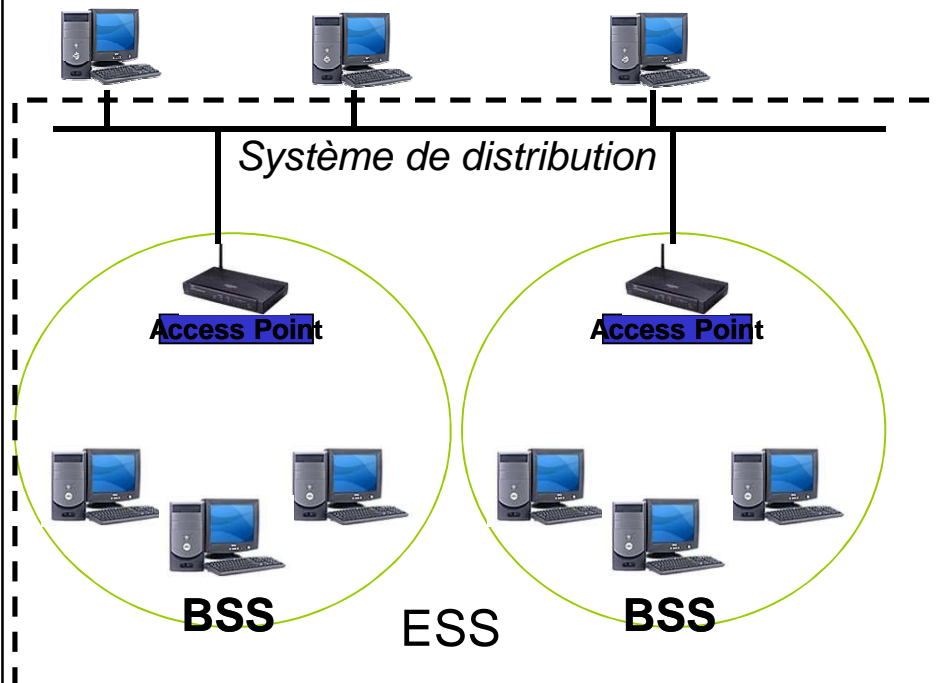
# Topologies sans fils (2)

## ◆ Mode Infrastructure

- Au minimum , 1 AP + postes sans fil

➡ BSS : Basic Service Set

- identifié par un BSSID ( abrégé en SSID -> Service Set Identifier)



- 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*

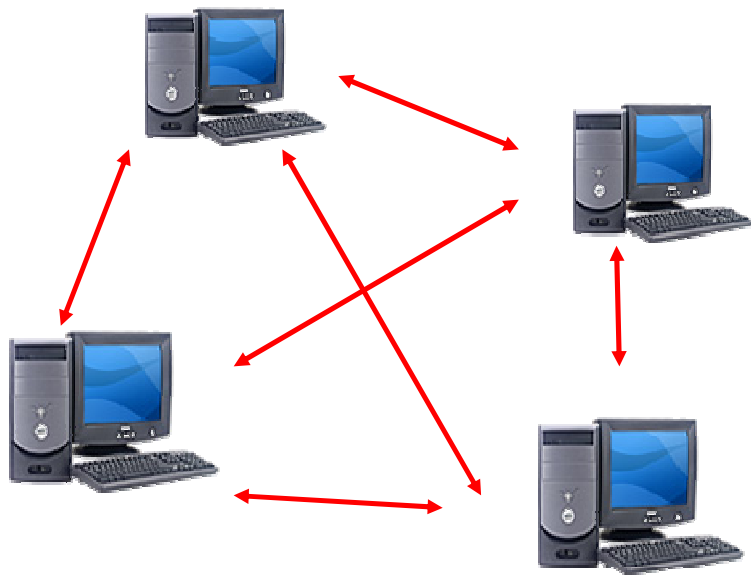
# Topologies sans fils (3)

## ◆ Mode Ad-Hoc

- Aucun AP, que des postes sans fil

➡ IBSS : Independant Basic Service Set

- identifié par un SSID



- Problème pour le routage

si A ---> B  
si B ---> C } alors A ~~---~~> C

*Tout le monde doit voir tout le monde  
ou  
Pc configuré comme routeur*



# Trames utilisées

## ◆ La couche MAC

- Similaire à la couche Mac ethernet pour les adresses
- **Fonctionnalité**
  - Contrôle d'accès au support
  - Contrôle d'erreur par CRC
  - Fragmentation et réassemblage
  - Gestion de l'énergie
  - Gestion de la mobilité
- **Deux méthodes d'accès pour le 802.11a, b, g**
  - **DCF** ( Distributed Coordination Function ) : utilisation pour les données asynchrones, collisions possibles
  - **PCF** ( Point Coordination Function) : utilisation pour les données synchrones, pas de collision (méthode non utilisée).

# Distributed Coordination Function

## ◆ DCF

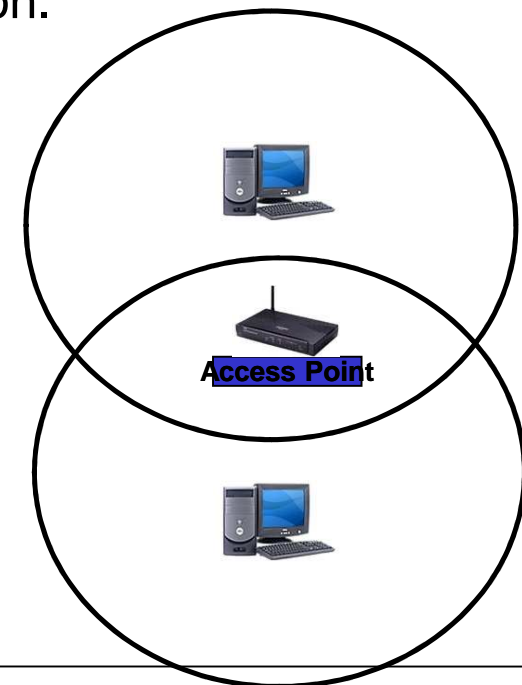
### • Basé sur un accès CSMA/CA

Pour émettre :

- On écoute le support ( ondes)
- Si libre pendant un temps donné ( *DIFS*, Distributed Inter Frame Space)
  - > transmission d'une frame 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 frame

Pourquoi un ACK pour chaque frame ?

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



# PPP (*Point to Point Protocol*)

## caractéristiques

- médium : ligne série non permanente
- méthode d'accès : AMRF
- destinataire unique
- livraison sans erreur

## points d'accès

- un point d'accès par couche supérieure
- adresse = code de la couche supérieure  
(*RFC 1700, PPP DLL, protocol numbers*)

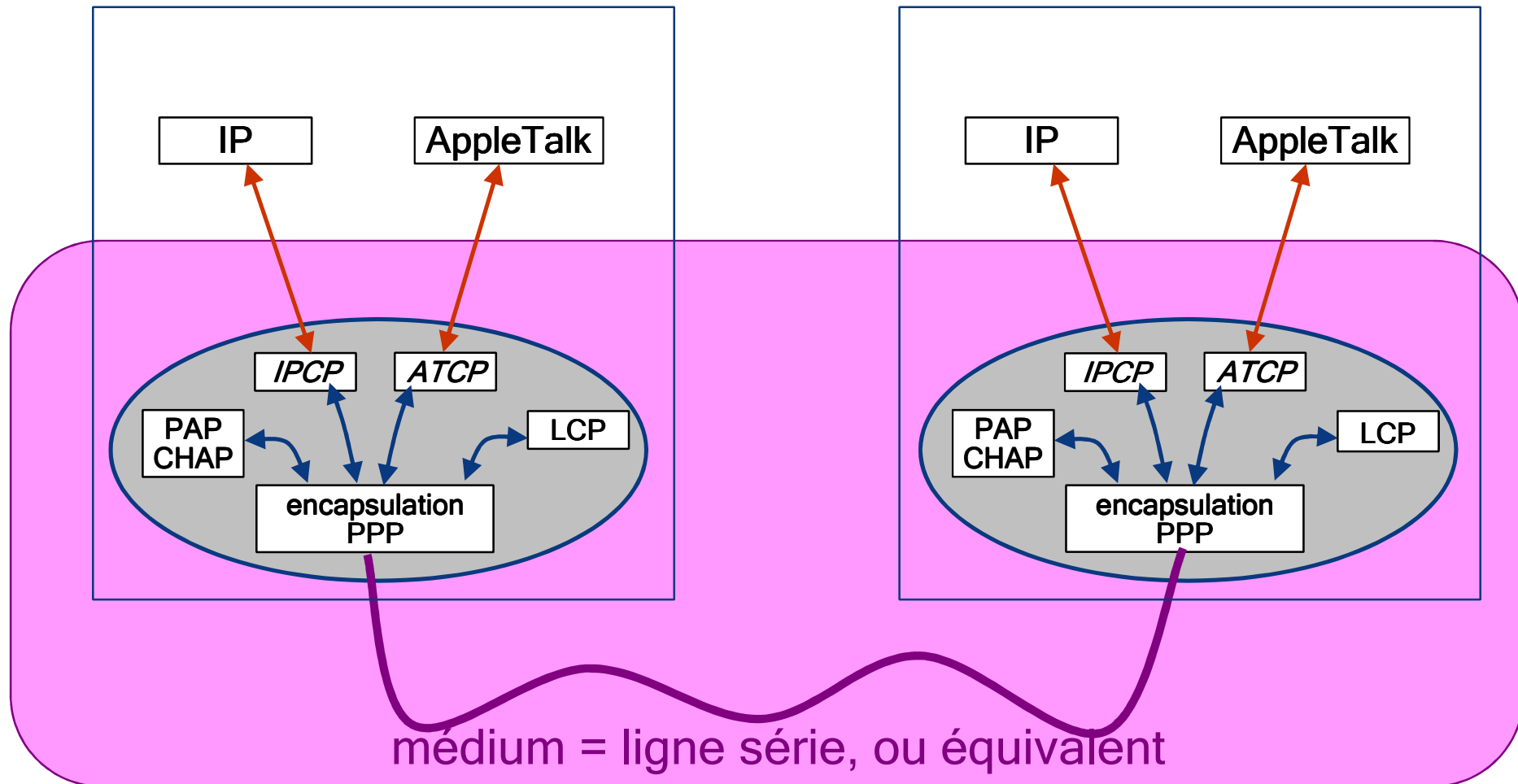
## mode connecté

- livraison garantie ou avertissement de non-livraison

## protocole

- transfert de données utilisateur
- contrôle de qualité de transmission
- authentification
- cryptage
- compression

# PPP - schéma



# 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

# Traitement des erreurs

# Le Traitement des erreurs (1)

- ◆ -  $T_e$  = taux d'erreur
    - $T_e$  = Nb bits erronés / Nb bits transmis pendant une période d'observation
- $$10^{-9} < T_e < 10^{-3}$$

## Principes

Un **vocabulaire** commun à l'émetteur et au récepteur  
L'émetteur n'émet que des **mots** du vocabulaire

Le récepteur reçoit une chaîne de bits qui :

- ◆ n'est pas un mot du vocabulaire → détection d'une ou plusieurs erreurs
- ◆ est un mot du vocabulaire →
  - Pas d'erreur de transmission
  - ou
  - plusieurs erreurs qui se compensent

# Le Traitement des erreurs (2)

## Exemple


Vocabulaire	A	B	C
V1	00	01	10
V2	000	011	101
V3	00000	01111	10110

L'émetteur envoie le mot A  
Erreur sur le 2ème bit  
Que détecte le récepteur ?

*La chaîne de bits appartient-elle au vocabulaire ?*

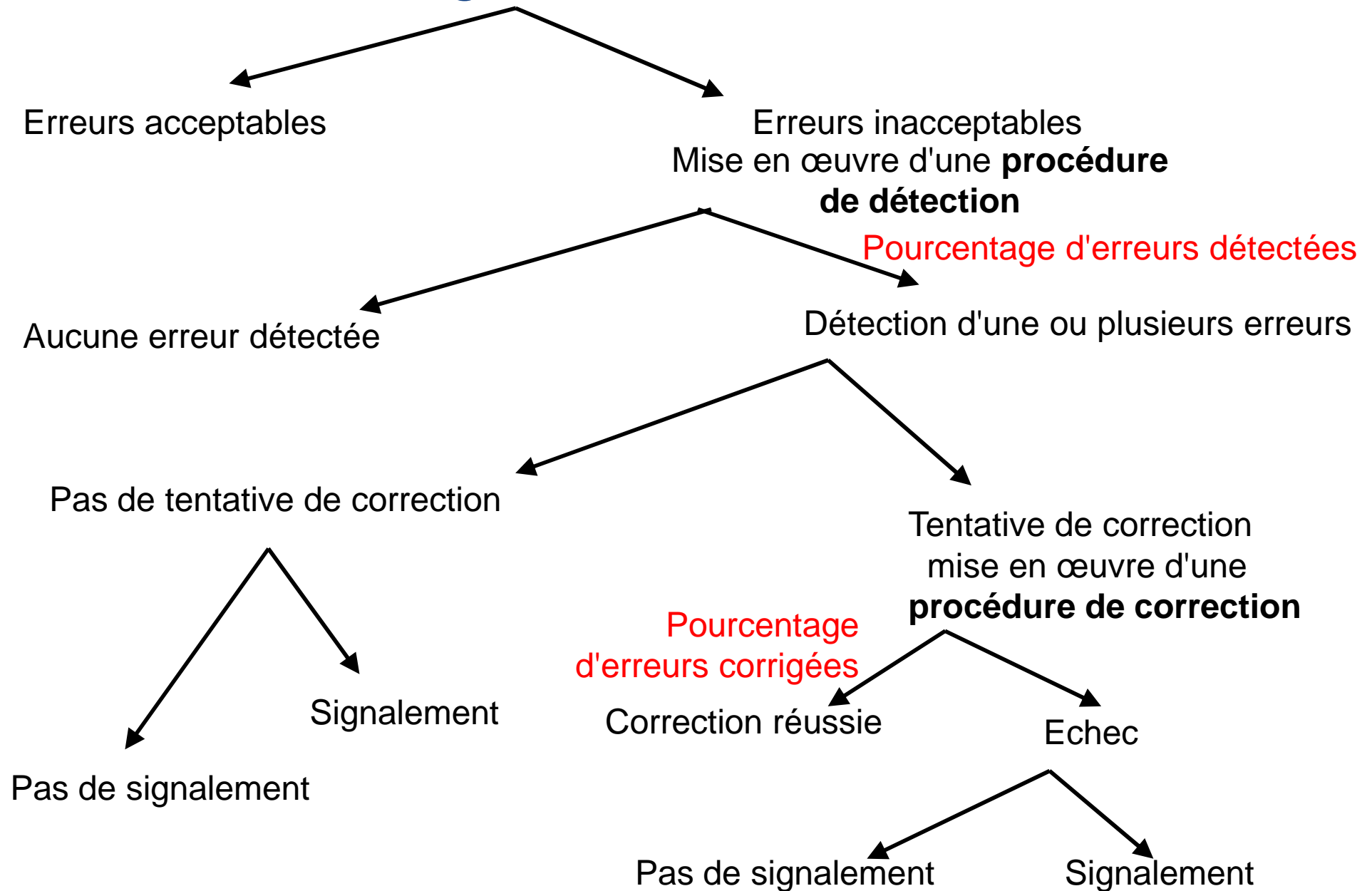
émis  
reçu  
reconnu  
corrigé

V1	V2	V3
00	000	00000
01	010	01000
oui	non	non
non	non	oui

-  - La détection par écho
- La détection par répétition
- La détection par redondance



# 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

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

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

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

CRC-CCITT

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

ATM

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

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