

# S21 - Architecture des réseaux

## Ethernet IEEE 802.3

Cédric Wemmert

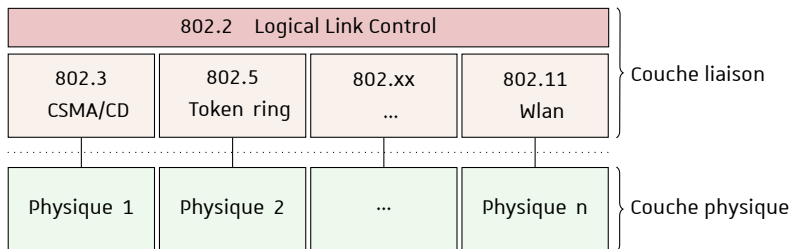
**IUT Robert Schuman – Département Informatique**

wemmert@unistra.fr

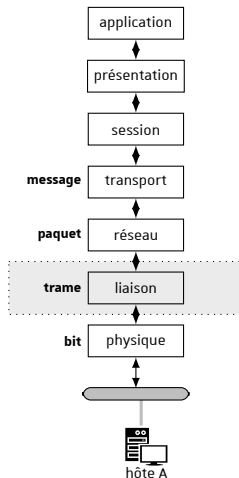
# La couche physique

Réseau local normalisé défini par :

- Une méthode d'accès (couche MAC)
- Une couche physique caractérisée par plusieurs paramètres :
  - Support (paire torsadée, coaxial, fibre, canal radio)
  - Débit
  - Encodage adapté support et débit (Manchester différentiel pour Ethernet)
  - Paramètres du réseau (distance, nombre équipements, ...)



# La couche liaison

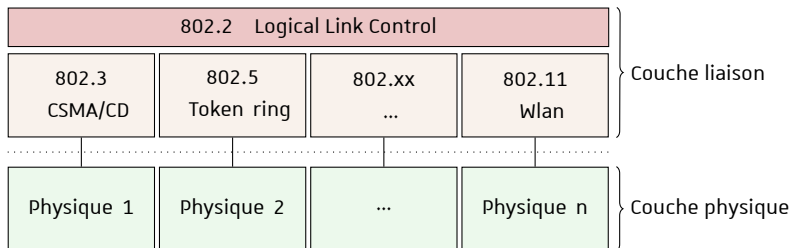


- La couche liaison se place au-dessus de la couche physique
- Elle gère la liaison entre au moins 2 noeuds ayant la même couche physique
- S'il y a plus de deux entités, la liaison est dite multi-points
- Son rôle est d'émettre et de recevoir des **trames** : suite de bits délimitée et structurée

# La couche liaison

Elle est découpée en deux sous-couches :

- Couche MAC : Medium Access Control définit une méthode d'accès au support physique
- Couche LLC : Logical Link Control s'occupe du multiplexage et du contrôle d'erreur
  - commune aux différentes couches MAC
  - définit un protocole de liaison : lien « virtuel » entre deux stations
  - 3 types de protocole : LLC type 1 basé sur un datagramme non fiable est le plus utilisé en pratique



## Couche liaison : services

Plusieurs modalités de service peuvent être définies par la couche LLC :

- service sans connexion, sans accusé de réception : souvent offert quand le taux d'erreur est faible, notamment dans les LAN (ex : **Ethernet**, IEEE 802.2 LLC 1)
- service avec connexion, avec accusé de réception : fiable car les paquets sont reçus dans l'ordre d'émission et une seule fois (ex : HDLC, IEEE 802.2 LLC 2)
- service sans connexion, avec accusé de réception : l'émetteur choisit s'il est pertinent ou non de renvoyer une trame non acquittée ; principalement dans le monde industriel (ex : IEEE 802.2 LLC 3)

La mise en œuvre d'un protocole fiable sera vue lors de l'étude de la couche transport dans le module S32

## Couche liaison : services

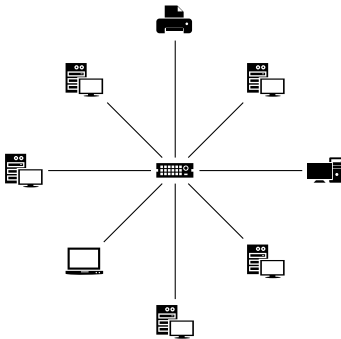
Plusieurs modalités de service peuvent être définies par la couche LLC :

- service sans connexion, sans accusé de réception : souvent offert quand le taux d'erreur est faible, notamment dans les LAN (ex : **Ethernet**, IEEE 802.2 LLC 1)
- service avec connexion, avec accusé de réception : fiable car les paquets sont reçus dans l'ordre d'émission et une seule fois (ex : HDLC, IEEE 802.2 LLC 2)
- service sans connexion, avec accusé de réception : l'émetteur choisit s'il est pertinent ou non de renvoyer une trame non acquittée ; principalement dans le monde industriel (ex : IEEE 802.2 LLC 3)

La mise en œuvre d'un protocole fiable sera vue lors de l'étude de la couche transport dans le module S32

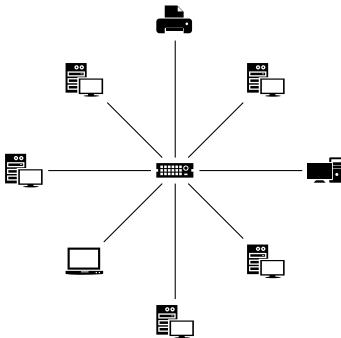
# Un LAN

- **Local Area Network** : mettre en réseau les équipements d'une entreprise
- Implémentation des couches liaison et physique
- Service simple (et efficace) :
  - adressage MAC pour identification unique d'une interface réseau
  - envoi/réception de trames sans garantie de remise ni de délai
  - plusieurs destinations possibles :
    - **unicast** : un seul hôte est destinataire
    - **multicast** : un ensemble d'hôtes sont destinataires
    - **broadcast** : tous les hôtes (actifs) sont destinataires
  - multiplexage : plusieurs (protocoles) réseaux peuvent fonctionner simultanément au dessus d'Ethernet sans interférer (ni même le savoir)



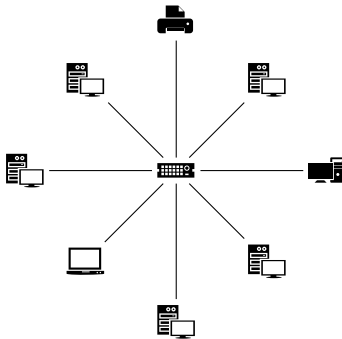
# Un LAN

- **Local Area Network** : mettre en réseau les équipements d'une entreprise
- Implémentation des couches liaison et physique
- Service simple (et efficace) :
  - adressage MAC pour identification unique d'une interface réseau
  - envoi/réception de trames sans garantie de remise ni de délai
  - plusieurs destinations possibles :
    - **unicast** : un seul hôte est destinataire
    - **multicast** : un ensemble d'hôtes sont destinataires
    - **broadcast** : tous les hôtes (actifs) sont destinataires
  - multiplexage : plusieurs (protocoles) réseaux peuvent fonctionner simultanément au dessus d'Ethernet sans interférer (ni même le savoir)





# Un LAN



- **Local Area Network** : mettre en réseau les équipements d'une entreprise
- Implémentation des couches liaison et physique
- Service simple (et efficace) :
  - adressage MAC pour identification unique d'une interface réseau
  - envoi/réception de trames sans garantie de remise ni de délai
  - plusieurs destinations possibles :
    - **unicast** : un seul hôte est destinataire
    - **multicast** : un ensemble d'hôtes sont destinataires
    - **broadcast** : tous les hôtes (actifs) sont destinataires
  - multiplexage : plusieurs (protocoles) réseaux peuvent fonctionner simultanément au dessus d'Ethernet sans interférer (ni même le savoir)

# Historique

- **1973** : première version développée par Xerox (3 MBit/s)
- Ethernet 10Base5 (10Mbit/s), première version commercialisée qui connaît le succès et établit les bases de l'**Ethernet partagé**
- **1979** : Digital (DEC), Intel et Xerox publient la norme DIX, favorisant la fabrication du matériel
- **1982** : Ethernet V2 établit le format définitif de la trame Ethernet
- **aujourd'hui** : l'**Ethernet commuté** a remplacé l'Ethernet partagé pour des réseaux bien plus performants et sortant du cadre du LAN

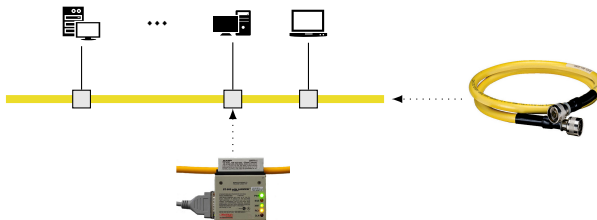
## Caractéristiques de l'Ethernet partagé

- plusieurs stations se partagent un canal unique de communication
- une trame envoyée par une station est reçue par toutes les autres
- des collisions de trames peuvent se produire (et sont détectées)
- nécessité de gérer l'accès au canal de communication (CSMA)
- chronologiquement 10Base5, 10Base2 puis 10BaseT en sont les versions majeures

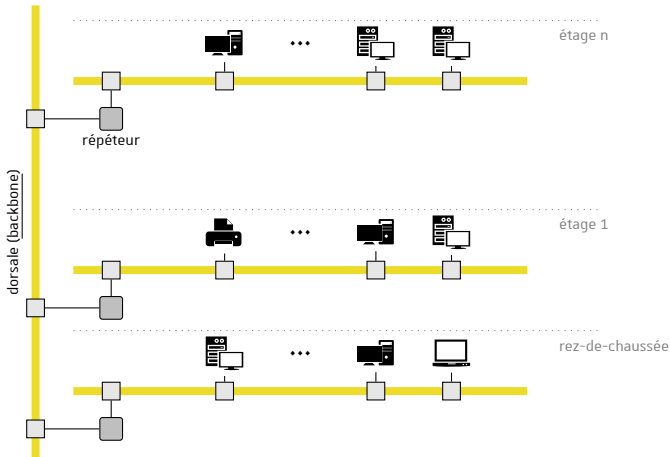
# 10Base5

## Caractéristiques

- topologie en bus
- segment : câble coaxial (500m max)
- stations connectées par des prises vampires tous les 2,5m
- extension grâce à des répéteurs (couche physique)

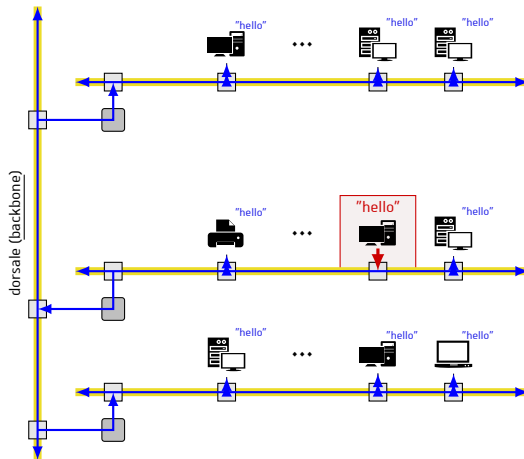


# 10Base5 : câblage classique d'un bâtiment



La dorsale permet de relier plusieurs segments (équipés des stations)

# 10Base5 : transmission d'une trame



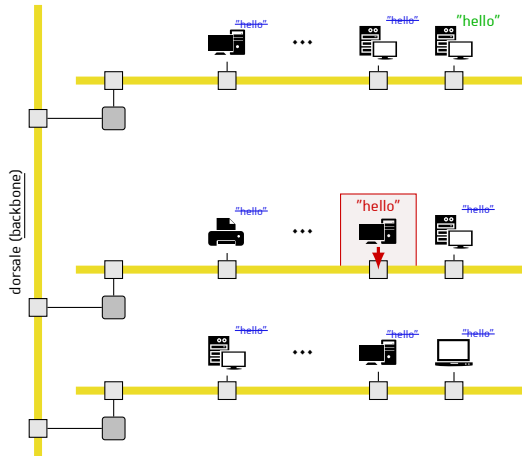
Le(s) destinataire(s)  
traite(nt) la trame  
Les autres la suppriment

## Attention!

Le signal ne doit pas boucler

Une trame est émise (sans collision), elle est reçue par tous et acceptée par certains

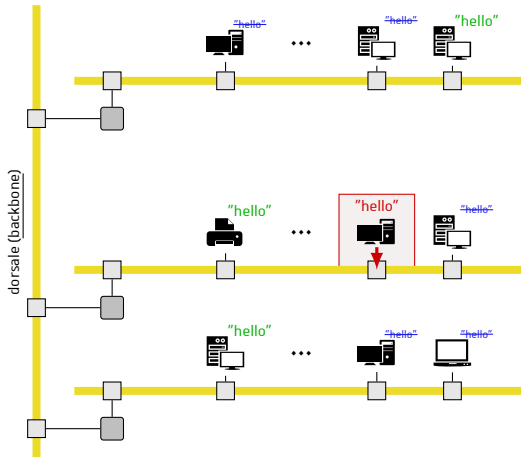
# 10Base5 : transmission d'une trame unicast



Une seule station accepte  
la trame

**Trame unicast** : un seul destinataire

# 10Base5 : transmission d'une frame multicast

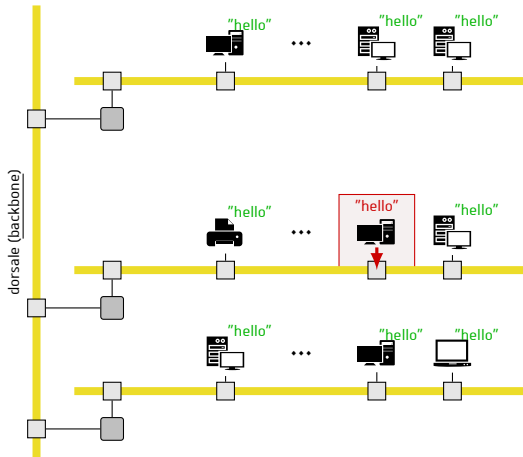


Plusieurs stations  
acceptent la frame

**Trame multicast** : plusieurs destinataires



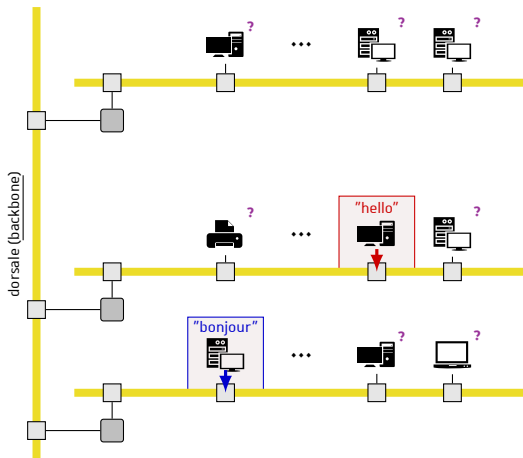
# 10Base5 : transmission d'une trame broadcast



Toutes les stations  
acceptent la trame

**Trame broadcast** : tout le monde est destinataire

## 10Base5 : exemple de collision



Les deux signaux  
se "mélangent" et  
le message devient  
incompréhensible

Si deux stations parlent en même temps, il y a **collision**. Il faut réémettre la trame.

# 10Base2

10Base5 est rapidement remplacé par 10Base2 qui est meilleur marché et plus simple à installer

## Caractéristique de 10Base2

- segment : câble coaxial fin (plus maniable)
- hôtes directement reliés au câble par des connecteurs en T
- Débit maximal : 10 Mbit/s



# 10BaseT

## Caractéristique de 10BaseT

- utilisation de **hubs** ou concentrateurs : connexion RJ-45
- opère uniquement au niveau 1 (couche physique)
- simule un bus : un signal reçu sur un port est répercuté sur tous les autres
- carte NIC d'interface MDI avec connecteur RJ-45 sur les équipements terminaux
- câbles UTP (paires torsadées)



# 10BaseT

## Avantages

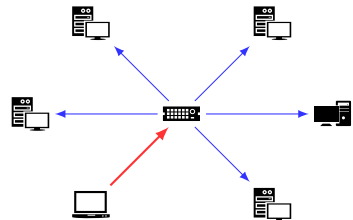
- Topologie physique en étoile mais bus logique
- Connexion/déconnexion des hôtes sans perturber le réseau
- Extension possible en cascadeant les hubs

## Problèmes

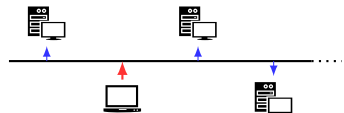
Un domaine de broadcast physique :

- inondation du réseau
- un seul domaine de **collision**
- un site géographique (limité dans l'espace)

Topologie physique (étoile)

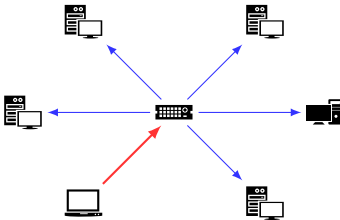


Topologie logique (bus)

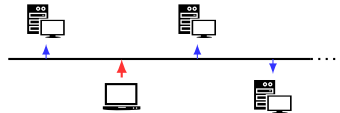


# Adressage

Topologie physique (étoile)



Topologie logique (bus)



## Destination

Comment envoyer une trame à un destinataire précis?

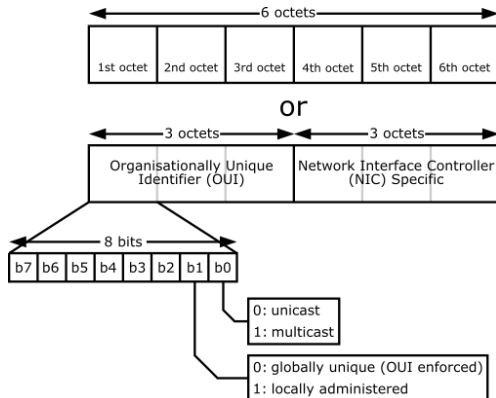
# Adresse physique ou adresse MAC

- Les adresse Ethernet sont normalisées par le comité IEEE 802
- Chaque interface physique (carte réseau) possède une adresse unique pour l'identifier : adresse MAC

Codée sur 6 octets (48 bits) :

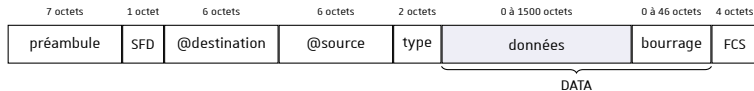
- premier bit (= bit poids faible du 1er octet)
  - 0 : adresse individuelle (= adresse d'interface réseau classique)
  - 1 : adresse de groupe multicast (concerne seulement la destination)
    - P.ex. : 8c:a9:82:87:4e:70  
8c = 1000 1100
    - Cas particulier : ff:ff:ff:ff:ff:ff → broadcast
- deuxième bit
  - 0 : adresses universelles → 3 octets/fabricant, 3 octets/numéro de série
    - P.ex. : 8c:a9:82:87:4e:70  
8c = 1000 1100  
8c:a9:82 = Intel → voir <http://standards-oui.ieee.org/oui.txt>
  - 1 : adresses allouées localement, ou non universelles
    - Ex. : adresses multicast

# Adresse physique ou adresse MAC





## Format d'une trame Ethernet II



Chaque champ occupe un nombre entier d'octets :

- préambule : synchronisation 7 octets 10101010 (début peut être perdu)
- SFD (Start of Frame Delimiter) : début de l'info utile 1 octet 10101011
- adresse destination : 6 octets
- adresse source : 6 octets
- type : 2 octets - indique quel protocole est concerné par le message.  
Ex : **0x0800** (IPv4), 0x0806 (ARP), 0x86DD (IPv6)...
- DATA (données) : 46 à 1500 octets (y compris bourrage/padding éventuel)
- FCS (Frame Check Sequence) : 4 octets - code polynomial détecteur d'erreurs

Le champ type est remplacé par la longueur de la trame pour les trames Ethernet 802.3. Si sa valeur est inférieure à 1500, c'est qu'il s'agit d'une trame IEEE 802.3, sinon c'est une trame Ethernet II.

# Exemple de trame

Capture Wireshark

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
222	15.501704000	192.168.0.1	82.165.251.61	HTTP	382	GET / HTTP/1.1
▶ Frame 222: 382 bytes on wire (3056 bits), 382 bytes captured (3056 bits) on interface 0 ▼ Ethernet II, Src: 8c:a9:82:87:4e:70 (8c:a9:82:87:4e:70), Dst: f4:ca:e5:49:4a:1b (f4:ca:e5:49:4a:1b) ▶ Destination: f4:ca:e5:49:4a:1b (f4:ca:e5:49:4a:1b) ▶ Source: 8c:a9:82:87:4e:70 (8c:a9:82:87:4e:70) Type: IP (0x0800) ▼ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 82.165.251.61 (82.165.251.61) Version: 4 Header length: 20 bytes ▶ Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport)) Total Length: 368 Identification: 0xff4b (65355) ▶ Flags: 0x02 (Don't Fragment) Fragment offset: 0 Time to live: 64 Protocol: TCP (6) ▶ Header checksum: 0x2bb0 [validation disabled] Source: 192.168.0.1 (192.168.0.1) Destination: 82.165.251.61 (82.165.251.61) [Source GeoIP: Unknown] [Destination GeoIP: Unknown] ▶ Transmission Control Protocol, Src Port: 56921 (56921), Dst Port: http (80), Seq: 1, Ack: 1, Len: 328 ▶ Hypertext Transfer Protocol						
0000	f4 ca e5 49 4a 1b	8c a9 82 87 4e 70	08 00 45 00	...IJ... ..Np..E.		
0010	01 70 ff 4b 40 00	40 06 2b b0 c0 a8	00 01 52 a5	.p.K@.@. +....R.		
0020	fb 3d de 59 00 50	3e 45 b7 5f 2a 77	38 d6 50 18	.=.Y.P>E ._w8.P.		
0030	00 e5 11 9d 00 00	47 45 54 20 2f 20	48 54 54 50	.....GE T / HTTP		

# Méthodes d'accès au support physique

## Comment partager le support physique?

- Déterministe : On parle quand on a le droit
  - Token bus ou token ring.
- Concurrentiel : On parle quand on le veut
  - Ethernet, WiFi...
  - ... mais on est poli et patient
- Hybride : On parle quand on le veut (ou peut), sauf si personne ne s'entend
  - alors on s'organise de manière déterministe

# Méthodes d'accès au support physique

## Comment partager le support physique?

- Déterministe : On parle quand on a le droit
  - Token bus ou token ring.
- Concurrentiel : On parle quand on le veut
  - Ethernet, WiFi...
  - ... mais on est poli et patient
- Hybride : On parle quand on le veut (ou peut), sauf si personne ne s'entend
  - alors on s'organise de manière déterministe

# Méthodes d'accès au support physique

## Comment partager le support physique?

- Déterministe : On parle quand on a le droit
  - Token bus ou token ring.
- Concurrentiel : On parle quand on le veut
  - Ethernet, WiFi...
  - ... mais on est poli et patient
- Hybride : On parle quand on le veut (ou peut), sauf si personne ne s'entend
  - alors on s'organise de manière déterministe

# Méthodes d'accès au support physique

## Comment partager le support physique?

- Déterministe : On parle quand on a le droit
  - Token bus ou token ring.
- Concurrentiel : On parle quand on le veut
  - Ethernet, WiFi...
  - ... mais on est poli et patient
- Hybride : On parle quand on le veut (ou peut), sauf si personne ne s'entend
  - alors on s'organise de manière déterministe

# Carrier Sense Multiple Access

- Méthode concurrentielle utilisée en Ethernet et WiFi
- Réseau à diffusion et écoute du signal
- Principe : l'émetteur écoute le canal avant d'émettre

---

## Algorithme 1 : Algorithme de CSMA

---

```

si trame à émettre alors
    |   tant que canal occupé faire
    |       |   attendre ;
    |   fin
    |   émettre trame ;
fin
  
```

---

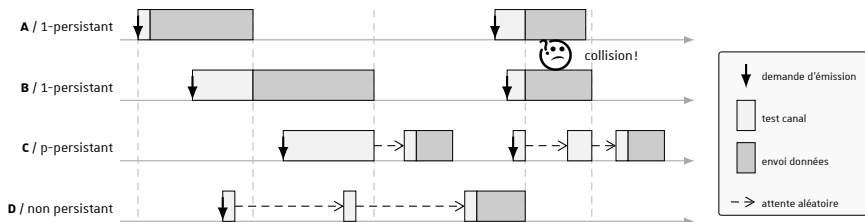
# Carrier Sense Multiple Access : stratégies

## Plusieurs stratégies

- CSMA 1-persistant : émission dès que le canal est libre
  - risque d'accumuler les collisions après une trame
  - + délais courts
- CSMA non persistant : attendre un délai aléatoire avant d'écouter à nouveau
  - avantage et inconvénient inversés
- CSMA p-persistant : émettre avec une probabilité  $p$  lorsque le canal est libre sinon attendre le prochain timeslot (si au moment d'émettre, le canal est finalement occupé, attente aléatoire)



# Carrier Sense Multiple Access : stratégies



# Carrier Sense Multiple Access

- Les collisions sont toujours possibles :
  - émissions « simultanées »
  - au temps de propagation près
  - quelques dizaines de  $\mu$ s dans Ethernet
  - alors qu'émission de 10000 bits à 10 Mbits/s = 1ms
- Temps perdu pendant les collisions :
  - Émission complète de la trame même si collision  
→ amélioré par CSMA/CD

# CSMA with Collision Detection

CSMA avec détection de collision (par les émetteurs)

- Suppose que physiquement un émetteur émet une trame et écoute simultanément le signal
  - Le principe : si signal émis  $\neq$  signal reçu  $\Rightarrow$  collision
  - Possible en Ethernet mais pas en WiFi

---

## Algorithme 2 : Algorithme de CSMA/CD

---

**si** trame à émettre **alors**

**tant que** canal occupé **faire**

        attendre ;

**fin**

commencer émettre trame ;

**tant que** émission non terminée **faire**

**si** collision détectée **alors**

            arrêter émission ;

            attendre puis recommencer au début ;

**fin**

**fin**

# CSMA/CD

## attente

- 1-persistant
- Combien de temps attendre avant ré-émission ?
  - délais fixes identiques  $\Rightarrow$  collision se répète
  - délais fixes différents  $\Rightarrow$  système de priorités
  - la solution : délais aléatoires
    - intervalle court : attente faible, répétition de la collision fréquente
    - intervalle long : le contraire

### Binary Exponential Backoff

- À la  $k^{\text{e}}$  tentative de retransmission d'une trame :
  - tirer  $i$  aléatoirement dans  $[0, 2^{\min(k,10)}[$  avec  $k \leq 16$
  - attendre un temps  $i \times T$  ( $T$  : unité de temps, un slot, discrétisation)
- La collision se répète si et seulement si, parmi les  $i$  tirés par les émetteurs, deux sont identiques
- La probabilité de collision diminue avec  $k$

# CSMA/CD

## synthèse

- + Attente nulle si réseau peu chargé
- + Collisions limitées et retransmission rapide
- Pas de garantie de délai
- Pas de garantie de transmission de la trame
- Pas de garantie de débit minimum
- + Mais en pratique fonctionne très bien
  - si peu d'émetteurs
  - ou réseau non saturé ( $\simeq 30\%$  charge)

Best effort : on perd en garantie pour gagner en efficacité

# L'essentiel

- LAN = réseau local sur lequel tout le monde s'entend parler
- Ethernet : protocole de niveau liaison et physique
- Ethernet définit un format de trame et d'adresse
- Afin de diminuer les risques de collision, on utilise le protocole d'accès au support physique CSMA/CD