

# Réseaux locaux : Couche Liaison

**Claude Chaudet** 

## Bref détour par la couche physique



## Rôle de la Couche Physique (couche 1)

- Effectuer la traduction bits vers signaux et l'inverse
  - électriques, radio, lumineux,...
- Utilise un codage particulier sur un canal de bande passante limitée

– Téléphone : 3,1 kHz

- ISDN (RNIS): 80 kHz

— ADSL : ≈ 1 MHz

- ADSL 2+ : ≈ 2 MHz

— Wi-Fi : 22 MHz

Application

Présentation

Session

**Transport** 

Réseau

Liaison

Physique

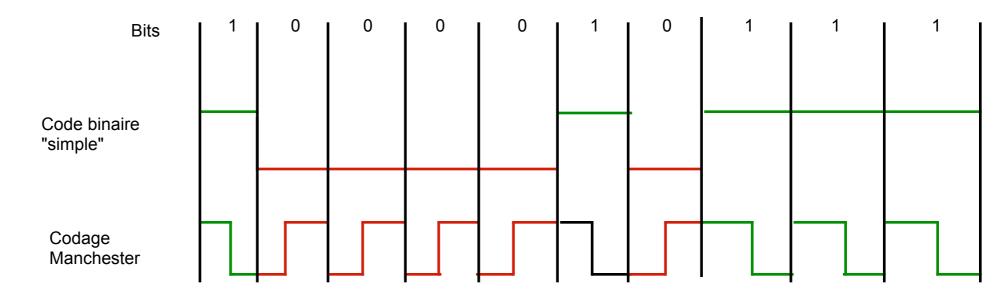


## **Exemple: codage Manchester**

Manchester utilise des transitions entre tensions plutôt que leurs valeurs absolue pour représenter les bits

Haut -> bas : 1

Bas -> haut : 0



- Ce codage nécessite deux fois plus de transitions par seconde que NRZ (tension = valeur)
  - Détection plus aisée
  - Pas de perte de synchronisation sur séquences longues de 0 ou de 1
  - Meilleure résistance au bruit (cf. Théorie Information)



## Service offert par la couche physique

- La couche physique fournit un canal de transmission aux couches supérieures possédant plusieurs propriétés :
  - Probabilité d'erreur-bit (fonction du niveau de bruit)
    - RTC: 10<sup>-5</sup>
    - Gigabit Ethernet :10<sup>-10</sup> (câbles catégorie 5)
    - DSL: 10<sup>-7</sup>
    - Wi-Fi : 10<sup>-5</sup>
    - Fibre optique : 10<sup>-12</sup>
  - Capacité (en bit/s) liée à la Bande passante (en Hz)
    - RTC: 56 kbit/s
    - Ethernet : 100 Mbit/s à 1 Gbit/s
    - ADSL: 8 Mbit/s
    - DSL: 27 Mbit/s pour une longueur de câble d'un km
    - Wi-Fi : 108 Mbit/s



## La couche liaison



## Organisation de la couche liaison

- Le rôle de cette couche est de gérer l'imperfection du canal fourni par la couche physique.
  - Prévention, détection, correction, réaction aux erreurs
- Elle est généralement séparée en deux souscouches :
  - La couche Logical Link Control (LLC): transmission de trames correctes
    - Séparation en trames
    - Gestion des erreurs de transmission : détection, correction et réaction
    - Contrôle de flux
  - La couche Medium Access Control (MAC): gestion du partage d'un canal par plusieurs émetteurs
    - Adressage (qui doit recevoir la trame)
    - Règles d'accès et de partage du canal binaire

Application

Présentation

Session

**Transport** 

Réseau

Liaison

Physique



# Sous-couche LLC (Logical Link Control)

Séparation d'un flux en trames
Taille des trames
Contrôle de l'intégrité des trames
Stratégies de retransmission (ARQ)





#### Délimiteurs de trames

- Le support voit passer une suite de 0 et de 1
  - Quel est le début et la fin d'une trame ?
- Utilisation d'un champ longueur dans l'en-tête
  - Ce champ peut subir une erreur de transmission...
- Insertion d'un délimiteur
  - Avant chaque trame, on transmet, par exemple, la suite de bits suivante :



Que se passe-t-il quand cette séquence est présente dans les données à transmettre ?



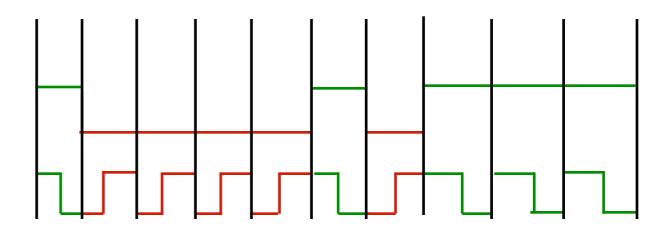
## Exemple de délimiteur et désambiguïsation

- Délimiteur : 01111110
- Lorsque plus de cinq "1" successifs sont présents dans une trame, on insère un 0
  - 01111110 -> 011111010
  - Le récepteur enlèvera ce 0
- Et si on veut transmettre la séquence 01111101 ?
  - Pour éviter l'ambiguïté, on insère un 0 aussi :
  - 01111101 -> 011111001
- Après cinq "1" le récepteur enlève systématiquement le 0, toujours présent sauf dans le délimiteur



# Autre possibilité : utilisation du codage physique

- Le codage physique ajoute de la redondance
  - 1 bit est généralement représenté par plus d'un symbole

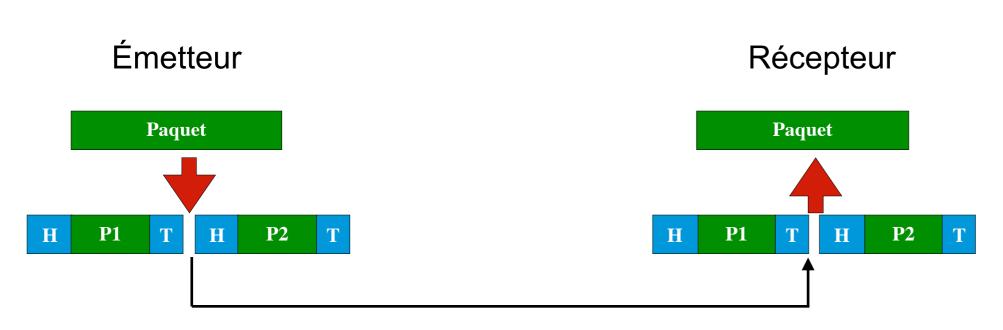


- Exemple : dans le codage Manchester, les codes "haut-haut" et "bas-bas" (absence de transition sur un temps-bit) ne sont pas utilisés :
  - On peut les utiliser comme délimiteurs
  - Une interférence peut provoquer une confusion



## Longueur maximale d'une trame : la MTU

- La couche physique fournit un canal avec erreurs
  - Transmettre des trames trop longues augmente la probabilité d'erreur
  - Les paquets sont découpés en plusieurs trames
  - Taille maximale de trame fonction du médium : MTU (Maximum Transmission Unit)



Exemples de MTU
Modem RTC : 576 octets
Ethernet : 1500 octets
Wi-Fi : 2304 octets

- Nécessite d'ajouter un en-tête à chaque trame
  - MTU trop petite => duplication des en-têtes => Perte d'efficacité



## Contrôle d'intégrité: contrôle d'erreurs

- Ajouter de la redondance
- Exemple : ajout de bits de parité
  - Représentation des trames en tableau
  - Ajout de bits indiquant le nombre de 1 et de 0 par ligne /colonne



## Contrôle d'intégrité (2)

En cas d'erreur durant la transmission

- Une ligne et une colonne sont fausses
  - Possibilité de corriger cette erreur

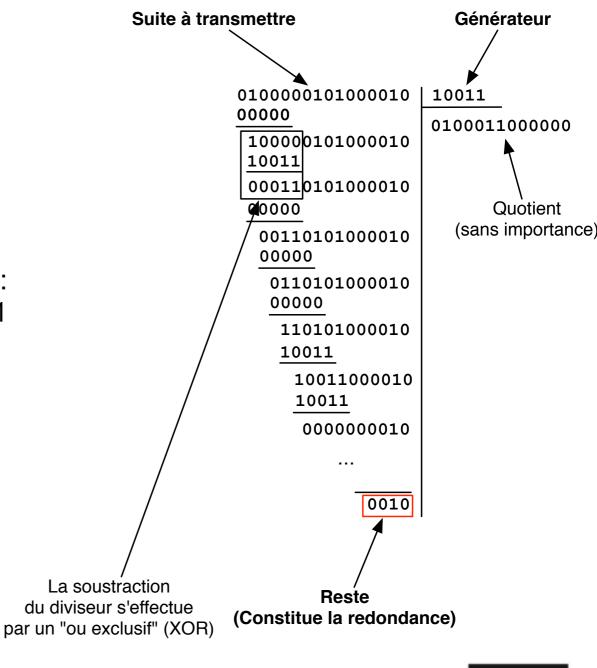
Possibilité de détecter deux erreurs ; pas de les corriger



## Détection d'erreurs, algorithmes en pratique

#### Checksum: somme des octets modulo N

- rapide mais peu fiable
- Utilisé plutôt à la couche transport implémentée en logiciel
- Cyclic Redundancy Check : division de polynôme modulo 2
  - Implémentée en matériel (registre à décalage)
  - Formule donnée par des standards, e.g. IEEE 802:
     x<sup>32</sup>+x<sup>26</sup>+x<sup>23</sup>+x<sup>22</sup>+x<sup>16</sup>+x<sup>12</sup>+x<sup>11</sup>+x<sup>10</sup>+x<sup>8</sup>+x<sup>7</sup>+x<sup>5</sup>+x<sup>4</sup>+x<sup>2</sup>+x+1
  - Détecte toute rafale d'erreurs de 32 bits ou moins et toute rafale affectant un nombre impair de bits
- Souvent évalués sous l'hypothèse d'un flux de données aléatoire
  - Les en-têtes varient peu par exemple => la performance réelle est différente de ce qu'on peut attendre





## Contrôle d'intégrité - le principe

- Les trames sont des suites quelconques de bits
  - Toute trame est possible mais toutes les combinaisons {trame + redondance} ne sont pas valides
  - Un mot valide (trame + redondance correcte) est un point dans
  - La distance minimale entre deux mots valides (distance de Hamming) définit la puissance du code
- Corriger les erreurs nécessite plus de redondance que les détecter
  - Détection de k erreurs => distance de Hamming minimale : k+1
  - Correction de k erreurs => distance de Hamming minimale : 2k+1
- cf. cours Théorie de l'Information (CNTI)



#### Gestion des retransmissions

#### Quand on constate une erreur, deux stratégies :

- Ne rien faire et laisser aux couches supérieures le soin de recomposer le fichier, en redemandant, parfois explicitement, une retransmission
- Provoquer une retransmission au niveau liaison

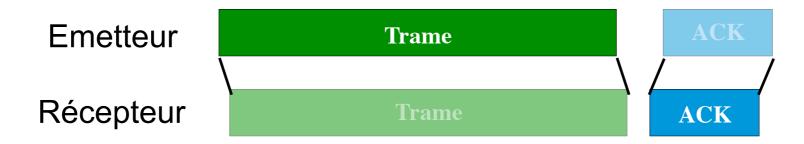
#### C'est l'émetteur qui retransmettra la trame, il faut le prévenir

- Le récepteur peut demander la retransmission explicite d'une trame
  - Comment sait-il qu'il devait recevoir quelque chose ?
- Le récepteur peut acquitter chaque trames
  - Instauration d'un délai maximum pour l'acquittement à la source, en cas de non-réception, retransmission
  - Retransmission systématique en cas de non-réception de l'acquittement

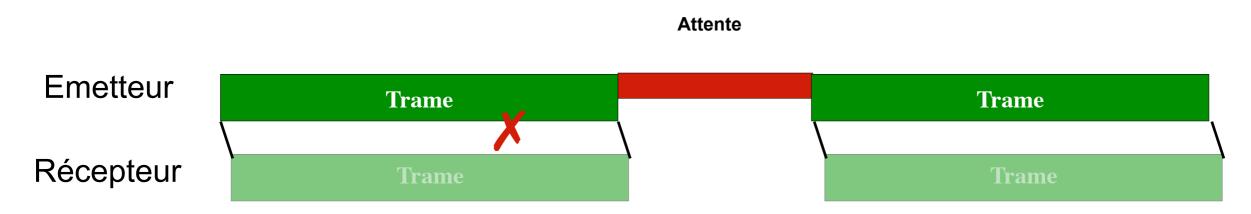


## Retransmissions: acquittements

Transmission correcte :



Transmission incorrecte :



Il existe, comme toujours, plusieurs stratégies possibles pour les acquittements de trames.



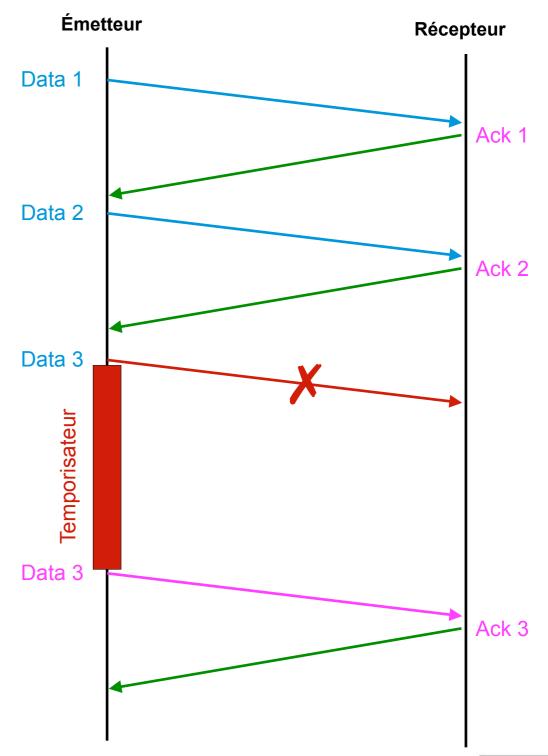
## **ARQ**: Stop and wait

- Stratégie n°1 : acquitter toutes les trames
  - Stop and Wait ARQ
- Que se passe-t-il lorsque l'acquittement est perdu (erreurs, ...) ?
  - Retransmission ⇒ trames dupliquées à la réception
- Consomme des ressources
  - Taille de l'acquittement
  - Temporisateurs entre trames



## **ARQ**: Stop and wait

- Pendant l'attente de l'acquittement, l'émetteur ne fait rien
  - Les paquets s'accumulent en file d'attente et risquent d'être supprimés
- Nécessite peu de mémoire au niveau du récepteur
  - Tout paquet reçu est immédiatement transmis à la couche supérieure





## **Pipelining**

#### Quelle est l'efficacité de ce mécanisme ?

- Exemple: Liaison satellite, 50 kb/s 500-ms délai d'aller-retour
  - T=0 ms, l'émetteur démarre l'envoi d'une trame de 1000 bits
  - T=20 ms, l'émetteur a terminé la transmission
  - T=270 ms,
     la trame est parvenue en totalité au récepteur
  - T>520 ms, acquittement parvenu à l'émetteur => Efficacité = 20/520 = 4%

#### Il faudrait transmettre plusieurs trames en parallèle

- Dans l'exemple précédente, l'émetteur peut envoyer 26 avant le premier acquittement!
- Ce type de technique se nomme pipelining
- Elle est nécessaire quand le produit capacité x délai est grand

#### Bande passante (capacité) x délai aller-retour = capacité du pipeline (bits)

Attention sur les canaux à fort taux de pertes



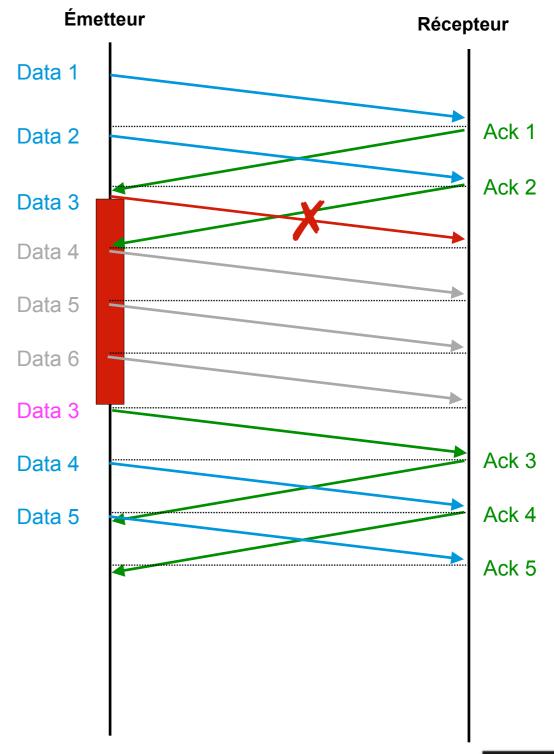
### ARQ: Go-Back-N

- On n'attend pas l'acquittement pour transmettre la trame suivante
  - Pendant le temporisateur, l'émetteur n'est pas bloqué
  - Une fenêtre définit le nombre max. de trames non acquittées pouvant être envoyées
- Le récepteur examine les numéros de séquence des trames
  - Lorsqu'un numéro manque, on n'acquitte plus rien
- Lorsqu'un temporisateur expire, on retransmet tout depuis la trame perdue
  - Envoi de trames dupliquées



### ARQ: Go-Back-N

- Optimise l'utilisation des ressources
  - Transmission full-duplex
- En cas d'erreur, engendre beaucoup de retransmissions
  - Informations redondantes
- Bien adapté au cas où les erreurs sont rares





243

## **ARQ: Selective Repeat**

#### Similaire à Go-Back-N (fenêtre d'anticipation)

- Le récepteur garde toutes les trames reçues correctement et avertit l'émetteur des erreurs
- L'émetteur retransmet les trames erronées à la fin de sa fenêtre

#### Performance :

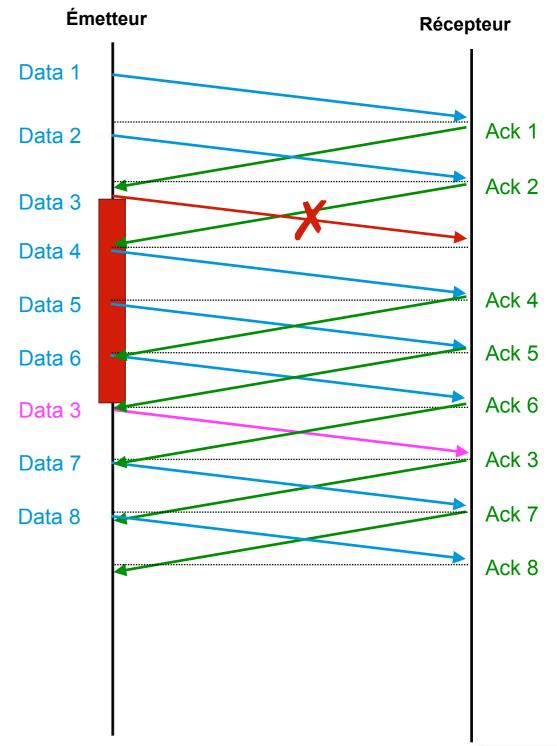
244

- Plus efficace que les stratégies précédentes
- Accroît la complexité du récepteur (tampon nécessaire)



## **ARQ: Selective Repeat**

- Plus efficace en termes de retransmissions
  - On ne retransmet que ce qui est effectivement perdu
- Nécessite une mémoire plus importante au niveau du récepteur
  - Dimensionnement de la fenêtre pour éviter de saturer le récepteur
  - ⇒ Contrôle de flux





## À retenir

- La couche physique fournit un canal imparfait
- Le rôle majeur de la couche liaison est d'optimiser l'utilisation de ce canal
  - Compromis entre surcoût (ex: en-têtes) et impact des problèmes
  - Définition des constantes (longueur de trame, débit, etc.) les plus efficaces

#### Rôles principaux

246

- Séparer une suite de bits en trames
- Gérer efficacement les erreurs de transmission
  - Détection (CRC, somme de contrôle, acquittements, ...)
  - Correction (FEC, codes correcteurs)
  - Réaction (retransmissions, ARQ)



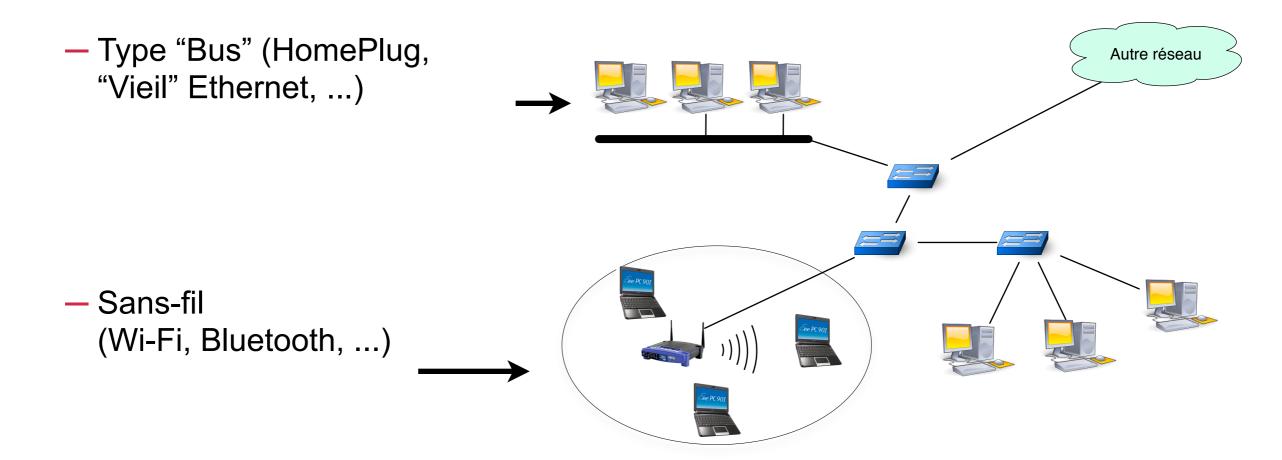


# Sous-couche MAC (Medium Access Control)

**Claude Chaudet** 

#### Rôle de la sous-couche MAC

- Permettre à plus de deux stations de dialoguer
  - Adressage (à qui est destiné le message)
  - Gestion des accès à un médium partagé





248

## Problématique de l'accès au médium

- L'accès au médium vise à optimiser l'utilisation d'un canal de communication partagé
  - Éviter l'occurrence de collisions
  - Minimiser le surcoût
- Applicable sur des médiums de transmission partagés
  - Filaire : bus, anneau
  - Sans-fil : au sein d'un même canal
- Stratégies Usuelles
  - Allocation de sous-canaux (TDMA; FDMA; CDMA; ...)
  - Stratégies aléatoires (ALOHA ; CSMA ; ...)

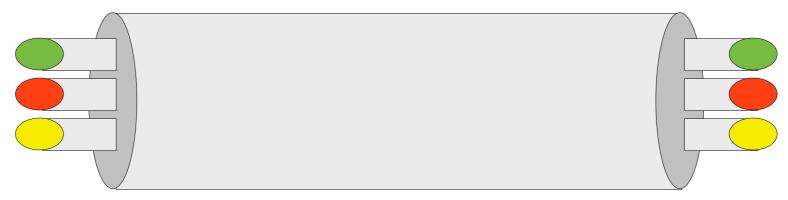


## Division explicite d'un canal



# Gestion des accès multiples FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Quand on a plusieurs canaux (fréquences par exemple), allouer une fréquence à chaque émetteur

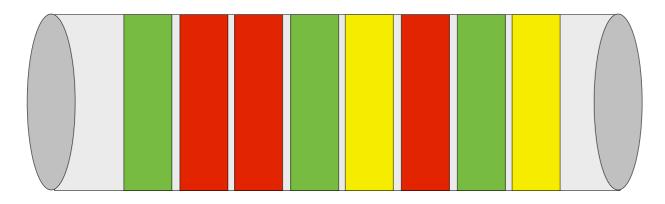


- Mécanisme similaire à la radio FM
- Perte de bande passante : intervalles de garde entre deux canaux
- Nécessite que les récepteurs puissent détecter les signaux les concernant sur l'ensemble de la bande de fréquences
- Quand il y a plus d'émetteurs que de fréquences disponibles, la technique n'est pas suffisante.



## Gestion des accès multiples TDMA (Time Division Multiple Access)

Il est possible d'allouer à chaque station des temps de parole



- Très adapté aux trafics réguliers (PCM par exemple)
- Que se passe-t-il quand une station n'utilise pas le temps qui lui est alloué
   ?
  - Perte de performances sous certaines conditions de trafic
- Mécanisme centralisé : qui réalise cette allocation ?



## L'accès aléatoire



## Gestion des accès multiples Accès aléatoire

- ALOHA: émissions à volonté, sans organisation
  - efficacité de 18 % ; 36 % en alignant les émissions sur des moments précis (ALOHA discretisé / slotté)
- Amélioration simple : CSMA = écouter avant d'émettre
  - Origine : Kleinrock & Tobagi ; début des années 1970
- Lorsqu'un émetteur souhaite transmettre une trame :
  - Il examine le médium et vérifie qu'aucun signal n'est en train d'être émis.
  - Si le canal est libre, il transmet
  - Si le canal est occupé, il patiente jusqu'à ce qu'il soit libéré



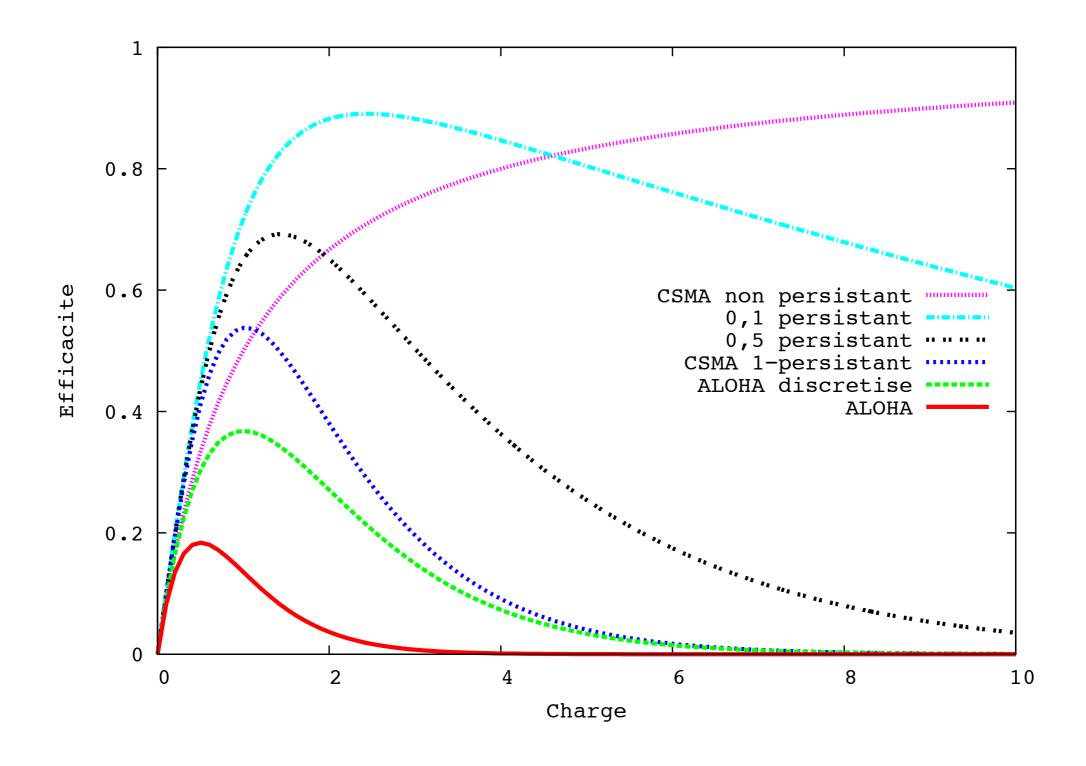
254

## Accès aléatoire : désynchronisation des émetteurs

- Quand le canal est libéré, plusieurs émetteurs peuvent être en attente
  - S'ils transmettent dès que possible, collision systématique
- CSMA p-persistant : chaque station en attente émettra avec une probabilité p
- CSMA slotté : on tire un temps d'attente aléatoire (backoff), on patiente et le premier à émettre bloque les autres



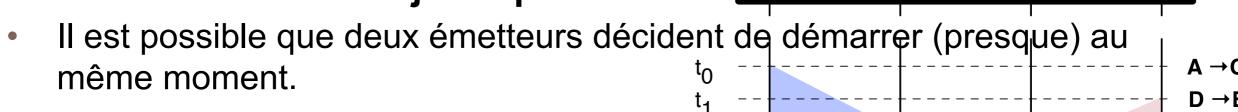
## Accès aléatoire : performances





# Influence du temps de propagation

Les collisions sont toujours possibles

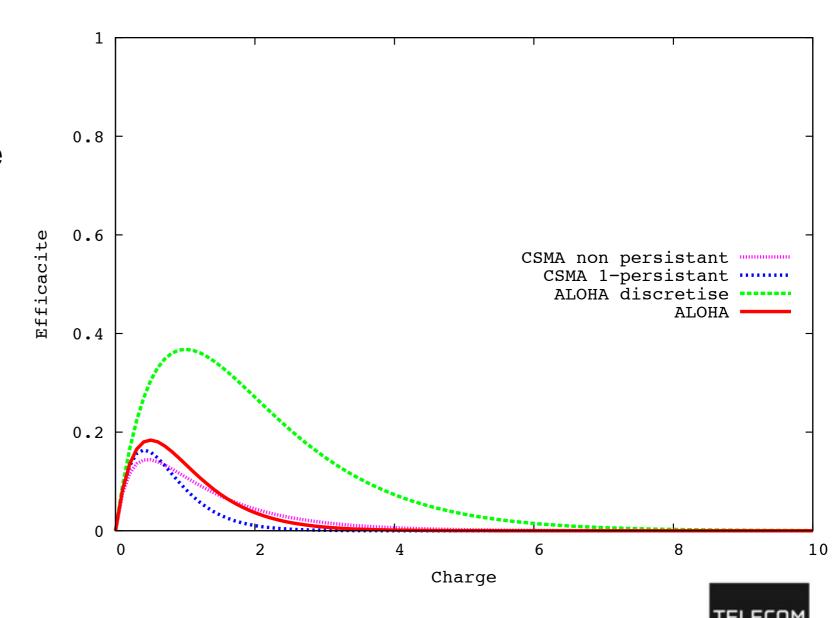


- Il existe un intervalle de vulnérabilité pour chaque trame
  - Il faut que tous les concurrents aient perçu le signal
  - Fonction du temps de propagation



# Influence du temps de propagation (2)

- La performance des CSMA est dépendante du temps de propagation
  - Temps de détection de l'occupation du canal
  - Quand ce temps tend vers le temps de transmission d'une trame performance inférieure à ALOHA
    - Collisions
    - Temps d'attente
  - ⇒Certains protocoles
     limitent la longueur des câbles



# Ethernet sur médium partagé CSMA/CD



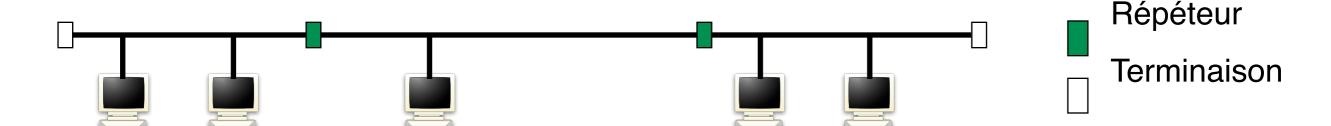




# Le scénario

# Réseau organisé en bus (médium partagé)

- Répéteurs pour re-générer le signal et aller au delà de la limite imposée par l'atténuation dans le câble
- Terminaisons (résistances) aux extrémités du câble pour éviter les échos perturbateurs.



# Utilisation d'un protocole de type CSMA

 Examen du niveau de signal sur le câble avant toute tentative de transmission



# Gestion des collisions - CSMA/CD

- L'émetteur peut détecter l'occurrence d'une collision :
  - Les stations examinent le signal reçu et le comparent au signal émis.
  - S'il y a une différence, il y a un signal perturbateur
- Dans ce cas, arrêter la transmission aussitôt
  - Si l'émetteur ne peut décoder son propre signal, le récepteur n'en sera pas capable non plus
- Backoff exponentiel : ré-émission de la trame après attente aléatoire
  - On tire aléatoirement un entier, dans un intervalle prédéterminé (fenêtre de contention) : n ∈ [0 ; M]
  - On patiente n fois un temps prédéfini
  - En cas de collision à répétition, on double l'intervalle à chaque fois : M  $\rightarrow$  2.M  $\rightarrow$  4M ...



# Ethernet - point de vue d'un émetteur

- Réception d'une unité d'information de la couche réseau. Préparation d'une trame et mise en tampon.
- **Ecoute du canal** 
  - Si libre, émission de la trame
  - Si occupé, attente libération canal + 96 temps-bit avant transmission (9,6 µs à 10 Mb/s)
- Pendant la transmission
  - Écoute du médium pour détecter les collisions
- En cas de collision

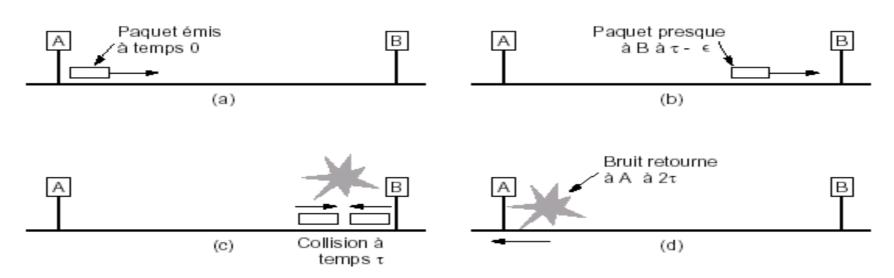
262

- Arrêt immédiat de la transmission
- Envoi d'un signal de brouillage de 48 bits
- Après la nième collision, backoff exponentiel :
  - Tirage aléatoire d'un nombre dans  $[0; 2^m 1]$  ( m = min (n,10) )
  - Attente de ce nombre de fois 512 temps bits (i.e. 51,2 µs à 10 Mb/s)
  - Limite du nombre d'essais à 15



# Pourquoi brouiller pendant 48 bits?

- Pour que tous les autres terminaux détectent la collision
  - Exemple : A émet, B émet juste avant que le signal de A ne lui parvienne
  - B s'arrête tout de suite et n'aura transmis que quelques bits
  - A ne détecte pas forcément la collision (trop faible énergie émise par B ou trame de taille très faible par exemple)
- Le brouillage (jam) sert à s'assurer que toute collision est bien détectée



Source: A. Tannenbaum - Réseaux



# **Ethernet: service non fiable**

#### Ethernet est un service sans connexion et non fiable

- Pas d'acquittement en cas de réussite
- Pas de demande explicite de retransmission en cas d'erreur
- L'émetteur n'a pas l'assurance que la trame a bien été reçue
  - Récepteur éteint, en panne, etc.

# L'application voit-elle aussi des "trous" dans la transmission ?

- Tout dépend des protocoles de niveau supérieur (transport)
- Il est possible d'obtenir un service fiable de bout-en-bout au dessus d'un service non fiable au niveau liaison



264

### Format des trames

Préambule @ dest @ src type Données Checksum

#### Préambule (8 octets)

• 7x (10101010) pour synchroniser + 1x (10101011)

#### @ dest, @src (2 x 6 octets)

adresses des correspondants

#### Type (2 octets)

Identifie le protocole de niveau supérieur (IP, IPX, ...)

### Données (48 à 1500 octets)

Si la taille effective est inférieure à 48 octets, ajout de bourrage

# Checksum (4 octets)

Calculé selon le codage CRC sur la partie @dest -> données

#### Ordre d'émission

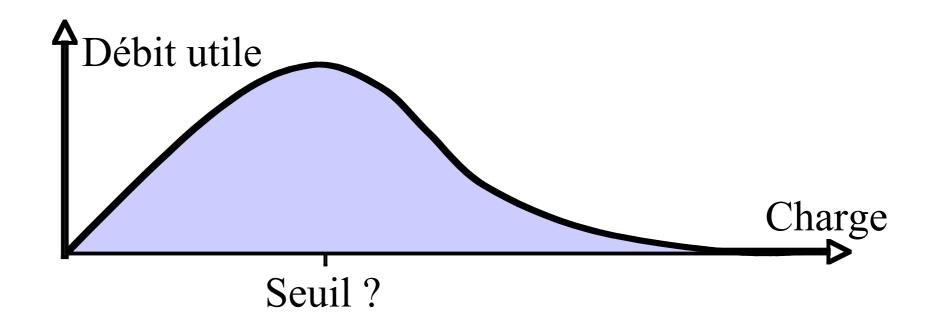
Octets : dans l'ordre (préambule en premier)

Bits: LSB (little endian)



# **Performance**

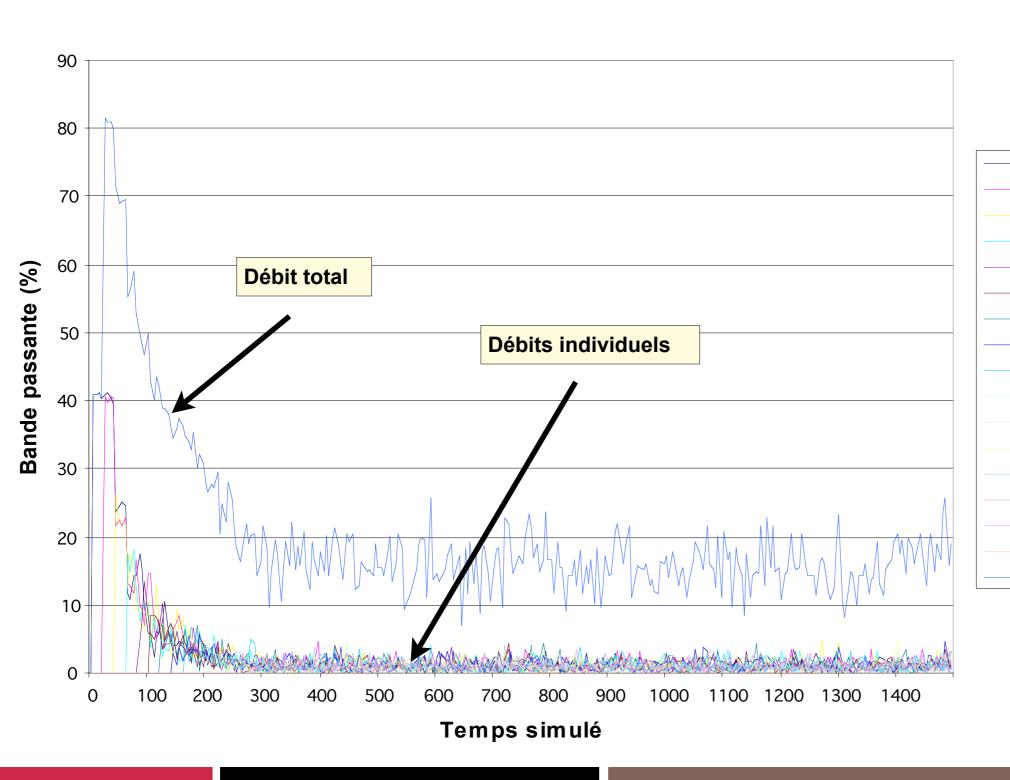
- Directement fonction de la probabilité de collision
  - S'il y a trop de collisions, les terminaux passent leur temps à attendre



- À faible charge, performances optimales (aucun temps d'attente)
- A forte charge, effondrement



# Dégradation des performances



Simulation:
ajout périodique
d'émetteurs
cherchant à
occuper 40% de la
capacité chacun

UDP 2 UDP 3 UDP 4 UDP 5 UDP 6 UDP 7 UDP 8 UDP 9 UDP 10 **UDP 11 UDP 12 UDP 13 UDP 14 UDP 15** TCP TOTAL

UDP 1



# Ethernet aujourd'hui

### Evolution des topologies

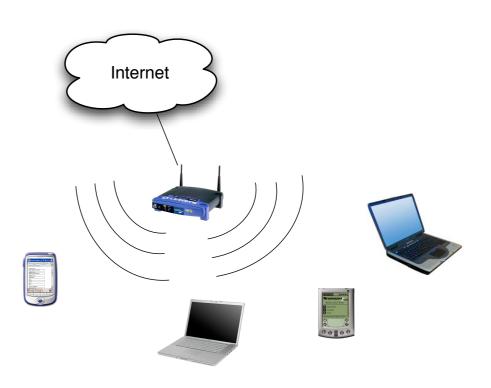
- Plus d'architecture en bus, essentiellement de l'Ethernet commuté (cf. parties suivantes du cours)
- CSMA/CD peu utilisé aujourd'hui

#### Evolution des débits

- Fast Ethernet (100 Mb/s très répandu)
- Gigabit Ethernet en plein essor
  - En standard dans la plupart des ordinateurs
- 10 Gb/s Ethernet en préparation



# Réseaux sans fil Wi-Fi (IEEE 802.11) — CSMA/CA

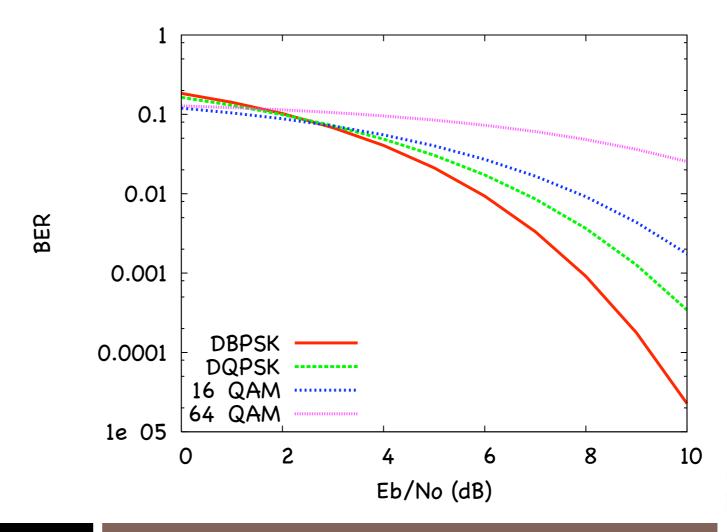




# Rappel: rapport signal sur bruit

- La probabilité d'erreur-bit
  - Dépend de la puissance reçue
  - Dépend du niveau de bruit ambiant (bruit + interférences)
  - Dépend du codage physique (modulation, ...) utilisé

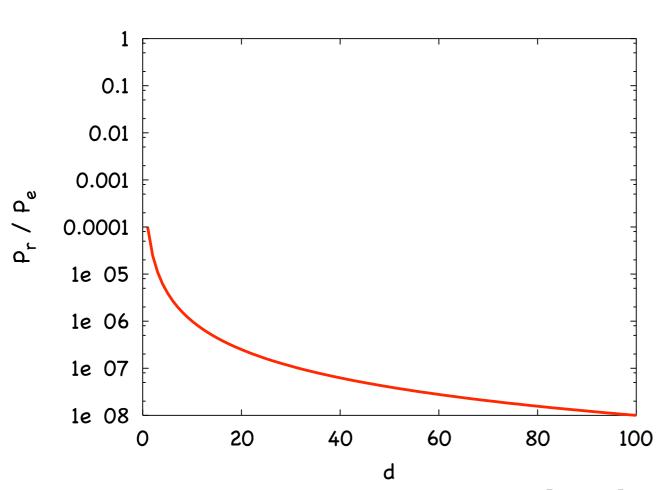
Décroît lorsque le rapport signal sur bruit augmente





# **Environnement radio - atténuation**

### En espace libre :



$$P_r = \left(\frac{\lambda^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}\right) \cdot G_e \cdot G_r \cdot P_e$$

Pr : puissance reçue

Pe : puissance émise

 $\lambda$ : longueur d'onde

d: distance entre l'émetteur et le récepteur

Gr: Gain de l'antenne réceptrice

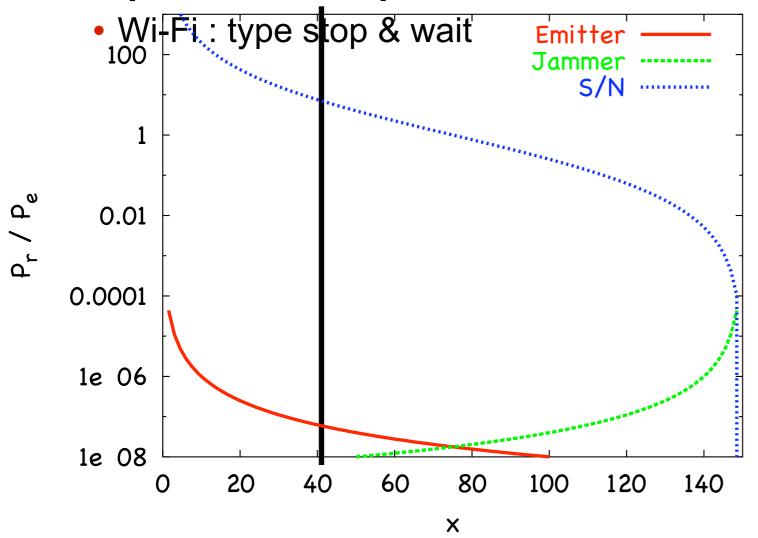
Ge: Gain de l'antenne émettrice

La puissance du signal décroît en fonction du carré de la distance



# Collisions dans un environnement radio

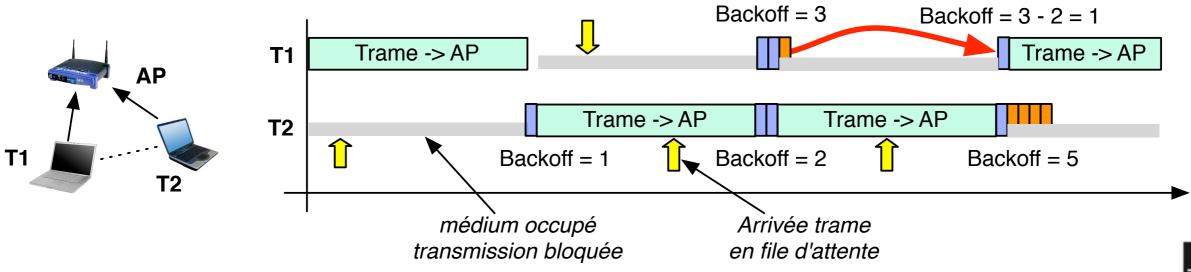
- Détection de collision impossible
  - Ir El sible R êter l'émission d'une en cours
- Acquittements explicites nécessaires





# **Emission d'une trame**

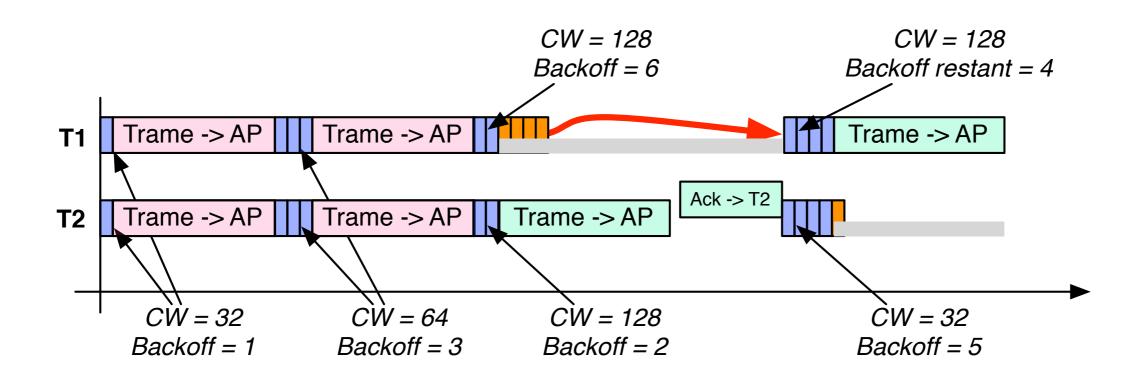
- Toute émission démarrée ne sera pas arrêtée avant la fin
- CSMA/CA: un CSMA classique mais plus prudent
  - Quand le médium se libère, on attend toujours un délai aléatoire
    - En Ethernet, on s'autorisait un premier essai sans attente
  - La fenêtre de contention initiale est plus grande qu'avec Ethernet (16 vs.
     2)
    - Lorsqu'on perd la contention, on conserve la valeur du backoff pour le prochain essai
  - On utilise aussi un backoff entre deux trames successives
    - Permet de laisser la main à d'autres émetteurs qui avaient perdu la contention





# Acquittements et retransmissions

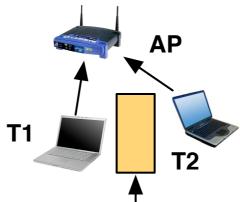
- Toute trame unicast doit être acquittée explicitement
  - Acquittements
- Retransmission en l'absence d'acquittement
  - En doublant la taille de la fenêtre de contention (max : 1024)
  - Suppression après nombre de retransmissions maximum (entre 4 et 7)



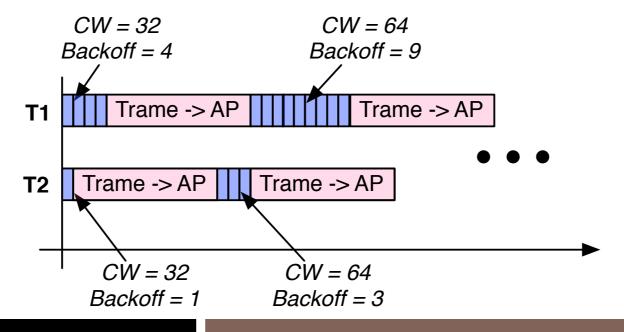


# Spécificité sans-fil: scénario de la station cachée

- Tout repose sur la détection de porteuse
  - Que se passe-t-il quand deux émetteurs ne captent pas leurs signaux mutuels ?



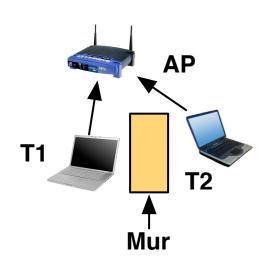
Si les trames sont trop longués, collisions à répétition :

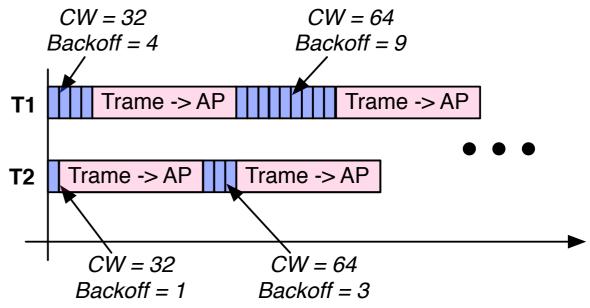




# Origine du problème

Le problème vient du rapport entre backoff moyen et temps nécessaire à l'émission d'une trame





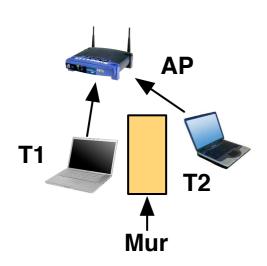
Exemple : émission de 1500 octets à 11 Mb/s : 343 μs

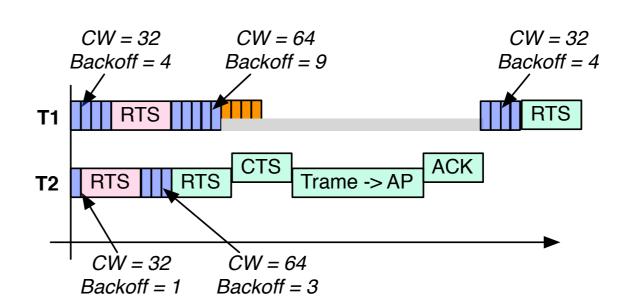
CW	32	64	128	256	512	1024
Backoff moyen	310 µs	630 µs	1270 µs	2550 µs	5110 µs	10230 µs



# **Mécanisme RTS-CTS**

- Solution: précèder l'émission des données par un échange de paquets courts:
  - RTS (Request To Send) de l'émetteur candidat au récepteur demande d'autorisation
  - CTS (Clear To Send) du récepteur à l'émetteur autorisation accordée
    - Canal diffusant : la réponse du récepteur permet d'avertir tous ses voisins





- Le CTS contient le temps estimé de la transmission
  - Les émetteurs concurrents sont bloqués durant ce temps



# Performance de la couche MAC

Performance exacte : calcul technique (cf. RES 222)

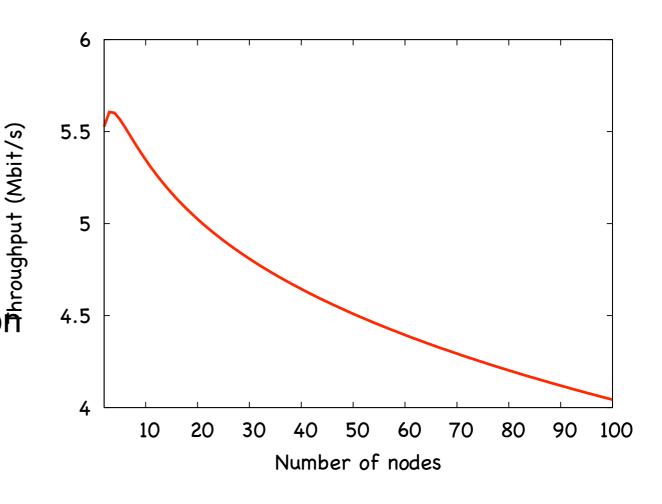
#### ■ Fort surcoût

- Backoff, RTS, CTS, acquittement, ...
- Efficacité de l'ordre de 50% à 60 %

# Lorsque le nombre d'émetteurs augmente

- Les backoffs s'écoulent en parallèle ⇒ gain de performances
- Rapidement, la probabilité de collision

   augmente ⇒ perte de performances





# Équité d'accès = équité de débit ?

# Wi-Fi propose plusieurs débits

- 1, 2, 5.5, 11, 18, 27, 33, 54, ... Mbit/s
- Modulations différentes ⇒ portées et résistance au bruit différentes
- Chaque station cherche le meilleur compromis pertes vs. débit

#### ■ Une station à 1 Mb/s vs. toutes les autres à 54 Mb/s :

- Emissions sur le même canal, partagé
- Wi-Fi fournit une équité au niveau paquet
- Chaque station ne peut émettre qu'une trame tous les tours
- L'émission à 1 Mb/s augmente la durée du tour
- Donc tout le monde a un débit de 1 Mb/s



# Le point d'accès est-il une station comme les autres ?

#### Les communications dans Internet sont bi-directionnelles

TCP, échanges p2p, téléphonie, ...

#### Tout le trafic passe par le point d'accès

- Contrairement à un commutateur Ethernet, une seule interface sans-fil
- Le point d'accès a donc beaucoup plus de trafic à émettre que les autres stations

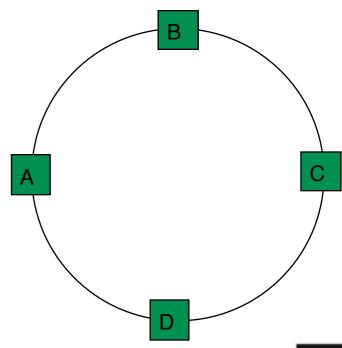
# Donner la priorité au point d'accès

- Possibilité théorique (i.e. non mise en œuvre dans les points d'accès) d'allouer plus de temps au point d'accès.
- cf. WiFox (ACM Co-Next 2012)



#### Protocoles sans collisions décentralisés

Exemple de l'anneau à jeton (Token Ring)



# Token Ring — Introduction

### Historique

- Développé en 1969
- Introduit par IBM dans les années 1980
- Normalisé par l'IEEE (IEEE 802.5) en 1985
- En fin de vie aujourd'hui même s'il reste un certain nombre de réseaux déployés (banques, compagnies aériennes, ...)

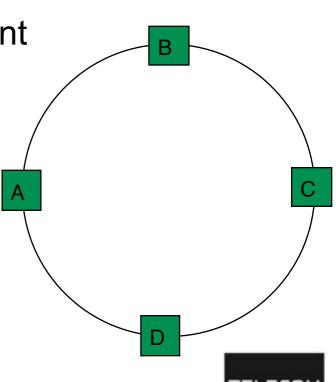
# Topologie en anneau

Ensemble de stations reliées par des liaisons point-à-point

#### Débits typiques

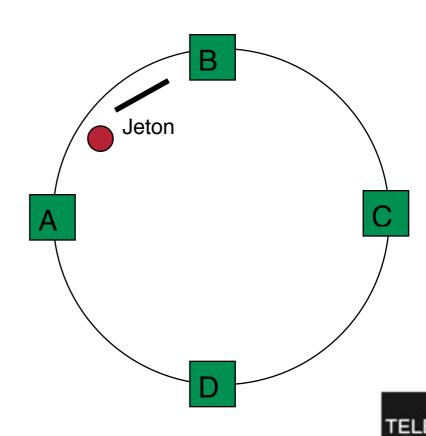
IBM : 4 Mb/s

IEEE 802.5 : 16 Mb/s



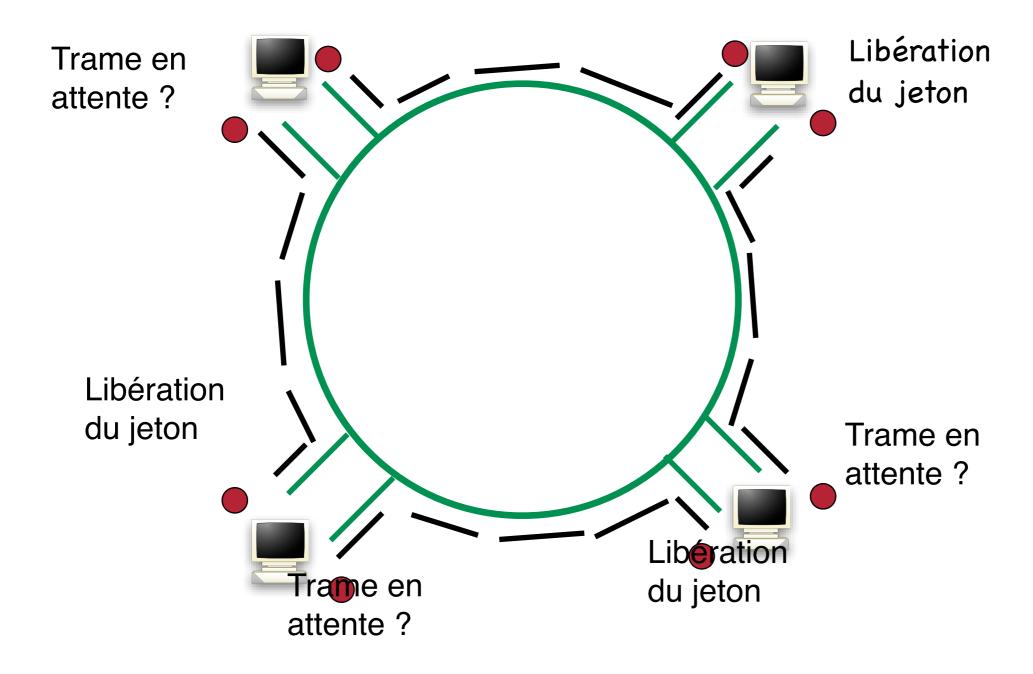
# Technique d'accès

- Anneau unidirectionnel
- Utilisation d'un jeton (Token) virtuel pour organiser les accès
  - Seule la station possédant le jeton peut émettre une trame
  - Pas de collisions
  - La station passe le jeton à sa voisine sur l'anneau une fois la transmission terminée
- Analogie : tour de table dans une réunion



# Principe: circulation du jeton Trame en

attente?





# Principe: circulation des trames

Ré-émission

⇒ destruction attente? de la trame Suis-je le destinataire? Libération du jeton Émission de trame Trame en Ré-émission attente? de la trame Suis-je le destinataire? Doit-on détruire la trame? émission de la trame Réq**i**on de la trame

**Trame** 

Trame en

acquittée

# Gestion de l'anneau

#### Initialisation

286

- Il faut un jeton pour commencer à transmettre, qui le génère ?
  - Utilisation d'un noeud particulier : le moniteur

#### Défaillance de station

- Anneau coupé si une station est défaillante
  - Comment détecter la défaillance d'une machine ?
  - Les stations précédentes et suivante "renvoient" le trafic dans l'autre direction
- Et si la station défaillante possédait le jeton ?
  - Utilisation d'une station particulière (le moniteur) pour re-générer le jeton
  - Et si le moniteur est défaillant ?



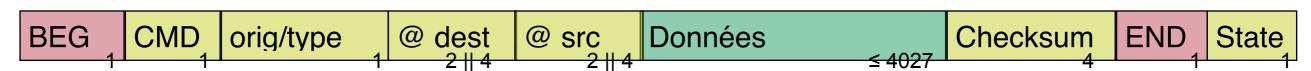
# Élection d'un moniteur

- Toute station voulant devenir moniteur émet une trame spécifique ("claim token") avec son adresse en paramètre
- Une station désirant être moniteur voyant passer cette trame
  - Détruit les trames d'adresse plus faible
  - Laisse passer les trames d'adresse plus haute
- Lorsqu'une telle trame fait un tour complet, elle désigne le moniteur (celui d'adresse la plus grande)



287

# **Token Ring: format des trames**



- BEG : préambule
- CMD : type de trame (1 = données ; 0 = jeton), priorité, ...
- Orig / type : type de trame (données ou trame de contrôle)
  - utilisé pour réinitialiser l'anneau, élire un moniteur, ...
- State : utilisé pour l'acquittement des trames
- Format du jeton :

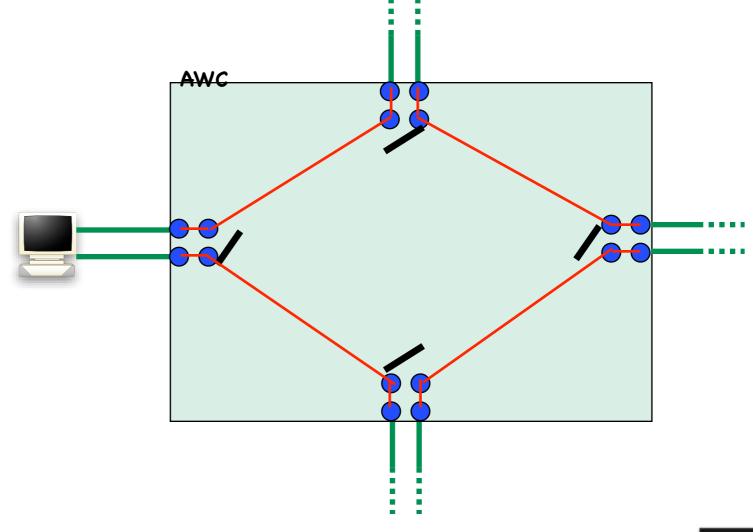
BEG CMD END

288



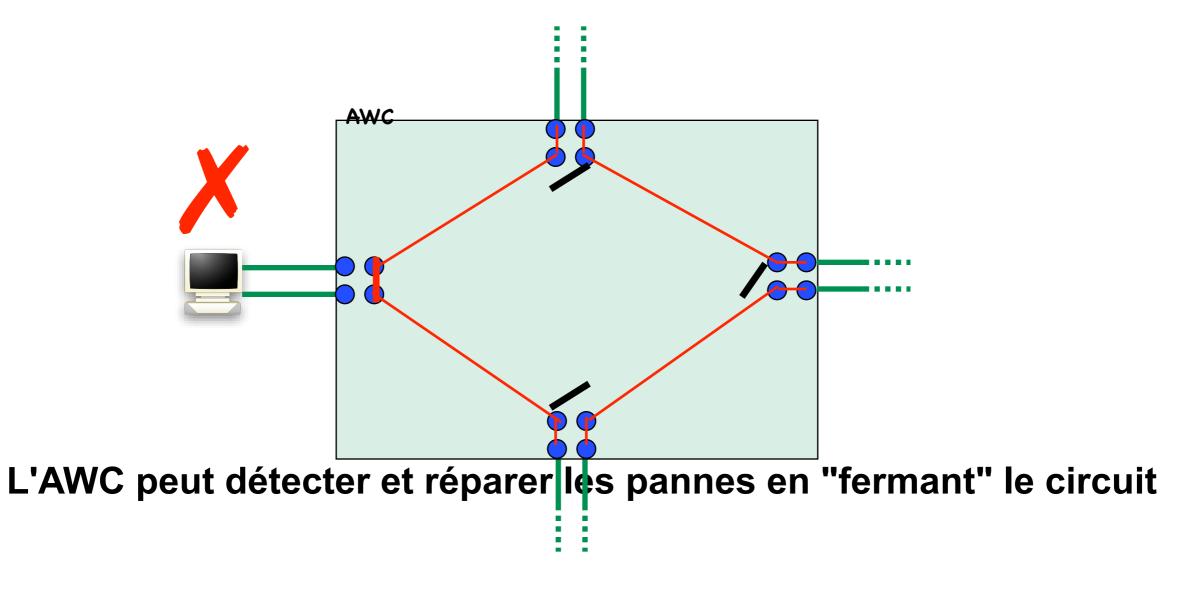
# Câblage

- Dans la réalité, la topologie est en étoile et non en bus
  - Utilisation d'un câblage normalisé
  - Utilisation de concentrateurs actifs
    - AWC : Active Wire Ring Concentrator
    - Supervision des stations
    - Cicatrisation





# Cicatrisation





# **Scénario**

# N noeuds inter-connectés par un anneau à jeton

- Longueur totale de l'anneau = 1 km
- Vitesse de propagation : 250 000 km/s
- Taille max. des paquets : 4500 octets
- Débit des lignes : 16 Mb/s
- Une seule trame par émission
- Temps de traitement au passage d'un paquet négligeable
- Temps d'émission du jeton négligeable

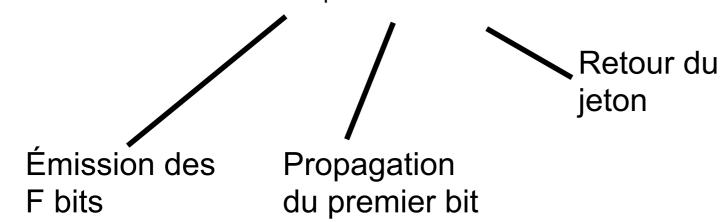
#### Temps de propagation d'un bit sur l'anneau :

• Ttour =  $1/250000 = 4 \mu s$ 



# À faible charge

- Du point de vue d'une station : temps minimum entre deux émissions de trames de longueur F bits
  - $T_{min trame} = F/D + T_p + T_{tour}$



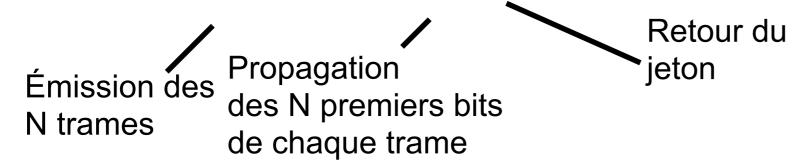
- Débit maximum pour une station :
  - $D_{max} = F / T_{min trame}$

	F = 250 o	F = 4500 o
Dmax	15,037 Mb/s	15,943 Mb/s

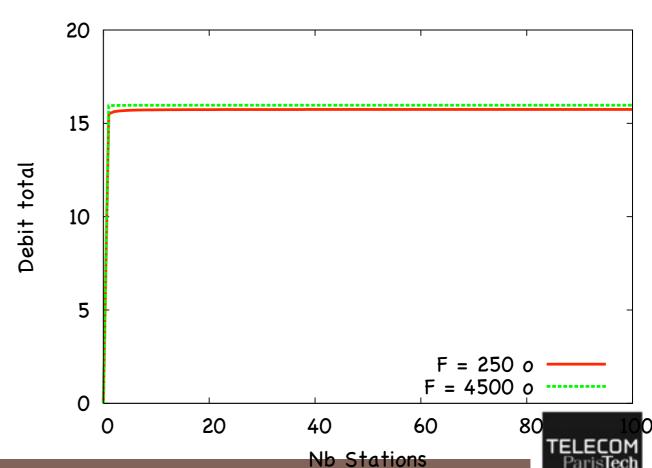


# À forte charge

- Du point de vue d'une station : temps maximum entre deux émissions de trames de longueur F bits
  - $T_{\text{max trame}} = N \cdot F/D + N \cdot T_p + T_{\text{tour}}$



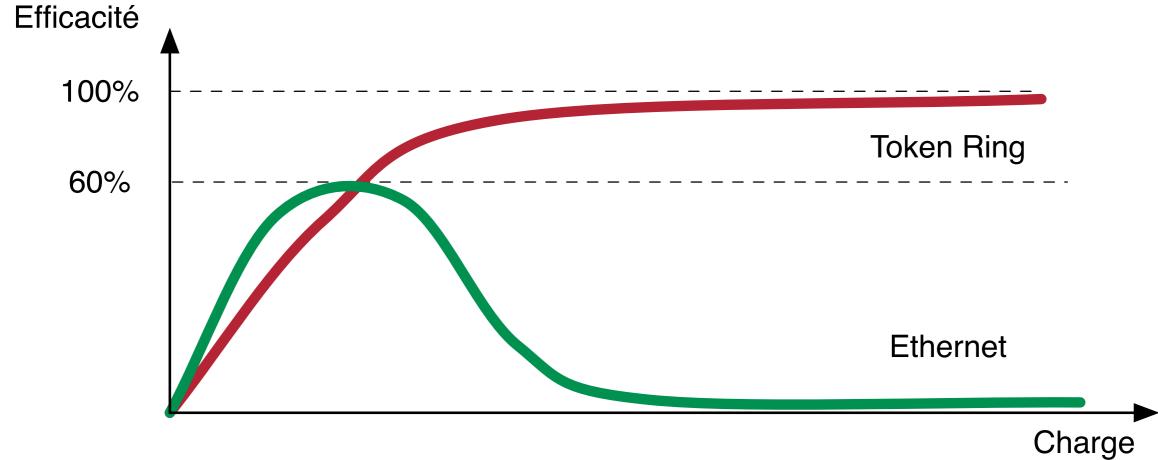
- Débit minimum pour une station :
  - $D_{min} = F / T_{max trame}$



claude.chaudet@telecom-paristech.fe

# **Comparaison Ethernet-Token Ring**

- Calcul de performance : voir TD
- Performance à faible charge réduite par le jeton
- Passage à l'échelle bien meilleur qu'Ethernet
  - Surcoût constant, pas de collisions



# À retenir

### Adressage MAC

**Format** 

295

- Fonctionnement des équipements d'interconnexion
- **Broadcast**
- Rôle principal : éviter les collisions et les erreurs de transmission
- Plusieurs familles de stratégies
  - Allocation de canaux à des émetteurs / groupes d'émetteur (\*DMA)
    - Nécessite un arbitre central ; peu dynamique
  - Accès aléatoire décentralisé (ALOHA, CSMA et dérivés)
    - Optimisé pour un niveau de charge précis mais faible capacité de passage à l'échelle
  - Accès sans collision décentralisé (Token Ring, ...)
    - Introduit un surcoût de gestion élevé pour compenser une fragilité intrinsèque

