

UNIVERSITÉ DE  
SHERBROOKE

2009-02-02

## La couche de liaison

*Accéder à la ressource*

*(sous-couche MAC)*

Luc Lavoie  
Département d'informatique  
Faculté des sciences  
luc.lavoie@USherbrooke.ca

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 1

UNIVERSITÉ DE  
SHERBROOKE

2009-02-02

## Sous-couche MAC Présentation

- Règles pour l'émission et la réception de données
  - Gérer les erreurs de transmission physique
  - Gérer le flux de données entre deux équipements
- Méthodes d'accès au medium
  - Choisir et gérer les canaux (le plus souvent « le canal »)
  - Assurer un transport fiable des données par le support
  - Assurer la connectivité entre les équipements
- Matériel de référence
  - commutateurs

Note : medium == ensemble de canaux utilisés conjointement

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 2

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Les modes d'accès au canal

---

- Qu'est-ce qu'un canal ?
  - subdivisions du support allouables indépendamment
- La simplicité : le mode statique
  - MAN et WAN
- La réalité qui s'impose : le mode dynamique
  - LAN, MAN, ... et même WAN
  
- Où trouver de l'information complémentaire ?
  - Tanenbaum, chapitre 4!

---

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 3

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Contrôle d'accès au canal

---

<input type="checkbox"/> à contention	<input type="checkbox"/> à bitmap
■ aloha	
■ aloha discrétisé	<input type="checkbox"/> à jetons
■ csma	■ unidirectionnel
<input type="checkbox"/> non persistant	■ bidirectionnel
<input type="checkbox"/> persistant	■ multiples
<input type="checkbox"/> k-persistant	
<input type="checkbox"/> CD ( <i>collision detection</i> )	<input type="checkbox"/> à compteurs
<input type="checkbox"/> CA ( <i>collision avoidance</i> )	
■ wdma	<input type="checkbox"/> à cellules
■ waca	■ ATM
■ waca-w	■ SONET
■ gsm (2000)	
■ cdma (2000, 3000)	
■ ...	

---

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 4

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Comment s'y retrouver ?

---

Procédons systématiquement...

---

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 5

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Partage du support

---

```
graph TD; A["Méthodes d'accès  
Protocoles d'accès  
Politiques d'accès"] --> B["Méthodes d'accès statiques"]; A --> C["Méthodes d'accès dynamiques"]
```

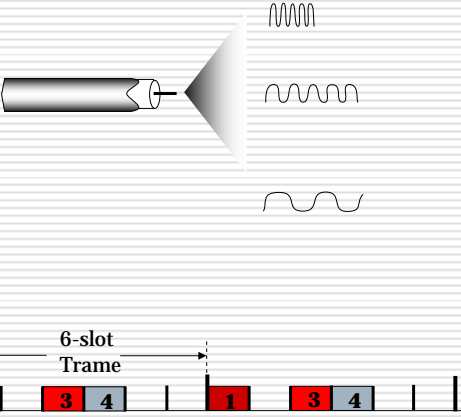
---

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 6

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Politiques d'accès statiques

- AMRF
  - Accès Multiple à Répartition en Fréquence
  - On découpe la bande passante du support physique
- AMRT
  - Accès Multiple à Répartition dans le Temps
  - Le temps est découpé en tranches



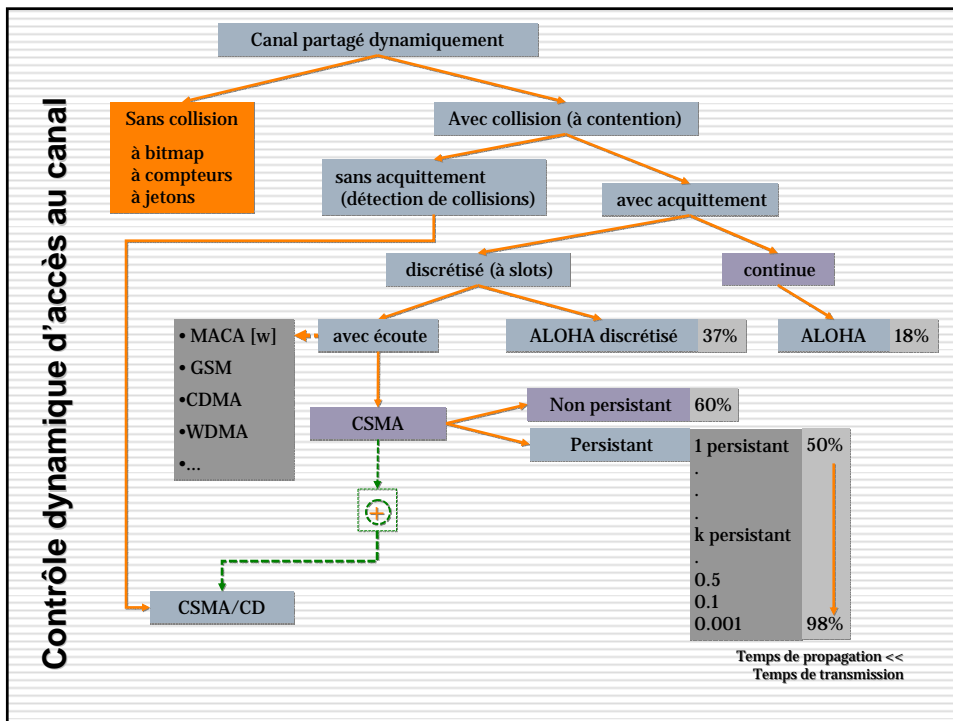
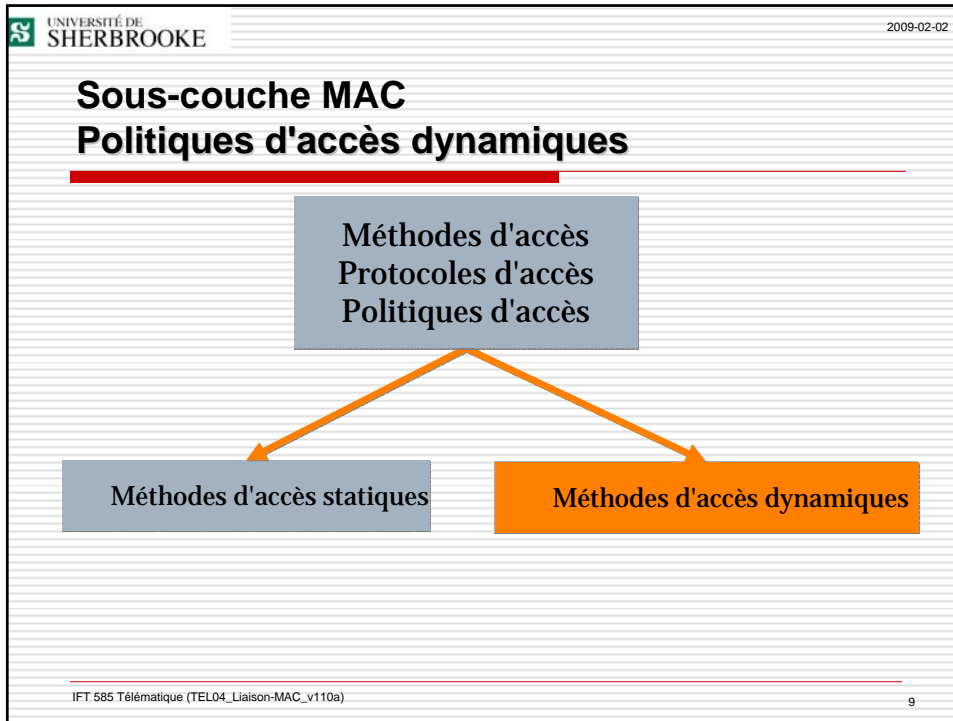
IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 7

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Politiques d'accès statiques

<p><b>Avantages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Simples et efficaces si le nombre de station est fixe</li> <li><input type="checkbox"/> Équitables entre les stations, et permettent un accès régulier au support</li> <li><input type="checkbox"/> Mécanismes de priorisation faciles à mettre en oeuvre</li> <li><input type="checkbox"/> AMRF: pas besoin de «synchronisation»</li> </ul>	<p><b>Inconvénients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Station n'a rien à émettre --» gâchis de la BP</li> <li><input type="checkbox"/> AMRT: Il est nécessaire de «synchroniser»</li> <li><input type="checkbox"/> AMRF:           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Introduction des inter-bandes (éviter les interférences) --» gaspillage de la BP</li> <li>■ Chaque équipement a besoin d'autant de démodulateurs qu'il y a de sous-bandes afin de pouvoir recevoir de tous les émetteurs</li> </ul> </li> </ul>
--	---

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 8



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Accès dynamique : sans collision, à btimaps

- Deux phases
  - Première phase (*Réservation*)
    - Expression d'intérêt pour transmission
      - Station j émet 1 durant le time slot j si elle désire transmettre
      - Et 0 si elle ne le désire pas
  - Deuxième phase (*Transmission*)
    - Après N slots
      - Transmission selon l'ordre des numérique des adresses
    - PB: Pas adéquat pour les réseaux avec un nombre élevé de stations

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 11

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Accès dynamique : sans collision, à compteurs

- Extension au protocole Bit-Map
- Résolution du problème des réseaux avec nombre élevé de stations
  - Assignation d'adresses binaires aux stations
  - Expression d'intérêt par transmission bit par bit de l'adresse
  - OU logique opérée par canal
  - Station en concurrence avec station de plus haut rang se retire
    - Détectée quand l'opération OU donne un 1

				Tops horloge			
				0	1	2	3
0	0	1	0	0	→	→	→
0	1	0	0	0	→	→	→
1	0	0	1	1	→	0	→
1	0	1	0	1	→	1	→
<b>Résultat</b>				1	→	1	→

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 12

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

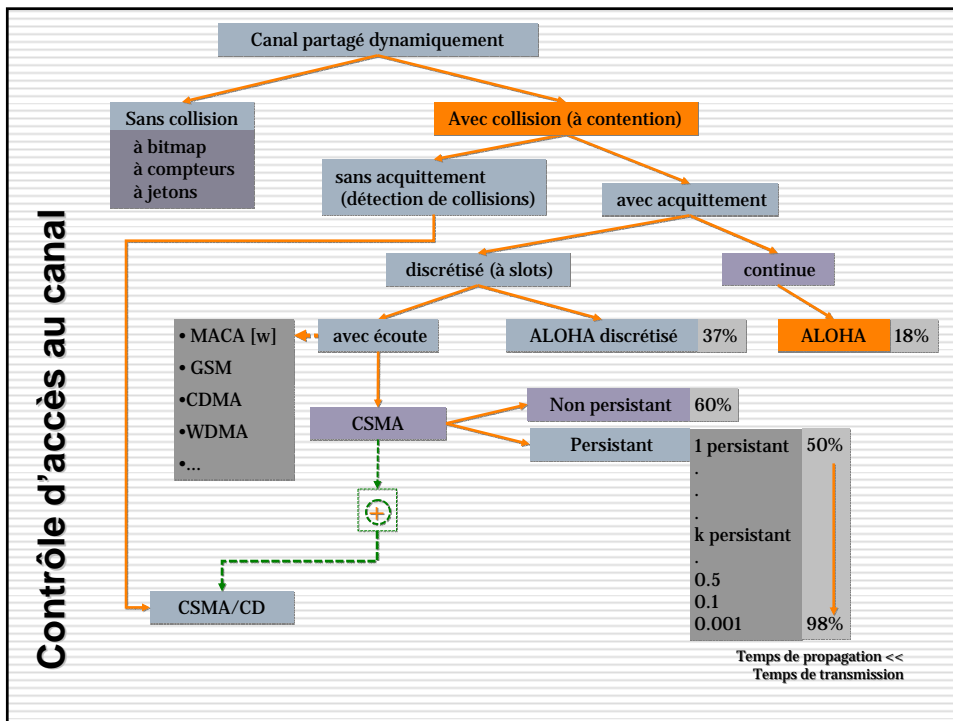
## Sous-couche MAC

### Accès dynamique : sans collision, à jetons

- Trame spéciale : « Jeton »
  - Faire circuler sur le réseau
    - unidirectionnel
    - bidirectionnel
    - multiple
- Seul le jeton autorise à émettre
  - Seul l'équipement qui a le jeton peut émettre
  - Temps de transmission limité
- États du jeton dans l'anneau
  - État libre --> donne le droit à émettre
  - État occupé
- Équipement veut émettre
  - Attend le jeton libre
  - Attache le message au jeton (jeton occupé)
  - Si @ source = son @ --> retirer le message --> jeton libre

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a)

13



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Sous-couche MAC Accès dynamique : avec collision, ALOHA

The diagram shows five horizontal timelines for users A, B, C, D, and E. Each timeline has a horizontal axis representing time. Small rectangles represent transmission attempts. User A has two attempts. User B has one attempt. User C has three attempts. User D has four attempts. User E has four attempts. A collision is indicated by a red vertical bar where the transmission attempt of user D overlaps with the transmission attempt of user E.

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 15

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## ALOHA Aloha pur

- Accès aléatoire sans référence temporelle
- Équipement émet quand il a besoin
- Si deux trames émises en même temps
  - » Collision
  - » Signal incompréhensible
  - » Ré-émission

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 16



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## ALOHA

### Période de vulnérabilité

--> ALOHA discrétisé

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 17

### Canal partagé dynamiquement

Contrôle d'accès au canal

```

graph TD
    Root[Canal partagé dynamiquement] --> SansCollision[Sans collision  
à bitmap  
à compteurs  
à jetons]
    Root --> AvecCollision[Avec collision (à contention)]
    
    AvecCollision --> SansAcquittement[sans acquittement  
(détection de collisions)]
    AvecCollision --> AvecAcquittement[avec acquittement]
    
    SansAcquittement --> Discretise[discrétisé (à slots)]
    SansAcquittement --> Continu[continue]
    
    Discretise --> AvecEcoule[avec écoute]
    Discretise --> ALOHA_Discr[ALOHA discrétisé 37%]
    
    Continu --> ALOHA[ALOHA 18%]
    
    AvecEcoule --> CSMA[CSMA]
    AvecEcoule --> CSMA_CD[CSMA/CD]
    
    CSMA --> NonPersistant[Non persistant 60%]
    CSMA --> Persistant[Persistent]
    
    subgraph Persistent
        direction TB
        P1[1 persistant 50%]
        P2[. ]
        P3[. ]
        P4[k persistant]
        P5[. ]
        P6[0.5]
        P7[0.1]
        P8[0.001 98%]
    end
    
    NonPersistant --- P1
    NonPersistant --- P2
    NonPersistant --- P3
    NonPersistant --- P4
    NonPersistant --- P5
    NonPersistant --- P6
    NonPersistant --- P7
    NonPersistant --- P8
    
    P1 --- P2
    P2 --- P3
    P3 --- P4
    P4 --- P5
    P5 --- P6
    P6 --- P7
    P7 --- P8
    
    P8 --- Note[Temps de propagation << Temps de transmission]
    
```

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## CSMA Carrier Sense Multiple Access

- Protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse
- Toute machine est autorisée à émettre
  - Écoute le support avant d'émettre
    - Si le canal est libre --» Émission de la trame
    - Sinon --» Attendre un délai avant de réémettre

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 19

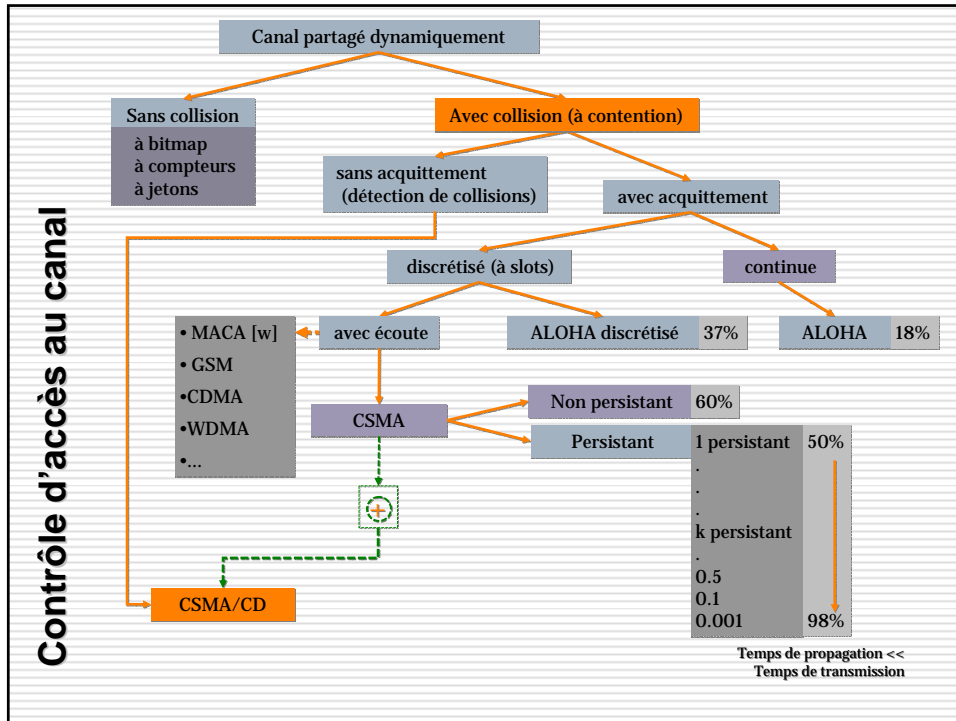
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## CSMA Collision

- Collision peut encore se produire:
  - Délai de propagation --» un nœud peut ne pas entendre la transmission des autres
- collision:
  - transmission d'un paquet
  - temps perdu
- note:
  - Rôle de la distance et délai de propagation pour déterminer la probabilité de collision

Cf.: Kurose

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 20



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

### CSMA/CD

## CSMA with Collision Detection

- ❑ Protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse et **détection de collision**
- ❑ Toute machine est autorisée à émettre
  - Écoute le support avant d'émettre
  - Détection de collision --> fin d'émission
  - Attendre un délai aléatoire avant de réémettre

IFS 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 22

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

### CSMA/CD

•A écoute le réseau pour détecter les émissions

•Pas d'émission en cours  
--> A émet une trame

•A et B émettent en même temps  
--> Détection de la collision par A,B,C

•A et B réémettent avec un délai de réémission  $T_A$  différent de  $T_B$

•Tempo  $T_A$  •Tempo  $T_B$

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 23

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

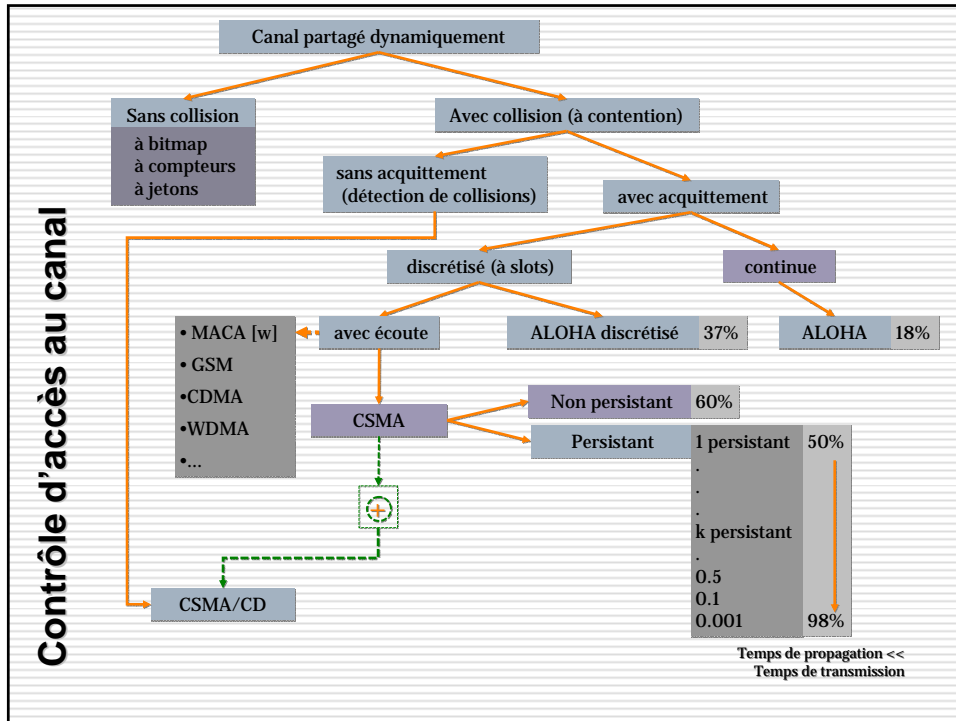
### CSMA/CD

## Détection de collision

Cf.: Kurose

Détection de collision fin d'émission

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 24



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Efficacité d'utilisation du canal sous contention

### Le modèle poissonnien simple

---

- Les paramètres
  - k : nombre de postes
  - A : probabilité d'obtenir une slot
  - P : temps moyen de transmission d'une trame (s)
  - t : temps maximal de transmission (s)
  - p : probabilité qu'un poste transmette en contention
- Efficacité sous hypothèse poissonnienne
  - $A = k p (1-p)^{k-1}$
  - $S = P / (P + 2t/A)$

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 26

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Effacité d'utilisation du canal sous contention Le modèle poissonnien transposé

- Les paramètres
  - F : longueur de la trame (bits)
  - B : bande passante (Mbps)
  - L : longueur (max) du câble (m)
  - v : vitesse de propagation du signal (m/s)
  - e : nombre moyen de slots de contention ( $e=1/A$ )
- Effacité sous hypothèse poissonnienne
  - $P = F/B$
  - $S = 1 / [1 + (2BLE/vF)]$

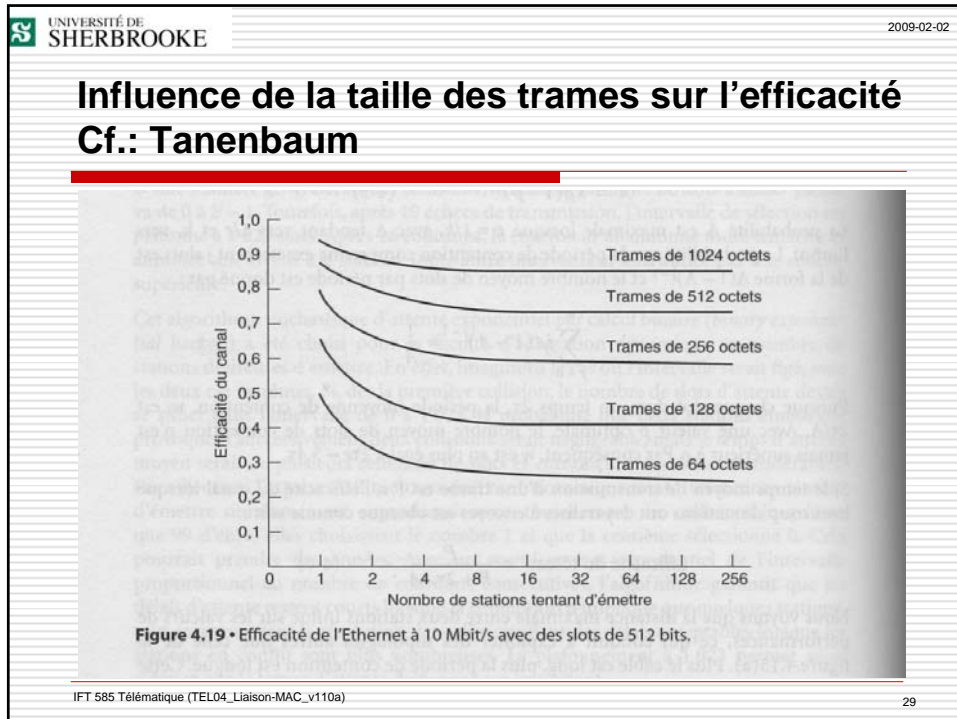
IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 27

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Influence du mode de gestion de contention Cf.: Tanenbaum

Figure 4.4 • Relations entre trafic écoulé et trafic global pour divers protocoles à accès aléatoire.

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 28



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Efficacité d'utilisation du canal sous contention Les limites du modèle poissonnien

- distribution des erreurs
- hypothèse du nombre de postes infini

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 30

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Réflexions

- Pertinence du modèle statique
- Pertinence du modèle à cellules

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 31

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Ethernet

### Un exemple de CSMA/CD

- Trame
  - Max (erreur)
  - min (d, t)
  - structure (DIX vs IEEE)
    - pre, 8;
    - adr-dest, 6;
    - adr-so, 6;
    - type, 2;
    - data, 0-1500;
    - rem, 0-46;
    - tdc, 4
- Gestion de contention stochastique binaire exponentielle
- Topologies :
  - linéaire
  - dorsale
  - arborescente
  - segmentée (max 4)
- Connexion
- Commutation

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 32



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Codage Manchester

Bit stream: 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1

Binary encoding: [High for 1, Low for 0]

Manchester encoding: [Transition for 0, Lack of transition for 1]

Differential Manchester encoding: [Transition for 0, Lack of transition for 1]

Transition here indicates a 0

Lack of transition here indicates a 1

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 33

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Ethernet (10)

- Paramètres :
  - $d = 0,1 \mu s$
  - $t = 51,2 \mu s$
  - => (trame min = 64 octets)
- Supports :
  - 10Base2 (185, 30)
  - 10Base5 (500, 100)
  - 10BaseT (100, 1024)
  - 10BaseF (2000, 1024)
- Codage :
  - Manchester

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 34

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Ethernet (100)

- Paramètres :
  - $d = 0,01 \mu s$
  - $t = 51,2 \mu s$
  - => (trame min = 640 octets)
- Supports :
  - 100BaseT4 (100, UTP3, simplex)
  - 100BaseTX (100, UTP5, duplex)
  - 100BaseFX (2000, FX, duplex)
- Codages :
  - 8B/6T (T4)
  - Manchester (TX)
  - MM2F (FX)

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 35

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Ethernet (1000)

- Paramètres :
  - $d = 0,001 \mu s$
  - $t = 51,2 \mu s$
  - => (trame min = 6400 octets)
- Supports :
  - 1000BaseSX (550, FX)
  - 1000BaseLX (5000, FX)
  - 1000BaseCX (25, STP, 2p)
  - 1000BaseT (100, UTP5, 4p)
- Codages :
  - 8B/6T (T4)
  - Manchester (TX)
  - MM2F (FX)

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 36

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## WDMA Wavelength Division Multiple Access

---

- >> fibre optique
- 1 paire de canaux par équipement
- Slots
  - signalisation (in) : m « slots »
  - transmission (out) : n+1 « slots »
- 3 classes de de trafic
  - cc: débit constant en mode connecté
    - vidéo composite
  - cv: débit variable en mode connecté
    - transfert des fichiers
  - sc: datagramme en mode nonconnecté
    - UDP
- 2 émetteur-récepteur
  - un fixe
  - un variable

---

20-05-2008 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) IFT585 - Télématique - Liaison 37

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## MACA Multiple Access with Collision Avoidance

---

<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Problématique           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ sans-fil</li> <li>■ courte portée</li> <li>■ poste caché</li> <li>■ poste exposé</li> <li>■ variation hybride</li> <li>■ multi-fréquence</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> RTS : Request To Send           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stimuler le récepteur avec une petite trame</li> <li>■ Les stations autour détectent la transmission               <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Et évitent de transmettre</li> </ul> </li> </ul> </li> <li><input type="checkbox"/> CTS : Clear To Send           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contient la taille de la donnée               <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> + copiée de la trame RTS</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
--	--

---

20-05-2008 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) IFT585 - Télématique - Liaison 38

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## MACA

Range of A's transmitter

Range of B's transmitter

(a)

(b)

20-05-2008 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) IFT585 - Télématique - Liaison 39

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2009-02-02

## Autres

- ATM
- CEBus
- HomePlug
- X.11
- Bluetooth
- 802.11 (a, b, g, n)

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 40

UNIVERSITÉ DE  
SHERBROOKE

2009-02-02

## Détection et correction des erreurs

### ... à venir

---

- Codes correcteurs
  - distance de Hamming
  - On dit qu'un codage est un « k-codage » si tout code erroné est à distance au plus « k » d'un seul code correct
- Code détecteurs
  - la probabilité

---

IFT 585 Télématique (TEL04\_Liaison-MAC\_v110a) 41