

# Réseaux

## Réseaux à diffusion

E. Jeandel

### Résumé des épisodes précédents

- On sait comment transmettre un message de façon fiable entre deux machines physiquement reliées par un câble.
- Que se passe-t-il si le médium est *partagé* ?

### Réseaux à diffusion

- Plusieurs machines se partagent un même canal de communication
- Réseau à médium partagé
- Canaux à accès multiple

### Exemple 1 (Réseau sans fil)



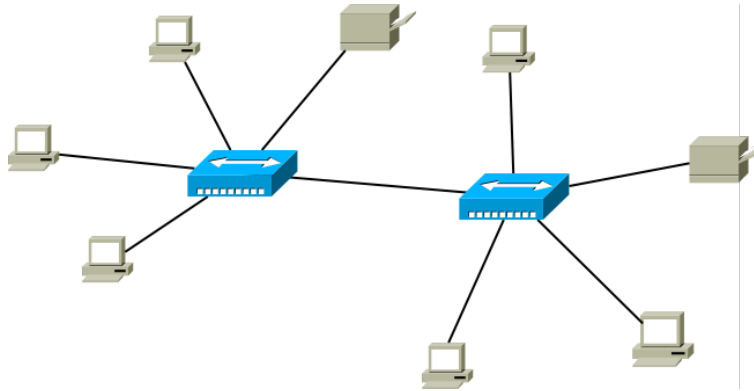
### Exemple 1 (Réseau sans fil)

- Chaque station fait office d'émetteur et de récepteur
- Chacune a une portée radio
- Si deux machines émettent en même temps, interférences



*A émet vers B. C, hors de portée de A, croit qu'il peut émettre vers B.*

### Exemple 2 (Réseau local (LAN))



### Exemple 2 (Réseau local (LAN))

- Machines reliées par des *hub*
- Un hub se contente de transmettre un message reçu sur un port vers chacun des autres ports (souvent en l'amplifiant)
- Si une machine envoie un message, toutes les autres le reçoivent.
- Le hub fonctionne au niveau de la couche 1 (physique)
- Si le hub reçoit deux messages en même temps, il y a collision

### Que faut-il faire ?

- Un moyen d'adresser les machines
- Gestion du temps de parole (ex : Assemblée Nationale)

### La pratique

- La couche liaison est divisée en deux sous-couches
  - Sous-couche d'accès au canal (Medium Access Control), dépendante de la couche physique
  - Sous-couche indépendante de la couche physique (Logical Link Control)

### L'adressage

- Chaque interface d'une machine dispose d'une adresse différente, codée en dur (i.e. obtenue par la compagnie auprès de l'IEEE)
- Adresse LAN ou encore Adresse MAC

## 1 Protocoles

### Modèle formel

- $N$  machines qui veulent communiquer ...
- ... par un unique medium
- Si deux trames sont transmises simultanément, il y a *collision*.
- Chaque équipement peut détecter une collision
- Optionnel : On peut écouter le canal pour savoir si quelque chose est en train d'être émis

### Modèle formel

- $N$  machines qui veulent communiquer ...
- ... par un unique medium
- Si deux trames sont transmises simultanément, il y a *collision*.
- Chaque équipement peut détecter une collision
- Optionnel : On peut écouter le canal pour savoir si quelque chose est en train d'être émis

### 1.1 Multiplexage

#### Première méthode

- Assimiler le canal à  $N$  canaux (un par machine)
- Solution en couche physique

#### Plusieurs méthodes

- Diviser le temps en  $N$  parties
- $N$  fréquences différentes pour chacune des machines.
- Codes de Walsh

### Codes de Walsh

- On suppose que deux messages envoyés par deux machines se *superposent* (s'additionnent)
- Les machines sont synchronisées

Chaque machine  $i$  a un *code*  $T_i \in \{-1, 1\}^8$ . On a un produit scalaire :

$$x \cdot y = x_1y_1 + x_2y_2 + \dots + x_8y_8$$

Le code vérifie

- $T_i \cdot T_i = 8$
- $T_i \cdot T_j = 0$  si  $i \neq j$ .

Pour envoyer le bit 0/1, la machine  $i$  envoie  $T_i / -T_i$ .

Pour obtenir le trafic de la machine  $i$ , il suffit donc de faire le produit scalaire avec  $T_i$ .

### Codes de Hadamard-Walsh (Réalisation)

- Uniquement pour des puissances de 2
- Le code de la machine  $i$  est la  $i$ -ème ligne de la matrice de Hadamard de taille  $2^n$ .
- Le coefficient en  $v, w$  est  $(-1)$  si  $\sum_i v_i w_i$  est impair, 1 sinon.

$$\begin{pmatrix} & 00 & 01 & 10 & 11 \\ 00 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 01 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 10 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 11 & 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Le code de Walsh est un code  $(n, 2^n)$  qui corrige  $2^{n-1} - 1$  erreurs.

## 1.2 Sans écoute de porteuse

### ALOHA

- Chaque machine émet quand elle veut
- Si elle repère une collision, elle attend un temps aléatoire puis réémet

Utilisation du canal :

- Si une seule machine communique : 100%
- Si toutes communiquent : 18% (quelque soit le nombre de machines)

### ALOHA discret

- Le temps est divisé en slot
- Chaque machine émet au début d'un slot
- Si elle repère une collision, elle attend un temps aléatoire puis réémet

Utilisation du canal :

- Si une seule machine communique : 100%
- Si toutes communiquent : 37%
- Preuve en TD.

### 1.3 Avec écoute de la porteuse

#### Sondage (Polling)

Système centralisé

- Un noeud arbitre A
- A dit successivement aux autres noeuds quand ils peuvent parler et pour combien de messages
- A utilise la porteuse pour savoir quand il autorise le noeud suivant à parler

#### Token Ring

Utilisé par IBM. Décentralisé

- Topologie en anneau reliant des machines
- Une seule machine, qui possède un jeton peut parler
- Chaque machine relaie le message à la machine suivante
- La machine avec le jeton se charge de jeter elle-même le message qu'elle a envoyé.

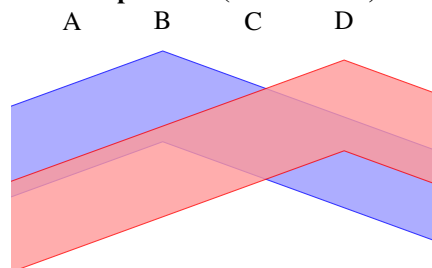
Priorités pour décider qui peut parler

#### Ecoute de la porteuse (Facile ?)

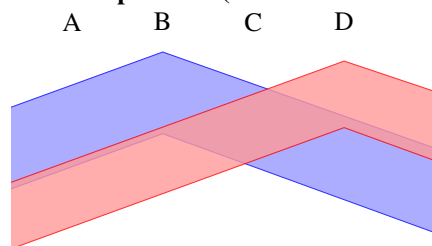
- Si on détecte un message, on ne fait rien
- Sinon, on émet

Problème ?

#### Ecoute de la porteuse (Facile ? Non)



#### Ecoute de la porteuse (Avec détection des collisions)



### CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access / Collision Detection)

- On teste si le canal est vide
- On envoie la trame
- Si on détecte une collision, on arrête d'envoyer et on envoie un signal de collision
- On attend avant de la renvoyer

Attente exponentielle : Lors du  $n$ -ème réenvoi de la trame, on attend un temps compris entre 0 et  $2^n$  (limité à 1024).

- Pourquoi envoyer un signal de collision ?

## 2 La pratique

### 2.1 Ethernet

#### Exemple

```
ifconfig eth0
eth0 Link encap:Ethernet HWaddr 00:11:D8:8D:51:F9
[snip]
UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1
RX packets:94686301 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
TX packets:82880491 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
collisions:0 txqueuelen:1000
RX bytes:400469386 (381.9 MiB) TX bytes:3207666956 (2.9 GiB)
Interrupt:4
```

#### Adresse

- Adresse sur  $2^{48}$  bits
- Dans l'exemple 00:11:D8:8D:51:F9
- Mais seulement  $2^{46}$  adresses potentielles
  - Un bit pour adresses globales/locales
  - Autre bit pour le multicast

Certaines adresses ont des significations précises :

- FF:FF:FF:FF:FF:FF Broadcast (destiné à toutes les machines)

#### Trame (IEEE 802.3)

Flag	Destination	Source	Type	Données	CRC
8	6	6	2	46-1500	4

- Une trame Ethernet transporte au maximum 1500 octets (Maximum Transfer Unit (MTU))
- Au minimum 46 caractères
- Taille max de 1518 (sans compter le Flag)

### Protocole d'accès au canal

- CSMA/CD
  - Unité : le bit time (bt) : temps pour envoyer un bit.
  - 100 Mb/s  $\Rightarrow$  1 bt = 10 ns
  - Attente minimum de 96 bt avant d'envoyer une trame, et de 512 bt avant de la réenvoyer
  - Mesure de la tension dans le câble pour repérer trames et collisions.
- Efficacité (pourcentage de temps utile)

$$\frac{1}{1 + 5t_1/t_2}$$

- $t_1$  : temps pour qu'une trame arrive à sa destination
- $t_2$  : temps pour transmettre la trame.  $t_2 = k \times 8 \times bt$  avec  $64 \leq k \leq 1518$

## 2.2 Réseau sans fil

### WiFi (802.11)

- CSMA/CA (Collision Avoidance)
- Difficulté d'émettre et recevoir en même temps
- Pas moyen de détecter les collisions, ni si le message est arrivé
- ACK du destinataire
- On prévient qu'on va transmettre, et pendant combien de temps
- Trame fragmentée pour ajouter des CRC.

## 3 Connecter des réseaux

### Hub (Once more, with feeling)

- Machines reliées par des *hub*
- Un hub se contente de transmettre un message reçu sur un port vers chacun des autres ports (souvent en l'amplifiant)
- Si une machine envoie un message, toutes les autres le reçoivent.
- Le hub fonctionne au niveau de la couche 1 (physique)
- Si le hub reçoit deux messages en même temps, il y a collision

### Commutateurs/Ponts (Switch, Bridge)

- Le switch fonctionne au niveau de la couche 2 (liaison)
- Lorsqu'il reçoit un paquet, le switch ne l'envoie que là où se trouve la machine destinataire
- Le switch possède une table disant, pour chaque adresse MAC, sur quel port rediriger le paquet
- Le switch utilise CSMA/CD pour envoyer les paquets
- Attention, un switch n'a pas d'adresse MAC.

### Commutateurs/Ponts (Table)

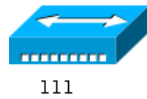
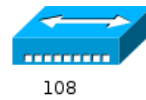
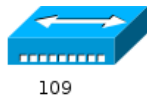
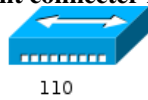
```
brctl showmacs br
```

port no	mac addr	ageing timer
1	00:c0:ff:ee:00:00	16.64
1	0a:ba:d0:ba:be:00	0.51
2	ca:fe:d0:0d:00:00	0.42
3	00:00:de:ad:be:ef	13.37

### Commutateurs/Ponts (Table)

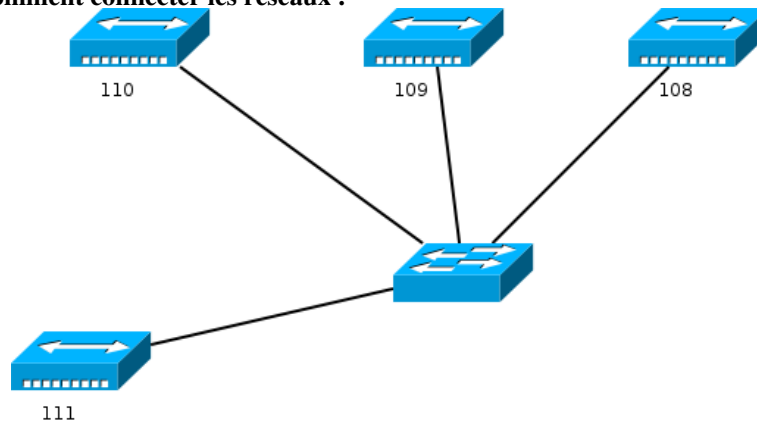
- Table vide au début
- Quand on reçoit un paquet d'une adresse MAC inconnue, on l'ajoute dans la table
- Quand on reçoit un paquet vers une adresse MAC inconnue, on l'envoie sur tous les ports
- Quand on reçoit un paquet vers l'adresse MAC située sur le port  $i$  depuis le port  $i$ , on le supprime.

### Comment connecter les réseaux ?

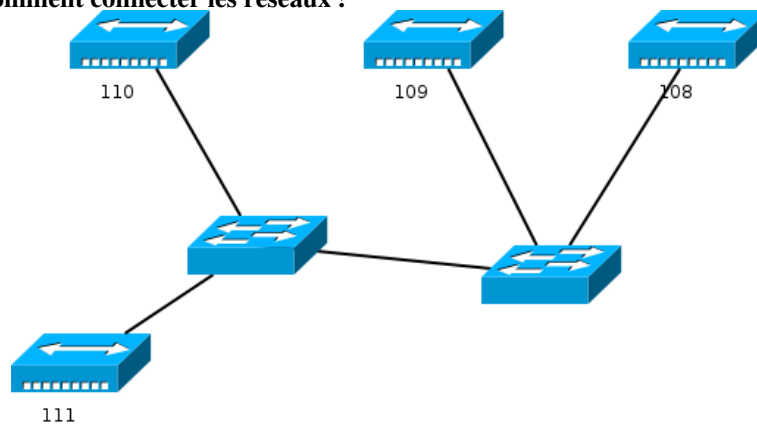




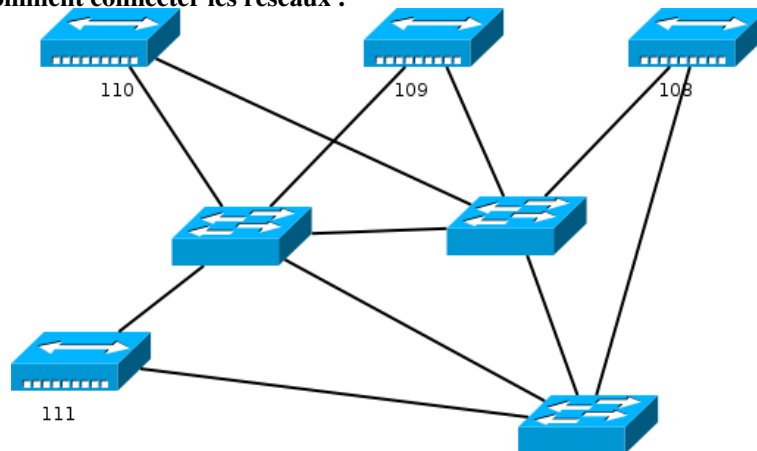
Comment connecter les réseaux ?



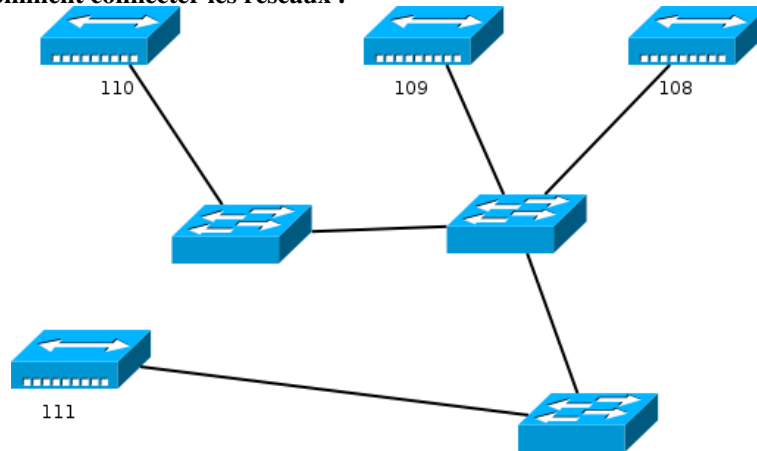
Comment connecter les réseaux ?



Comment connecter les réseaux ?



### Comment connecter les réseaux ?



### Comment connecter les réseaux ?

Les routeurs doivent collaborer entre eux pour établir un arbre couvrant de poids minimal

- Arbre : pas de cycle
- Couvrant : passe par tous les sommets
- De poids minimal. Poids d'une arête inversement corrélé à son débit. (Norme IEEE : 10 Mb/s  $\rightarrow$  100, 100 Mb/s  $\rightarrow$  19)

Problématique de l'*algorithmique distribuée*

- Réseau nommé
- Asynchrone
- Election

L'arbre couvrant change potentiellement dynamiquement (toutes les 2 secondes) pour réparer les pannes si un noeud (resp. un câble) disparaît.

### La démo

#### La suite

- IP
- Comment marche La Poste