

Réseaux

Réseaux à diffusion

E. Jeandel

Emmanuel.Jeandel at univ-lorraine.fr

Résumé des épisodes précédents

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

Réseaux à diffusion

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

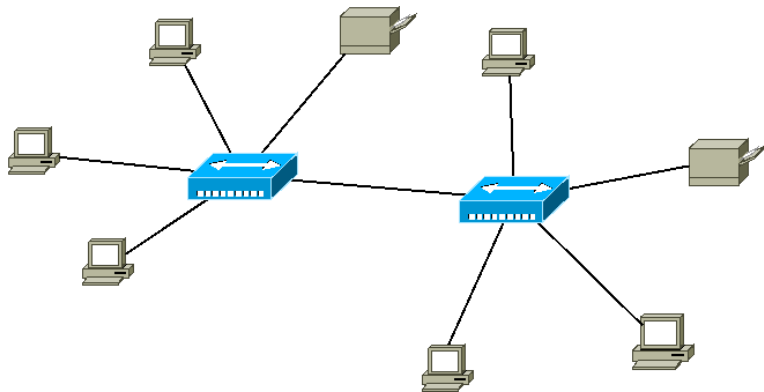
Exemple 1

Réseau sans fil



Exemple 2

Réseau local (LAN)



Exemple 2bis

Réseau local (LAN) half-duplex



Si la couche physique est half-duplex.

Que faut-il faire ?

- Un moyen d'adresser les machines
- Gestion du temps de parole

- 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)

Contenu

- 1 Protocoles - Intro
- 2 Protocoles
- 3 La pratique
- 4 Ethernet commuté

- N machines qui veulent communiquer . . .
- . . . par un unique medium
- Si deux trames sont transmises simultanément, il y a *collision*.

Caractéristiques importantes

Peut-on détecter une collision ?

(Peut-on détecter quand deux personnes parlent en même temps ?)
On parle de protocole avec/sans *écoute de porteuse*

Caractéristiques importantes

Cable vs Wifi

- Dans un réseau Ethernet câblé, on peut écouter et parler en même temps.
- En wifi, on ne peut pas écouter et parler en même temps
 - Dans certains cas, on ne peut même pas savoir que quelqu'un parle.

Réseau sans fil



A



B



C

- C est hors de portée de A
- Si A et C parlent tous les deux, seul B peut le savoir.

Contenu

- 1 Protocoles - Intro
- 2 Protocoles**
- 3 La pratique
- 4 Ethernet commuté

Demander à la couche physique de résoudre le problème

- Si toutes les communications utilisent des fréquences différentes, pas de souci.
- Si le medium est full-duplex, pas de souci avec deux machines.

Solution 2 : Token Ring/Bus

Utilisé par IBM. Décentralisé

Celui qui a le chapeau a la parole

Token Ring

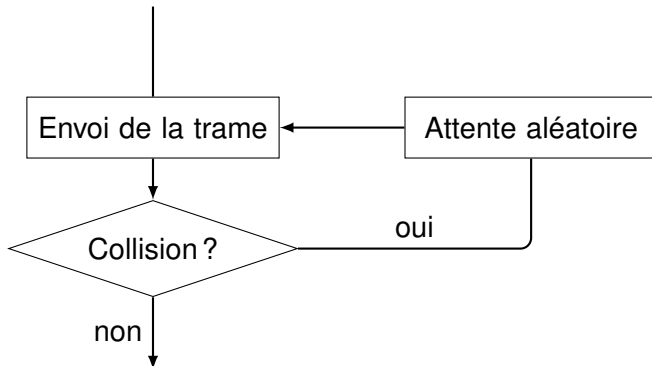
- Les machines sont organisées dans un cercle
- Seule la machine qui possède le jeton peut parler
- Elle envoie son message à sa voisine, et le message fait le tour du cercle
- Quand le message lui revient, elle passe son jeton à sa voisine

Solution 3 : Aloha

- Dès qu'une machine a un message à faire passer, elle envoie le message
 - Sans même vérifier que quelqu'un parle déjà
- Si deux machines parlent en même temps, elles réenvoient
 - Quelquefois les deux se remettent à parler en même temps et ça ne marche pas
 - Il faut attendre un temps aléatoire

Super efficace s'il n'y a qu'une personne qui parle, mauvais sinon (18% d'utilisation)

ALOHA



Exemple

au tableau

Solution 3bis : Slotted Aloha

- Comme Aloha, mais en temps discret
- Efficacité 36%

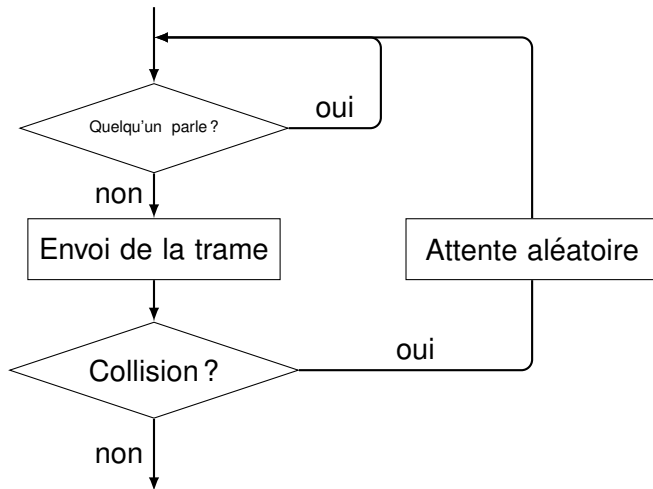
Exemple

Solution 3ter : CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

C'est idiot d'émettre si quelqu'un le fait déjà

- Si quelqu'un émet, on attend qu'il ait fini avant d'émettre
- N'évite pas les collisions
 - En cas de collision, on attend un temps aléatoire



Exemple

au tableau

Détection des collisions

Attention, ce n'est pas facile de détecter les collisions

Collision = ce que je transmets sur le fil n'est pas ce que je vois sur le fil.

Ecoute de la porteuse

Facile ? Non

A

B

C

D

Ecoute de la porteuse

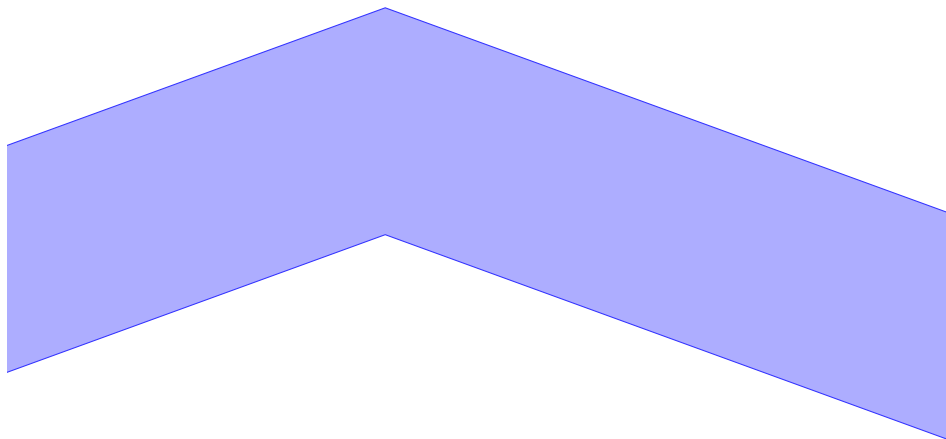
Facile ? Non

A

B

C

D



Ecoute de la porteuse

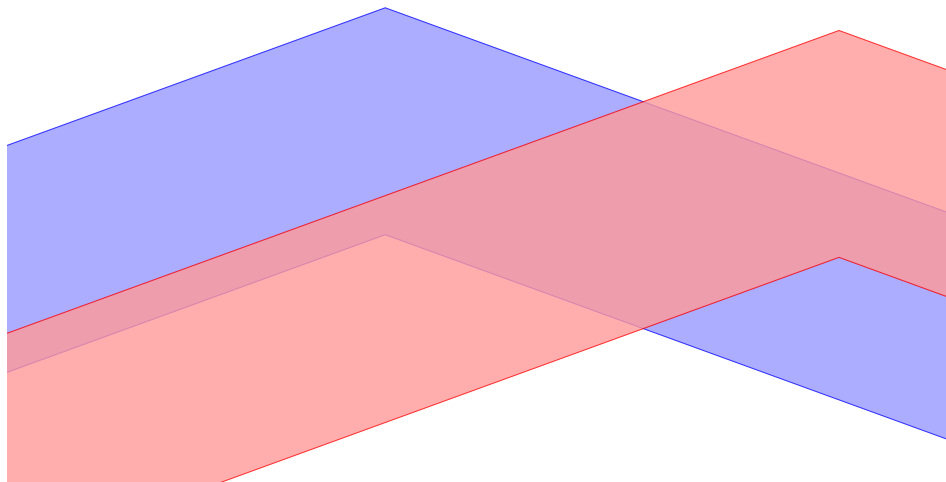
Facile ? Non

A

B

C

D



Ecoute de la porteuse

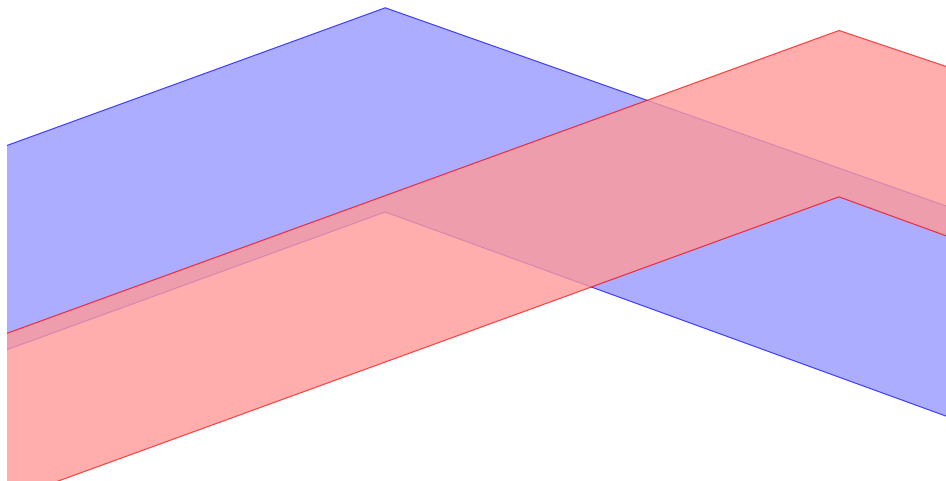
Avec détection des collisions

A

B

C

D



Le message doit être suffisamment long pour qu'on puisse détecter une collision

Longueur mini dépend de la taille max du réseau

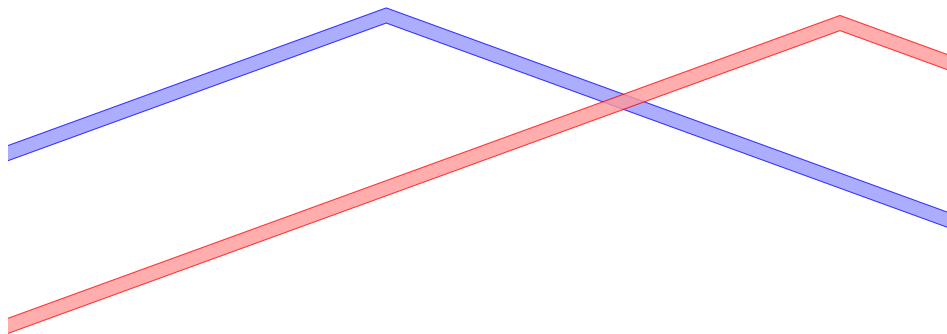
Ecoute de la porteuse

A

B

C

D

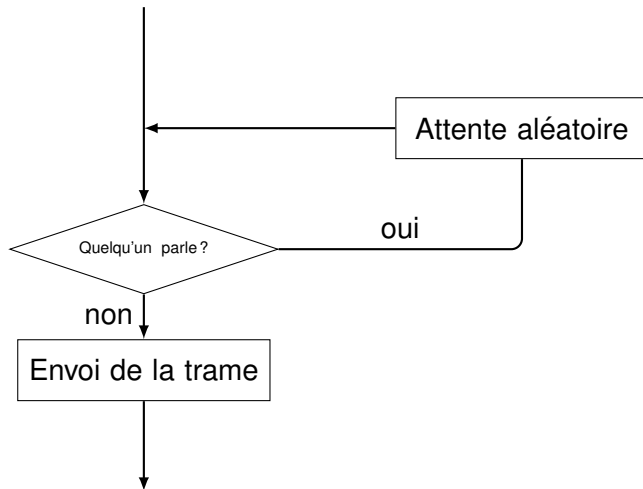


Solution 3quater : CSMA/CA

Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance

Comment faire s'il est difficile de tester les collisions ? (Wifi : on ne peut pas émettre et écouter en même temps)

- Si quelqu'un émet, on attend un temps aléatoire avant d'émettre



Contenu

- 1 Protocoles - Intro
- 2 Protocoles
- 3 La pratique
- 4 Ethernet commuté

1 Protocoles - Intro

2 Protocoles

3 La pratique

- Ethernet

- Réseau sans fil

4 Ethernet commuté

Ethernet est une famille de technologies pour réseaux locaux et réseaux plus grands
Un nombre important de normes dépendant de l'équipement précis.

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

- Adresse sur 48 bits
- Représentée en 6 groupes de 8 bits (un octet)
- 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)

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
```


Trame

Ethernet II

Tout est exprimé en octet

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

Ethernet II

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

En général pas visible dans les captures réseau

Trame

Ethernet II

Tout est exprimé en octet

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

Destination : adresse MAC de la machine destination

Trame

Ethernet II

Tout est exprimé en octet

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

Source : adresse MAC de la machine source

Trame

Ethernet II

Tout est exprimé en octet

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

Type : protocole de la couche réseau encapsulé (différence Ethernet II/IEEE 802.3)

Trame

Ethernet II

Tout est exprimé en octet

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

Données : Minimum 46 octets, on ne veut pas de trames trop courtes (CSMA/CD)

Trame

Ethernet II

Tout est exprimé en octet

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

CRC sur 32 bits.

En général pas visible dans les captures réseau.

- CSMA/CD
- Unité : le bit time (bt) : temps pour envoyer un bit.
- $100 \text{ Mb/s} \Rightarrow 1 \text{ bt} = 10 \text{ ns}$
- 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.

1 Protocoles - Intro

2 Protocoles

3 La pratique

- Ethernet

- Réseau sans fil

4 Ethernet commuté

- CSMA/CA (Collision Avoidance)
- ACK du destinataire
- On prévient qu'on va transmettre, et pendant combien de temps
- Trame fragmentée pour ajouter des CRC.

Contenu

- 1 Protocoles - Intro
- 2 Protocoles
- 3 La pratique
- 4 **Ethernet commuté**

Hubs

Connecter des machines par des hubs c'est pas top

Maximum une seule machine qui peut parler à la fois

Dans l'internet moderne, les machines sont connectées entre elles par un switch

(avec des liaisons full-duplex)

Commutateurs

Switch

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

Commutateurs

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 une trame d'une adresse MAC inconnue, on l'ajoute dans la table
- Quand on reçoit une trame vers une adresse MAC inconnue, on l'envoie sur tous les ports
- Quand on reçoit une trame vers l'adresse MAC située sur le port i depuis le port i , on le supprime.

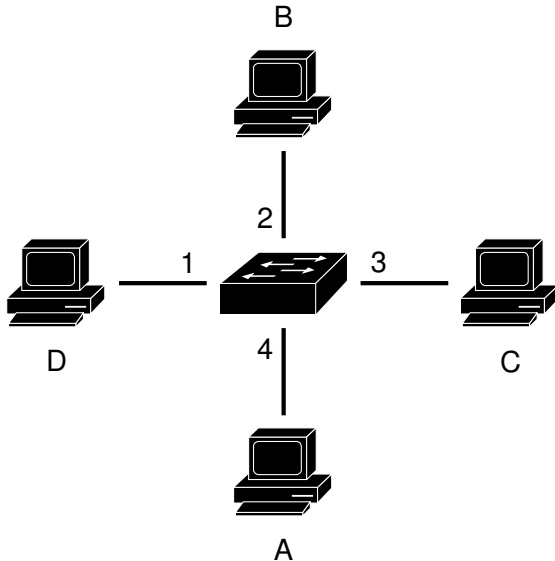
Commutateurs/Ponts

Exemple

Exemple : 4 machines A,B,C,D

- A envoie un message vers D
- D répond à A
- A répond à D

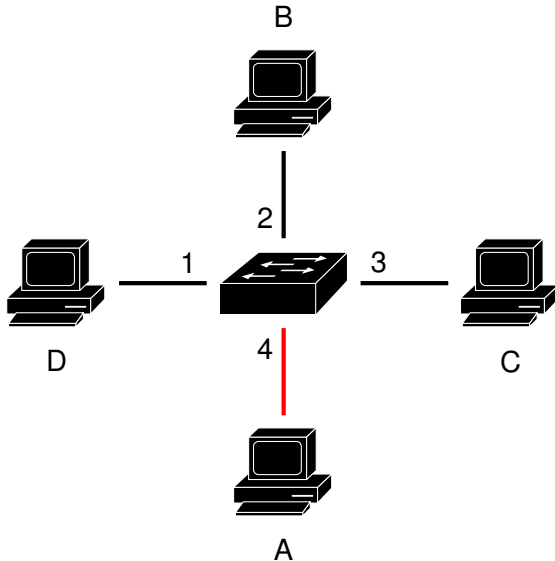
Exemple



Etape 1 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port

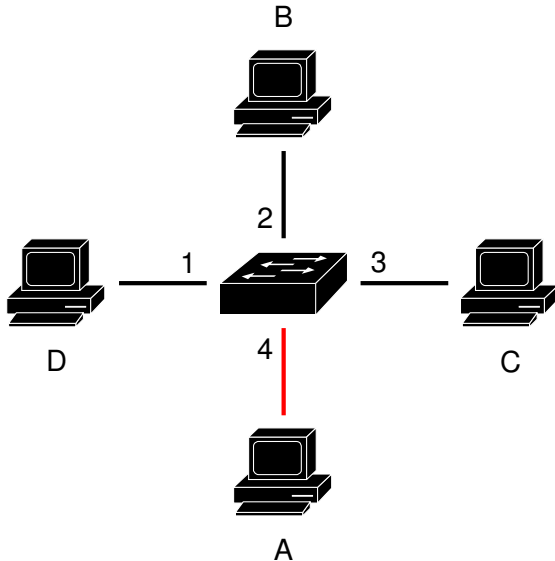
Exemple



Etape 1 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port

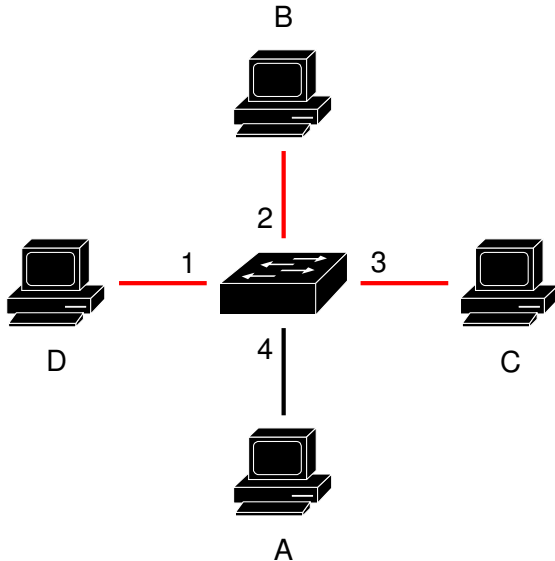
Exemple



Etape 1 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port
A	4

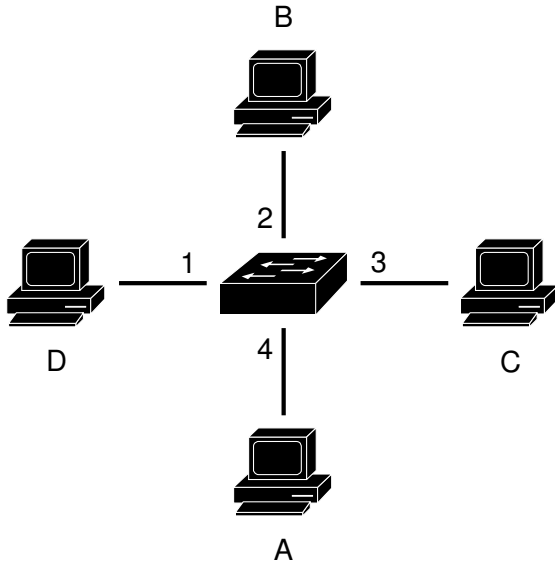
Exemple



Etape 1 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port
A	4

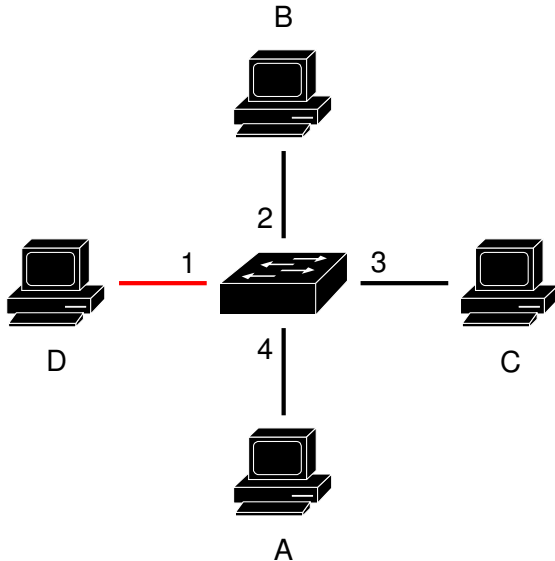
Exemple



Etape 2 : $D \rightarrow A$

Adresse	Port
A	4

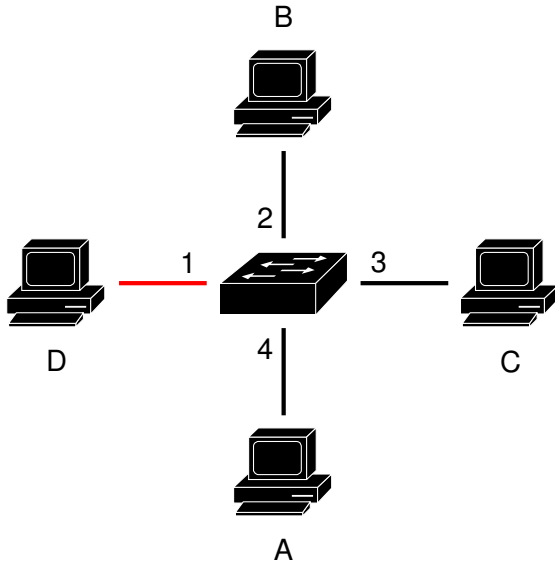
Exemple



Etape 2 : $D \rightarrow A$

Adresse	Port
A	4

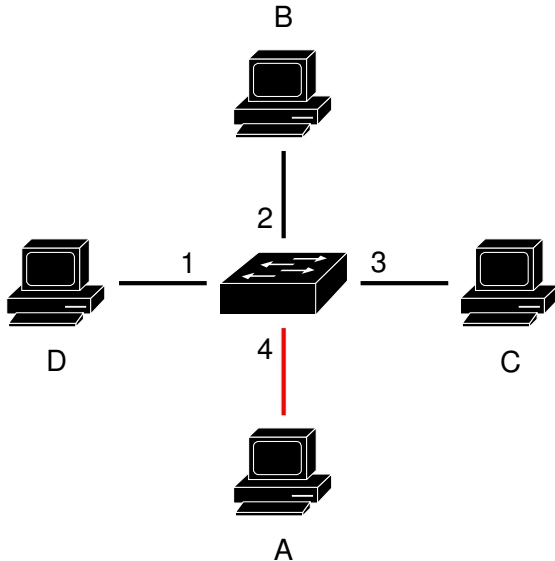
Exemple



Etape 2 : $D \rightarrow A$

Adresse	Port
A	4
D	1

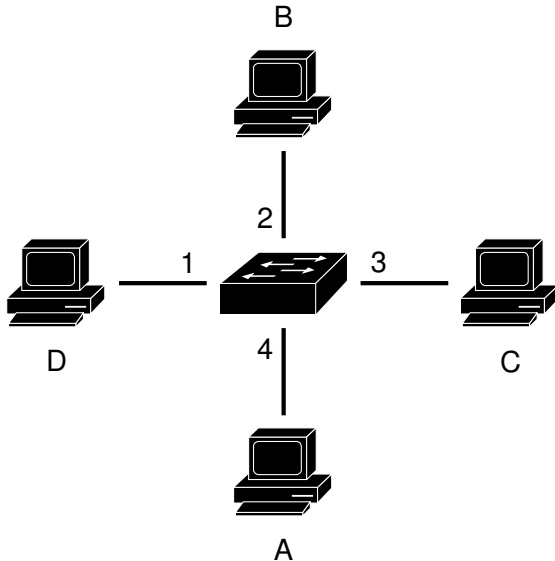
Exemple



Etape 2 : $D \rightarrow A$

Adresse	Port
A	4
D	1

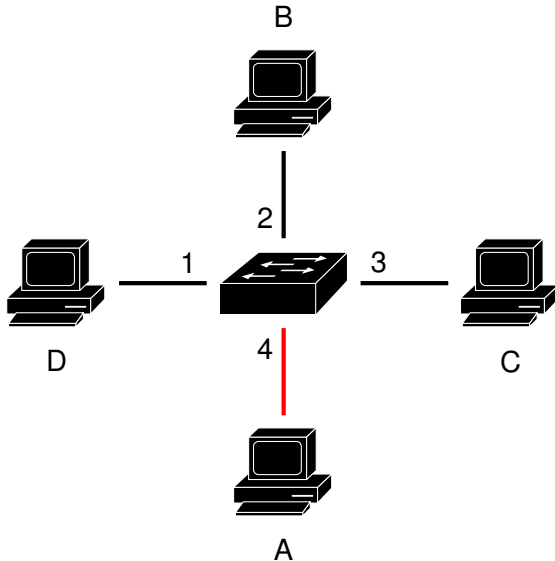
Exemple



Etape 3 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port
A	4
D	1

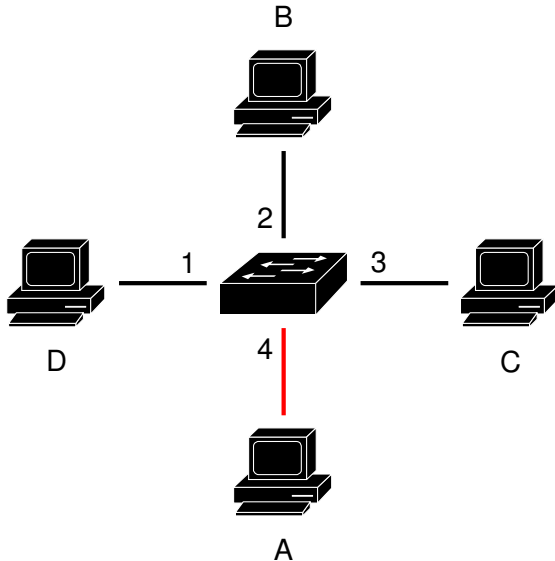
Exemple



Etape 3 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port
A	4
D	1

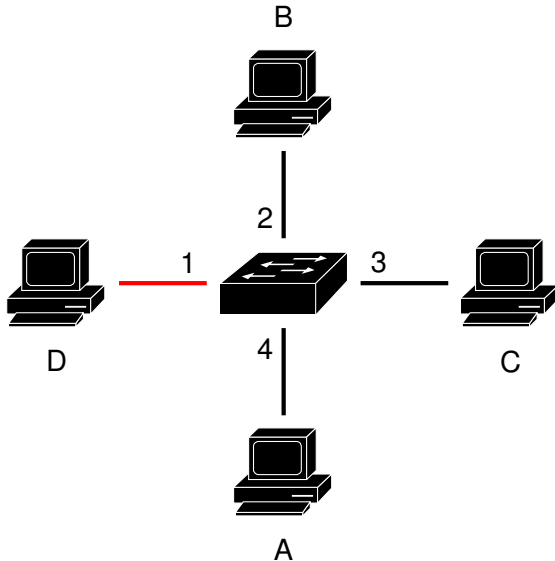
Exemple



Etape 3 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port
A	4
D	1

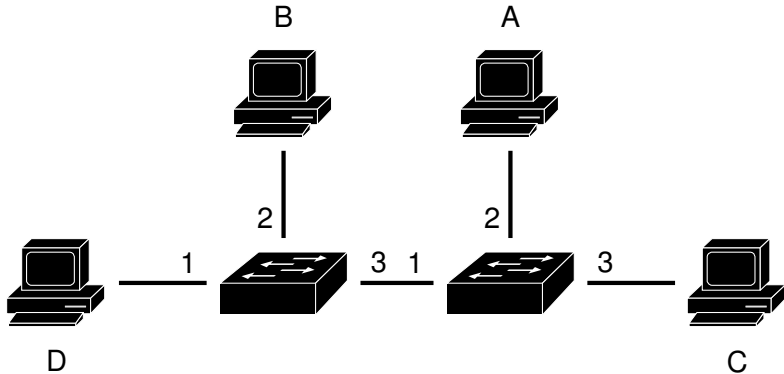
Exemple



Etape 3 : $A \rightarrow D$

Adresse	Port
A	4
D	1

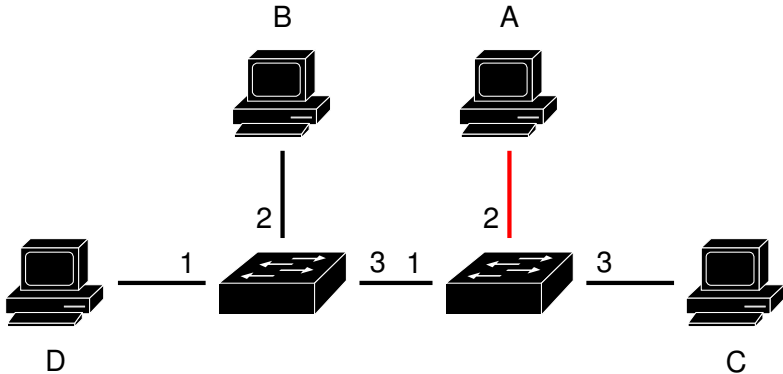
Exemple



Adresse	Port

Adresse	Port

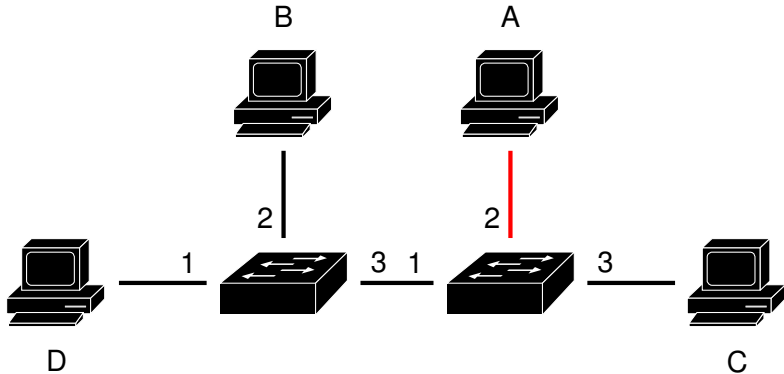
Exemple



Adresse	Port

Adresse	Port

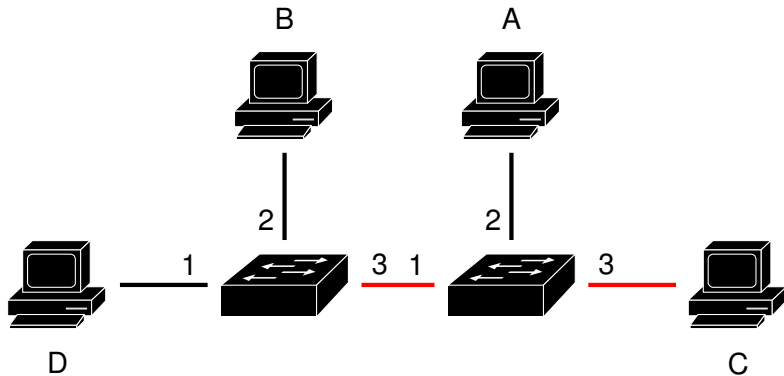
Exemple



Adresse	Port

Adresse	Port
A	2

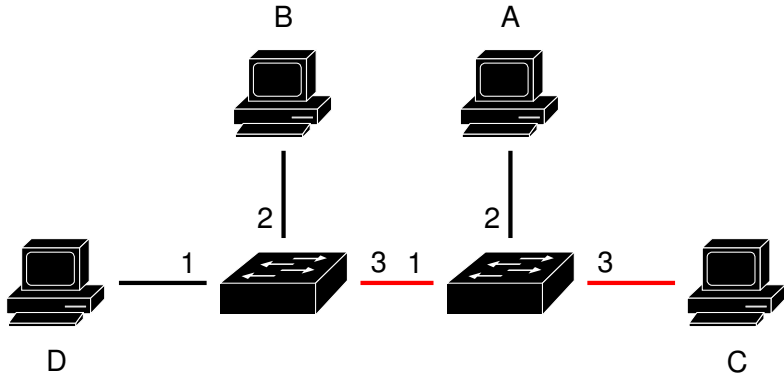
Exemple



Adresse	Port

Adresse	Port
A	2

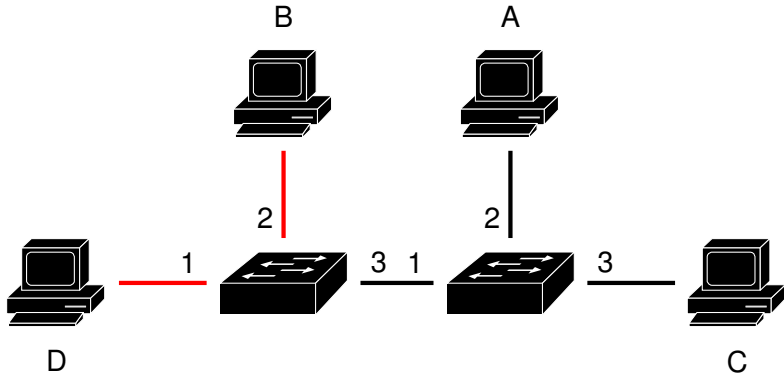
Exemple



Adresse	Port
A	3

Adresse	Port
A	2

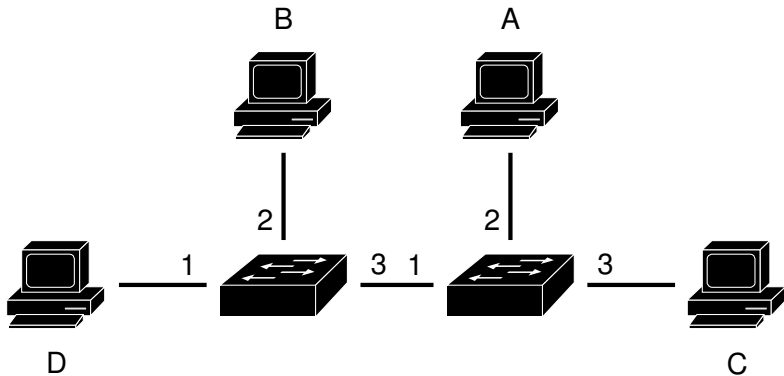
Exemple



Adresse	Port
A	3

Adresse	Port
A	2

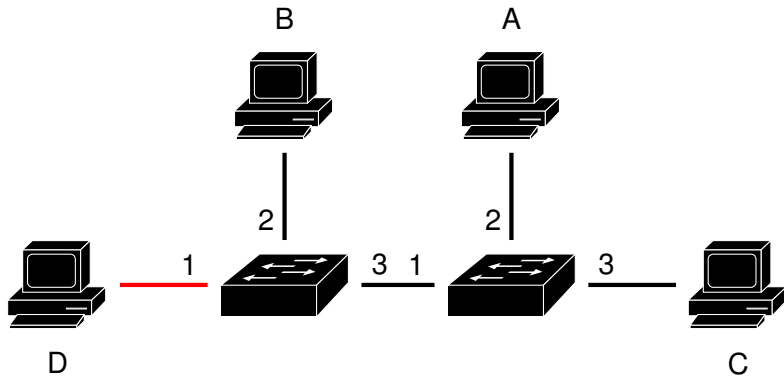
Exemple



Adresse	Port
A	3

Adresse	Port
A	2

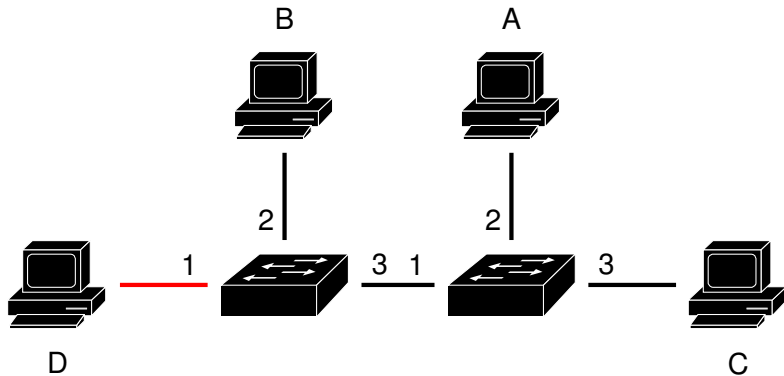
Exemple



Adresse	Port
A	3

Adresse	Port
A	2

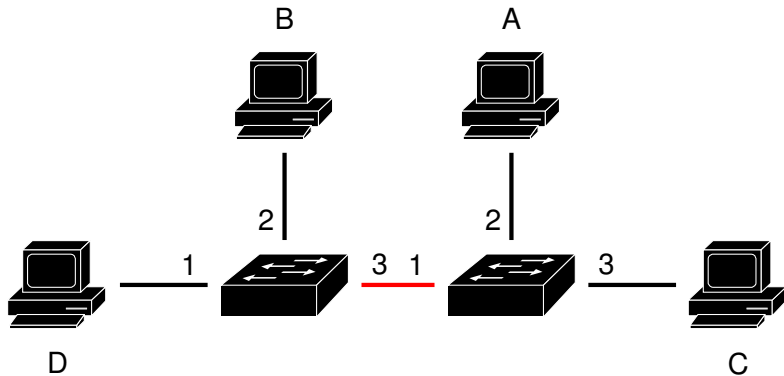
Exemple



Adresse	Port
A	3
D	1

Adresse	Port
A	2

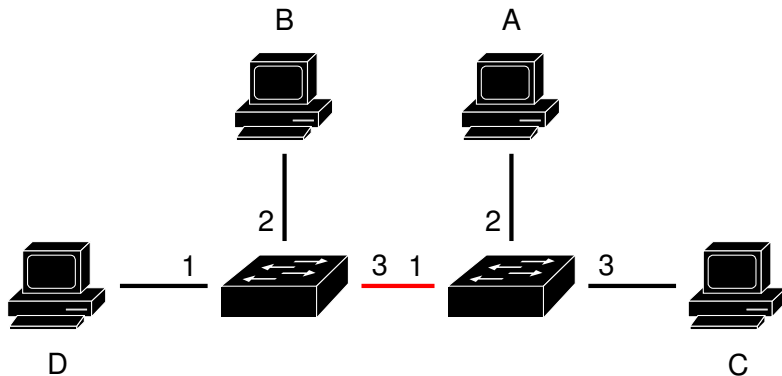
Exemple



Adresse	Port
A	3
D	1

Adresse	Port
A	2

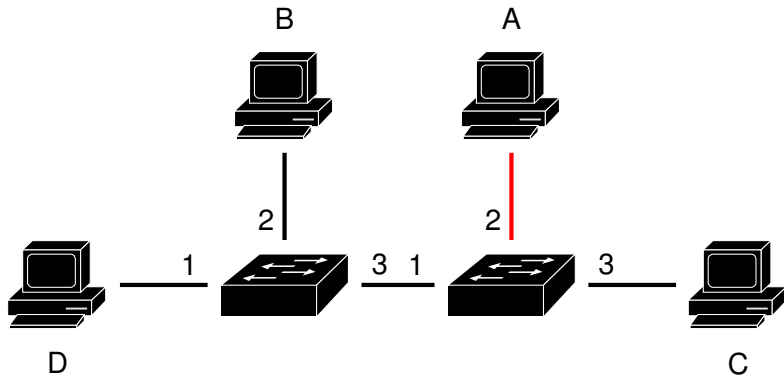
Exemple



Adresse	Port
A	3
D	1

Adresse	Port
A	2
D	1

Exemple



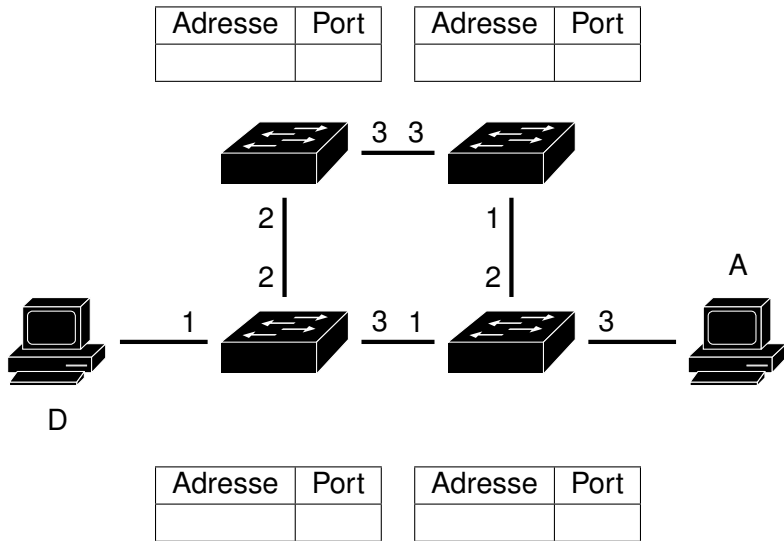
Adresse	Port
A	3
D	1

Adresse	Port
A	2
D	1

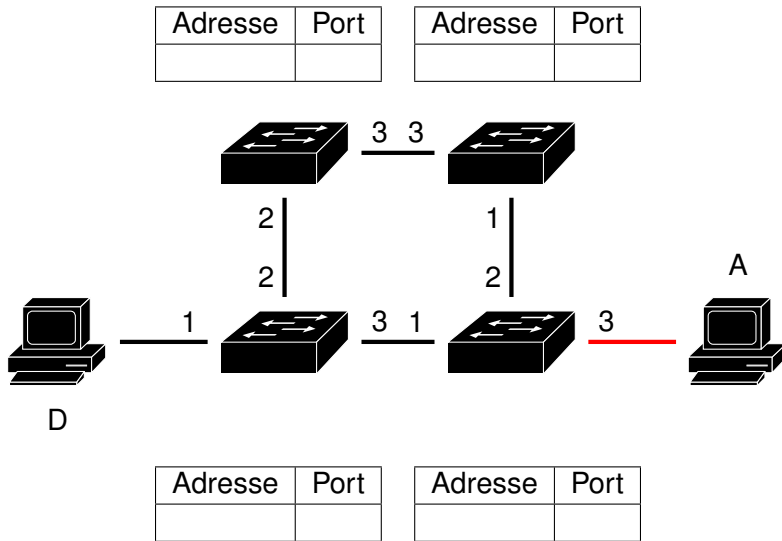
Le commutateur ne résout pas tous les problèmes :

- Si A parle à B, et C parle à D, ok
- Si A parle à C et B parle à C, le switch peut être surchargé
 - Perte de trames.

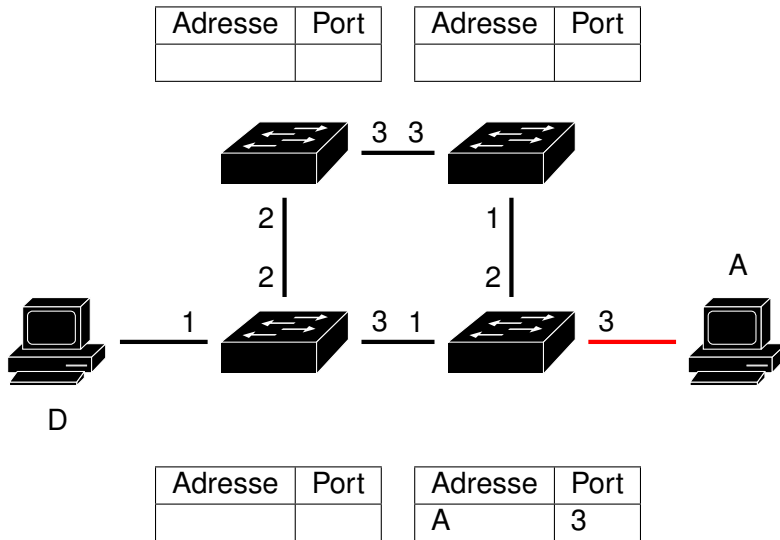
Exemple



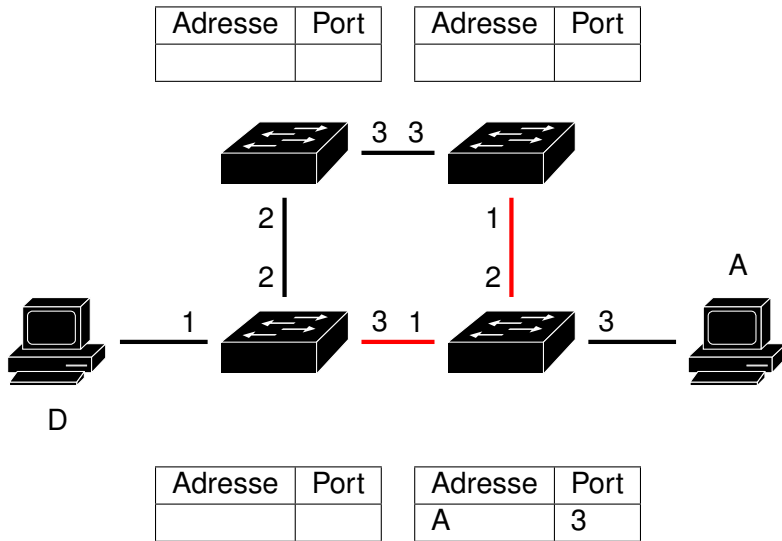
Exemple



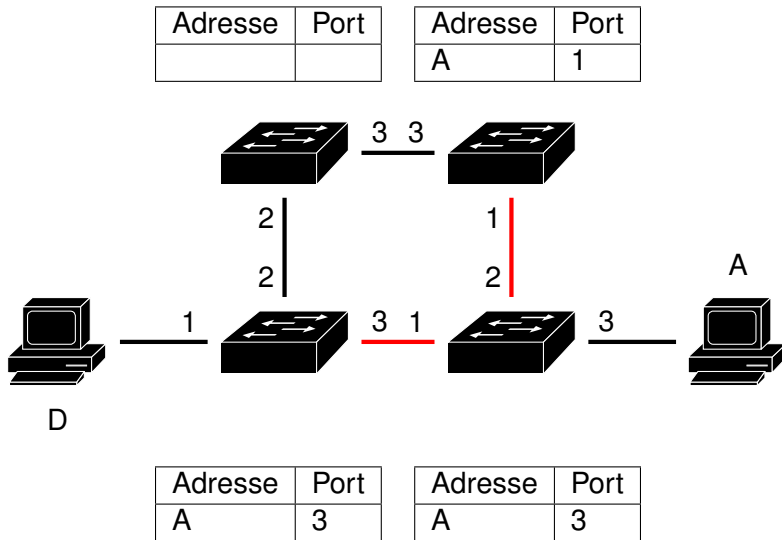
Exemple



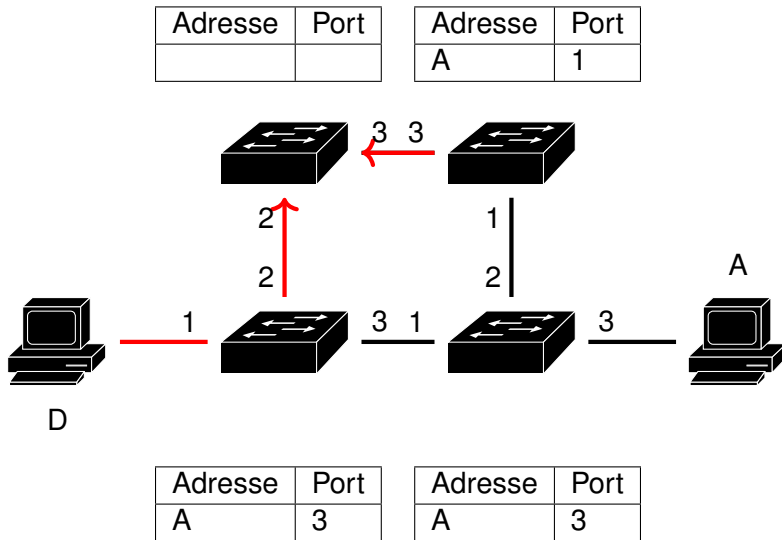
Exemple



Exemple



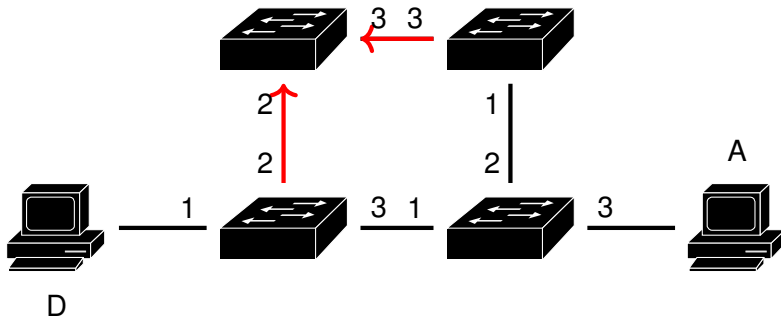
Exemple



Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

Adresse	Port
A	1



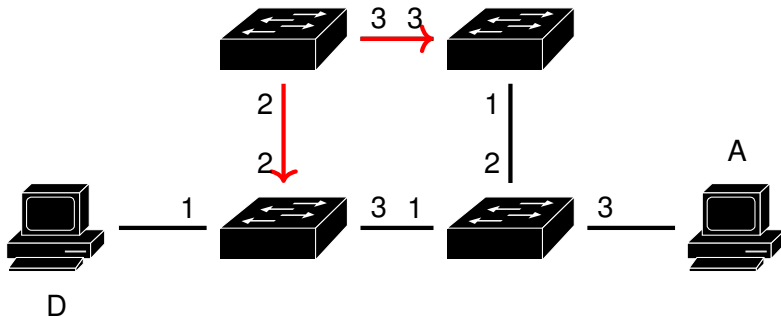
Adresse	Port
A	3

Adresse	Port
A	3

Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

Adresse	Port
A	1



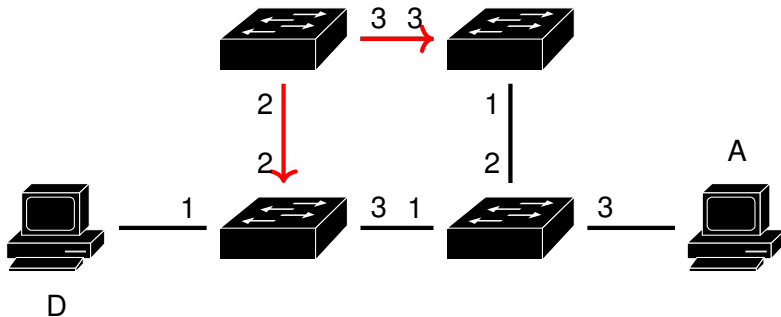
Adresse	Port
A	3

Adresse	Port
A	3

Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

Adresse	Port
A	3



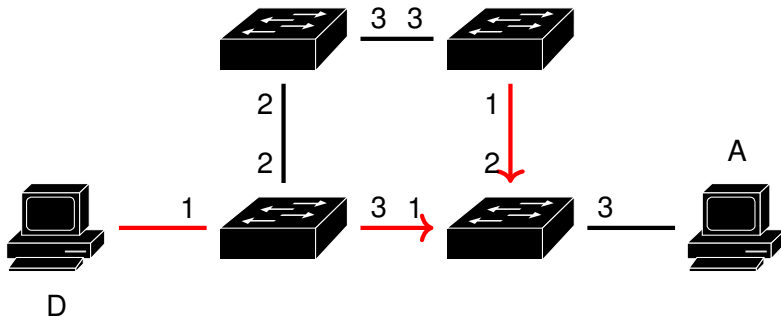
Adresse	Port
A	2

Adresse	Port
A	3

Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

Adresse	Port
A	3



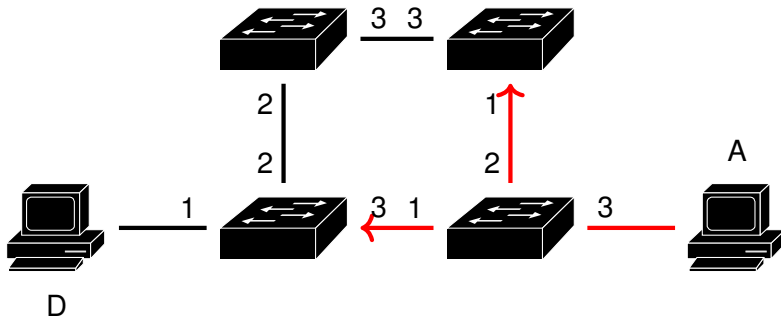
Adresse	Port
A	2

Adresse	Port
A	3

Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

Adresse	Port
A	3



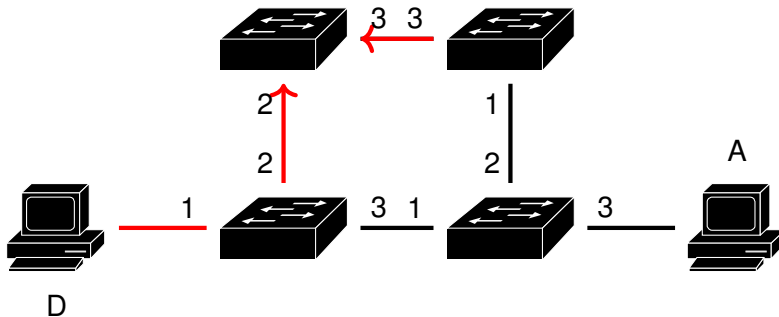
Adresse	Port
A	2

Adresse	Port
A	3

Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

Adresse	Port
A	3



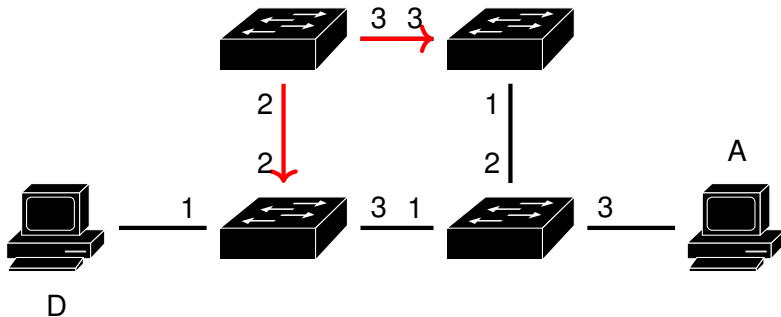
Adresse	Port
A	2

Adresse	Port
A	3

Exemple

Adresse	Port
A	2 ?

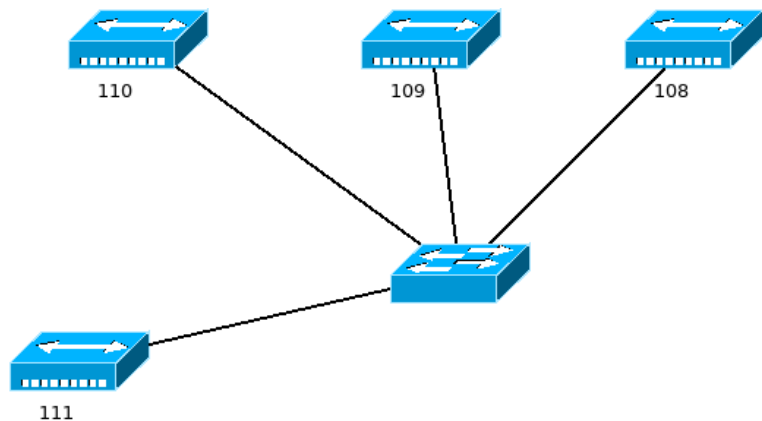
Adresse	Port
A	3



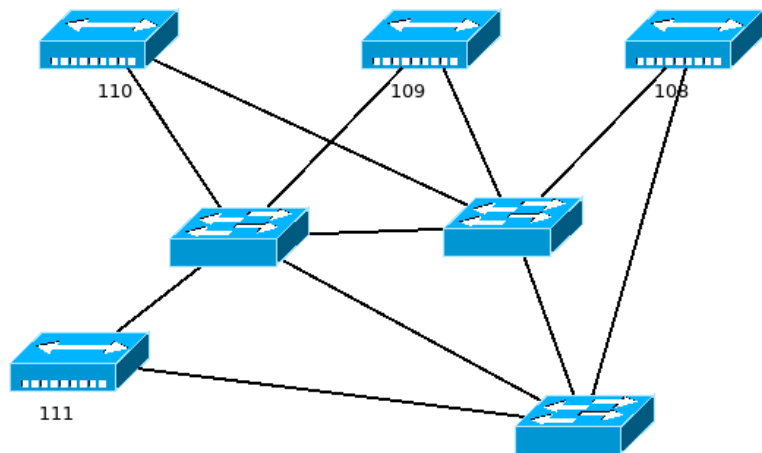
Adresse	Port
A	2

Adresse	Port
A	3

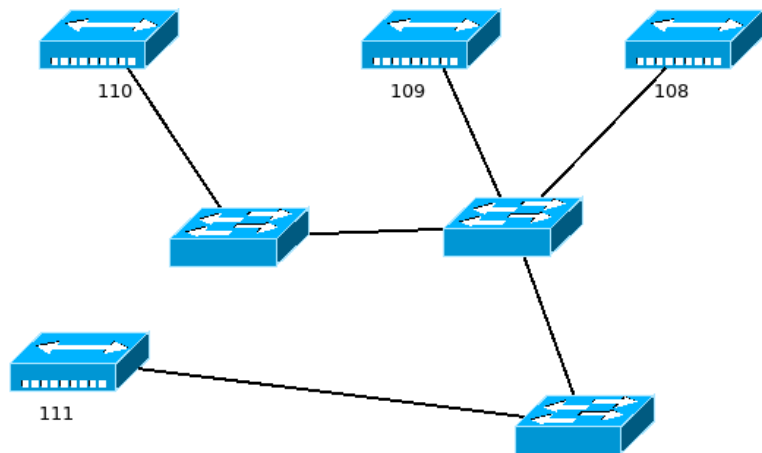
Comment connecter les réseaux ?



Comment connecter les réseaux ?



Comment connecter les réseaux ?



Comment connecter les réseaux ?

Les commutateurs 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*

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