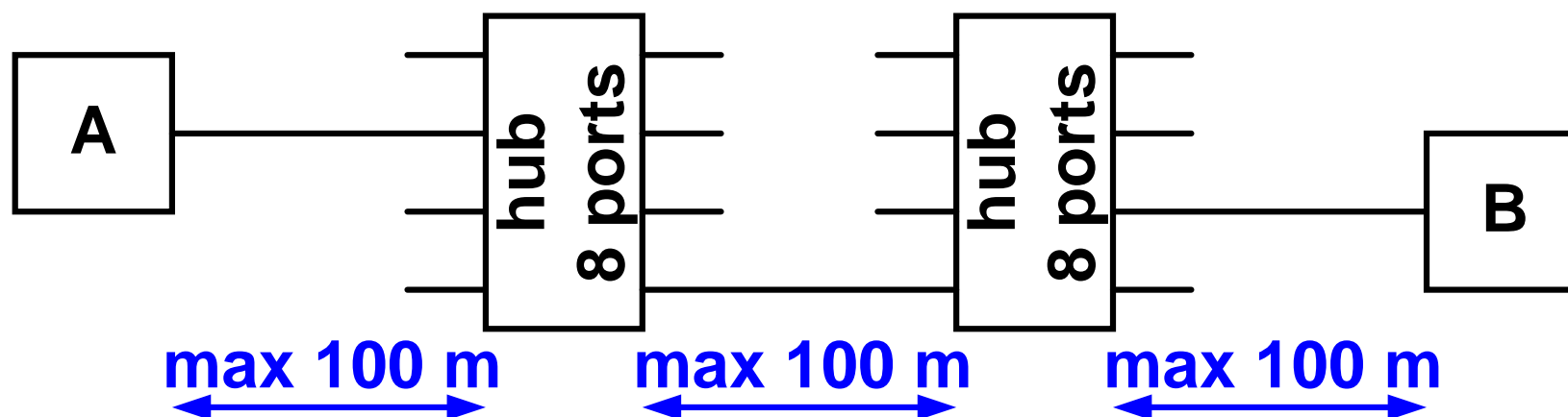


# **RESEAUX : Internetworking**

- ***Repeater, Bridge, Switch***
- **100 Mbit/s, 1Gbit/s, 10 Gbit/s, ...**
- ***Full duplex***
  
- ***Router, Subnet mask***
- **Routages statique et dynamique**
- ***Routing Information Protocol***
  
- ***Internet Control Message Protocol, Traceroute***
  
- **Configuration dynamique : DHCP**
  
- **Livres et URLs**

## Repeater (répéteur)

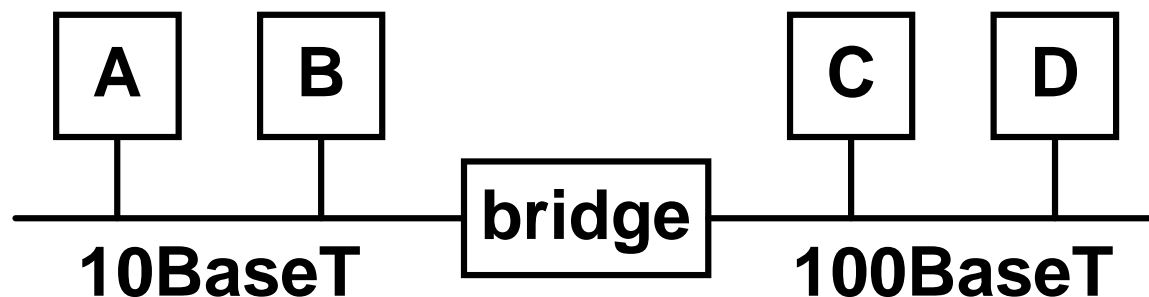
- Fonction de niveau 1 (couche physique)
- Régénérer le signal :
  - 500 m avec 10Base5
  - 200 m avec 10Base2
  - 100 m avec 10BaseT



- Interfaces électriques :
  - connecteur AUI (15 pins)
  - connecteur BNC
  - connecteur RJ45

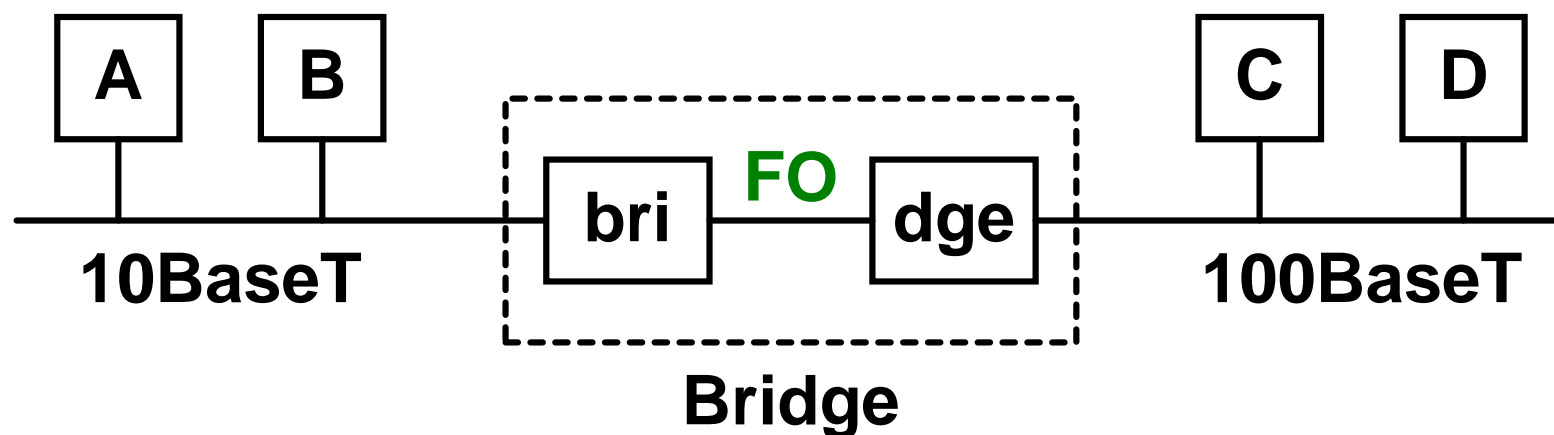
## Bridge (pont)

- **Subdiviser** un réseau en sous-réseaux (**segments**) à partir des **adresses de niveau 2 ou MAC** (*Medium Access Control*)



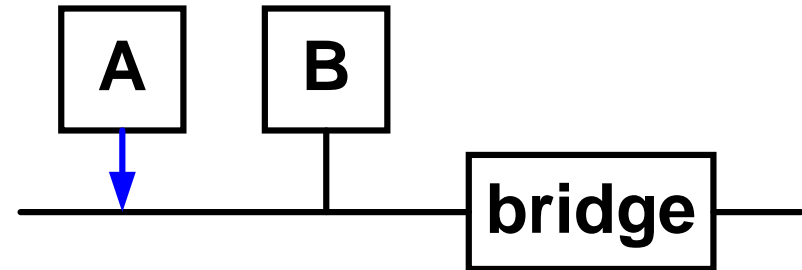
- **Local bridge** relie 2 LANs

- **Remote bridge** utilise une liaison point à point Cu ou **FO**



1 Mise sous tension du *bridge*

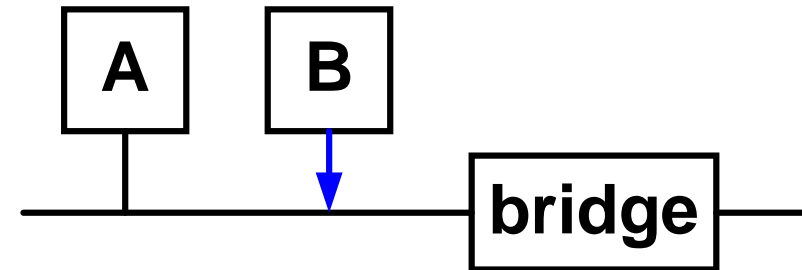
2 A émet une trame à B



3 *Bridge learns* : A se trouve sur le segment gauche

4 *Bridge forwards* la trame sur le segment de droite

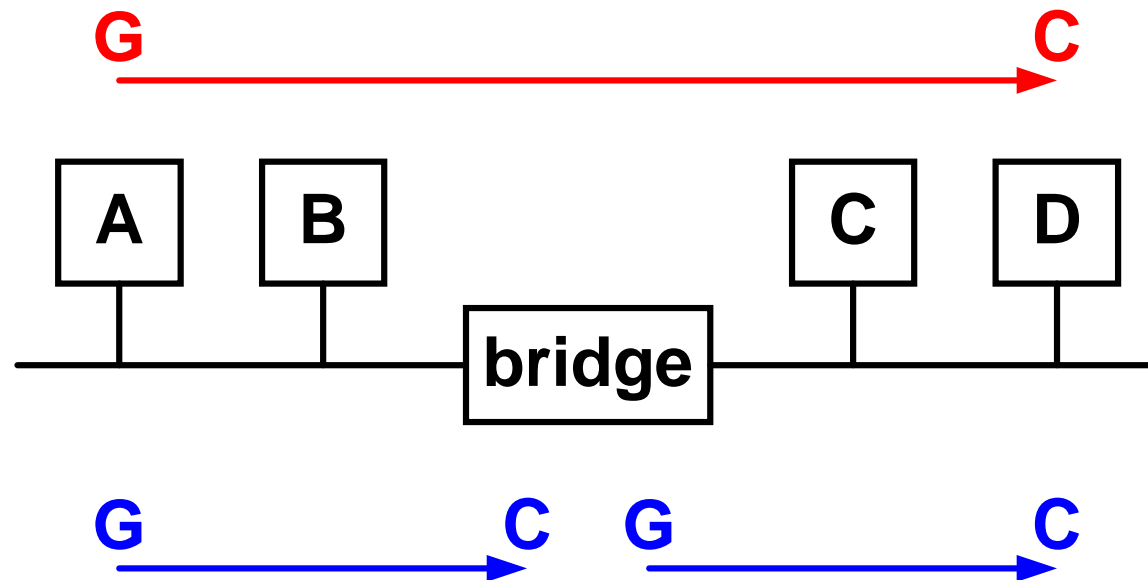
5 B répond à A



6 *Bridge learns* : B se trouve sur le segment gauche

7 *Bridge filters* cette trame

- Certains *bridges* transmettent ce CRC  
→ Mécanisme d'extrémité à extrémité (*end to end*)



- D'autres *bridges* gèrent ce CRC  
→ Les trames avec erreur de CRC sont ignorées  
→ Mécanisme en cascade

## Ethernet à 100 Mbit/s (1)

- La norme **100 Base T** (*Fast ethernet*), apparue en 1994, reste compatible avec les réseaux *ethernet* à 10 Mbit/s
- Elle conserve l'accès non déterministe, défini dans la norme IEEE 802.3 (CSMA/CD) et permet une distance maximale de **100 m** sur paire torsadée entre nœud et *hub*
- Le temps de propagation max aller et retour (*RTD : Round Trip Delay*) est cette fois de 5,1  $\mu$ s (51  $\mu$ s à 10 Mbit/s) alors que l'*interframe gap* = 0,96  $\mu$ s (9,6  $\mu$ s à 10 Mbit/s) correspond toujours à 12 octets
- Variantes :
 

100 Base TX	2 paires torsadées
100 Base T4	4 paires torsadées
100 Base FX	2 fibres multimode

## Ethernet à 100 Mbit/s (2)

- **Détection automatique** (*auto negotiation*)

Certains *hubs auto sensing* sont capables de détecter le type de nœud : 10 Base T, 100 Base TX, 100 Base T4

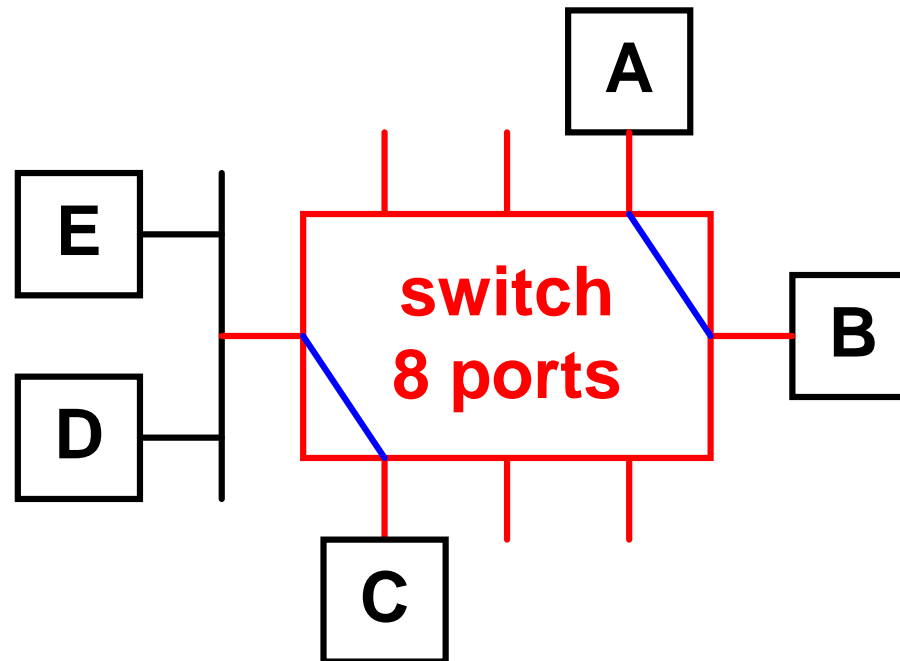
- **Réseau mixte 10/100 Mbit/s ?**

L'introduction de nœuds 100 Base T se fait de façon assez naturelle car elle ne remet pas en cause le câblage existant

- La migration s'effectue progressivement avec des *hubs hybrides 10/100 Base T* → voir Ex 2

## Switch (commutateur)

- Ce commutateur (*switch*), à ne pas confondre avec un *hub*, fonctionne sur le principe du *multiport bridge*



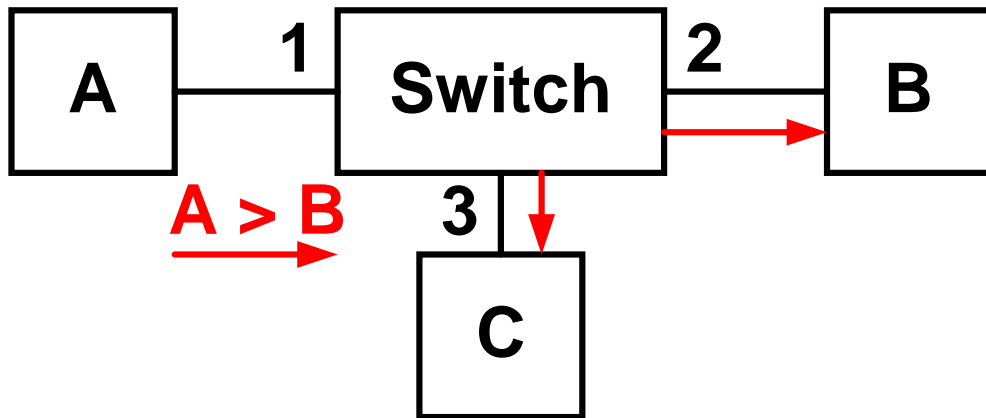
- Il teste chaque trame (adresse de destination) et ouvre au besoin un **canal** entre ces 2 ports; plusieurs **canaux** pouvant être actifs simultanément (4 au maximum dans l'exemple)



# Switch : Table

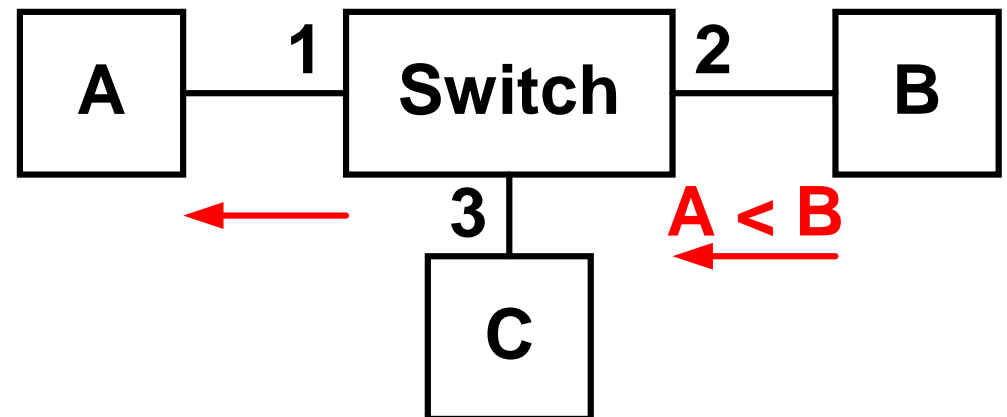
Port MAC

1	A
3	C



Port MAC

1	A
2	B
3	C

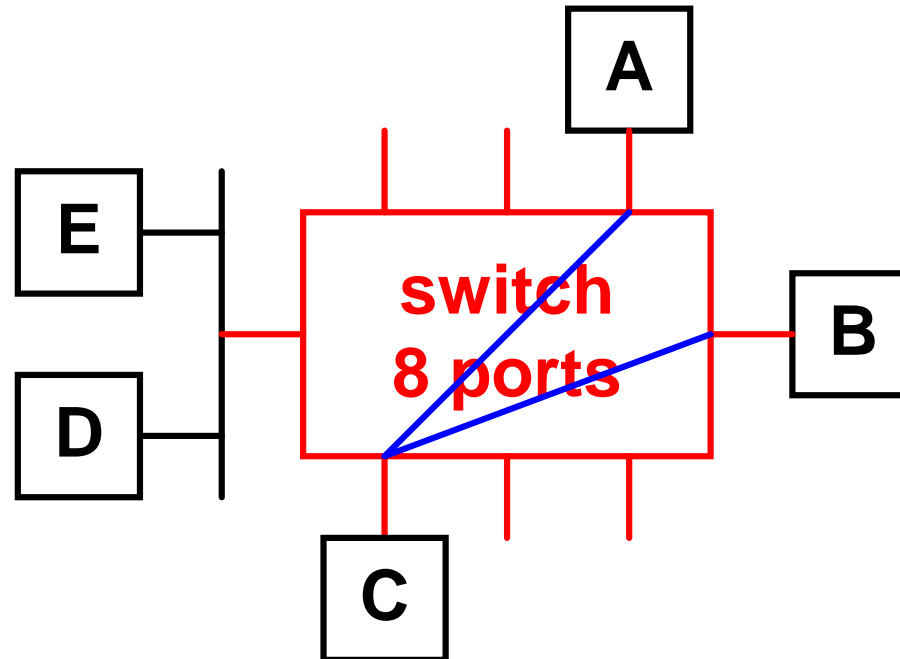


**CAM (Cisco)**  
**Content Addressable Memory**  
**Max 8000 MAC addr (2950)**

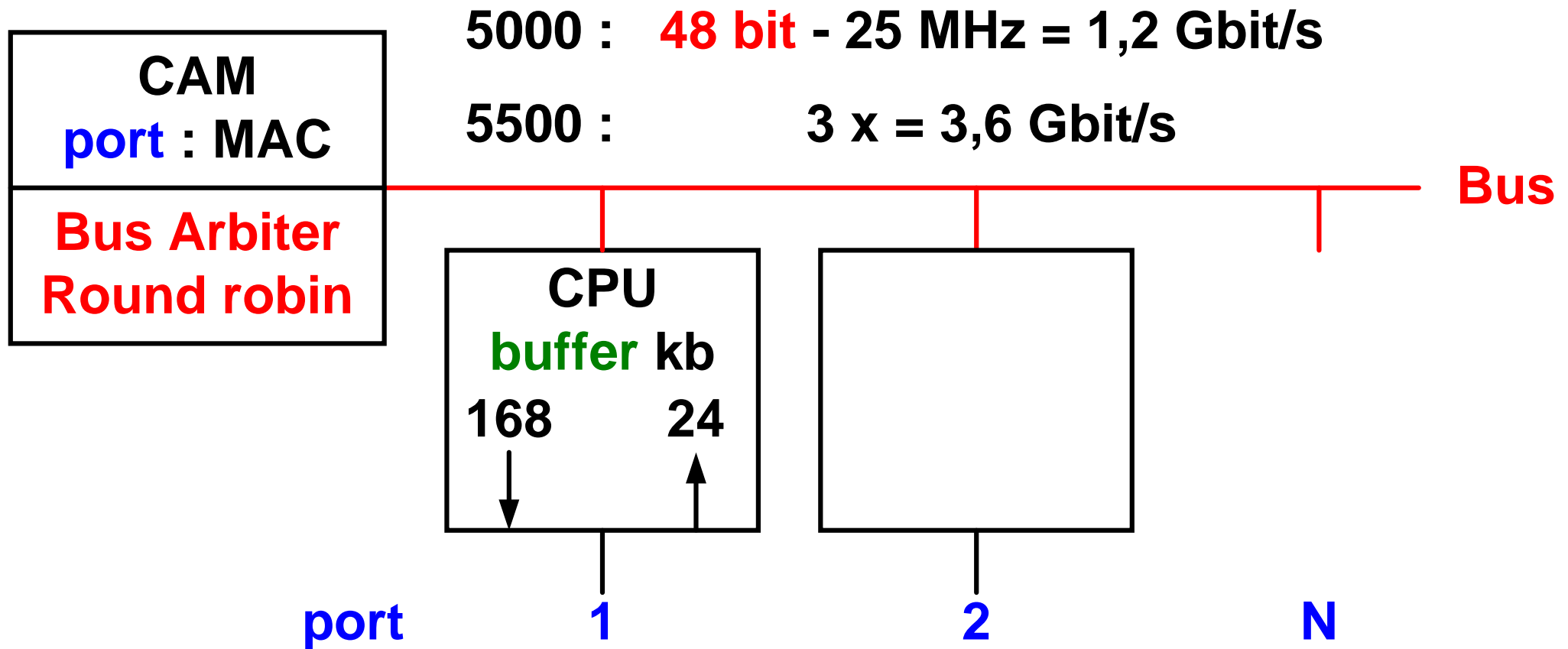
## **Principe de fonctionnement (1)**

- **Le commutateur mémorise l'adresse source MAC de chaque trame dans sa table de filtrage**
- **Si l'adresse de destination de la trame est inconnue; la trame est diffusée sur tous les ports**
- **Chaque commutateur dispose d'une certaine capacité de mémorisation**
- **La capacité de transmission à l'intérieur du commutateur doit être suffisante pour écouler plusieurs trames simultanées → Transmission en parallèle sur un bus**

- Que se passe-t-il si A et B émettent simultanément une trame destinée à C ?

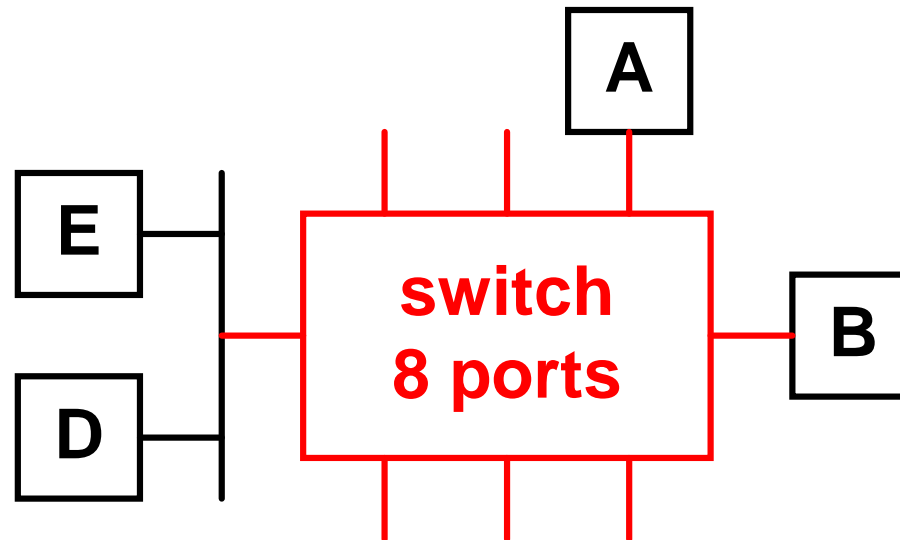


- Le commutateur dispose de mémoire tampon (FIFO)
- FIFO plein → perte de trame



- *Frame transmitted to all port - Instruct non destination port*
- *Latency = 10  $\mu$ s + length of frame (store & forward)*
- Catalyst 2950 (**labo**) : 24 ports 10/100 – 3,6 Mpps (64 byte)

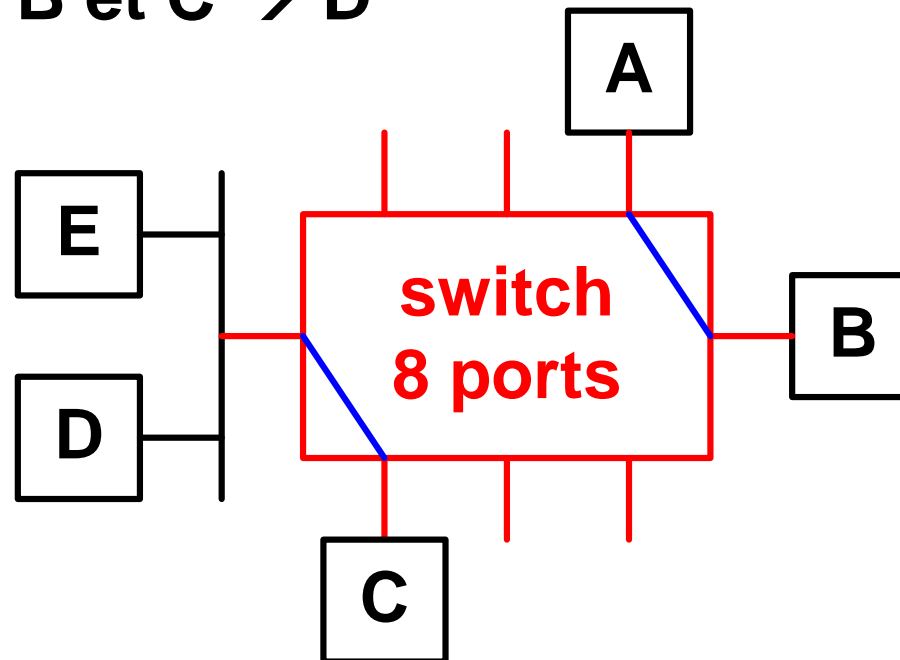
- Dans cet exemple, les éventuelles collisions sur le segment des nœuds D et E ne sont pas visibles sur les autres ports du commutateur



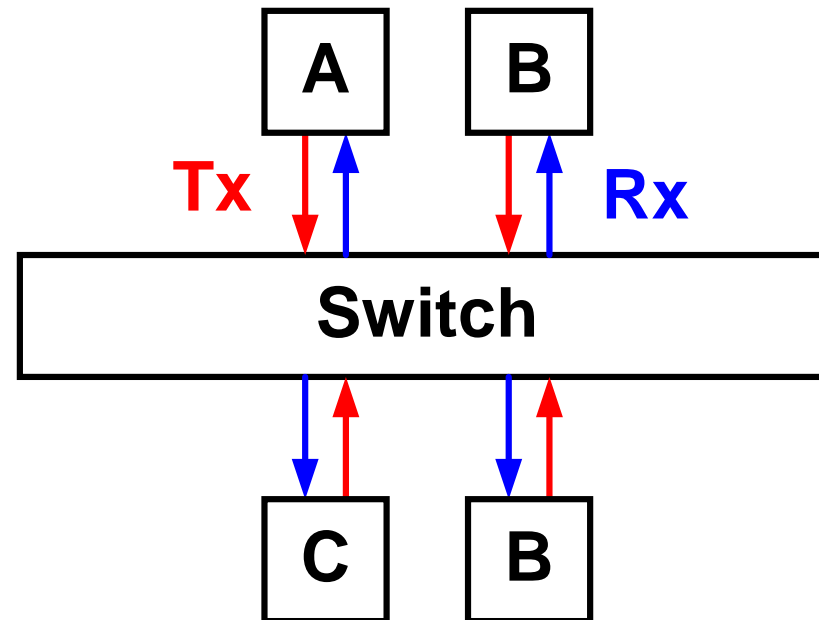
- Chaque port constitue donc son **propre domaine de collisions**
- L'adresse de diffusion (FFFFFFFFFFFF) est propagée sur tous les autres ports  
→ **Un seul domaine de diffusion** (*broadcast domain*)

# Shared versus switched LAN

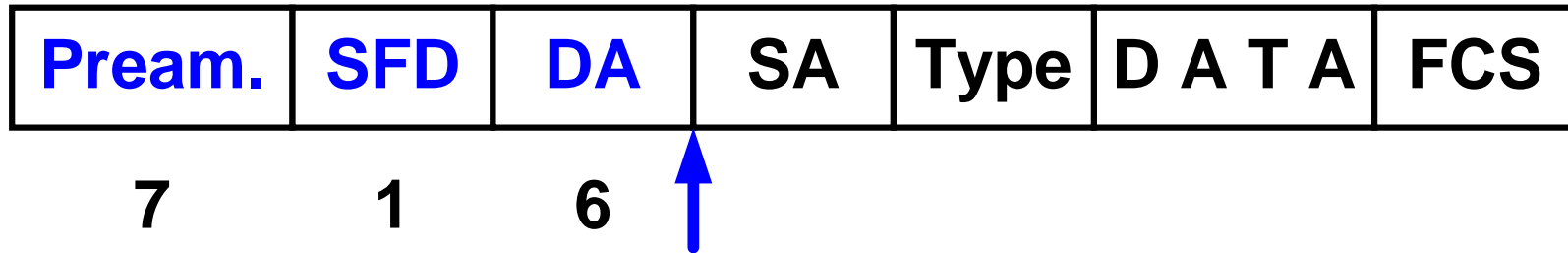
- Un réseau 10 Base T composé de *hubs* partage une bande passante de 10 Mbit/s → *shared LAN*
- Un **commutateur** 10 Base T permet l'émission de plusieurs trames simultanées → *switched LAN*
- Exemple : A → B et C → D



- La majorité des **commutateurs 100 Base T** autorisent l'émission et la réception simultanées



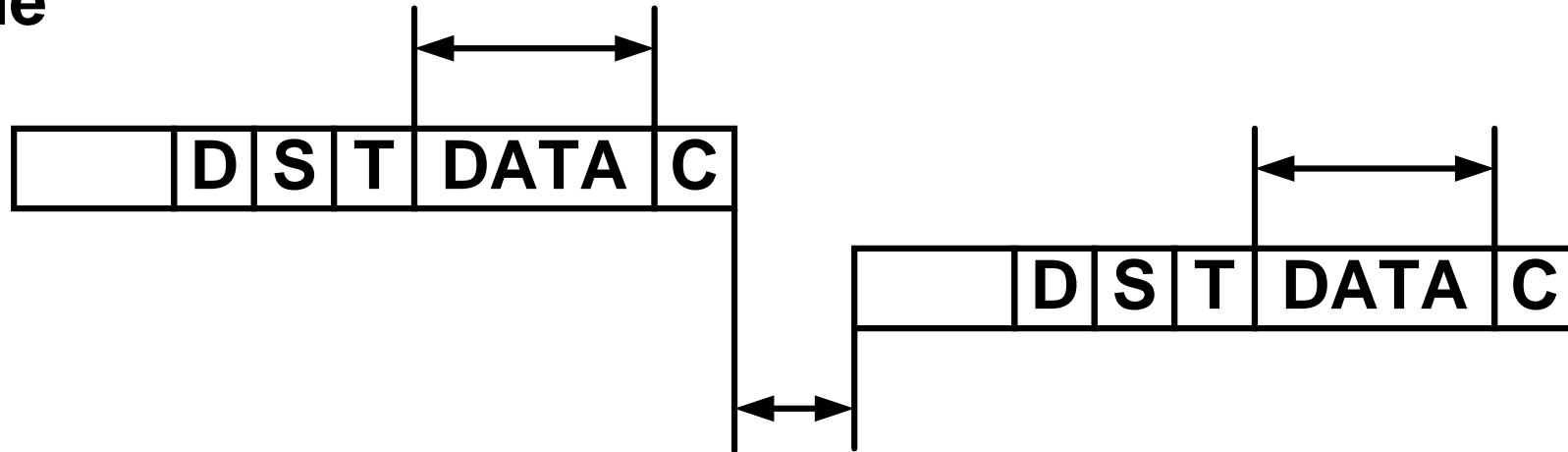
- Il commute la trame dès qu'il a reçu l'adresse de destination



- Temps de latence minimum ( $\sim 15 \mu\text{s}$ ) indépendant de la longueur de trame pour  $D = 10 \text{ Mbit/s}$
- Retransmission des erreurs (CRC, trame trop courte)
- Même débit  $\rightarrow$  débits 10 - 100 Mbit/s pas possibles
- Commutation au niveau matériel (*switch fabric, ASIC = Application Specific Integrated Circuit*)



- La trame n'est commutée que lorsqu'elle a été complètement reçue



- Temps de latence dépendant de la longueur de la trame
- Erreurs sont filtrées (CRC, trame trop courte)
- Adaptation possible de débit 10 - 100 Mbit/s
- Commutation au niveau logiciel (CPU, RISC)
- Mises à jour possibles du logiciel

## Gigabit ethernet (1)

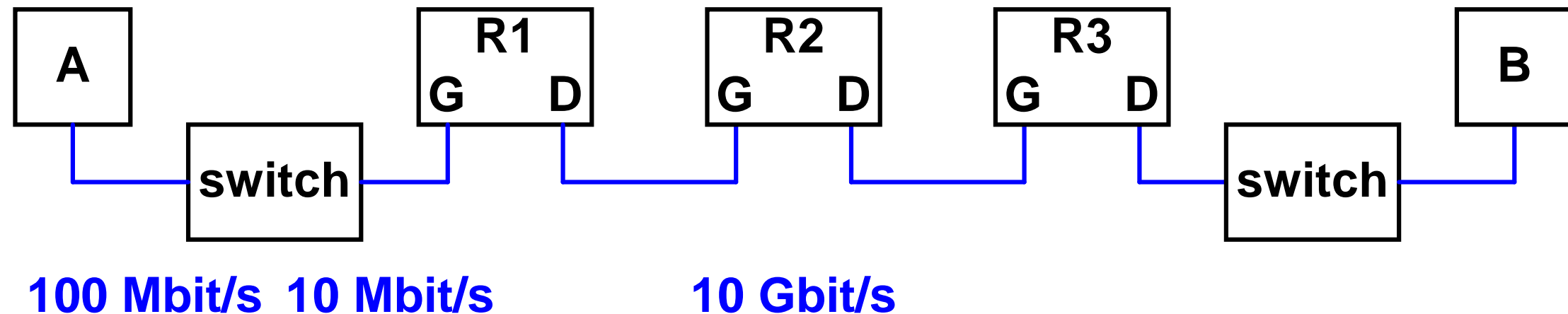
- Cette norme, apparue en 1999, conserve le format de trames *ethernet*
- Elle est principalement utilisée en mode **full duplex** où la **méthode d'accès CSMA/CD est désactivée**
- La charge théorique max est alors de 1,488 Mio trame/s
- 802.3z :
 

1000 Base CX	25 m	<i>shielded balanced copper</i>
1000 Base SX	550 m	fibres optiques multimode
1000 Base LX	3 km	fibres optiques monomode
- 802.3ab 1000 Base T 100 m UTP cat. 5 (4 paires)

## **Gigabit ethernet (2)**

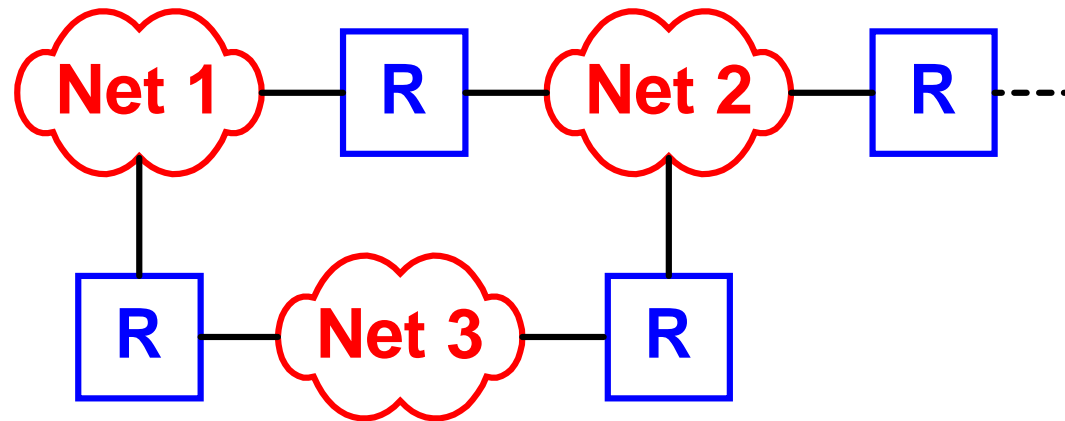
- **La méthode d'accès CSMA/CD, active qu'en *half duplex*, a été modifiée afin de permettre une distance suffisante**
- **La durée minimale d'émission de la trame est fixée à 512 octets permettant ainsi une domaine de collision de 200 m**
- **Le contrôleur *ethernet*, qui doit émettre une trame de longueur inférieure, génère un signal particulier tout en détectant les collisions (*carrier extension*)**
- **Le débit utile, dans le cas le plus défavorable (émission de trames de 64 octets), atteint ainsi 120 Mbit/s !**

- Ratification du standard en 2002
- Extension *full duplex*
- 100 m à 40 km selon la fibre (monomode, multimode)
- Intéresser les opérateurs (ISP) !



## Internet : routeurs

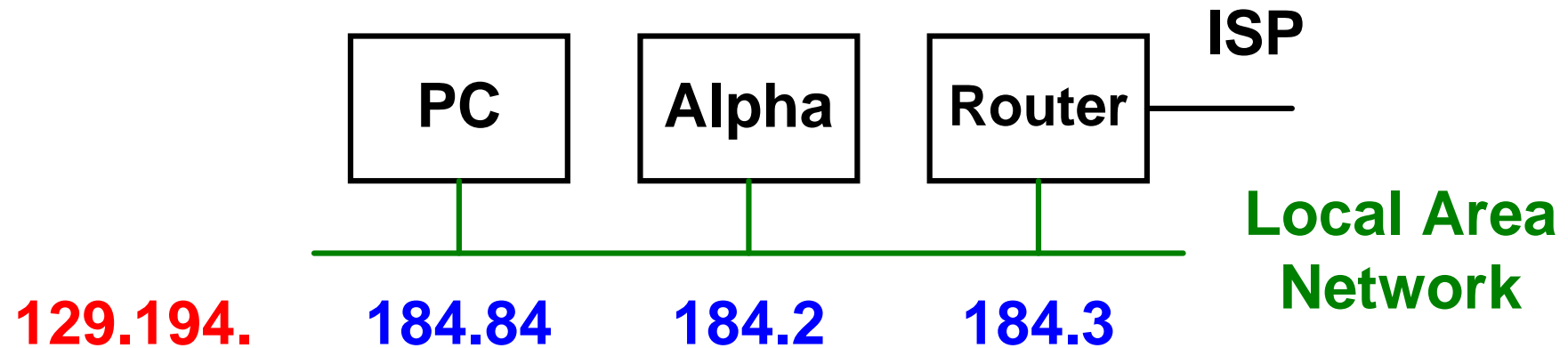
- *Internet* est constitué de réseaux (**Network**) reliés par des routeurs (**Router**)



- Adresse IP (32 bits) = **network** + **host**  
Serveur Alpha de l'EIG = 129.194.184.2
  - adresse de classe B
  - **network = 129.194**
  - **host = 184.2**

# Configuration de mon PC

- UniGE dispose de la classe B **129.194.H.H**



- PC
 

<i>IP address</i>	<b>129.194.184.84</b>	Adresse IP
<i>Subnet mask</i>	255.255.0.0	Masque
<i>Router</i>	<b>129.194.184.3</b>	Routeur
<i>DNS</i>	<b>129.194.4.6</b>	Serveur DNS

## Subnet Mask (1)

- Valeur par défaut (adresse de classe B dans notre cas)

255.255.0.0

255	255	0	0
11111111	11111111	00000000	00000000

- Ce masque permet de distinguer, parmi toutes les destinations possibles, entre **destination directe** ou **indirecte**
- Notation Cisco : 129.194.184.0/16 (16 bits à 1)

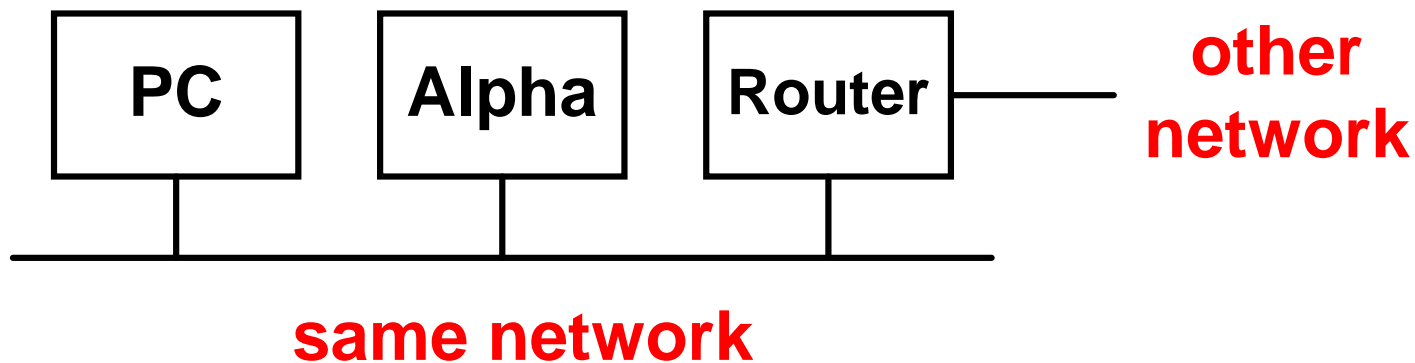
## Subnet Mask (2)

- **Direct destination**

ping 129.194.184.2  
subnet mask 255.255.0.0 → **same network**

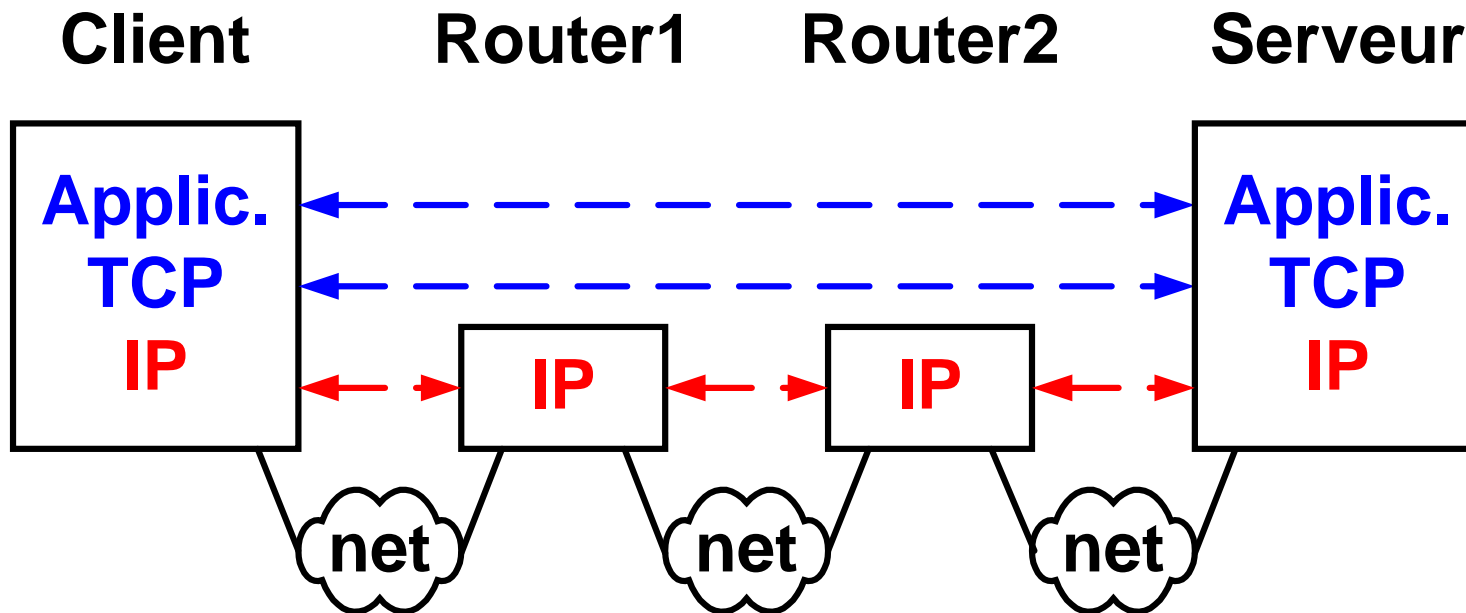
- **Indirect destination**

ping 130.59.1.40  
subnet mask 255.255.0.0 → **other network**  
router = 129.194.184.3



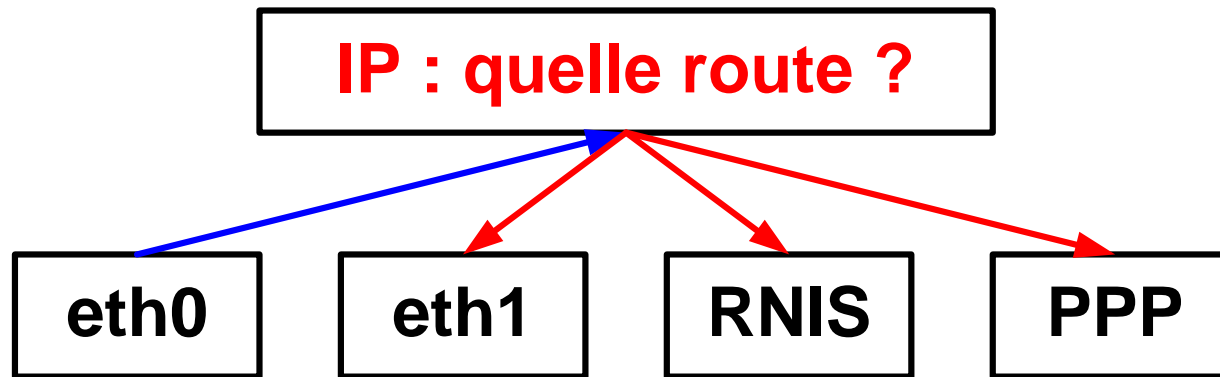


- Les routeurs ne gèrent que le protocole **IP**



- Les couches **Application** et **TCP** ont une signification d'extrémité à extrémité (*end to end protocol*) alors que les **protocoles IP sont en cascade**

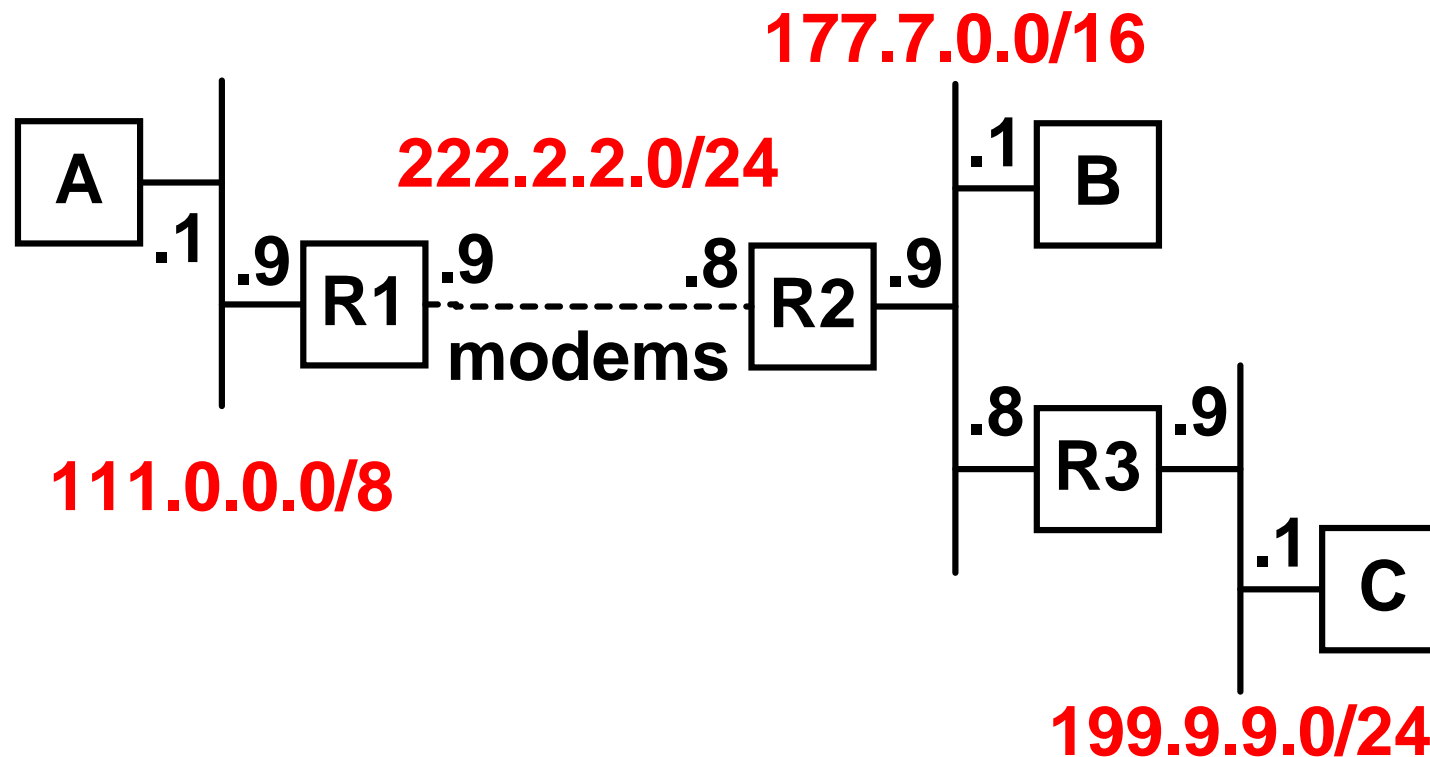
- Chaque **datagramme reçu** doit être **acheminé sur le bon interface**



- Couche IP, **orientée sans connexion** (*best effort*) ne fonctionne pas sur le principe du *Switched Virtual Circuit* X.25 ou du label *Multi Protocol Label Switching*

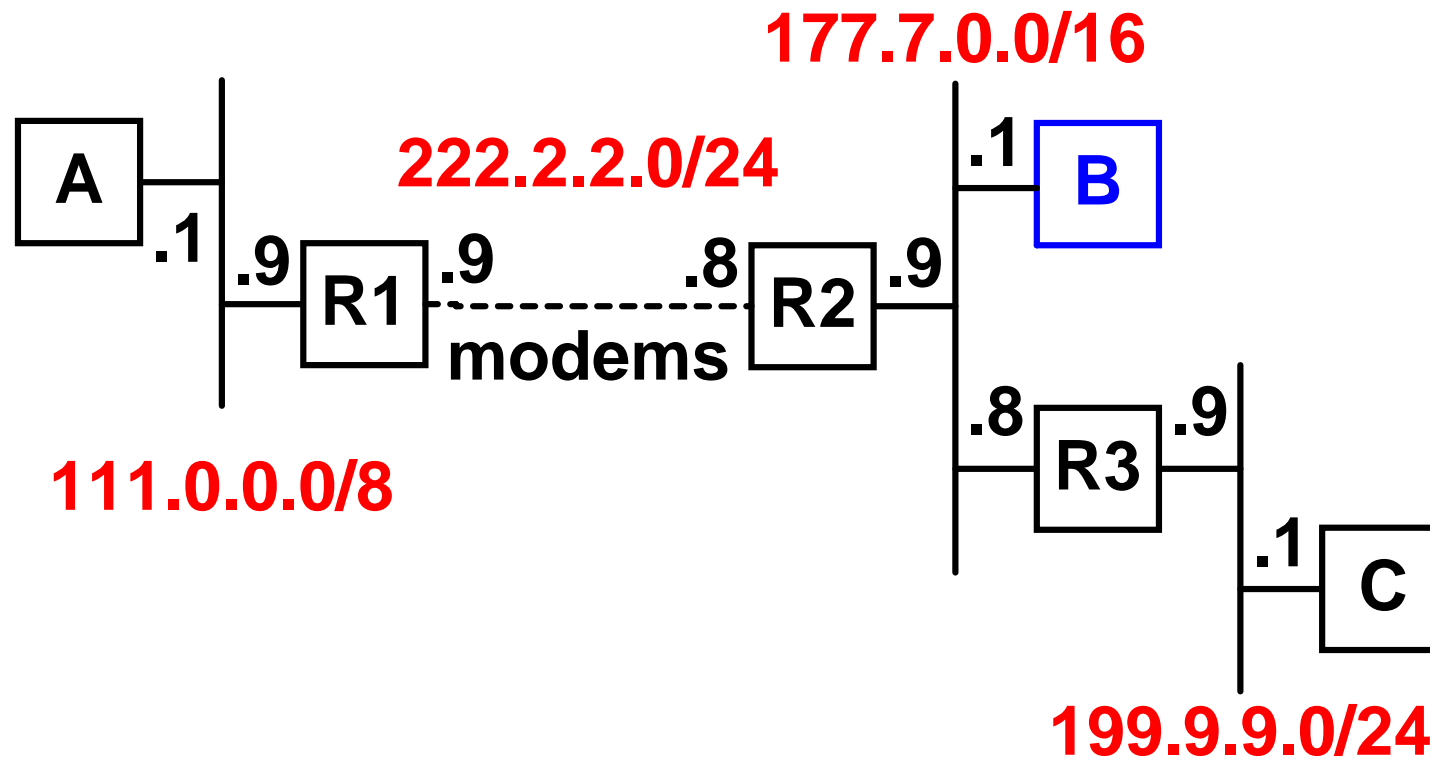
# Routage statique

- Dans cet exemple, chaque équipement est configuré **manuellement** (commandes Unix)



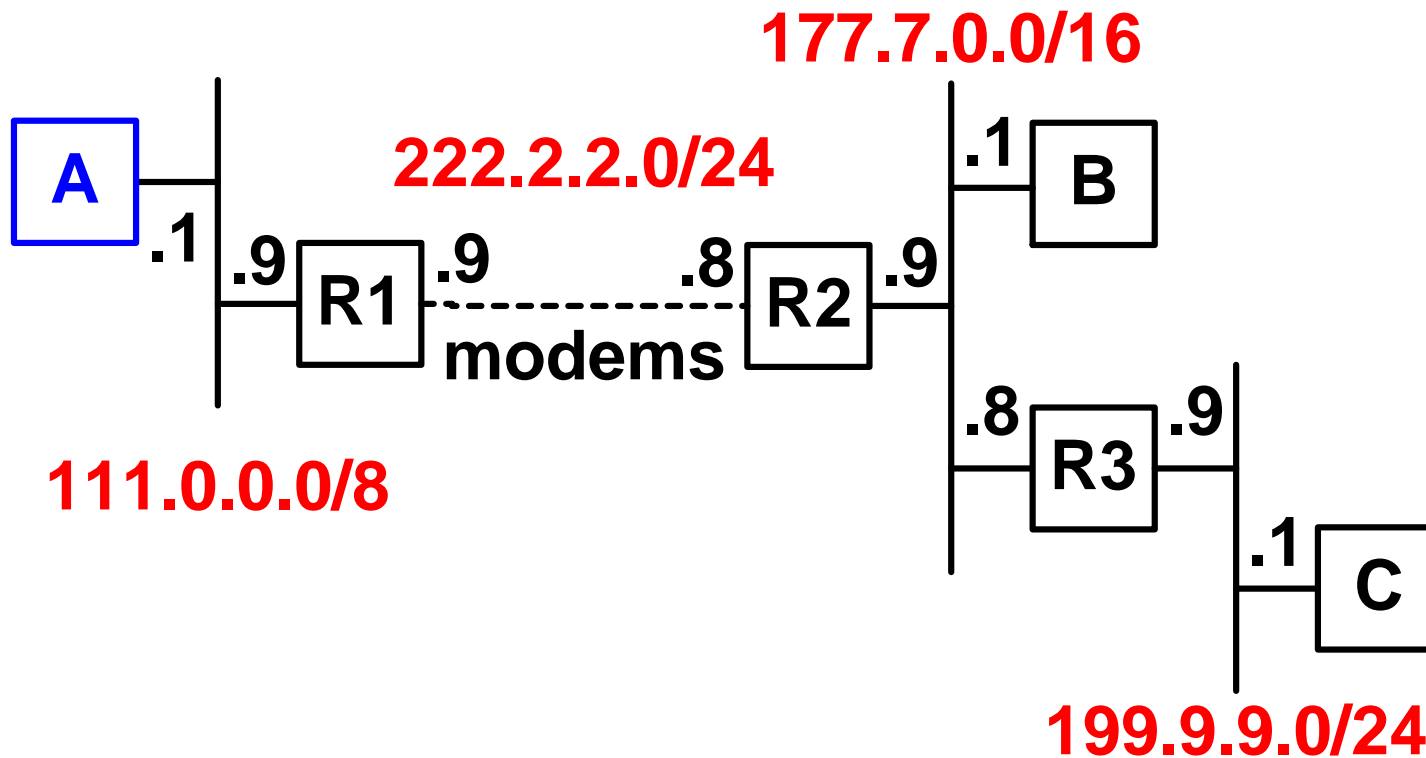
## Sur la machine B

- `ifconfig eth0 177.7.0.1 mask 255.255.0.0`
- `route add 111.0.0.0 177.7.0.9`
- `route add 199.9.9.0 177.7.0.8`



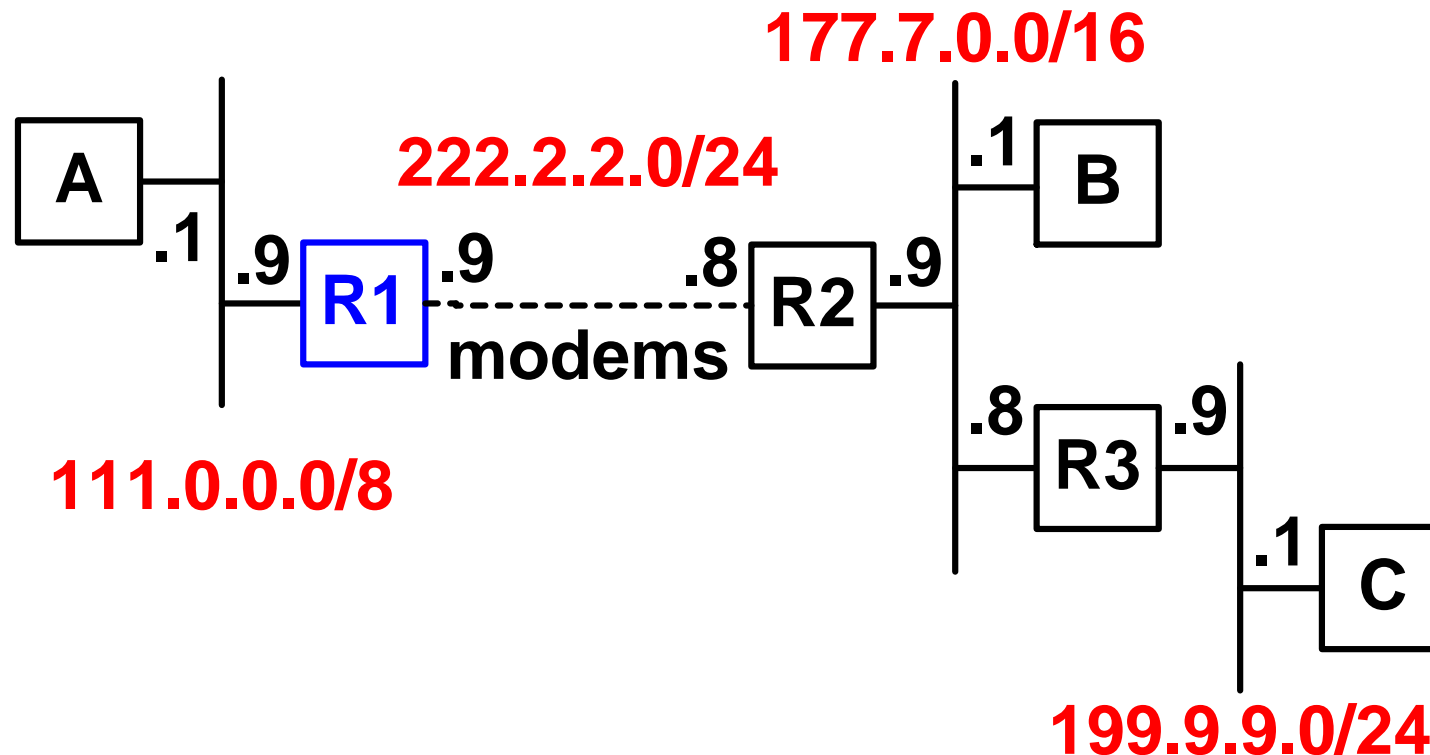
# Sur la machine A

- `ifconfig eth0 111.0.0.1 mask 255.0.0.0`
- `route add default 111.0.0.9`



## Sur le routeur R1

- `ifconfig eth0 111.0.0.9 mask 255.0.0.0`
- `ifconfig le0 222.2.2.9 mask 255.255.255.0`
- `route add default 222.2.2.8`



- Chaque routeur gère une **table de routage IP** (*IP routing table*) qu'il **consulte à chaque fois qu'il reçoit un datagramme**

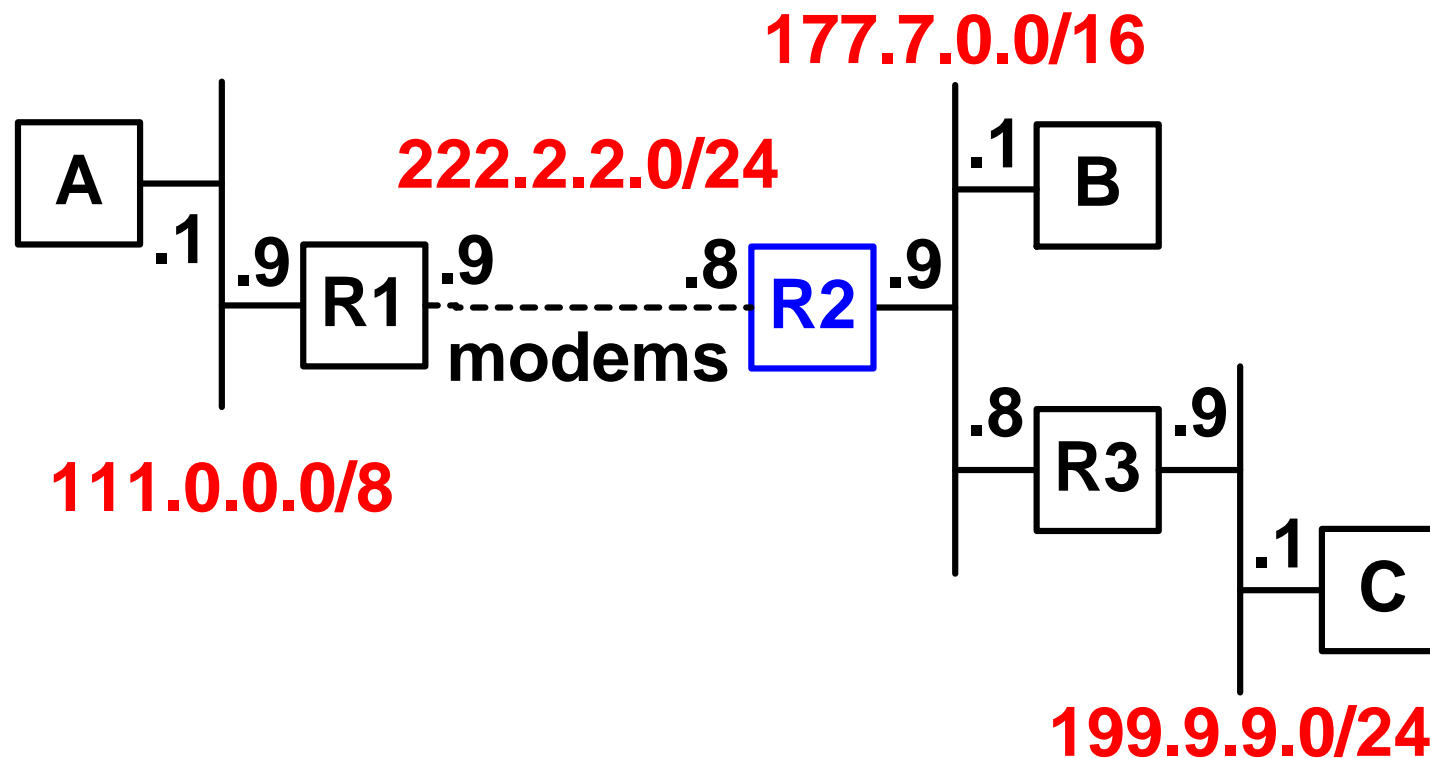
- Pour R1

Destination	Routeur	Interface
111.0.0.0	connecté	eth0
222.2.2.0	connecté	le0
<b>0.0.0.0</b>	<b>222.2.2.8</b>	

- Chaque routeur possède généralement une **route par défaut**

## Sur le routeur R2

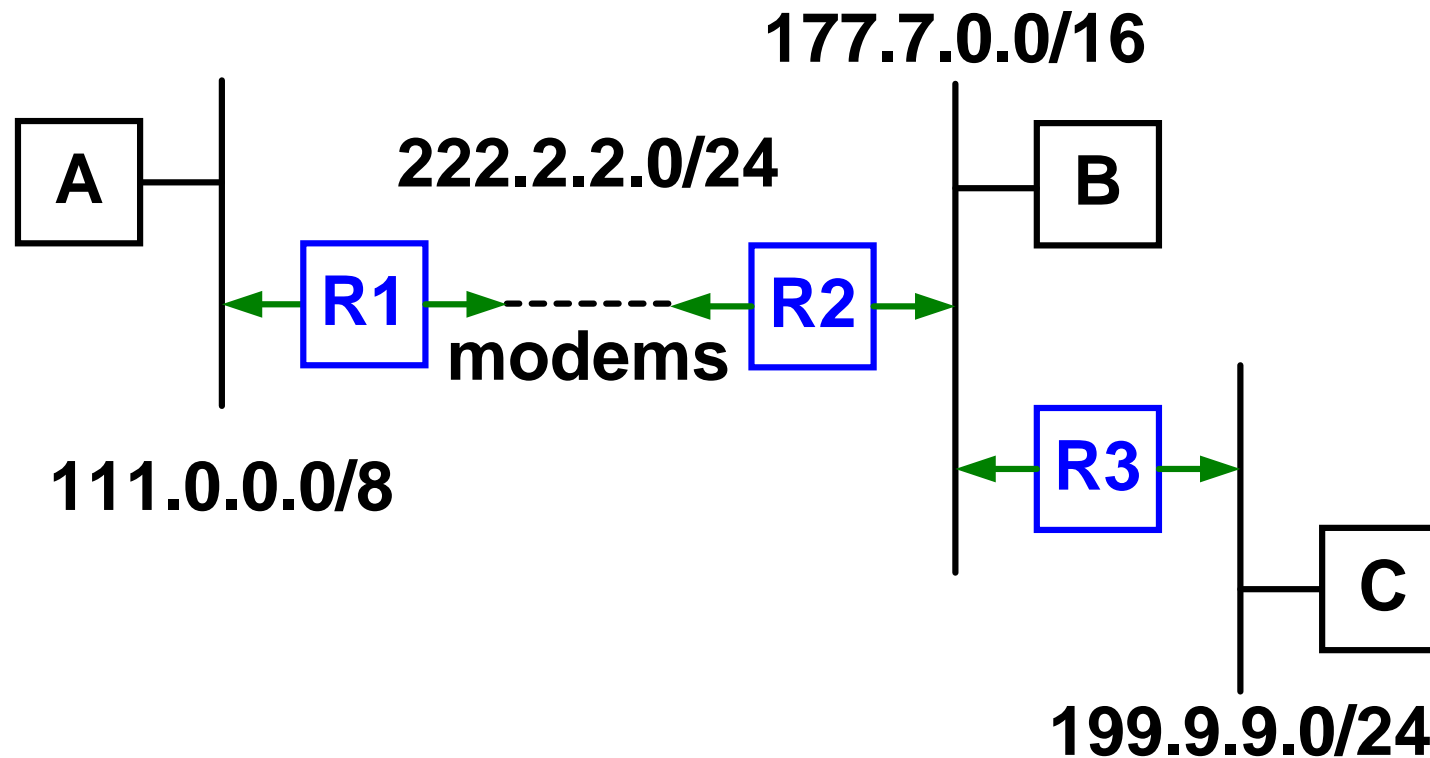
- `ifconfig eth0 177.7.0.9 mask 255.255.0.0`
- `ifconfig le0 222.2.2.8 mask 255.255.255.0`
- `route add 111.0.0.0 222.2.2.9`
- `route add 199.9.9.0 177.7.0.8`





# Routage dynamique

- Le routage dynamique met en œuvre un **protocole de communication inter-routeurs** (protocole de routage, RIP, ...)
- Chaque routeur informe son(s) voisin(s)

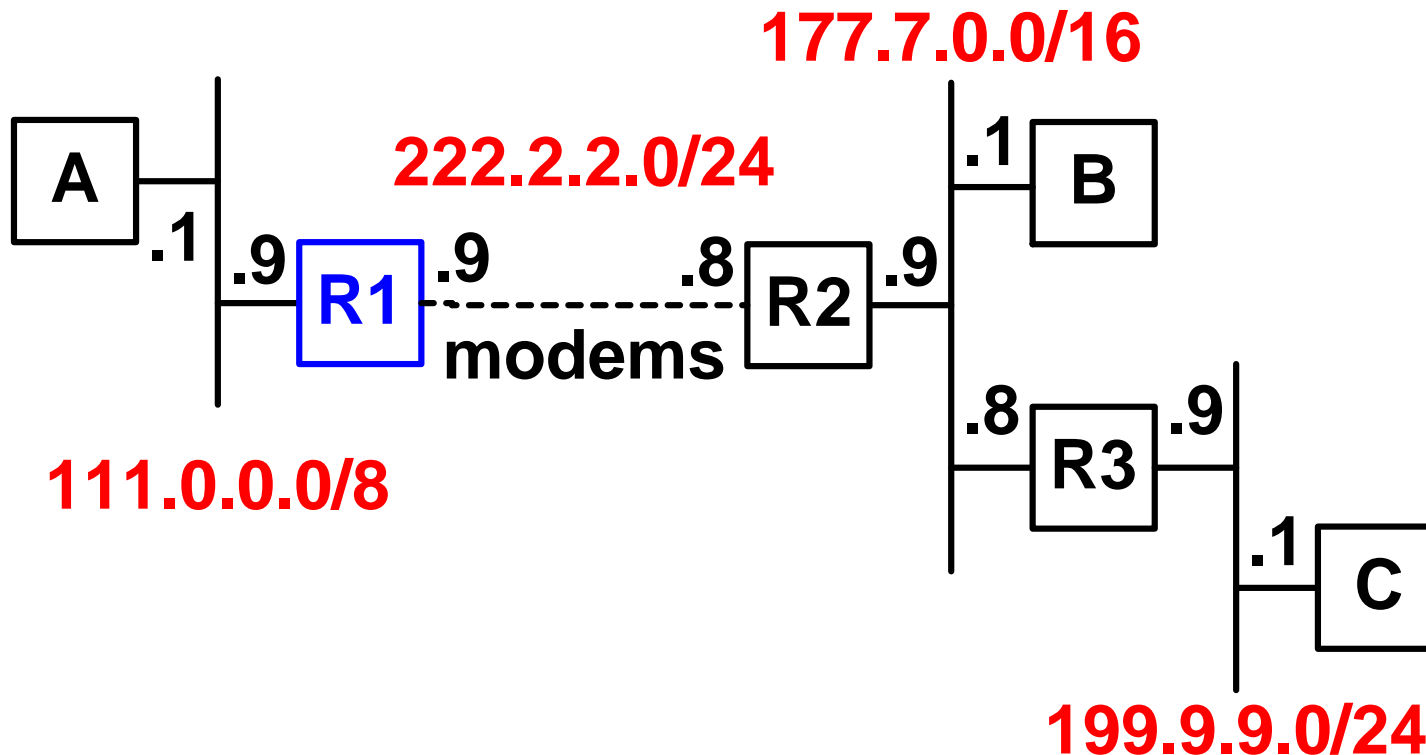


# Configuration de R1

- Interface LAN
 

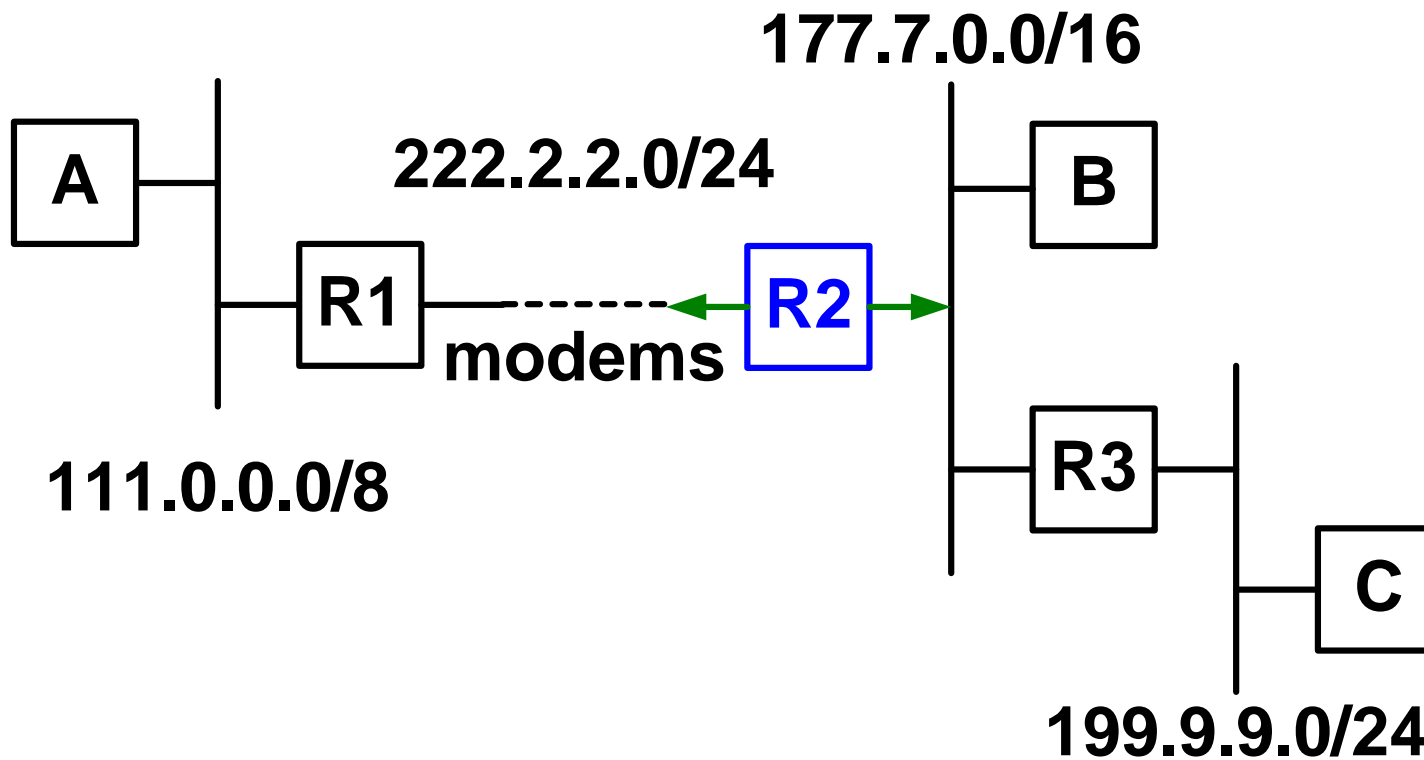
<i>IP address</i>	111.0.0.9	classe A
<i>subnet mask</i>	255.0.0.0	
<i>router</i>		
- Interface WAN
 

<i>IP address</i>	222.2.2.9	classe C
<i>subnet mask</i>	255.255.255.0	
<i>router</i>	222.2.2.8	

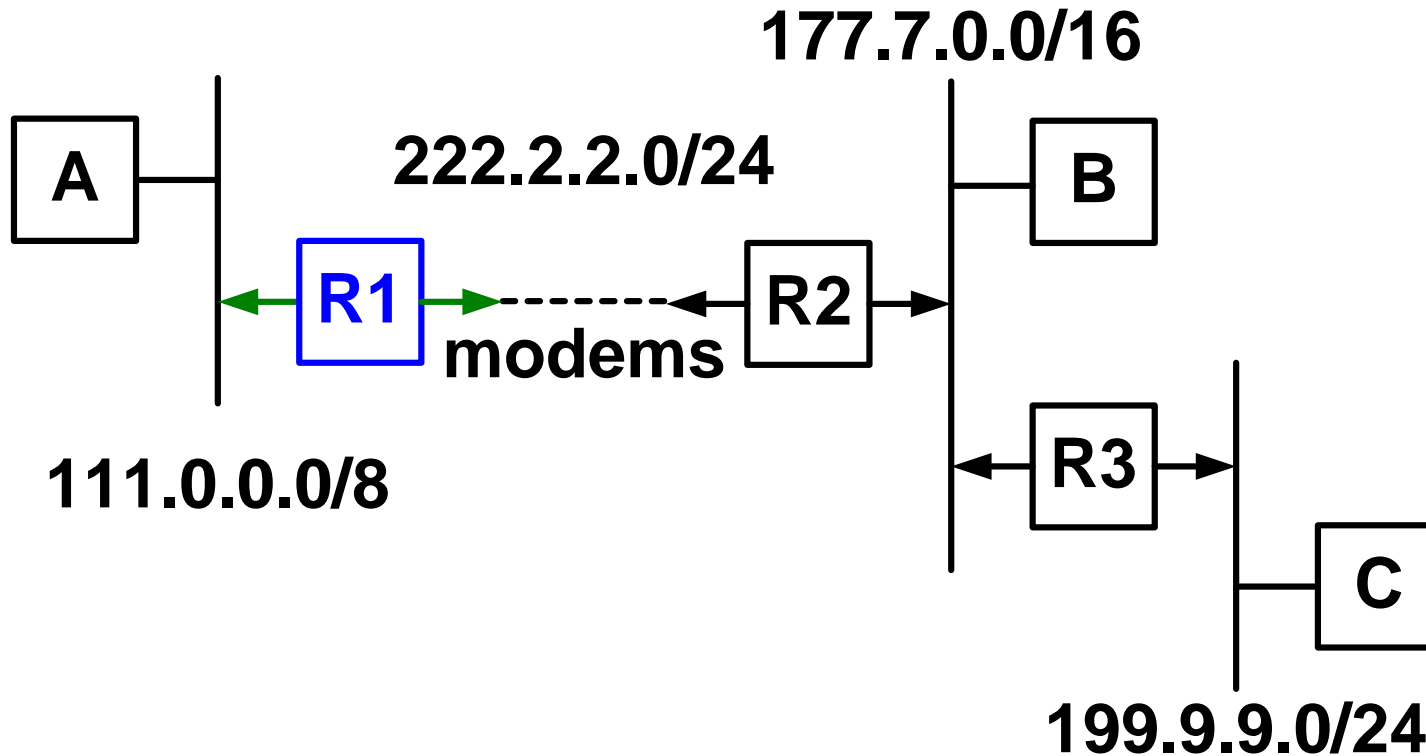


- Un routeur **diffuse** (*broadcast*) toutes les 30 secondes la liste des réseaux qu'il peut atteindre avec leur **distance** (*metric*)
- **Distance** = nb de routeurs à traverser
- Le routeur transmet une copie de sa table de routage avec le protocole RIP (*Routing Information Protocol*)
- Les messages RIP sont contenus dans des datagrammes  
UDP port = 520

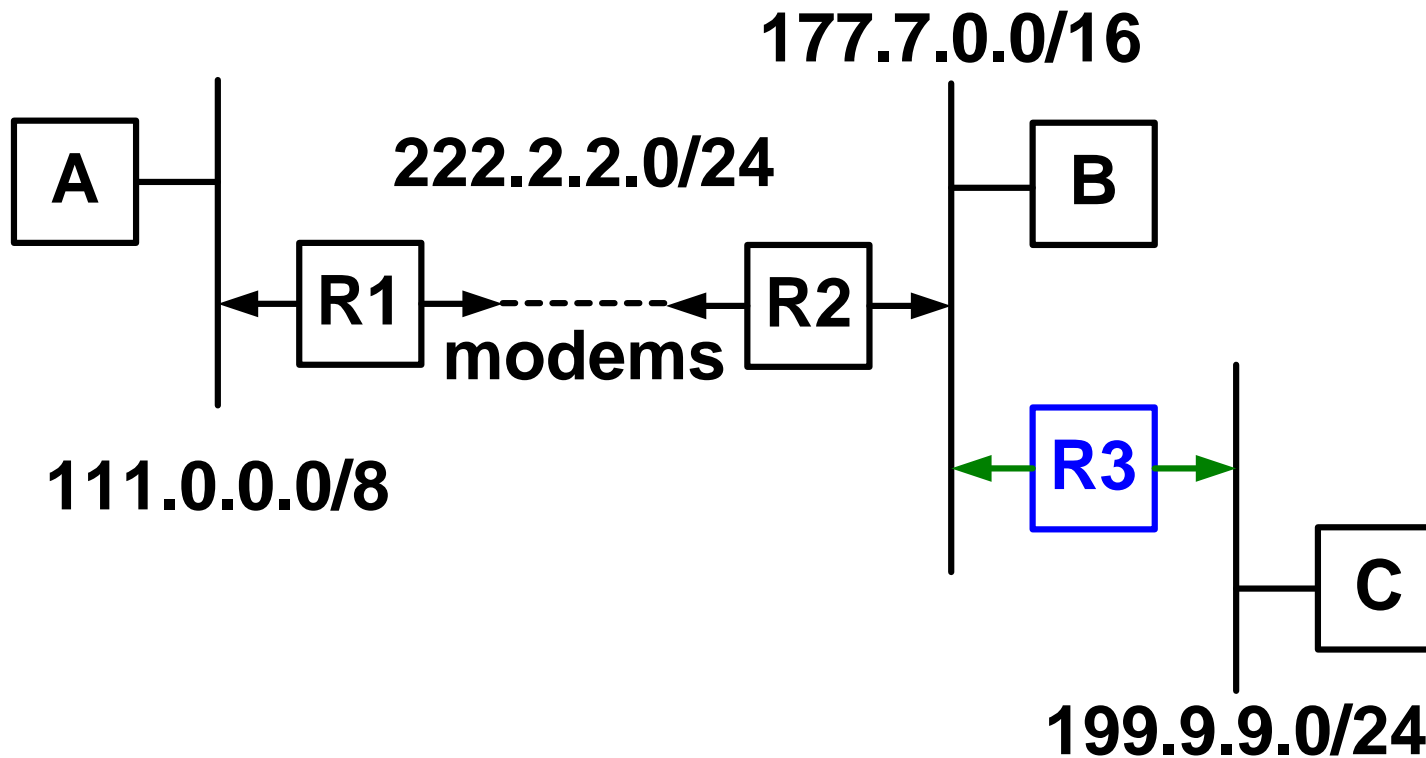
- **R2** envoie à ses voisins : 222.2.2.0 d=1  
177.7.0.0 d=1



- **R1** envoie à ses voisins : 111.0.0.0 d=1  
222.2.2.0 d=1



- **R3** envoie à ses voisins : 177.7.0.0 d=1  
199.9.9.0 d=1



# Table de routage de R2

- Pour R2
  - 222.2.2.0 d=1
  - 177.7.0.0 d=1
  - 111.0.0.0 d=2
  - 222.2.2.0 d=2 sans intérêt
  - 177.7.0.0 d=2 sans intérêt
  - 199.9.9.0 d=2

- Pour R2

Destination	Distance	Routeur
222.2.2.0	1	connecté
177.7.0.0	1	connecté
111.0.0.0	2	222.2.2.9
199.9.9.0	2	177.7.0.8

- Commandes Cisco show ip route  
Unix netstat, route

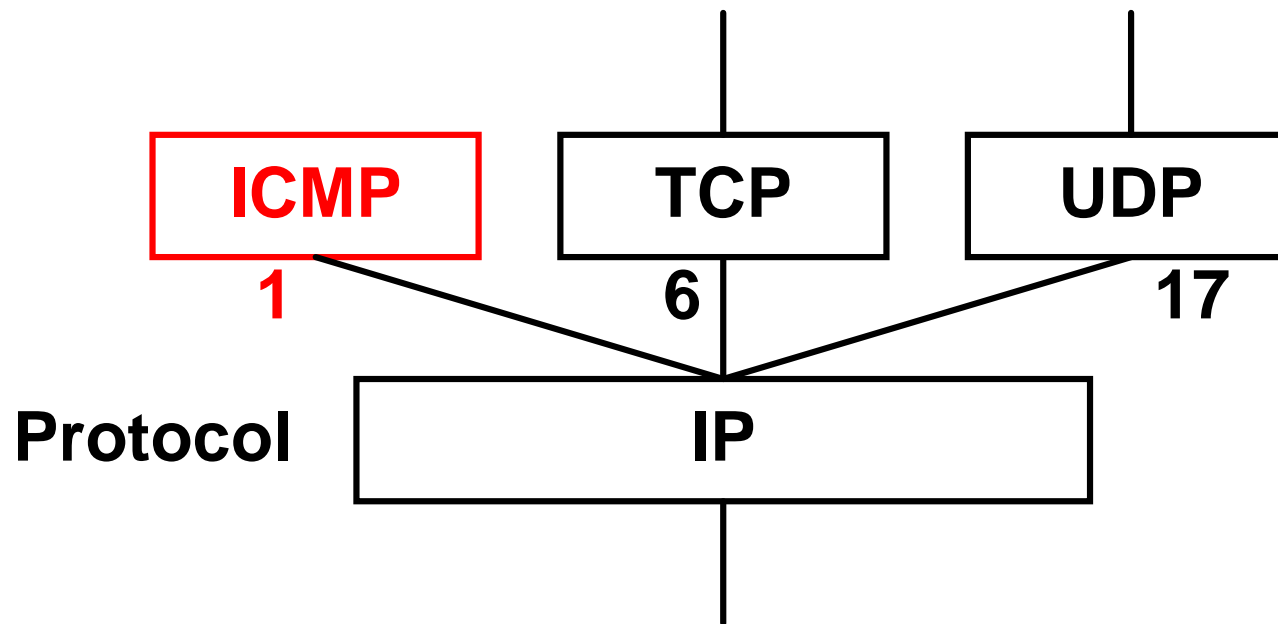
## **Caractéristiques de RIP**

- **Protocole de routage très simple**
- **Distance est une information sommaire**
- **Distance max = 15**
- **Pas de garantie sur l'origine des informations**
- **Convient pour de petits réseaux**

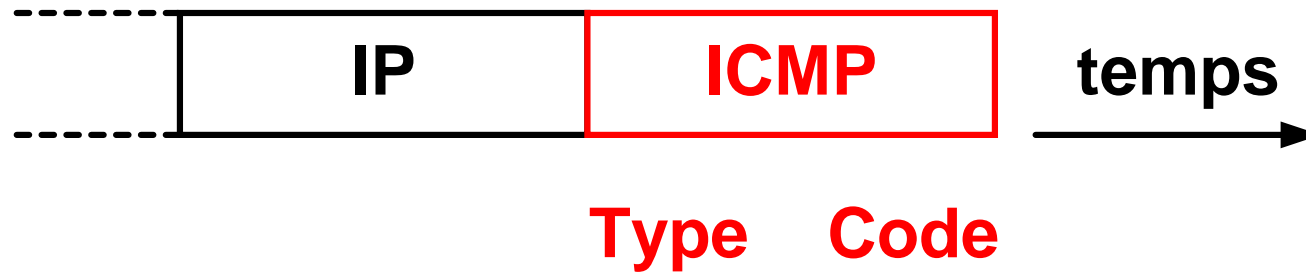


- Un algorithme comme RIP, de type *distance vector*, exprime la distance en nombre de sauts (*hops count*)
- Un saut est représenté par un routeur reliant 2 segments
- Chaque routeur construit sa table de routage à partir des informations diffusées par les autres
- Ce **mécanisme d'apprentissage progressif n'est pas immédiat** et n'aboutit à une description complète du réseau qu'**après un temps de convergence** de l'algorithme
- Intérêt du champ TTL (couche IP)

- IP : service datagramme sans connexion → *best effort*
- **ICMP** : messages d'erreur et de diagnostic → adm. Réseau



- Rfc 792



## Type

## Code

0 *Echo Reply*

0

3 *Dest. Unreachable*

0 *Net Unreachable*

Router

1 *Host Unreachable*

last Router

2 *Protocol Unreachable*

Host

3 *Port Unreachable*

Host

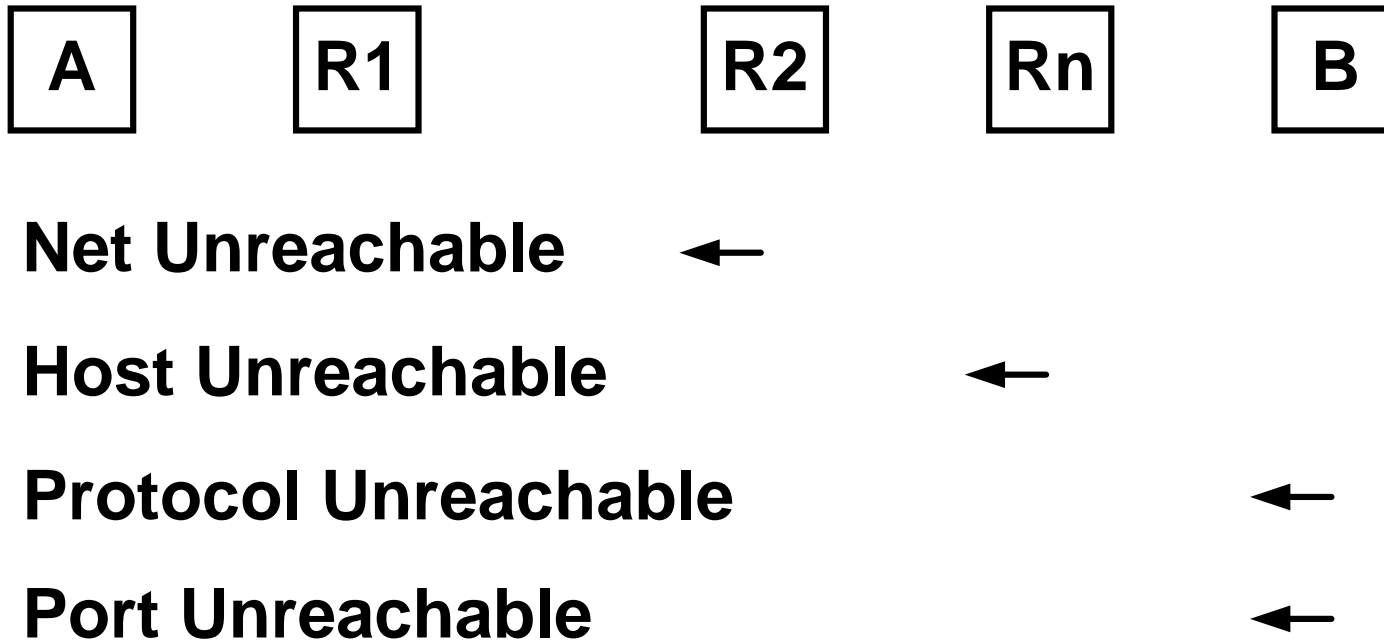
5 *Redirect*

8 *Echo*

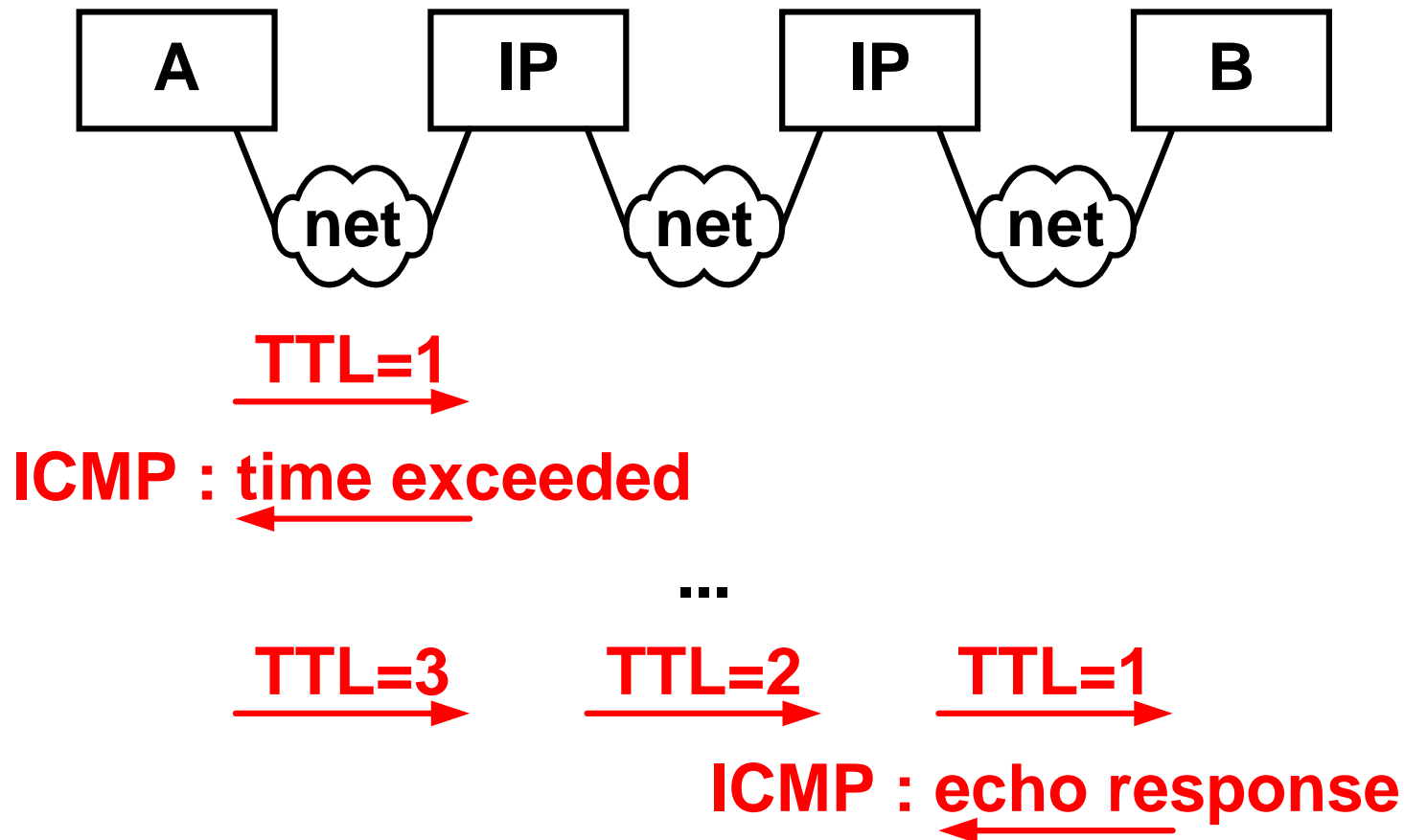
0

11 *Time Exceeded*

0 *TTL exceeded in transit*



- La commande **Traceroute** permet de localiser chaque routeur situé sur le chemin en envoyant des datagrammes successifs avec le champ TTL égal à 1, 2, ...



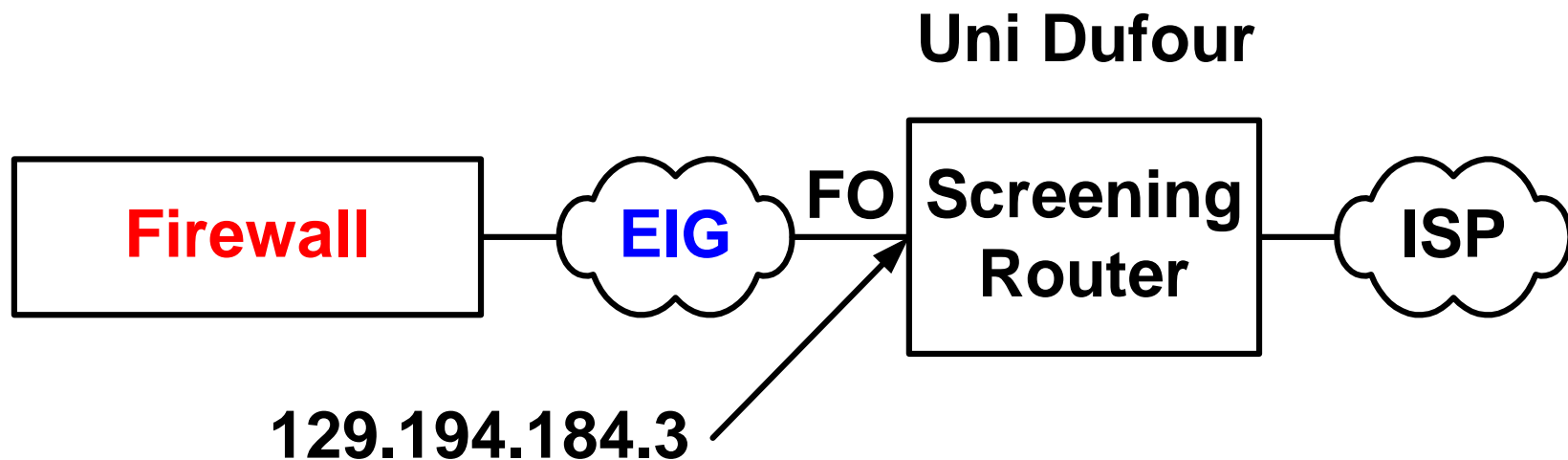
# Traceroute (2)

```
tracert www.luth.se
```

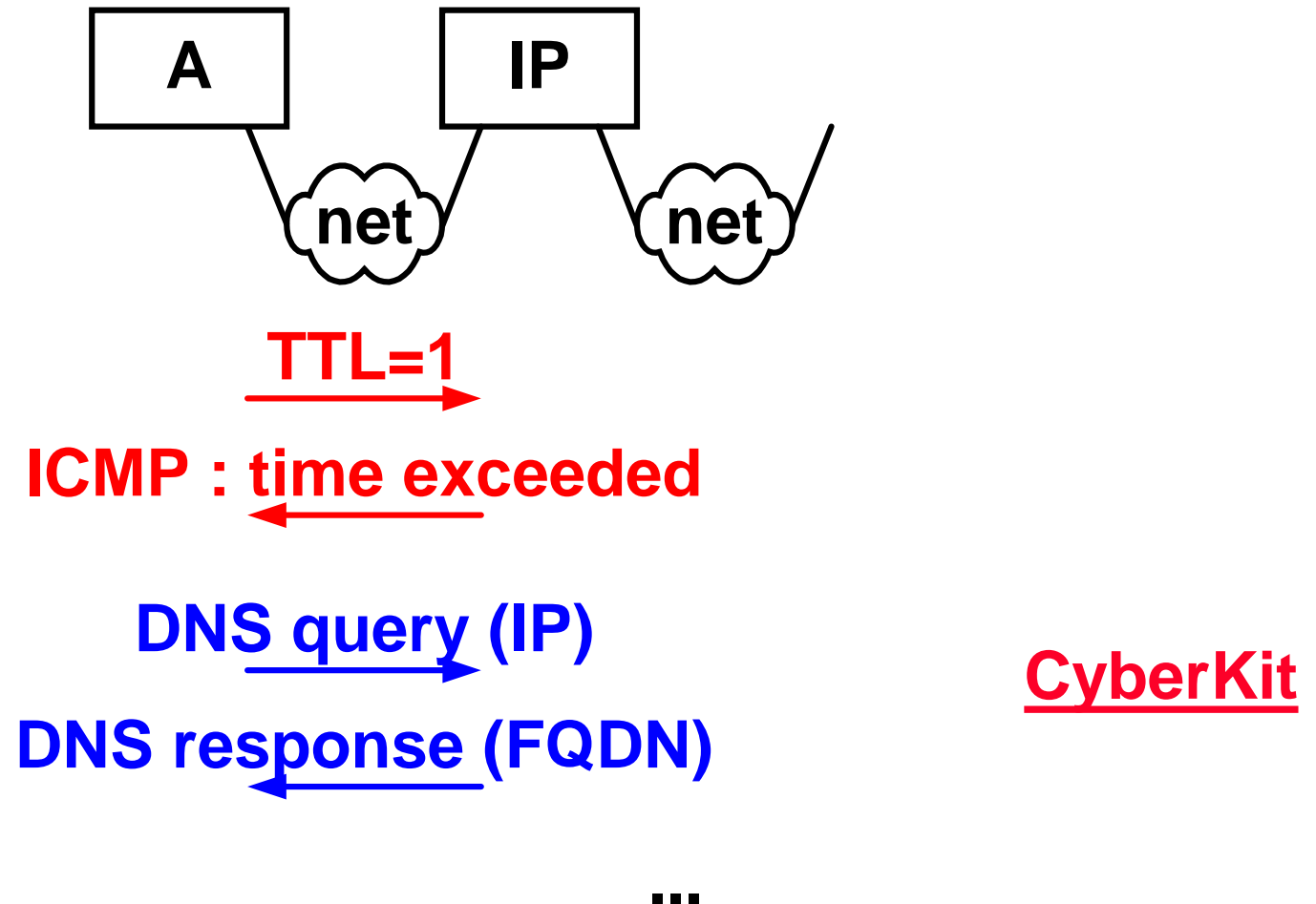
#	Address	Response Time
1	129.194.184.3	4 ms
2	129.194.12.3	2 ms
3	192.33.214.3	2 ms
4	130.59.33.45	3 ms
5	212.1.192.169	4 ms
6	212.1.192.46	58 ms
7	212.1.192.154	53 ms
8	193.10.252.178	54 ms
9	130.242.200.10	58 ms
10	130.242.200.126	66 ms
11	130.242.202.116	68 ms
12	130.240.42.42	69 ms

# Screening router

- Les attaques basées sur l'envoi de requêtes ICMP *echo request* sont fréquentes
- La plupart des routeurs disposent de fonction de filtrage au niveau adresse IP, type de protocole (ICMP, ...), numéro de port, ...
- Première ligne de défense contre les intrusions



- Cette option produit des **requêtes DNS inverses**





## Traceroute avec option DNS (2)

```
tracert www.luth.se
```

#	Address	Host Name	Response Time
1	129.194.184.3	Unavailable	4 ms
2	129.194.12.3	unige-gw.unige.ch	2 ms
3	192.33.214.3	swige1.unige.ch	2 ms
4	130.59.33.45	swiCE1-A4-0-0-2.SWITCH.ch	3 ms
5	212.1.192.169	switch.ch.ten-155.NET	4 ms
6	212.1.192.46	ch-se.se.ten-155.NET	58 ms
7	212.1.192.154	sw-gw.nordu.NET	53 ms
8	193.10.252.178	STK-BB-1.SUNET.SE	54 ms
9	130.242.200.10	SVL-BB-1.SUNET.SE	58 ms
10	130.242.200.126	lulea-pos.SUNET.SE	66 ms
11	130.242.202.116	Unavailable	68 ms
12	130.240.42.42	www.luth.se	69 ms

- Adresse IP (32 bits) = **network** + **host**

Le champ **host** peut identifier des **sous-réseaux**

- L'Université de Genève, qui dispose d'une adresse IP de classe B (**network = 129.194**) a décidé de subdiviser son réseau en **64 sous-réseaux** (*subnet*)

6 bits étant nécessaires, chaque nœud IP du réseau de l'Université doit être configuré avec le masque de sous-réseau suivant :

**255.255.252.0**

<b>255</b>	<b>255</b>	<b>252</b>	<b>0</b>
<b>11111111</b>	<b>11111111</b>	<b>11111100</b>	<b>00000000</b>

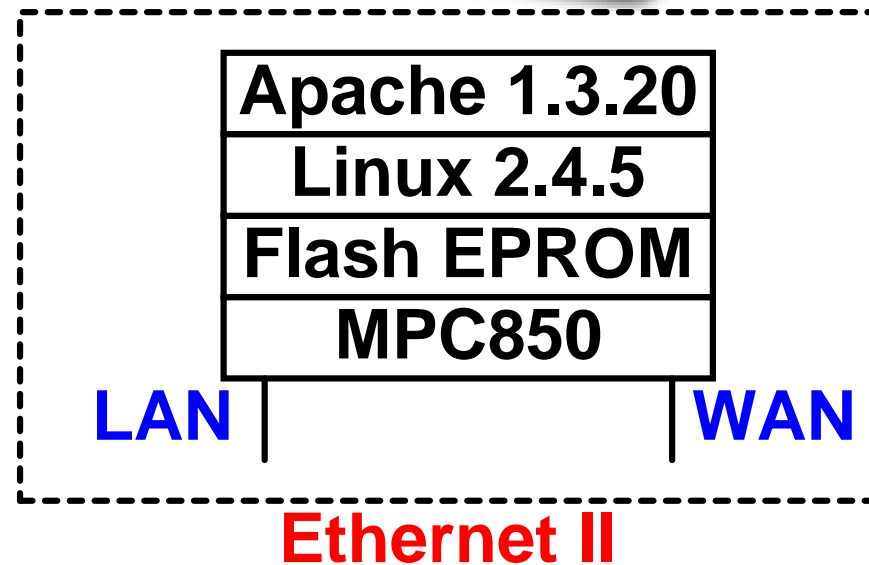
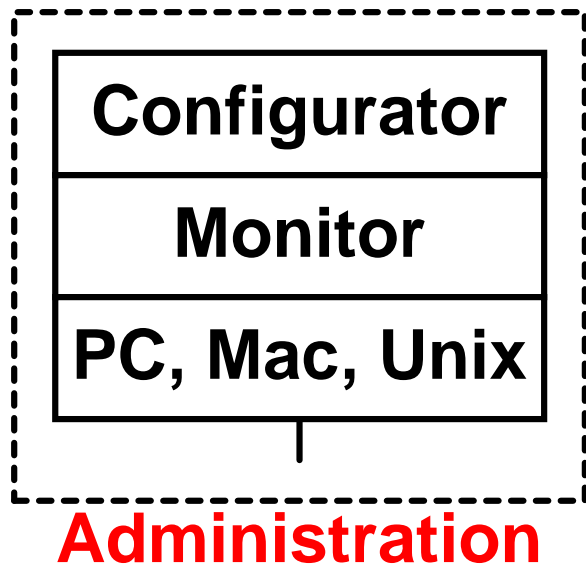
- Chaque *subnet* ne peut plus contenir que 1024 ordinateurs
- Cette subdivision n'est pas visible à l'extérieur du réseau

- **Labo C1**

`ipconfig`, `ping`, `tracert`, `netstat`,  
Analyse des protocoles ARP, IP, ICMP

- **Labo C2**

Configuration d'un routeur



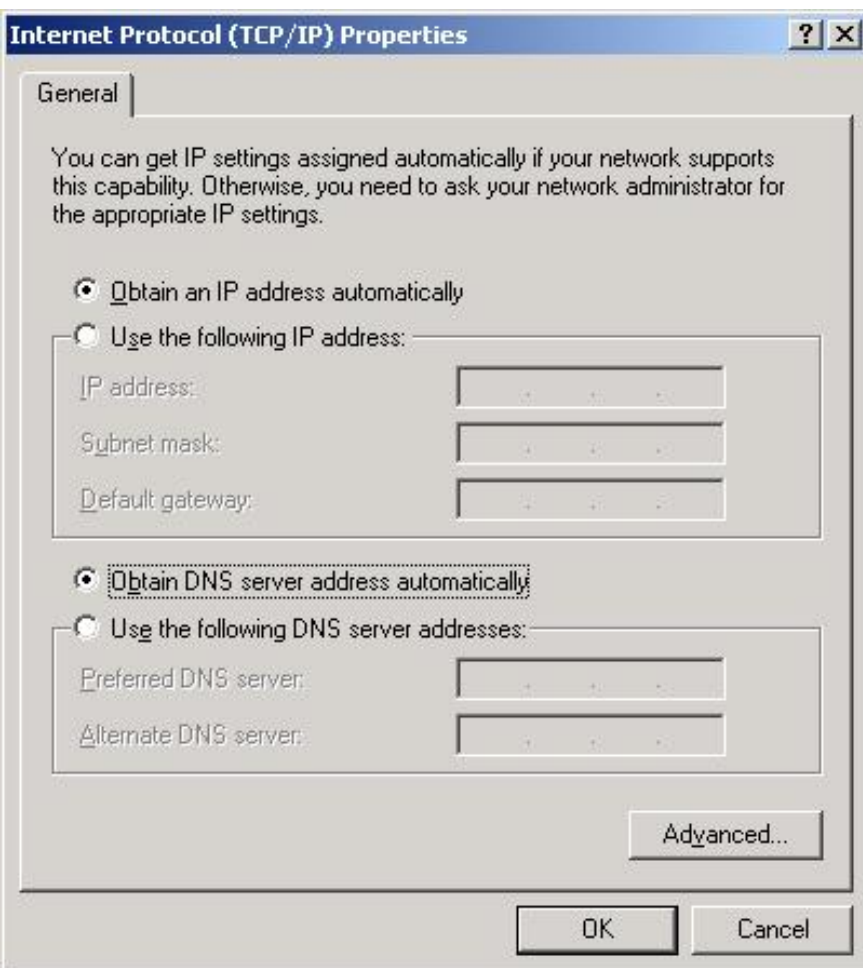
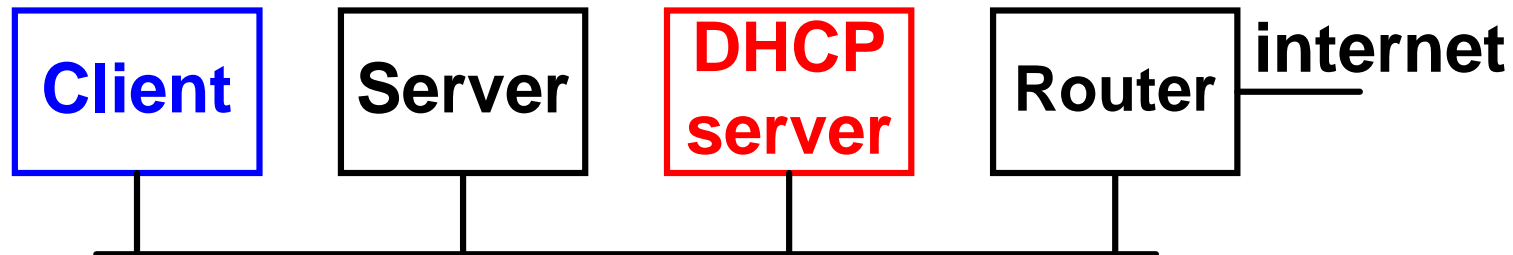
## Configuration dynamique : motivation

- La configuration d'un nœud IP demande des **connaissances spécifiques** que certains utilisateurs n'ont pas
- L'essor d'**équipements grand public** comme portable, *mobile IP*, *phone IP*, *thin client*, ... exige une procédure de configuration dynamique (automatique)
- Certaines entreprises **changent** d'ISP (*Internet Service Provider*) tous les ans

- ***Reverse Address Resolution Protocol - RFC 903***
- **Ce protocole de résolution d'adresse inverse permet à un système minimum sans disque de demander l'adresse IP correspondant à l'adresse physique transmise**
- **Le serveur RARP contient le fichier d'équivalence entre adresse physique (MAC) et adresse logique (IP)**
- ***Bootstrap Protocol - RFC 951***
- **Alternative à RARP en offrant des informations supplémentaires comme le masque de sous-réseau, l'adresse IP du routeur, l'adresse IP du serveur DNS, ...**

## Configuration dynamique : DHCP (1)

- *Dynamic Host Configuration Protocol* - RFC 2131
- Un **serveur DHCP** va **allouer dynamiquement les adresses IP** dans l'espace qu'il gère sans connaître l'adresse physique du nœud
- Il transmet également les **informations supplémentaires** décrites précédemment
- Le **client** doit être dans le mode (par défaut de Win2000) : *Obtain an IP address automatically*
- La configuration présente une certaine **durée de vie** (*lease time*)



**ip addr** 10.0.0.1  
**Mask** 255.0.0.0  
**range** 10.0.0.10 – 10.0.0.254  
**lease time** 3600

→ DHCP Discover

← DHCP Offer

→ DHCP Request

← DHCP Ack

...

*lease time*

→ DHCP Request

← DHCP Ack



- TCP/IP illustré – Les protocoles W. Richard Stevens  
Versions anglaise et française
- <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/>
- Command : ping, tracert, ipconfig, netstat, ...
- Cyberkit <http://www.gknw.com/mirror/cyberkit/>

