



# La couche Réseau



Communiquer dans le  
monde entier

Le protocole IP : Internet Protocol



# Rappel

## ✦ Couche 2 : couche liaison de données

- ✦ *Objectif* : communiquer sur le même réseau
- ✦ Adresse unique
  - Adresse Mac ( Medium Access Control)
  - 6 octets
- ✦ Code détecteur/correcteur d'erreurs
  - Redondance dans les trames ( FCS/ CRC)
- ✦ Format générique d'une trame



d : destination

s : source

- ✦ 2 protocoles connus : Ethernet, Wifi
- ✦ Équipement : switch pour ethernet, Point d'accès WIFI



# Internet Protocol

## IPv4 ou IPv6

# IPv4 (1)

---

## ✦ Caractéristiques

- ✦ Destinataire unique ou multiple
- ✦ Mode non connecté
  - pas de garantie de livraison
  - pas d'avertissement en cas de non-livraison
- ✦ Mais, ...livraison sans erreur quand le paquet arrive

**Adresse IP pour chaque carte réseau, pas par hôte**

➤ Adresse IPv4 : **32 bits** -> **4\*8 bits**

4 nombres : 0-255.0-255.0-255.0-255

exemple : 193.55.95.26 == 1100 0001.0011 0111.0101 1111.0000 0010

C1

37

5F

02

# IPv4 (2)

✦ **@IP : Partie réseau + numéro unique sur le réseau**

*Unique au niveau mondial*

✦ *Partie réseau* : donnée par des instances internationales (RIR – Regional Internet Registry)

✦ *Partie hôte* : donnée par les responsables du site (unicité)

✦ A partir d'une @IP, où se trouve la partie réseau ?

◆ **Utilisation du masque**

◆ **Le masque est donné avec l'@IP**

- Faire un "et" bit à bit pour trouver la partie réseau

Exemple : @IP : 193.55.95.32    masque : 255.255.255.0

 réseau : 193.55.95.0

# IPv4 (3)

## ✦ Par défaut,...

- ◆ **Si 1<sup>er</sup> octet entre 0 et 127, masque 255.0.0.0** (classe A)
  - Seul 1<sup>er</sup> octet réseau et 3 octets pour la partie hôte
- ◆ **Si 1<sup>er</sup> octet entre 128 et 191, masque 255.255.0.0** (classe B)
  - Les 2 premiers octets pour le réseau et 2 octets pour la partie hôte
- ◆ **Si 1<sup>er</sup> octet entre 192 et 223, masque 255.255.255.0** (classe C)
  - Les 3 premiers octets pour le réseau et 1 octet pour la partie hôte

## ✦ Mais par réseau, 2 adresses toujours réservées

- ◆ **Adresse réseau** : bits hôte à 0
- ◆ **Adresse broadcast** : bits hôte à 1

Une classe C ne peut contenir que 254 machines.

Exemple : @réseau : 200.10.15.0

@machines : 200.10.15.1

@broadcast : 200.10.15.255

..... 200.10.15.254

# IPv4 (3)

## ✦ Sous-réseau

- ◆ Réseaux qui ne sont pas par défaut
  - Utilisation du "et" pour connaître partie réseau
  - Exemple :
    - ◆ @IP :175.12.44.3 masque : 255.255.240.0 → @reseau : 175.12.32.0  
44 = 00101100 240=11110000 32=00100000

## ✦ Adresses IP privées (RFC 1918)

- ◆ Non unique, mais gratuite
- ◆ Ne permettent pas d'aller sur internet (filtrage)
- ◆ @réseau : 10.0.0.0 /8 masque 255.0.0.0
- ◆ @réseau : 172.16.0.0- 172.31.0.0 /16 masque 255.255.0.0
- ◆ @réseau : 192.168.0.0 – 192.168.255.0 /24 masque 255.255.255.0

# Quelques exemples

---

Adresse IP : 195.12.13.15

Adresse de classe A, B ou C ?

Masque par défaut : ?

Adresse réseau de cet ordinateur ?

Classe C, masque 255.255.255.0, réseau : 195.12.13.0

Adresse IP : 123.0.13.15

Adresse de classe A, B ou C ?

Masque par défaut : ?

Adresse réseau de cet ordinateur ?

Classe A, masque 255.0.0.0, réseau : 123.0.0.0

Une adresse particulière : loopback = localhost = 127.0.0.1

# IPv6 (1)

---

## ✦ Raisons:

- ◆ Croissance rapide d'internet ➡ manque d'adresses IP
- ◆ Tables de routage gigantesques...
- ◆ Des fonctionnalités manquantes à mettre en œuvre

## ✦ Caractéristiques:

- ◆ Adresse sur 16 octets (128 bits, 8 \* 16 bits)
- ◆ Fonctionnalités nouvelles :
  - sécurité (chiffrement des paquets, authentification,...)
  - source routing
  - Gestion du temps réel
  - autoconfiguration (amélioration de DHCP, passage par ICMPv6)

# IPv6 (2)

---

## ✦ Les différentes sortes d'adresses

### ◆ Unicast

-> pour un destinataire unique

### ◆ Multicast

-> pour désigner un groupe d'interfaces, donc un groupe de machines

### ◆ Anycast

-> pour désigner une interface, appartenant à un groupe de machines

-> théoriquement, la machine la plus proche doit recevoir le paquet

### ◆ Broadcast

-> n'existe plus.

# Adressage IPv6 (1)

---

- ◆ Utilisation de la notation hexadécimale, en regroupant les chiffres par 4 et en les séparant par ‘:’

ex : **FEDC:E323:A65A:95F5:63D4:08BB:76F5:A234**

- ◆ Disparition des sous-réseaux, apparition de **la taille du préfixe ‘/’**

(nb de bits appartenant au préfixe réseau)

ex : 2F45:EE34:C23E::/48

- ◆ Elimination des 0 présents dans l’adresse:

ex : 2001:0:0:0:0:342D:342F:FF45



2001::342D:342F:FF45

# Adressage IPv6 (2)

- 
- ◆ Loopback :  $::1/128$
  - ◆ Non spécifié :  $0::0$  -> utilisation avec DHCPv6
  - ◆ Adresse de lien local :
    - > préfixe :  $FE80::/10$  (1111 1110 10...)
    - configuration automatique, adresse non routable
  - ◆ Adresse de site local :
    - > préfixe :  $FEC::/10$  (1111 1110 11...)
    - configuration pour un site, adresse non routable au niveau d'Internet (correspond aux adresses privées)
  - ◆ Adresse compatible avec Ipv4 (adresse mappée) (non utilisée)
    - >  $0::FFFF:adresse IPv4$  (32 bits)

# Adressage IPv6 (3)

---

## ✦ Adresse Unicast

### ◆ 64 bits pour le réseau

- 48 bits pour le préfixe global de routage (topologie publique)
  - théoriquement, 3 premiers bits à : **001**
  - 45 bits suivants dépendent de l'IANA, et donc RIPE-NCC
- 16 bits pour le réseau d'entreprise (topologie du site)

### ◆ 64 bits pour l'hôte

- 64 bits -> interface (unicast -> utilisation de icmpv6)

L'adresse commence en général par 2001: .... et peut se terminer par :

- **adresse MAC modifiée:**

*3 octets (constructeur) + FFFE (16 bits) + 3 octets (unique MAC)*

- **ou nombre aléatoire sur 64 bits.**

# Adressage IPv6 (4)

## ✦ Adresse Multicast

- ◆ indicateur (8 b) + drapeau (4 b) + visibilité (4 b) + group Id (112 b)
  - Indicateur : FF (8 bits avec que des 1)
  - Drapeau : 000 puis 0 pour un groupe permanent, 1 sinon
  - Visibilité : sur internet, local à l'entreprise...
    - ◆ Node – Local (même médium) → visibilité =1
    - ◆ Link – Local (même domaine broadcast) → visibilité =2
    - ◆ Site – Local (même site) → visibilité =5
    - ◆ Organization – Local (même entreprise) → visibilité =8
    - ◆ Global → visibilité =E
- ◆ Group id : 1 = machines, 2 = routeurs, 4 = OSPF routers, ....
- ◆ Exemple : *FF01::1 -> multicast pour node local et machines (id =1)*  
*FF05::2 -> multicast pour site-local et routeurs (id =2)*

# Adressage - commande

## ✦ Windows

- ◆ ipconfig ou ipconfig /all

```
Carte Ethernet Ethernet :  
  
Suffixe DNS propre à la connexion. . . : local.isima.fr  
Adresse IPv4. . . . . : 172.16.74.234  
Masque de sous-réseau. . . . . : 255.255.240.0  
Passerelle par défaut. . . . . : 172.16.79.254
```

## ✦ Linux

- ◆ ifconfig ( obsolète) ,

**ip a**

```
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500  
inet 172.16.74.234 netmask 255.255.240.0 broadcast 172.16.79.255  
ether d8:9e:f3:4b:58:fc (Ethernet)  
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

```
lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 1500  
inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0  
inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0xfe<compat,link,site,host>  
loop (Local Loopback)  
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)  
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

```
13: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 group default qlen 1  
link/ether d8:9e:f3:4b:58:fc  
inet 172.16.74.234/20 brd 172.16.79.255 scope global dynamic  
valid_lft 85208sec preferred_lft 85208sec  
1: lo: <LOOPBACK,UP> mtu 1500 group default qlen 1  
link/loopback 00:00:00:00:00:00  
inet 127.0.0.1/8 brd 127.255.255.255 scope global dynamic  
valid_lft forever preferred_lft forever  
inet6 ::1/128 scope host dynamic  
valid_lft forever preferred_lft forever
```



# Le routage

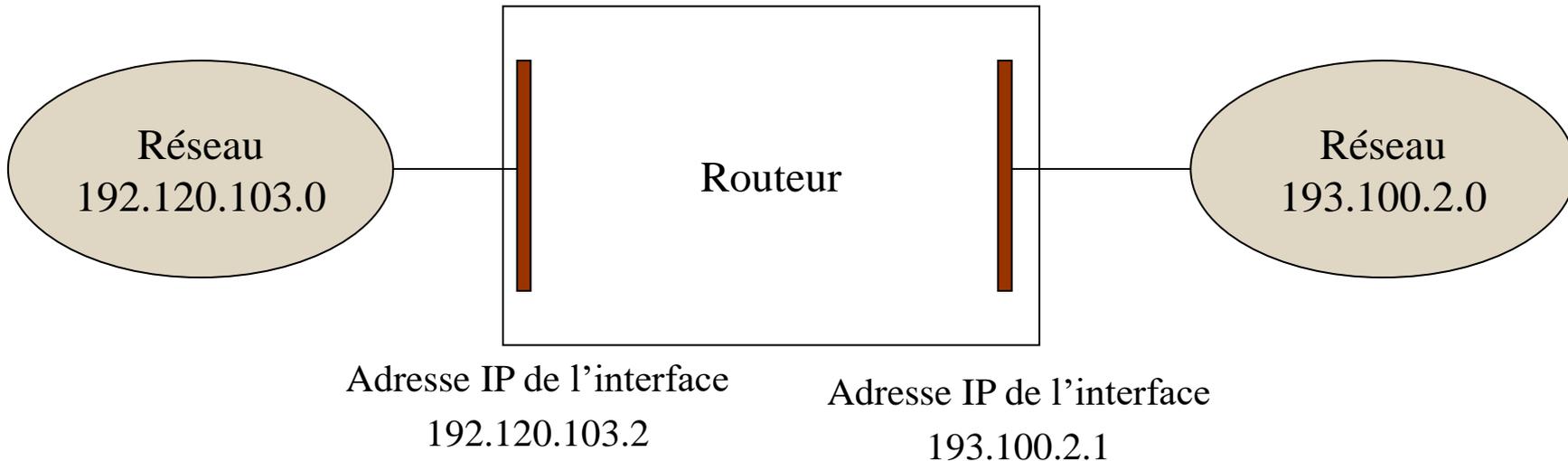
# Architecture d'un routeur (1)

➤ Architecture du Routeur:

Station composée de plusieurs cartes réseau, lui permettant de se connecter à plusieurs réseaux locaux.

**Un routeur connecte au minimum 2 réseaux distincts.**

Dans ce cas, une carte réseau est appelée **une interface du routeur**



L'adresse de l'interface du routeur doit appartenir au réseau

# Table de routage

---

✦ *Tout équipement de niveau 3 à une table de routage*

- ✦ PC, routeur, **mais pas HUB, ni switch**

✦ *Composition d'une table de routage*

✦ **4 colonnes (ou lignes):**

- @ réseau distant
- Masque du réseau distant
- @IP du saut suivant pour atteindre le réseau distant
- Interface de sortie

**La table de routage ne donne que l'@IP du prochain système sur la route vers la destination**

(hop by hop)

# Fonctionnement table de routage (1)

- Exemple de table de routage du routeur 193.65.20.1

@IP réseau distant	Masque	@IP saut suivant	interface
193.65.20.0	255.255.255.0	<b>193.65.20.1</b>	eth0
136.30.0.0	255.255.0.0	<b>193.65.20.254</b>	eth0
0.0.0.0	0.0.0.0	<b>193.65.20.100</b>	eth0

## □ Utilisation de la table de routage

- Soit @Ipd adresse de destination finale
- Pour chaque ligne de la table de routage
  - faire un "et" binaire entre @Ipd et Masque
  - Comparer le résultat avec l'@IP réseau distant
    - Si différente, passer à la ligne suivante
    - Sinon @IP du prochain saut : @IP saut suivant
- Si plus de ligne, échec, abandon du paquet

# Exemple table de routage (1)

## IPv4 Table de routage

### Itinéraires actifs :

Destination réseau	Masque réseau	Adr. passerelle	Adr. interface	Métrique
0.0.0.0	0.0.0.0	172.16.79.254	172.16.65.100	276
127.0.0.0	255.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
127.0.0.1	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
127.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
172.16.64.0	255.255.240.0	On-link	172.16.65.100	276
172.16.65.100	255.255.255.255	On-link	172.16.65.100	276
172.16.79.255	255.255.255.255	On-link	172.16.65.100	276
192.168.56.0	255.255.255.0	On-link	192.168.56.1	276
192.168.56.1	255.255.255.255	On-link	192.168.56.1	276
192.168.56.255	255.255.255.255	On-link	192.168.56.1	276
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	192.168.56.1	276
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	172.16.65.100	276
255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	192.168.56.1	276
255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	172.16.65.100	276

### Itinéraires persistants :

Adresse réseau	Masque réseau	Adresse passerelle	Métrique
0.0.0.0	0.0.0.0	172.16.79.254	Par défaut

Sous windows, lecture de bas en haut....

# Exemple table de routage (1bis)

## IPv6 Table de routage

### Itinéraires actifs :

If	Metric	Network	Destination	Gateway
1	331	::1/128		On-link
14	281	fe80::/64		On-link
20	281	fe80::/64		On-link
14	281	fe80::98cd:98f4:96c1:f2b9/128		On-link
20	281	fe80::b8e4:49f1:ee1c:1f6f/128		On-link
1	331	ff00::/8		On-link
14	281	ff00::/8		On-link
20	281	ff00::/8		On-link

### Itinéraires persistants :

Aucun

### Carte Ethernet Ethernet 2 :

Suffixe DNS propre à la connexion. . . . :  
Adresse IPv6 de liaison locale. . . . . : fe80::98cd:98f4:96c1:f2b9%14  
Adresse IPv4. . . . . : 192.168.56.1  
Masque de sous-réseau. . . . . : 255.255.255.0  
Passerelle par défaut. . . . . :

### Carte Ethernet Ethernet 3 :

Suffixe DNS propre à la connexion. . . . : local.isima.fr  
Adresse IPv6 de liaison locale. . . . . : fe80::b8e4:49f1:ee1c:1f6f%20  
Adresse IPv4. . . . . : 192.168.56.226

interface

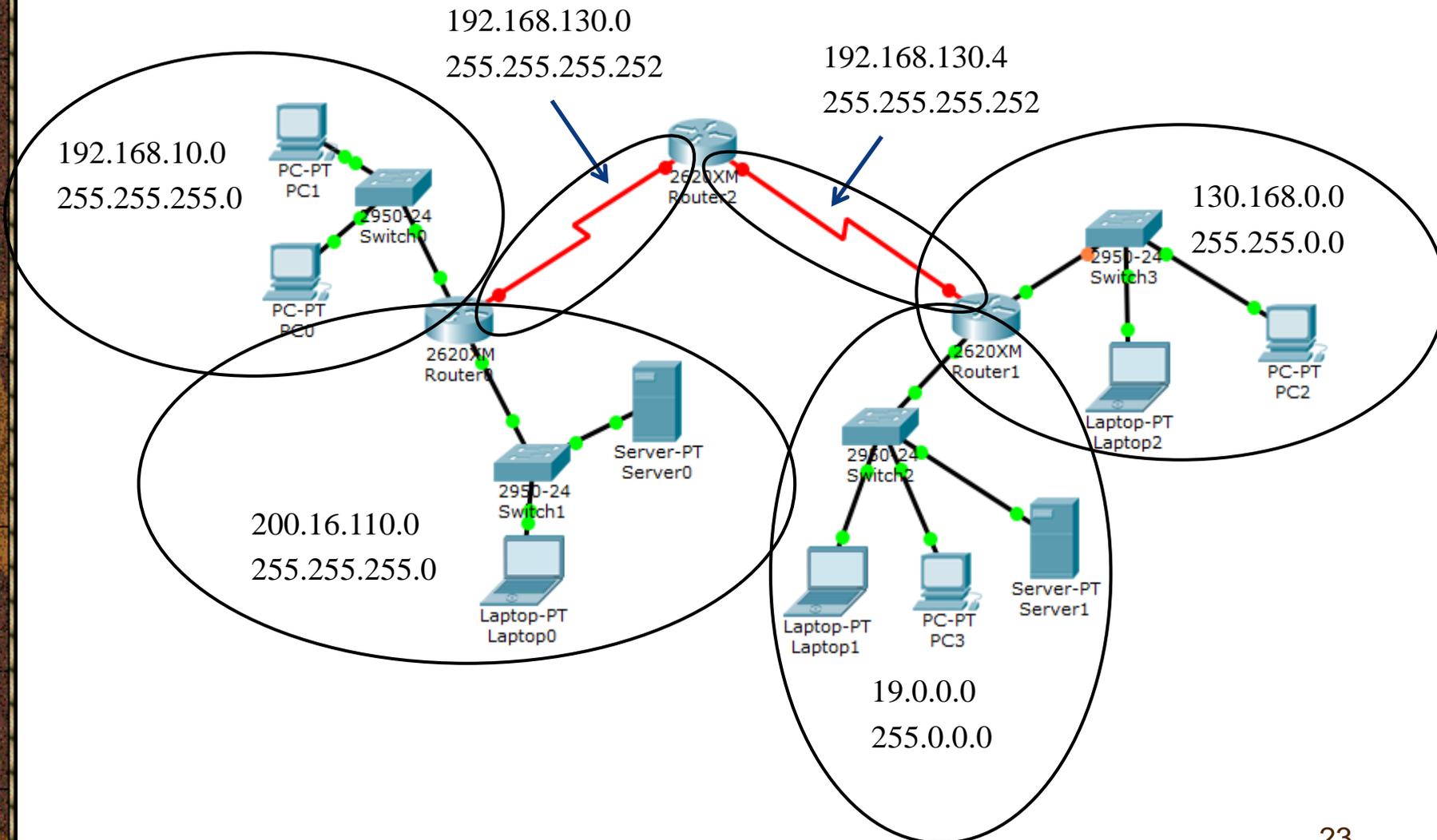
# Exemple table de routage (2)

Exemple sous linux : commande netstat -rn ou route -n

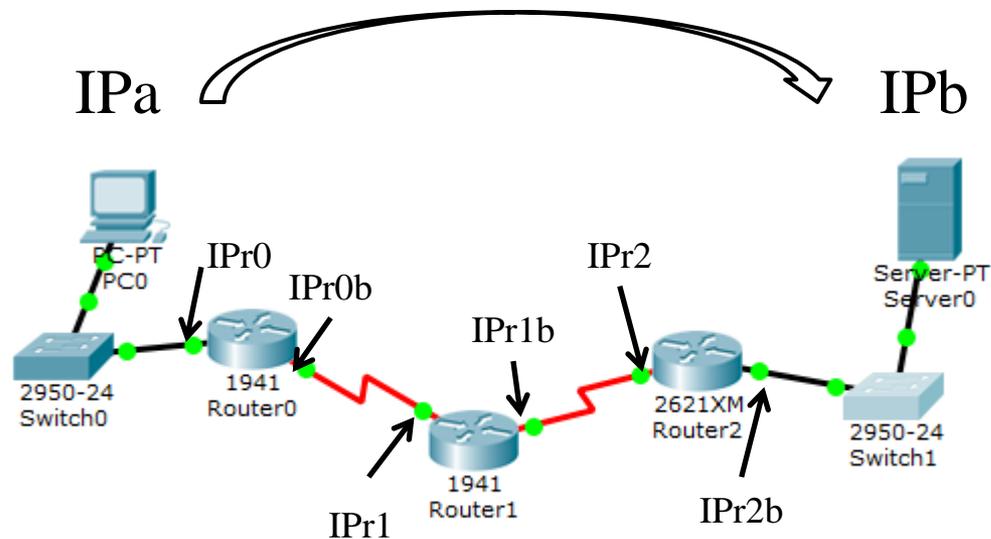
```
[laurenco@fc ~]$ netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags         MSS Window  irtt  Iface
192.168.100.0    0.0.0.0         255.255.255.0   U             0 0           0 eth5
192.168.102.0    0.0.0.0         255.255.255.0   U             0 0           0 eth1
193.55.95.0      0.0.0.0         255.255.255.0   U             0 0           0 eth2
172.16.0.0       192.168.100.60 255.255.0.0     UG            0 0           0 eth5
0.0.0.0          193.55.95.254  0.0.0.0         UG            0 0           0 eth2
```

- Lecture de haut en bas
- 3 cartes réseaux : @IP : 192.168.102.60  
@IP: 193.55.95.60  
@IP : 192.168.100.59
- Si gateway = 0.0.0.0 ou \*, alors gateway inutile  
**même médium que le destinataire**  
*(paquet est presque arrivé à destination...)*

# Architecture d'un routeur (2)

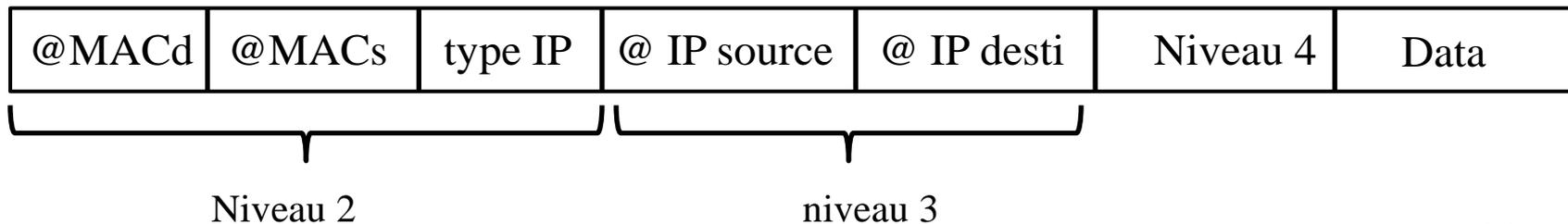


# Utilisation routage (1)



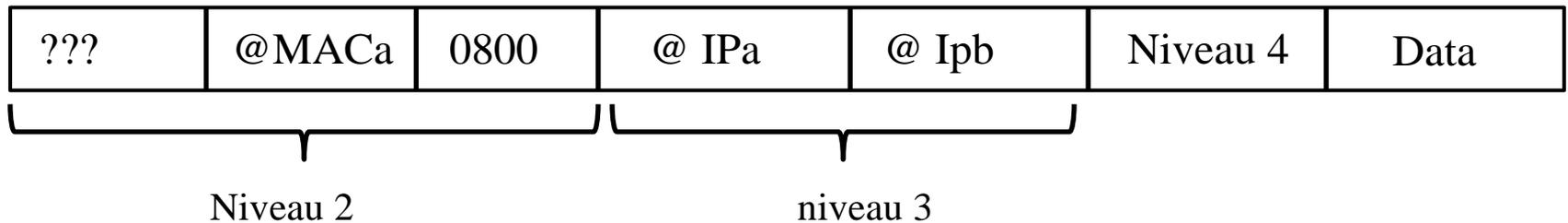
4 réseaux - (Ipa et IPr0) (IPr0b et IPr1) - (IPr1b et IPr2) - (IPr2b et Ipb)

## Constitution de la trame



# Utilisation routage (2)

## Constitution de la trame



➤ utilisation de la table de routage

**Mais récupération de l'@IP du saut suivant !!!**

**On cherche → @MAC**

**ARP : Address Resolution Protocol**

**correspondance @MAC ↔ @IP**

# ARP (1)

---

## ✦ ARP

- ✦ *But* : obtenir une correspondance entre @IP d'un PC et son adresse MAC
- ✦ A désire envoyer un message à une station B, et connaît son adresse IP. Mais, adresse MAC inconnue pour envoyer sa trame Ethernet.
- ✦ Elle envoie donc un *broadcast Ethernet ARP* qui contient l'adresse IP demandée .
- ✦ Toutes les stations reçoivent ce message et examinent l'adresse IP demandée.
- ✦ Seule la station B répond à la requête ARP. Elle insère dans la réponse sa propre adresse MAC.
- ✦ La station A récupère le message, *stocke dans sa table ARP la correspondance @IP ↔ @MAC* et peut maintenant envoyer des données à la station B en utilisant cette adresse MAC.

# ARP (2)

## ✦ 2 étapes

- ✦ On regarde dans table ARP si correspondance (arp -a)  
(stockage temporaire des informations)
- ✦ Une requête ARP est faite sur le réseau

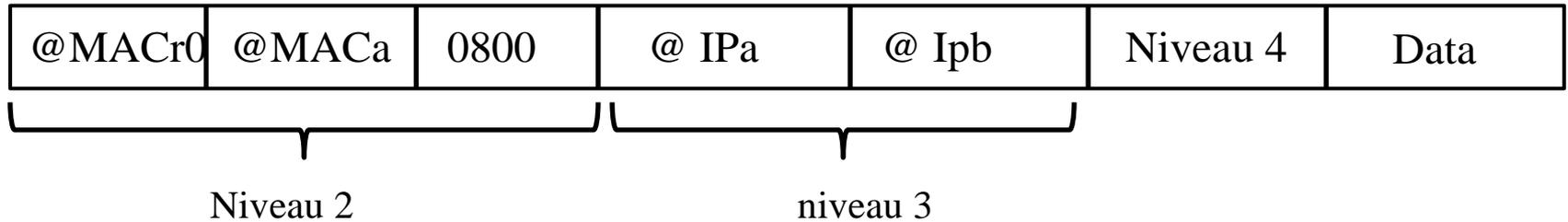
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
111	13.464961	192.168.1.1	192.168.1.17	TCP	54	80 → 53795 [ACK] Seq=2473 Ack=4501 Win=13343 Len=0
112	13.502360	192.168.1.17	192.168.1.1	TCP	54	53796 → 80 [ACK] Seq=3746 Ack=2175 Win=254 Len=0
113	13.517112	SamsungE_be:e0:fe	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.1.17? Tell 192.168.1.18
114	13.517202	HonHaiPr_53:55:9b	SamsungE_be:e0:fe	ARP	42	192.168.1.17 is at 64:27:37:53:55:9b
115	13.518204	192.168.1.1	192.168.1.17	HTTP	633	HTTP/1.1 200 OK (text/html)

```
> Frame 113: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface 0
> Ethernet II, Src: SamsungE_be:e0:fe (bc:b1:f3:be:e0:fe), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
v Address Resolution Protocol (request)
  Hardware type: Ethernet (1)
  Protocol type: IPv4 (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  Opcode: request (1)
  Sender MAC address: SamsungE_be:e0:fe (bc:b1:f3:be:e0:fe)
  Sender IP address: 192.168.1.18
  Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
  Target IP address: 192.168.1.17
```

```
C:\Users\Isima>arp -a
Interface : 172.16.65.100 --- 0xb
Adresse Internet      Adresse physique      Type
172.16.64.4           98-e7-f4-ec-32-33    dynamique
172.16.64.5           18-03-73-32-cb-11    dynamique
172.16.64.9           48-4d-7e-d0-29-b6    dynamique
172.16.64.38          b8-ca-3a-ba-2e-38    dynamique
172.16.64.70          18-03-73-d5-39-2b    dynamique
172.16.64.86          18-03-73-d6-6d-25    dynamique
172.16.64.99          00-1c-c0-52-ba-af    dynamique
172.16.64.102         18-03-73-d6-5a-75    dynamique
172.16.64.103         18-03-73-d6-61-61    dynamique
172.16.64.106         d4-be-d9-da-78-80    dynamique
172.16.64.112         00-24-e8-30-33-f3    dynamique
172.16.64.117         18-03-73-d6-5c-19    dynamique
172.16.64.130         c8-1f-66-d1-9a-f4    dynamique
172.16.64.133         b8-ac-6f-a2-18-44    dynamique
172.16.64.250         e0-cb-4e-12-78-0a    dynamique
172.16.64.252         90-e6-ba-60-50-2f    dynamique
172.16.65.13         d4-be-d9-63-78-f7    dynamique
172.16.65.65         d0-67-e5-3b-20-ab    dynamique
```

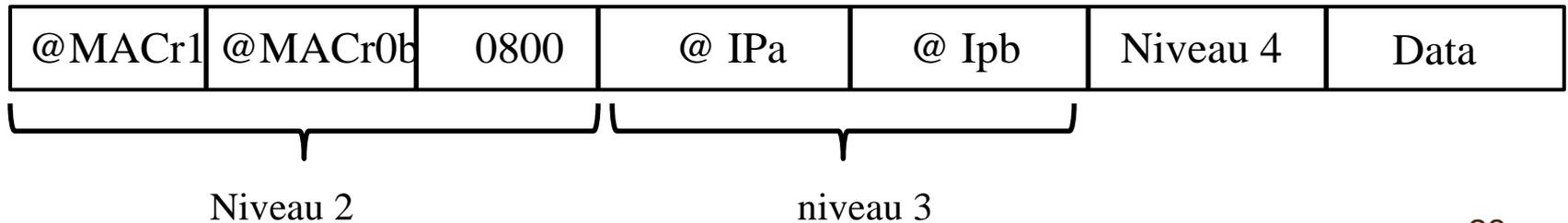
# Utilisation routage (3)

## Constitution de la trame



- Routeur r0 récupère la trame (@MAC)
  - Vérification contrôle d'erreur
  - Passe à l'entité IP car type =0800
  - Et après ????

## Constitution de la nouvelle trame



# CIDR : Les sous-réseaux (1)

---

## ✦ Raisons

- ◆ Topographiques
- ◆ Minimisation perte d'adresses IP
- ◆ Facilité de la gestion du réseau
- ◆ Sécurité

## ✦ Différentes étapes

- ◆ Mettre en place la connectivité physique
- ◆ Choisir la taille des sous-réseaux
  - Toujours puissance de 2
  - pour chaque sous-réseau,  
1 adresse réseau + 1 adresse diffusion

# Les sous-réseaux (2)

## ◆ Calcul du masque du sous-réseau

- augmentation du masque du réseau de 1 bit par puissance de 2 de la gauche vers la droite

Exemple pour un réseau classe C: masque de départ : 255.255.255.0

Nb de sous-réseaux	nb d'hôtes	Masque
2	126	255.255.255.128
4	62	255.255.255.192
8	30	255.255.255.224

## ◆ Numéros IP spéciaux (exemple)

masque réseau	Nb sous réseaux	Réseau	Diffusion	minIP	MaxIP	Nb hôtes
128	2	0	127	1	126	126
		128	255	129	254	126
192	4	0	63	1	62	62
		64	127	65	126	62
		128	191	129	190	62
		192	255	193	254	62

# VLAN (1)

---

## □ Utilisation du LAN :

- Les réseaux sont liés aux concentrateurs ou aux commutateurs (HUB ou Switch)
- Les utilisateurs sont **regroupés géographiquement**, par bâtiments, salles...  
( sur un switch, on peut trouver comptable, direction, data de machines-outils, etc...)
- Pas de sécurité sur un segment  
( améliorations avec les commutateurs)
- *La mobilité entraîne souvent un changement d'adresse IP*
- Plan d'adressage difficile

# VLAN (2)

---

## ✦ Objectifs

- Les utilisateurs sont regroupés en VLAN qui dépendent de leur groupe de travail ou de leur fonction, mais pas de leur localisation physique.
- Tous les utilisateurs d'un VLAN doivent avoir les mêmes modèles de flux de trafic 80/20.
- Lorsqu'un utilisateur se déplace sur le campus, son appartenance à un VLAN ne doit pas changer.
- Chaque VLAN est caractérisé par un ensemble commun de besoins de sécurité pour tous les membres.

**Discussion impossible entre 2 VLANs  
sauf si routage (niveau 3)**

# VLAN (3)

---

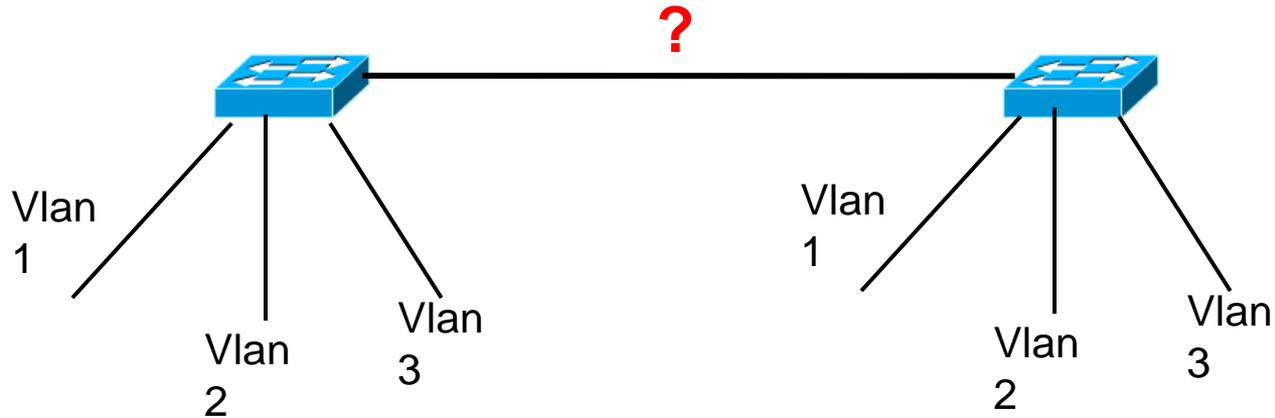
## 3 types de VLAN

- **VLAN axés sur le port (Vlan statique)**  
( simple à mettre en œuvre)
  - VLAN axés sur l'adresse MAC ou IP  
(nécessite de la mémoire)
  - VLAN axés sur le protocole  
(seulement pour protocole routable)
- } Vlan dynamique

Une *adresse réseau* de couche 3 unique doit être affectée à chaque VLAN. Cela permet aux routeurs de commuter les paquets entre les VLANs.

**Un VLAN = Un sous réseau**

# VLAN (4)



Combien de liaisons sont nécessaires entre éléments actifs ? (Switch, routeur)

**1 seule -> notion de trunking (lien agrégé)**

La norme actuelle : **IEEE 802.1 Q** → normalisé (étiquetage)